



## Kajian komputasi numerik dan eksperimental pengaruh sistem kendali aktif pada model kendaraan

*Numerical computational and experimental study of the effect of active control systems on vehicle models*

W. Rauf\*, M. Rifal, R. Pido, R.H. Boli

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Gorontalo, Jl. Ahmad A. Wahab No. 247, Limboto, Gorontalo, 96214, Indonesia. Whatsapp. 081245114949

\*E-mail: wawanrauf241193@yahoo.com

### ARTICLE INFO

### ABSTRACT

#### Article History:

Received 06 September 2023

Accepted 15 March 2024

Available online 01 April 2024

#### Keywords:

Flow pattern

$C_p$

$C_d$



Body design has an important role in determining the level of the aerodynamics of a vehicle because it is related to the effective use of fuel energy and air pollution. The less aerodynamic a vehicle is, the shorter the vehicle's mileage due to the ineffective use of fuel, most of its energy is used to overcome air resistance. This study aims to examine the effect of the application of an active control system on vehicle models. This study uses the CFD Fluent software to analyze the characteristics of flow patterns, pressure ( $C_p$ ), and drag ( $C_d$ ). Specifically, the obstacle data is validated through experimental testing. The vehicle model tested has a frontal tilt angle of  $25^\circ$  and a dimensional ratio of 1:6 to the original Ahmed body design. Tests were carried out at upstream velocities of 11,11 m/s, 13,89 m/s, and 16,67 m/s by adjusting the suction velocity of 0,2 m/s. The results show that the application of an active control system can delay separation and reduce turbulence intensity, increase the average minimum  $C_p$  value, and reduce drag on vehicle models.

*Dinamika Teknik Mesin, Vol. 14, No. 1, April 2024, p. ISSN: 2088-088X, e. ISSN: 2502-1729*

## 1. PENDAHULUAN

Desain kendaraan memegang peranan penting dalam menentukan tingkat aerodinamis suatu kendaraan. Hal ini dikarenakan efisiensi penggunaan energi bahan bakar erat kaitannya dengan pencemaran udara yang dihasilkan. Semakin kurang aerodinamis suatu kendaraan, maka semakin sedikit pula jangkauan bahan bakarnya karena bahan bakar digunakan secara tidak efisien dan sebagian besar energinya digunakan untuk mengatasi hambatan udara. Oleh karena itu, ketika hambatan udara meningkat, waktu tempuh kendaraan meningkat, jumlah polutan udara yang dihasilkan meningkat, dan kinerja kendaraan menurun (Salam dkk, 2023).

Hambatan udara yang diterima oleh kendaraan sangat besar hubungannya dengan pembentukan medan aliran dan tekanan negatif akibat aliran balik pada bodi belakang kendaraan. Tekanan rendah pada bodi belakang tersebut diakibatkan oleh pola aliran udara yang terseparasi sehingga muncul fenomena tarikan ke arah belakang atau disebut drag aerodinamika. Separasi aliran ini menjadi salah satu penyebab utama besarnya drag aerodinamika kendaraan.

Sejauh ini berbagai penelitian hambatan aerodinamika hanya difokuskan pada desain bodi kendaraan terkait dengan pengaplikasian sistem pasif yang dianggap lebih murah (Deng dkk, 2024). Namun penggunaan sistem pasif tidak memberikan dampak signifikan terhadap pengurangan drag erodinamika karena pola aliran yang dihasilkan bersifat turbulen. Sehingga diperlukan inovasi terkait rekayasa karakteristik pola aliran yang memberikan dampak signifikan terhadap pengurangan drag aerodinamika. Dalam studi dinamika fluida, upaya untuk mengurangi drag aerodinamika bisa dilakukan dengan memodifikasi struktur aliran udara pada sisi belakang bodi melalui penundaan separasi. Penundaan tersebut dapat diperoleh melalui penerapan sistem kendali aktif teknik hisapan (*suction*) yang ditempatkan pada sisi awal terbentuknya separasi (Tarakka dkk, 2023).

