

# Analysis of The Effect of Windshield Slant Angles on Aerodynamic Drag of Minibus-Type Vehicles

Rustan Tarakka<sup>1\*</sup>, Nasaruddin Salam<sup>1</sup>, Mellinda Yusuf<sup>2</sup> dan Musrifah<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

<sup>2</sup>Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

\*Corresponding author: rustan\_tarakka@yahoo.com

**Abstract.** The contribution of aerodynamic drag on vehicles vehicles is influenced by front, windshield, roof and rear geometry of car which have been determined by various models through experimental test and numerical calculations. The purpose of this study is to analyze aerodynamic drag on minibus-type vehicles with variations in the slant angles of the windshield ( $\alpha$ ) of  $60^\circ$ ,  $65^\circ$ , and  $70^\circ$ . This research was conducted computationally and experimentally. In the computational approach CFD is used, while in the experimental approach, a test model in the form of a minibus type vehicle is tested in a subsonic wind tunnel. The results obtained indicate that the change in the slant angles of the windshield gives a significant effect on the aerodynamic drag on the minibus type vehicle. The smallest aerodynamic drag coefficient value is obtained in the test model with a windshield slant angle ( $\alpha$ ) of  $60^\circ$ , producing drag value of 0.646 with a computational approach, and drag value of 0.561 for the experimental approach.

**Abstrak.** Kontribusi hambatan aerodinamik pada kendaraan dipengaruhi oleh geometri depan mobil, kaca depan, atap dan bagian belakang yang telah ditentukan dengan berbagai model melalui pengujian dan perhitungan numerik. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis hambatan aerodinamika pada kendaraan tipe minibus dengan variasi kemiringan kaca depan. Model uji yang dipergunakan pada penelitian ini adalah kendaraan tipe minibus yang mempunyai kemiringan kaca depan ( $\alpha$ ) yaitu  $60^\circ$ ,  $65^\circ$ , dan  $70^\circ$ . Penelitian ini dilakukan secara komputasi dan eksperimental. Pada pendekatan komputasi digunakan CFD, sementara pada pendekatan eksperimental, model uji berupa kendaraan tipe minibus diuji pada *subsonic wind tunnel*. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa perubahan kemiringan kaca depan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap hambatan aerodinamika pada kendaraan tipe minibus. Nilai koefisien hambatan aerodinamika terkecil diperoleh pada model uji dengan kemiringan kaca depan ( $\alpha$ )  $60^\circ$  sebesar 0.646 dengan pendekatan komputasi, sementara pada pendekatan eksperimen sebesar 0.561.

**Kata kunci:** hambatan aerodinamika, kemiringan kaca depan, minibus

---

© 2019. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

## Pendahuluan

Salah satu aspek yang penting diperhatikan pada suatu kendaraan adalah bentuk bodi, dimana pola aliran udara disekitar bodi akan memberikan pengaruh terhadap distribusi tekanan sehingga memicu terjadinya separasi aliran pada bagian belakang kendaraan. Semakin cepat terjadinya separasi aliran, maka pembentukan daerah olakan semakin cepat dan besar serta menjadi penyebab utama rendahnya tekanan dibagian belakang kendaraan. Oleh sebab itu pengembangan inovasi disain kendaraan untuk tujuan minimalisasi separasi aliran perlu dilakukan. Salah satu inovasi yang dapat dilakukan adalah dengan pemilihan bentuk yang lebih aerodinamis.

Fenomena aliran fluida melalui suatu bodi merupakan fenomena yang sering ditemui dalam kehidupan. Dalam aplikasinya tidak hanya satu

macam bentuk bodi yang dilewati oleh aliran fluida, tapi terdapat banyak macam bentuk bodi yang direkayasa sehingga sesuai dengan fungsi yang diinginkan. Bentuk bodi yang berbeda akan menghasilkan karakteristik aliran fluida yang berbeda dan sangat berpengaruh terhadap fungsi dari bentuk bodi tersebut [1].

Hal-hal yang mempengaruhi aerodinamika kendaraan diantaranya distribusi tekanan, profil kecepatan dibelakang kendaraan, koefisien *drag* yang dapat mempengaruhi stabilitas kendaraan. Kemiringan bodi depan memberi pengaruh besar terhadap perbedaan distribusi tekanan pada bagian depan dan belakang kendaraan. Perbedaan distribusi tekanan ini merupakan kontributor utama dari keseluruhan hambatan yang disebabkan oleh separasi aliran pada bagian belakang kendaraan [2,3].