Tarakka dkk. (2022) mengkaji pengaruh pengaplikasian kontrol tiupan pada sudut belakang kendaraan yang dimodelkan melalui pengujian komputasi numerik. Model kendaraan uji yang digunakan merupakan modifikasi Ahmed model pada rasio dimensi 1:6. Sistem kendali aktif disetting pada kecepatan tiupan 1,0 m/s dan pada kecepatan upstream 13,9 m/s. Penelitian tersebut menemukan bahwa penerapan sistem aktif blowing pada sisi belakang kendaraan mampu mengurangi terciptanya wake, menunda separasi, meningkatkan medan tekanan minimum sisi belakang kendaraan, serta mengurangi drag aerodinamika sebesar 9,583%.

Rauf dkk. (2020) mengkaji pengaruh kontrol separasi aliran dengan variasi kecepatan hisapan. Tinjauan penelitian berkaitan dengan karakteristik aliran, koefisien tekanan dan koefisien drag. Kecepatan hisapan divariasikan untuk masing-masing sistem dan kecepatan upstream ditentukan sebesar 19,4 m/s. Hasil pengujian mengkonfirmasi terjadi pengurangan wake dan vortex, koefisien tekanan meningkat, dan reduksi drag aerodinamika sebesar 10,897%.

Harinaldi dkk. (2013) meneliti pengaruh sistem kendali aktif jenis tiupan terhadap drag model kendaraan dengan pengujian komputasi sekaligus eksperimental. Proses komputasi numerik menerapkan model turbulensi k-epsilon standard. Sistem aktif blowing berbentuk dua kotak segi empat yang masing-masing ditempatkan pada sisi atas bagian belakang bodi. Model uji yang digunakan memiliki panjang 0,261 meter, tinggi 0,072 meter dan lebar 0,09725 meter. Hasil pengujian mengkonfirmasi terjadi reduksi drag 13,92% pada metode komputasi serta 11,11% pada metode eksperimental.

Rauf dkk. (2022) mengkaji pengaruh pengaplikasian kendali aktif tiupan terhadap besarnya hambatan aerodinamika model kendaraan. Pengujian menggunakan metode komputasi numerik dengan memanfaatkan software CFD Fluent yang hasilnya divalidasi dengan metode eksperimental. Hasil yang diperoleh dari penerapan metode komputasi numerik berupa pembentukan pola aliran pada sisi belakang model, distribusi tekanan dinding belakang dan nilai hambatan aerodinamika model. Untuk pengujian eksperimental hasil yang diperoleh hanya berupa hambatan aerodinamika. Hasil pengujian memperlihatkan pengaplikasian kendali aktif tiupan berhasil menunda separasi, meningkatkan nilai tekanan sekaligus mereduksi hambatan aerodinamika.

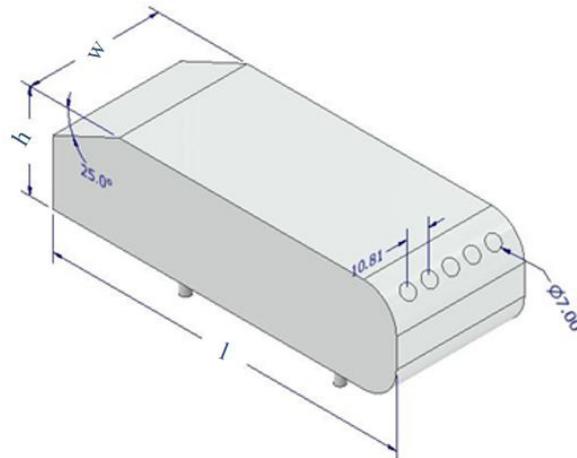
## 2. METODE PENELITIAN

Dalam kajian ini model kendaraan berbentuk bluff body yang merujuk pada Ahmed model (Ahmed dkk, 1984). Hasil pengujian model tanpa sistem kendali aktif dan model menggunakan sistem kendali aktif berupa hisapan dibandingkan dalam kajian ini. Kajian ini merujuk pada riset yang dilakukan oleh Tarakka dkk terkait pengaplikasian teknologi *suction* pada mobil (Tarakka dkk, 2017). Kemiringan sisi depan model (*slant angel*) ditentukan  $25^\circ$  sedangkan rasio model uji terhadap Ahmed model ditentukan sebesar 0,17 atau 1:6. Hasil penentuan rasio diperoleh panjang model uji 17,4 cm, tinggi 4,8 cm, dan lebar 6,5 cm. Kecepatan *upstream* divariasikan dan ditentukan 11,11 m/s, 13,89 m/s, dan 16,67 m/s. Sistem kendali aktif hisapan dengan total lima lubang diposisikan tepat pada sudut atas sisi belakang kendaraan yang dimodelkan, dimana diameter ( $\varnothing$ ) masing-masing lubang sama yaitu 0,7 cm. Sehingga diperoleh jarak (s) masing-masing lubang sebesar 1,081 cm. Kecepatan aliran sistem kendali aktif hisapan ditentukan 0,2 m/s melalui penggunaan seperangkat alat *vacum*. Selang angin yang sudah di sambungkan dengan *vacum* (alat penghisap aliran udara), diaplikasikan pada sisi ujung belakang model. Tujuannya adalah ketika aliran udara yang mencapai sisi belakang, dapat dihisap sehingga mengurangi separasi aliran udara. Lima lubang pada sisi belakang model seperti ditampilkan pada gambar 1 merupakan saluran yang tersambung dengan alat penghisap udara (vakum). Kelebihan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah penggunaan kecepatan hisapan yang lebih rendah sehingga kebutuhan energi eksternal untuk menggerakkan alat hisapan lebih kecil.

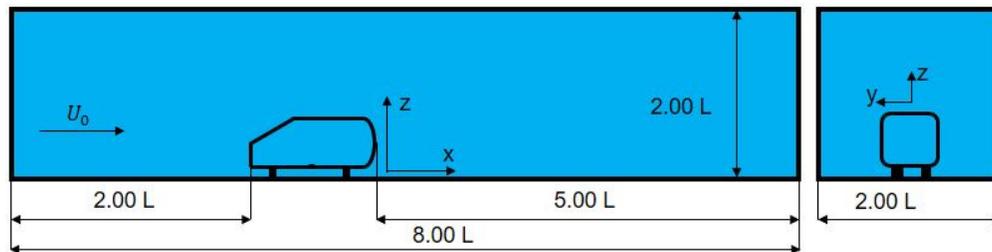
Pengujian difokuskan menggunakan metode komputasi numerik dengan bantuan perangkat *CFD Fluent* guna menganalisis pola aliran pada daerah belakang, tekanan ( $C_p$ ) pada dinding belakang kendaraan yang dimodelkan serta drag aerodinamika yang dihasilkan dengan domain komputasi seperti disajikan pada gambar 2. Sedangkan tipe *mesh* yang terapkan berupa *tetra hybrid* dengan jenis *hex core native*, dimana hasil meshingnya disajikan pada gambar 3.

Pengamatan karakteristik pola aliran ditentukan pada sisi belakang tepat dimana terjadinya proses separasi aliran terbentuk. Sedangkan besaran nilai distribusi tekanan juga diperoleh pada dinding belakang yang dibagi menjadi 5 area berbeda, dimana masing-masing area didefinisikan sebagai  $z/w = -0,25$ ,  $z/w = -0,50$ ,  $z/w = 0$ ,  $z/w = 0,50$ , dan  $z/w = 0,25$  searah horizontal. Untuk daerah searah vertikal ditentukan sebanyak 5 area untuk