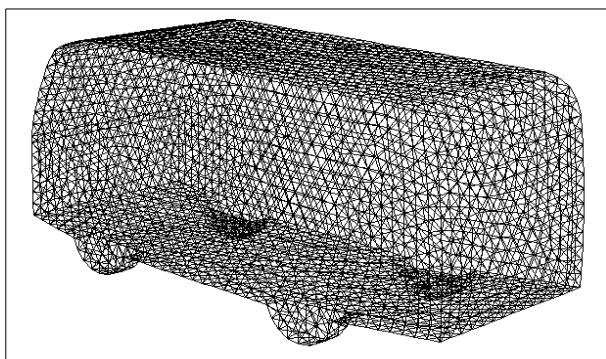
Berbagai usaha telah dikembangkan untuk menganalisis proses terbentuknya *wake* dan *vortex* akibat separasi serta menganalisis karakteristik berbagai kondisi aliran fluida [4]. Tarakka R. dkk melakukan penelitian secara numerik tentang pengaruh kemiringan geometri depan kendaraan terhadap koefisien tekanan pada model kendaraan. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa variasi geometri depan berpengaruh secara signifikan terhadap koefisien tekanan [5]. Dengan peningkatan koefisien tekanan ini memberi dampak pada pengurangan separasi aliran yang akhirnya meningkatkan reduksi koefisien drag.

Dengan memodelkan prototipe kendaraan sesuai dengan bentuk aslinya, diharapkan mampu memberikan hasil analisis yang komprehensif terhadap fenomena aliran yang terjadi di sekitar kendaraan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hambatan aerodinamika pada kendaraan tipe minibus dengan variasi kemiringan kaca depan.

## Metode Penelitian

**Model uji.** Pada penelitian ini model uji yang digunakan adalah model kendaraan menyerupai *Isuzu Elf* dengan standar acuan kemiringan kaca depan  $65^\circ$  (original). Model uji kemudian dimodifikasi dengan mengubah sudut kemiringan kaca depan (*slant angle*) sebesar  $60^\circ$  dan  $70^\circ$  dengan rasio geometri 0.025 terhadap prototipe kendaraan aslinya.

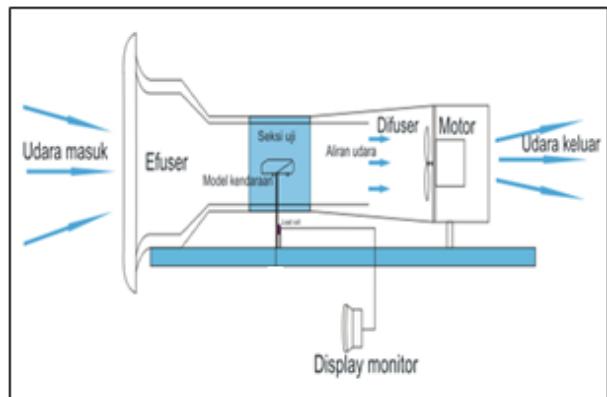
**Pendekatan komputasional.** Pada pendekatan komputasi digunakan software CFD fluent 6.3 dengan model turbulensi *k-epsilon standard* guna mengetahui pengaruh perubahan *slant angle* terhadap karakteristik medan aliran dan hambatan aerodinamika pada model uji. Kecepatan *upstream* yang digunakan adalah 11.1 m/s, 12.3 m/s, 13.9 m/s, 15.3 m/s dan 16.7 m/s. Medan aliran diasumsikan *incompressible flow* dengan kondisi *steady state*. Tampilan grid model kendaraan diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tampilan grid model kendaraan

**Pendekatan eksperimental.** Pada Pendekatan eksperimental, model uji yang digunakan

mempunyai dimensi yang sama dengan pendekatan komputasional dengan menggunakan fasilitas *sub-sonic wind tunnel* yang dilengkapi dengan *air flow meter* untuk mengukur kecepatan udara dan neraca untuk mengukur besarnya hambatan aerodinamika. Eksperimental setup dengan *sub-sonic wind tunnel* diperlihatkan pada Gambar 2.

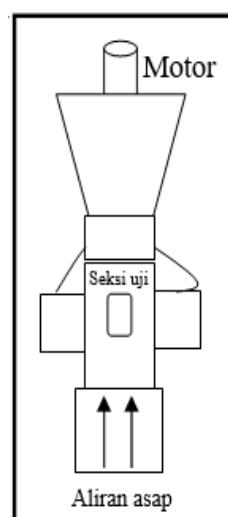


Gambar 2. Eksperimental setup dengan *sub-sonic wind tunnel*

Pengujian hambatan aerodinamika dilakukan dengan menempatkan model uji pada terowongan angin yang dialiri udara sehingga model menerima gaya dorong yang memberikan impuls dan dikonversi pada neraca dalam satuan newton. Hubungan koefisien hambatan dengan gaya hambatan aerodinamika dituliskan [6]:

$$Cd = \frac{Fd}{\frac{1}{2}\rho v^2 A} \quad (1)$$

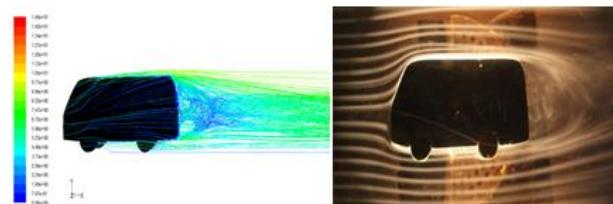
Untuk visualisasi aliran, model uji ditempatkan pada *visualization tunnel* yang dialiri asap untuk melihat karakteristik aliran yang melewati sekitar model uji. Eksperimental setup dengan visualisasi aliran diperlihatkan pada Gambar 3.



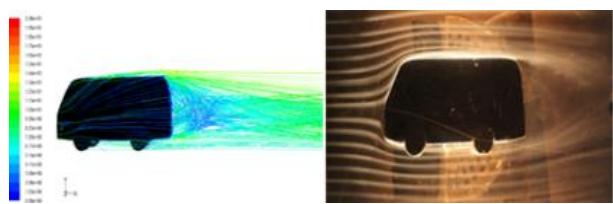
Gambar 3. Eksperimental setup dengan visualisasi aliran

## Hasil dan Pembahasan

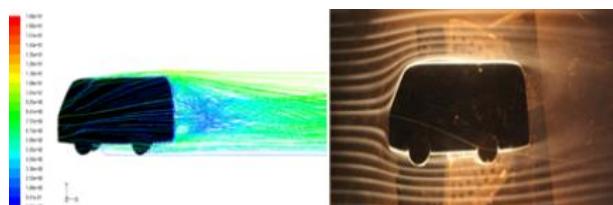
Perbandingan medan aliran yang diperoleh dengan komputasional dan eksperimental untuk model uji dengan sudut kemiringan kaca depan  $60^\circ$  diberikan pada Gambar 4.