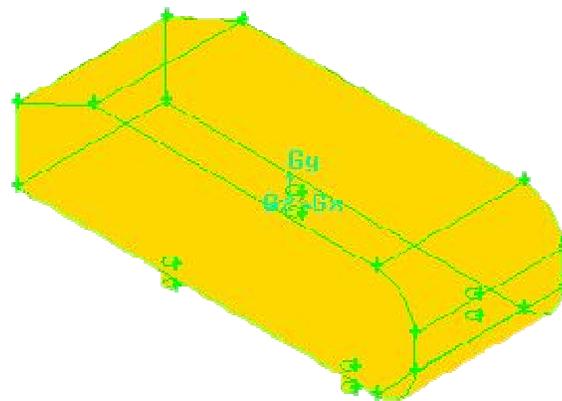
model tanpa sistem kendali aktif masing-masing didefinisikan sisi  $y/h = 0,83$ , sisi  $y/h = 0,67$ , sisi  $y/h = 0,50$ , sisi  $y/h = 0,30$  dan sisi  $y/h = 0,17$ . Sedangkan untuk model dengan penerapan sistem kendali aktif berupa hisapan ditentukan sebanyak 4 area, dimana masing-masing area didefinisikan sebagai sisi  $y/h = 0,67$ , sisi  $y/h = 0,50$ , sisi  $y/h = 0,30$ , dan sisi  $y/h = 0,17$ . Untuk kendaraan uji dengan penerapan sistem kendali aktif ini, pada sisi  $y/h = 0,83$  tidak digunakan untuk memperoleh data distribusi tekanan karena pada sisi tersebut merupakan area penempatan sistem kendali aktif berupa hisapan. Untuk memperoleh hasil yang presisi maka besaran distribusi tekanan pada masing-masing sisi  $z/w$  dirata-ratakan berdasarkan nilai sisi  $y/h$ . Lebih jelas area memperoleh nilai distribusi tekanan disajikan pada gambar 4.



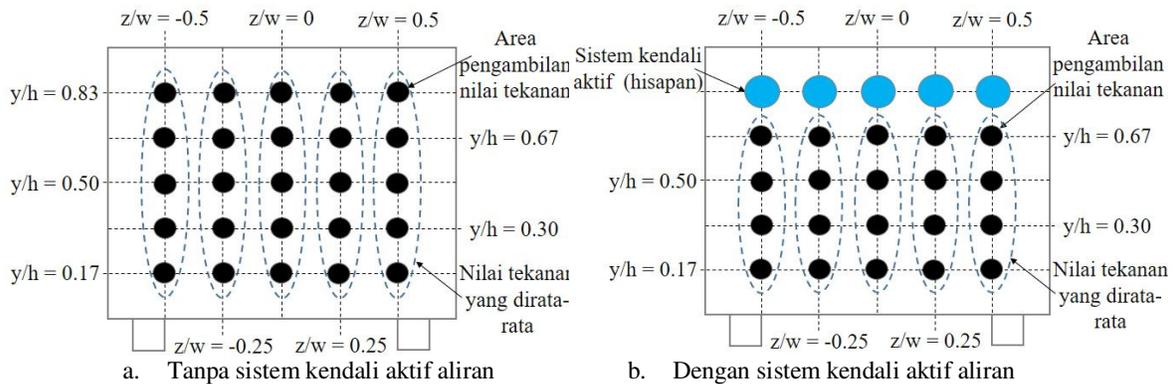
Gambar 1. Desain kendaraan yang dimodelkan