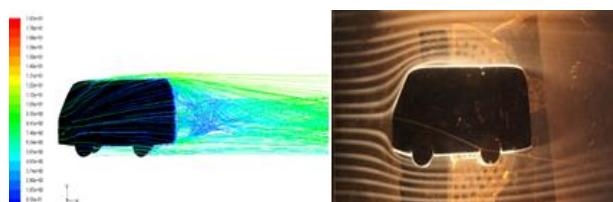
a.  $U_o=11.1 \text{ m/s}$



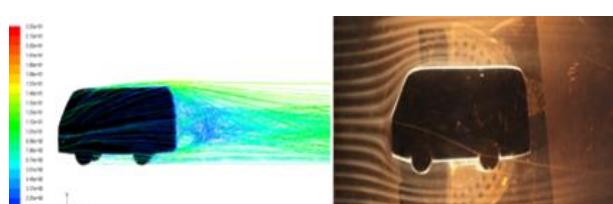
b.  $U_o=12.3 \text{ m/s}$



c.  $U_o=13.9 \text{ m/s}$



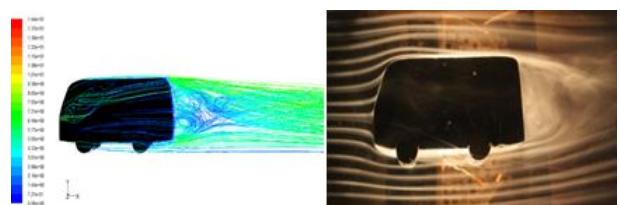
d.  $U_o=15.3 \text{ m/s}$



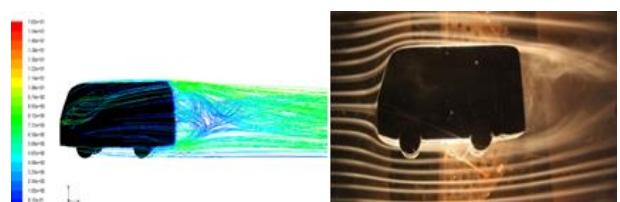
e.  $U_o=16.7 \text{ m/s}$

**Gambar 4.** Perbandingan medan aliran antara komputasional dengan eksperimen pada sudut kemiringan kaca depan  $60^\circ$

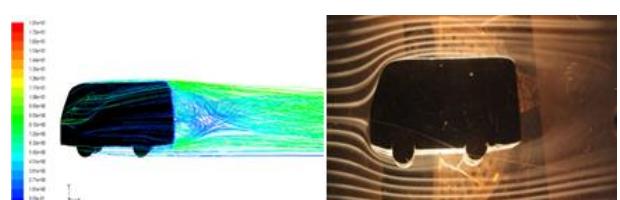
Gambar 5 menampilkan perbandingan medan aliran yang diperoleh dengan komputasional dan eksperimental untuk model uji dengan sudut kemiringan kaca depan  $65^\circ$ .