Gambar 2. Domain komputasi numerik



Gambar 3. Tampilan mesh hex core native



Gambar 4. Area pengambilan nilai distribusi tekanan

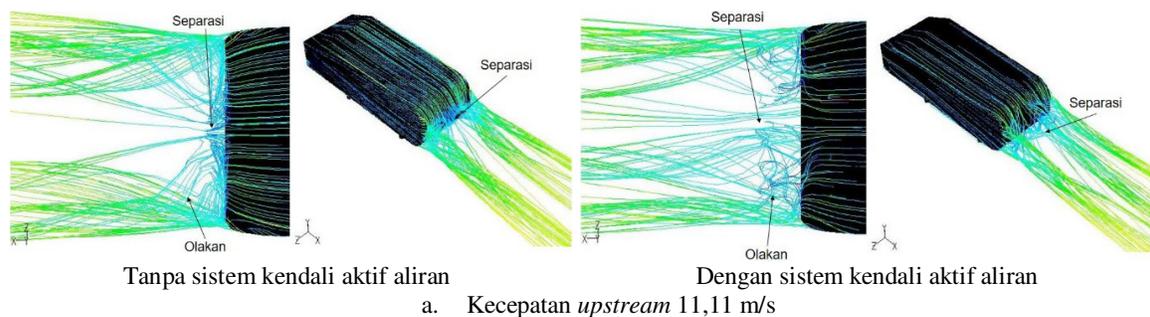
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Karakteristik pola aliran

Perbedaan karakteristik pola aliran model tanpa sistem kendali aktif dan model menggunakan kendali aktif berupa hisapan disajikan pada gambar 5. Pada model tanpa pengamplifikasian sistem kendali aktif pada semua kecepatan upstream (11,11 m/s, 13,89 m/s dan 16,67 m/s), aliran mengalami separasi saat berada pada sisi belakang sehingga menimbulkan penumpukan olakan udara yang sangat besar tepat pada tepi belakang model. Penumpukan olakan ini menciptakan tekanan negatif pada dinding belakang sehingga terjadi selisih nilai tekanan yang besar antara dinding depan dan tepi belakang. Perbedaan tekanan tersebut menjadi sebab utama munculnya drag aerodinamika yang besar karena fenomena tarikan ke arah belakang yang dialami oleh kendaraan. Terlihat pula bahwa aliran yang mengalami olakan pada sisi tengah, ditarik mengalir menuju sisi samping membentuk pusaran *longitudinal* yang besar sehingga intensitas aliran cenderung tidak merata.

Pada model dengan pengaplikasian sistem kendali aktif berupa hisapan pada semua kecepatan upstream (11,11 m/s, 13,89 m/s, dan 16,67 m/s), terjadi fenomena penundaan separasi aliran. Olakan yang terbentuk akibat separasi lebih sedikit dan cenderung tidak menempel pada dinding sehingga meminimalkan tekanan negatif. Menjauhnya proses olakan ini dari dinding menjadikan intensitas aliran pada area tengah sisi belakang model kendaraan cenderung merata serta fenomena pusaran *longitudinal* pada sisi samping menjadi lebih sedikit. Minimalisasi tekanan negatif ini juga mengkonfirmasi berkurangnya drag aerodinamika yang diterima oleh kendaraan. Temuan ini mengkonfirmasi studi yang dilakukan oleh Rustan Tarakka dkk, dimana penerapan sistem kendali aktif mampu menunda separasi dan mengurangi aliran yang bergolak (Tarakka dkk., 2021).

Dengan demikian dapat dibuktikan secara meyakinkan bahwa pengaplikasian sistem kendali aliran metode hisapan mampu menunda separasi pada daerah belakang model kendaraan. Hal ini secara konsisten ditunjukkan pada semua kecepatan *upstream* (11,11 m/s, 13,89 m/s dan 16,67 m/s) dibandingkan dengan model tanpa pengaplikasian sistem kendali aktif aliran. Khusus untuk model dengan pengaplikasian sistem kendali aktif aliran, intensitas ketebalan olakan yang terbentuk semakin menipis dan terurai menjauhi dinding belakang seiring dengan peningkatan kecepatan *upstream*. Terlihat bahwa intensitas olakan terkecil diperoleh pada model dengan pengaplikasian sistem kendali aktif aliran teknik hisapan pada kecepatan 16,67 m/s.





0,3246 dengan nilai rata-rata diperoleh -0,2981. Sedangkan untuk kecepatan 16,67 m/s, nilai  $C_p$  masing-masing area  $z/w$  juga secara berurutan ditemukan -0,2796, -0,2007, -0,2533, -0,2269, dan -0,2533 dengan nilai rata-rata diperoleh -0,2428. Seperti halnya pada model tanpa pengaplikasian sistem kendali aktif, pada model dengan pengaplikasian sistem kendali aktif juga ditemukan bahwa  $C_p$  minimum terendah ditemukan pada sisi samping belakang model kendaraan  $z/w$  (-0,50 dan 0,50) meskipun nilai  $C_p$  minimum tersebut tidak serendah yang diperoleh pada model tanpa pengaplikasian sistem kendali aktif. Nilai  $C_p$  minimum terendah tersebut disebabkan oleh pertemuan aliran dari sisi atas yang terseparasi dengan aliran dari sisi samping model. Namun dengan demikian penerapan sistem kendali aktif teknik hisapan pada model kendaraan terbukti mampu meningkatkan koefisien tekanan ( $C_p$ ) sehingga tekanan negatif sebagai penyebab utama hambatan aerodinamika mampu diminimalisir. Hasil ini terkonfirmasi atas riset yang dilakukan oleh Boli dkk yang menyebutkan bahwa penerapan sistem kendali aktif mampu memberikan meningkatkan tekanan pada sisi belakang (Boli dkk, 2023).

Tabel 2.  $C_p$  minimum model dengan sistem kendali aktif

$z/w$	Dengan sistem kendali aktif aliran		
	11,11 m/s	13,89 m/s	16,67 m/s
-0,50	-0,5237	-0,3246	-0,2796
-0,25	-0,3021	-0,2450	-0,2007
0	-0,3852	-0,3511	-0,2533
0,25	-0,3021	-0,2450	-0,2269
0,50	-0,4683	-0,3246	-0,2533
Rata-rata	-0,3963	-0,2981	-0,2428

Perbandingan nilai  $C_p$  minimum rata-rata tanpa sistem kendali aktif dan dengan pengaplikasian sistem kendali aktif aliran pada kecepatan upstream 11,11 m/s, 13,89 m/s dan 16,67 m/s diperlihatkan pada tabel 3. Hasilnya menunjukkan pengaplikasian sistem kendali aktif berhasil menaikkan tekanan minimum rata-rata dibandingkan dengan model tanpa sistem kendali aktif. Kenaikan tekanan terjadi pada semua kecepatan upstream dengan presentase masing-masing 11,11 m/s sebesar 41,7634%, 13,89 m/s sebesar 48,2735% dan 16,67 m/s terjadi kenaikan sebesar 54,6592%. Terlihat bahwa kenaikan terjadi kenaikan presentase tekanan seiring dengan peningkatan kecepatan upstream yang diterapkan, dimana pada kecepatan upstream tertinggi (16,67 m/s) merupakan presentase kenaikan terbesar. Hal ini mengkonfirmasi pengamatan pada gambar 5 yang memperlihatkan model dengan pengaplikasian sistem kendali aktif pada kecepatan upstream 16,67 m/s memiliki intensitas olakan yang lebih kecil dibanding dengan model lainnya.

Tabel 3. Perbandingan presentase  $C_p$  minimum

Kecepatan Upstream	Rata-rata $C_p$ minimum		Peningkatan tekanan (%)
	Tanpa kendali aktif	Dengan kendali aktif	
11,11	-0,6805	-0,3963	41,7634
13,89	-0,5763	-0,2981	48,2735
16,67	-0,5355	-0,2428	54,6592