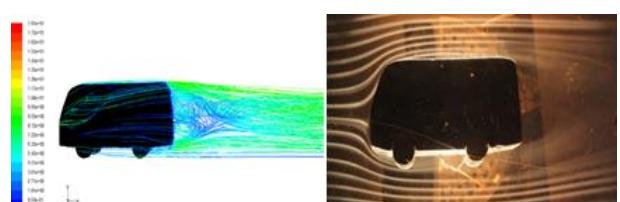
a.  $U_o=11.1 \text{ m/s}$



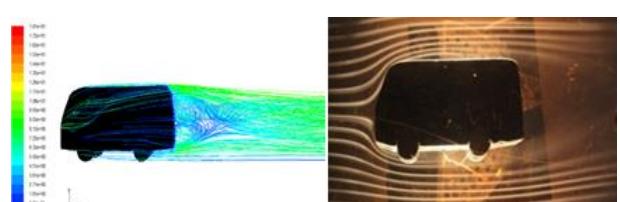
b.  $U_o=12.3 \text{ m/s}$



c.  $U_o=13.9 \text{ m/s}$



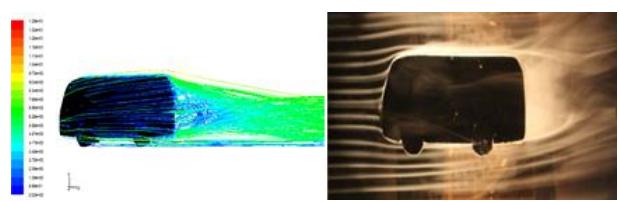
d.  $U_o=15.3 \text{ m/s}$



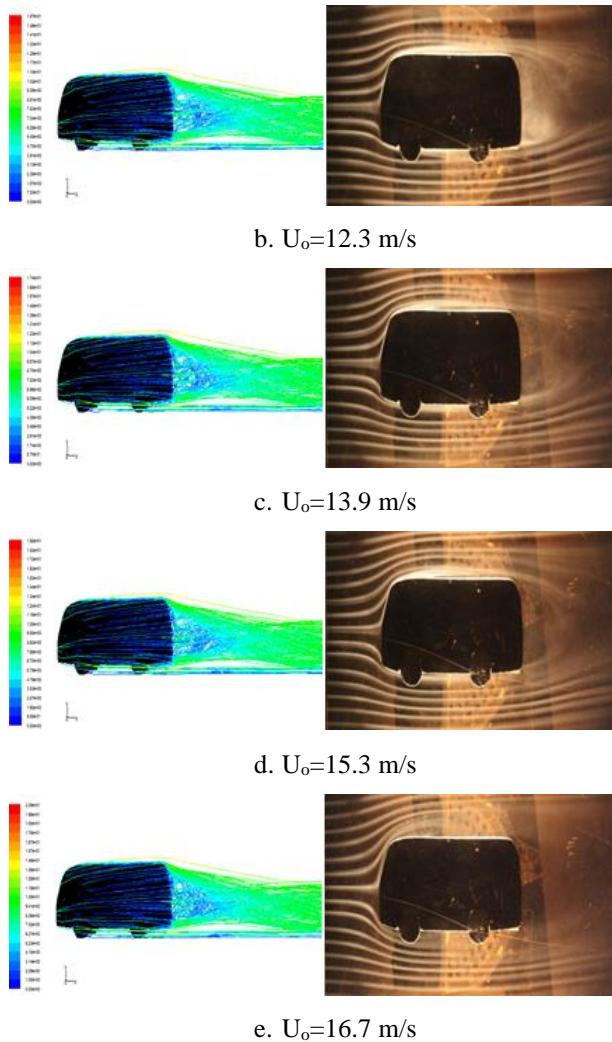
e.  $U_o=16.7 \text{ m/s}$

**Gambar 5.** Perbandingan medan aliran antara komputasional dengan eksperimen pada sudut kemiringan kaca depan  $65^\circ$

Perbandingan medan aliran yang diperoleh dengan komputasional dan eksperimental untuk model uji dengan sudut kemiringan kaca depan  $70^\circ$  diperlihatkan pada Gambar 6.



a.  $U_o=11.1 \text{ m/s}$



**Gambar 6.** Perbandingan medan aliran antara komputasional dengan eksperimen pada sudut kemiringan kaca depan  $70^\circ$

Hasil penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 4, Gambar 5 dan Gambar 6 memberikan informasi bahwa olakan yang terbentuk pada bagian belakang model uji karena adanya separasi aliran. Olakan terbesar terjadi pada model kendaraan dengan sudut kemiringan kaca depan  $70^\circ$  pada kondisi kecepatan *upstream* yaitu  $11.1 \text{ m/s}$ . Hal ini disebabkan karena model kendaraan dengan sudut kemiringan kaca depan  $70^\circ$  merupakan model kendaraan dengan sudut kemiringan kaca depan yang hampir tegak sehingga ketika aliran udara yang melewati model kendaraan, kesulitan mengikuti bentuk model kendaraan dan mengakibatkan aliran balik. Hasil yang diperoleh tersebut juga terkonfirmasi dengan lapisan batas yang dihasilkan lebih tebal pada kondisi sudut kemiringan kaca depan  $70^\circ$  dengan kecepatan *upstream*  $11.1 \text{ m/s}$ .

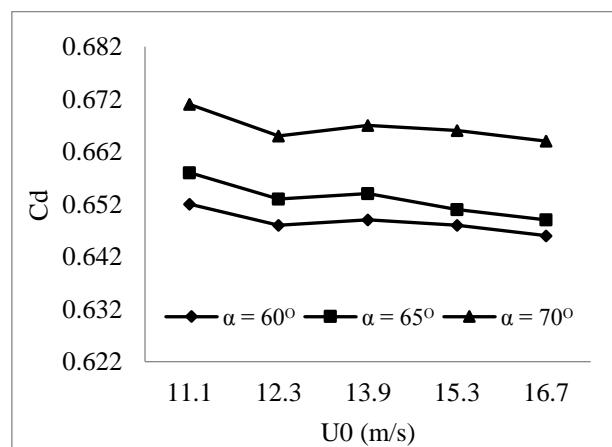
Sementara, olakan terkecil terjadi pada kecepatan kecepatan *upstream* yaitu  $16.7 \text{ m/s}$  dengan sudut kemiringan kaca depan  $60^\circ$ . Hal ini disebabkan karena model kendaraan dengan sudut kemiringan kaca depan  $60^\circ$  merupakan model

kendaraan dengan sudut kemiringan kaca depan paling miring atau lebih aerodinamis dibandingkan dengan dua (2) model uji lainnya sehingga ketika aliran udara yang melewati model kendaraan, dapat mengikuti bentuk model kendaraan dan aliran balik yang terjadi lebih sedikit. Hasil tersebut juga diperkuat dengan lapisan batas yang dihasilkan lebih tipis pada kondisi sudut kemiringan kaca depan  $60^\circ$  dengan kecepatan *upstream*  $16.7 \text{ m/s}$ .