### 3.3. Hambatan ( $C_d$ )

Hambatan aerodinamika ( $C_d$ ) model kendaraan tanpa sistem kendali aktif dan menggunakan sistem kendali aktif teknik hisapan untuk pendekatan komputasi disajikan pada tabel 4. Nilai  $C_d$  model tanpa kendali aktif untuk setiap kecepatan upstream (11,11 m/s, 13,89 m/s, dan 16,67 m/s) secara berurutan dituliskan 1,5396, 1,5023, dan 1,4687. Sedangkan untuk model dengan pengaplikasian sistem kendali aktif, nilai  $C_d$  juga secara berurutan dituliskan 1,4161, 1,3663, dan 1,3233. Dari data tersebut ditemukan bahwa terjadi penurunan nilai  $C_d$  seiring dengan peningkatan kecepatan upstream baik model tanpa sistem kendali aktif maupun dengan pengaplikasian sistem kendali aktif aliran. Dibandingkan dengan model tanpa sistem kendali aktif, nilai  $C_d$  untuk model dengan penerapan sistem kendali aktif mengalami reduksi hambatan pada setiap kecepatan. Besar nilai reduksi untuk setiap kecepatan 11,11 m/s, 13,89 m/s, dan 16,67 m/s secara berturut dituliskan 8,0216%, 9,0528%, dan 9,8999%.

Tabel 4. Pendekatan Komputasi

Kecepatan Upstream (m/s)	Hambatan ( $C_d$ )		Reduksi hambatan (%)
	Tanpa kendali aktif	Dengan kendali aktif	
11,11	1,5396	1,4161	8,0216
13,89	1,5023	1,3663	9,0528
16,67	1,4687	1,3233	9,8999

Hambatan ( $C_d$ ) model kendaraan tanpa sistem kendali aktif dan menerapkan sistem kendali aktif teknik hisapan untuk pendekatan eksperimental disajikan pada tabel 5. Nilai hambatan ( $C_d$ ) model tanpa sistem kendali aktif untuk setiap kecepatan upstream 11,11 m/s, 13,89 m/s, dan 16,67 m/s secara berurutan dituliskan 1,5072, 1,4694, dan 1,4390. Sedangkan model dengan pengaplikasian sistem kendali aktif aliran, nilai  $C_d$  juga secara berurutan dituliskan 1,3621, 1,3255, dan 1,2923. Seperti halnya pada pendekatan komputasi, untuk pendekatan eksperimental juga ditemukan terjadi penurunan nilai  $C_d$  seiring dengan peningkatan kecepatan upstream baik model tanpa sistem kendali aktif maupun dengan pengaplikasian sistem kendali aktif aliran. Pengaplikasian sistem kendali aktif terbukti mampu mereduksi hambatan aerodinamika melalui pendekatan eksperimental. Nilai besaran reduksi masing-masing kecepatan upstream dituliskan 9,6271% untuk kecepatan 11,11 m/s, 9,7931% untuk kecepatan 13,89 m/s, dan 10,1946% untuk kecepatan upstream 16,67 m/s.

Tabel 5. Pendekatan Eksperimental

Kecepatan Upstream (m/s)	Hambatan ( $C_d$ )		Reduksi hambatan (%)
	Tanpa kendali aktif	Dengan kendali aktif	
11,11	1,5072	1,3621	9,6271
13,89	1,4694	1,3255	9,7931
16,67	1,4390	1,2923	10,1946

Secara keseluruhan penerapan sistem kendali aktif aliran teknik hisapan terbukti mampu mereduksi hambatan ( $C_d$ ). Dimana semakin besar kecepatan upstream yang diterapkan, maka besaran nilai reduksi juga semakin besar baik secara komputasi maupun eksperimental. Reduksi  $C_d$  tertinggi didapatkan pada kecepatan upstream 16,67 m/s dan sekaligus terkonfirmasi dari hasil pengamatan pola aliran serta nilai koefisien tekanan minimum yang memperlihatkan bahwa model dengan penerapan sistem kendali aktif berhasil menunda separasi, mengurangi intensitas olakan secara signifikan, dan menaikkan nilai tekanan ( $C_p$ ) dinding belakang. Hasil ini berkesesuaian dengan riset dari Rustan Tarakka dkk yang menemukan bahwa penerapan sistem kendali aktif pada tepi belakang kendaraan yang dimodelkan menciptakan efek pengurangan nilai hambatan ( $C_d$ ). Melalui pengurangan hambatan ini pula dapat dipastikan bahwa penggunaan bahan bakar pada kendaraan lebih efisien dan produksi polutan udara dapat dikurangi. Selain itu performa kendaraan juga akan mengalami peningkatan signifikan (Tarakka dkk., 2021).

#### 4. KESIMPULAN

Penerapan sistem kendali aktif teknik hisapan (*suction*) secara keseluruhan berhasil menunda separasi, mengurangi intensitas olakan, menaikkan nilai tekanan minimum ( $C_p$ ) serta mereduksi hambatan aerodinamika ( $C_d$ ). Hal tersebut berlaku pada semua kecepatan upstream, dimana terjadi peningkatan reduksi seiring peningkatan kecepatan upstream. Untuk penelitian selanjutnya direkomendasikan untuk melakukan pengujian komputasi maupun eksperimental pada kecepatan tinggi. Dan disarankan untuk mendesain seperangkat alat digital untuk mendeteksi tingkat aerodinamis sebuah kendaraan sehingga penggunaan energi dapat dimaksimalkan.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah terlibat dalam penulisan jurnal ini. Ucapan terima kasih pula kami sampaikan kepada Lembaga Peneliti dan Pengabdian Universitas Gorontalo yang telah memfasilitasi pembiayaan dan penerbitan jurnal penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

Ahmed, S.R., Ramm G. and Faltin, G, SAE paper, Detroit, Michigan, USA, 840300- 01, 1984.

- Boli, R., Rauf, W., Rifal, M., Pido, R, Kajian pengaruh kontrol aliran terhadap koefisien hambat model kendaraan, *Radial*, 11(1), 141-146, 2023.
- Deng, G., Fan, D., Zhang, B., Zhou, Y, Active control for a low-drag Ahmed vehicle model based on steady blowing, *Physics of Fluid*, doi: 10.1063/5.0176139, 2024.
- Harinaldi., Budiarmo., Tarakka, R., Simanungkalit, S.P, Effect of active control by blowing to aerodynamic drag of bluff body van model, *International Journal of Fluid Mechanics Research*, 40(4), 312-323, 2013.
- Rauf, W., Rifal, M., Boli, R.H, Kajian komputasi dan eksperimental pengaruh kontrol aktif terhadap hambatan aerodinamika model kendaraan, *Radial*, 10(1), 171-182, 2022.
- Rauf, W., Tarakka, R., Jalaluddin., Ihsan, M, Effect of flow separation control with suction velocity variation: study of flow characteristics, pressure coefficient, and drag coefficient, *Universal Journal of Mechanical Engineering*, 8(3), 142-151, 2020.
- Salam, N., Tarakka, R., Rudiansyah., Mukrim, M.I, Analysis of the effect of rear-window tilt on aerodynamic drags of sedan vehicle model, *Proceeding of International Conference on Energy, Manufacture, Advanced Material and Mechatronics 2021*, 2023.
- Tarakka, R., Salam, N., Mochtar, A.A., Ihsan, M., Rauf, W, Kajian komputasi pengaruh penerapan blowing pada bagian belakang model kendaraan, *Semesta Teknika*, 25(1), 33-39, 2022.
- Tarakka, R., Salam, N., Jalaluddin., Rauf, W., Ihsan, M, Aerodynamic drag reduction on the application of suction flow control on vehicle model with varied upstream velocity, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, doi:10.1088/1757-899X/1173/1/012045, 1-9, 2021.
- Tarakka, R., Salam, N., Jalaluddin., Rauf, W., Ihsan, M, Kajian aerodinamika pada model kendaraan dengan penerapan kontrol aktif suction, *METAL: Jurnal Sistem Mekanik dan Termal*, 5(1), 38-43, 2021.
- Tarakka, R., Salam, N., Haddada, J, Suction active control application on vehicle models with variation of front geometry, *Prosiding SNTTM XVI*, 25-28, 2017.
- Tarakka, R., Jalaluddin., Salam, N., Musyafir., Mukrim, M.I, Effects of the additions of fin and suction on aerodynamic drags of vehicle model, *Proceeding of International Conference on Energy, Manufacture, Advanced Material and Mechatronics 2021*, 1-10, 2023.