Nilai koefisien hambatan dengan variasi kemiringan kaca depan dengan pendekatan komputasional dirangkum pada Tabel 1. Sementara, hubungan koefisien hambatan aerodinamika terhadap kecepatan *upstream* diperlihatkan pada Gambar 7. Dari Tabel 1 dan Gambar 7 diperoleh informasi bahwa koefisien hambatan aerodinamika terkecil dengan sudut kemiringan kaca depan ( $\alpha$ )  $60^\circ$  sebesar  $0.646$  yang terjadi pada kecepatan *upstream*  $16.7 \text{ m/s}$ . Sementara, untuk sudut kemiringan kaca depan ( $\alpha$ )  $65^\circ$  dan  $70^\circ$  koefisien hambatan aerodinamika terkecil masing-masing  $0.649$  dan  $0.664$  yang keduanya juga terjadi pada kecepatan *upstream*  $16.7 \text{ m/s}$ .

**Tabel 1.** Nilai koefisien hambatan ( $C_d$ ) dengan variasi sudut kemiringan kaca depan ( $\alpha$ ), komputasi

$U_0$ m/s	$C_d$		
	$\alpha = 60^\circ$	$\alpha = 65^\circ$	$\alpha = 70^\circ$
11.1	0.652	0.658	0.671
12.3	0.648	0.653	0.665
13.9	0.649	0.654	0.667
15.3	0.648	0.651	0.666
16.7	0.646	0.649	0.664



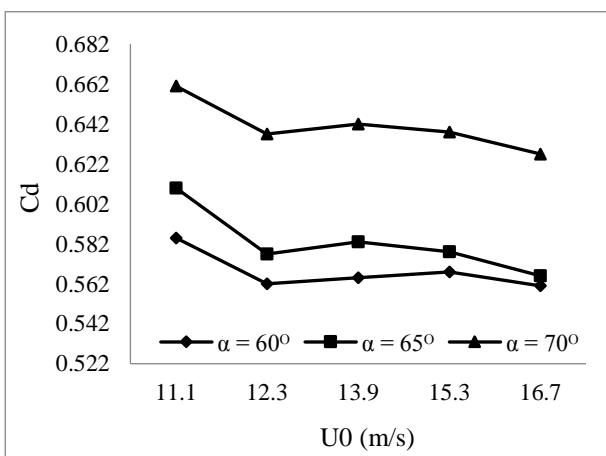
**Gambar 7.** Hubungan  $C_d$  terhadap kecepatan *upstream* dengan sudut kemiringan kaca depan, komputasi

Pada Tabel 2 diperlihatkan nilai koefisien hambatan dengan variasi kemiringan kaca depan dengan pendekatan eksperimental. Sementara,

hubungan koefisien hambatan aerodinamika terhadap kecepatan *upstream* diperlihatkan pada Gambar 8. Dari Tabel 2 dan Gambar 8 menunjukkan bahwa koefisien hambatan aerodinamika terkecil adalah sebesar 0.561 yang terjadi pada kecepatan *upstream* 16.7 m/s dengan sudut kemiringan kaca depan ( $\alpha$ ) 60°. Sementara, untuk sudut kemiringan kaca depan ( $\alpha$ ) 65° dan 70° koefisien hambatan aerodinamika terkecil juga terjadi pada kecepatan *upstream* 16.7 m/s dengan nilai masing-masing 0.566 dan 0.627.

**Tabel 2.** Nilai koefisien hambatan ( $C_d$ ) dengan sudut kemiringan kaca depan ( $\alpha$ ), eksperimen

$U_o$ (m/s)	$C_d$		
	$\alpha = 60^\circ$	$\alpha = 65^\circ$	$\alpha = 70^\circ$
11.1	0.585	0.610	0.661
12.3	0.562	0.577	0.637
13.9	0.565	0.583	0.642
15.3	0.568	0.578	0.638
16.7	0.561	0.566	0.627



**Gambar 8.** Hubungan  $C_d$  terhadap kecepatan *upstream* dengan sudut kemiringan kaca depan, eksperimen

Sementara, perbandingan nilai koefisien hambatan yang diperoleh secara komputasi dan eksperimen diberikan pada Tabel 3. Dari Tabel 3, diperoleh informasi bahwa perbedaan nilai koefisien hambatan yang diperoleh secara komputasi dan eksperimen berada pada range 6.7% sampai 8.7% dengan sudut kemiringan kaca depan ( $\alpha$ ) 60°, sementara untuk sudut kemiringan kaca depan ( $\alpha$ ) 65° dan 70° adalah masing-masing berada pada kisaran 4.8% sampai 5.8% dan 1.6% sampai 5.5%. Sementara, untuk secara keseluruhan hasil yang diperoleh dibawah 10%.

Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa dengan melakukan perubahan geometri bagian depan model kendaraan tipe minibus berdampak pada pengurangan hambatan

aerodinamika. Penelitian ini sejalan dengan yang telah dilakukan oleh Aklis dkk yang menyatakan bahwa modifikasi bentuk geometri depan model kendaraan mampu mengurangi hambatan aerodinamika [7]. Hal senada juga diungkapkan oleh Rahayu S dkk yang menyatakan bahwa pengaturan sudut kemiringan berpengaruh terhadap gaya hambatan aerodinamika dimana semakin besar sudut kemiringan yang dimiliki model, maka semakin besar gaya hambatan aerodinamika yang diterima [8].

**Tabel 3.** Perbandingan nilai koefisien hambatan ( $C_d$ ) secara komputasi dan eksperimen

Metode	$U_o$ (m/s)	$C_d$		
		$\alpha = 60^\circ$	$\alpha = 65^\circ$	$\alpha = 70^\circ$
Komputasi		0.652	0.658	0.671
Eksperimen	11.1	0.585	0.610	0.661
Selisih (%)		6.7	4.8	1.6
Komputasi		0.648	0.653	0.665
Eksperimen	12.3	0.562	0.577	0.637
Selisih (%)		8.7	5.7	4.3
Komputasi		0.649	0.654	0.667
Eksperimen	13.9	0.565	0.583	0.642
Selisih (%)		8.4	5.8	3.8
Komputasi		0.648	0.651	0.666
Eksperimen	15.3	0.568	0.578	0.638
Selisih (%)		8.0	5.7	4.3
Komputasi		0.646	0.649	0.664
Eksperimen	16.7	0.561	0.566	0.627
Selisih (%)		8.5	5.6	5.5

## Kesimpulan

- Perubahan kemiringan kaca depan memberikan pengaruh terhadap medan aliran pada kendaraan tipe minibus. Olakan terkecil terjadi pada kecepatan *upstream* yaitu 16.7 m/s dengan sudut kemiringan kaca depan 60°.
- Perubahan kemiringan kaca depan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap hambatan aerodinamika pada kendaraan tipe minibus. Nilai koefisien hambatan aerodinamika terkecil diperoleh pada model uji dengan kemiringan kaca depan ( $\alpha$ ) 60° sebesar 0.646 dengan pendekatan komputasi, sementara pada pendekatan eksperimen sebesar 0.561 dengan kecepatan *upstream* yaitu 16.7 m/s

## Referensi

- Azis A dan Haryanto, 2011. Analisa kemiringan kaca belakang mobil terhadap karakteristik aerodinamika mobil sedan.

Undergraduate Thesis, Mechanical Engineering Department, Faculty Engineering University, Jakarta.

- [2] Brunn A, Wassen E, Sperber D, Nitsche W, Thiele F, 2007. Active Drag Control for a Generic Car Model. DOI : 10.1007/978-3-540-71439-2\_15.
- [3] Bruneau C.H, 2010. Coupling Active and Passive Techniques to Control the Flow Past the Square Back Ahmed Body. Computers & Fluids 39, pp. 1875-1892.
- [4] White, F.M., 1988. *Fluid Mechanics*. 5<sup>th</sup> Edtion, McGraw-Hill, New York.
- [5] Tarakka R Arifin A.S, Yunus, 2015. Analisis komputasi pengaruh geometri muka dan kontrol aktif suction terhadap koefisien tekanan pada model kendaraan. Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV), Banjarmasin 7-8 Oktober 2015.
- [6] Cengel Y.A and Cimbala, 2006. Fluid Mechanics, Fundamentals and Applications. McGraw Hill. New York.
- [7] Aklis N, Sedyono J, Jatmiko A.W, 2015. Pengaruh modifikasi bentuk bodi mobil terhadap pola aliran dengan menggunakan computational fluid dynamics. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Vol. 16 No 2 Juli 2015. ISSN : 1411-4348.
- [8] Rahayu S, Sahbana M.A, Farid A, 2014. Studi eksperimental pengaruh kemiringan model kendaraan sedan terhadap tekanan hisap dalam wind tunnel. Proton Volume 6 No. 1 Hal 54-60.