

Analisis Komputasi Pengaruh Kontrol Aktif Suction pada Hambatan Aerodinamika Model Kendaraan

Rustan Tarakka, Harinaldi, Budiarmo, Nasaruddin Salam, Baharuddin Mire

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10 Makassar, 90245

²Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
Kampus Baru UI Depok, 16242

email : rustan_tarakka@yahoo.com, harinald@eng.ui.ac.id, mftbd@eng.ui.ac.id,
nassalam.unhas@yahoo.co.id, baharuddin_unhas@yahoo.com

Abstrak

Olakan yang terjadi pada bagian belakang kendaraan akan menyebabkan terjadinya gaya hambat tekanan (*pressure drag*) yang dapat mengganggu performa kendaraan saat melaju. Karena itu, banyak kajian yang menunjukkan bahwa strategi kontrol aktif aliran memberikan suatu alternatif yang prospeknya sangat baik untuk mengurangi hambatan aerodinamika pada kendaraan. Kontrol aktif aliran memerlukan sumber energi luar untuk mengontrol aliran di sekitar kendaraan tanpa perlu mengganggu bentuknya. Salah satu konsep pemberian energi ini dapat dilakukan dengan mekanisme *suction* (hisapan). Aliran sekitar kendaraan merupakan aliran yang kompleks karena interaksi yang nonlinear antara aliran udara dengan bagian dan permukaan kendaraan. Penggunaan model geometris yang dapat menggambarkan fenomena fisik pada kendaraan yang sesungguhnya adalah cara yang efisien dalam mengembangkan kontrol aktif aliran sebagai solusi pengurangan hambatan aerodinamika pada kendaraan. Pada penelitian ini, digunakan model *reversed Ahmed body* (*body Ahmed* terbalik) dengan kemiringan pada bagian depan adalah (ϕ) 25° . Model *reversed Ahmed body* merupakan model kendaraan yang disederhanakan dan dianggap dapat menggambarkan keadaan aliran pada model real. Model *reversed Ahmed body* dilengkapi dengan kontrol aktif aliran berupa *suction* yang diletakkan pada bagian belakang model uji. Penelitian dilakukan dengan pendekatan komputasi menggunakan *Software CFD Fluent 6.3*. Model turbulensi yang digunakan adalah *k-epsilon* standar. Sementara, kecepatan *upstream* dan kecepatan *suction* yang digunakan adalah masing-masing 16.7 m/s dan 0.5 m/s. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa dengan penempatan *suction* pada bagian belakang dari model uji memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan distribusi tekanan sebesar 13.72%. Selain itu, juga diperoleh pengurangan hambatan aerodinamika pada model kendaraan sebesar 14.11%.

Keywords: *CFD, distribusi tekanan, hambatan aerodinamika, model kendaraan, suction*

Pendahuluan

Ketika kendaraan melaju pada suatu kecepatan, viskositas fluida menyebabkan udara cenderung menempel pada permukaan kendaraan dan membentuk lapisan batas (*boundary layer*). Aliran udara di sekitar kendaraan menyebabkan tekanan ke dalam lapisan batas. Ketika aliran udara mencapai bagian belakang kendaraan, aliran mengalami separasi. Hal tersebut menyebabkan terjadinya daerah turbulen yang besar dengan tekanan yang rendah di bagian belakang kendaraan yang disebut dengan olakan (*wake*). Olakan tersebut menyebabkan terjadinya gaya hambat tekanan (*pressure drag*) yang dapat mengganggu performa kendaraan saat melaju (Anderson, J.D., 2001). Karena itu, banyak kajian yang menunjukkan bahwa strategi kontrol aktif

aliran memberikan suatu alternatif yang prospeknya sangat baik untuk mengurangi hambatan aerodinamika pada kendaraan.

Kontrol aktif aliran memerlukan sumber energi luar untuk mengontrol aliran di sekitar kendaraan tanpa perlu mengganggu bentuknya. Salah satu konsep pemberian energi ini dapat dilakukan dengan mekanisme *suction* (hisapan). Aliran sekitar kendaraan merupakan aliran yang kompleks karena interaksi yang nonlinear antara aliran udara dengan bagian dan permukaan kendaraan. Penggunaan model geometris yang dapat menggambarkan fenomena fisik pada kendaraan yang sesungguhnya adalah cara yang efisien dalam mengembangkan kontrol aktif aliran sebagai solusi pengurangan hambatan aerodinamika pada kendaraan (Gad-El-Hak, M., 1996)

Roumeas et al (2009), telah melakukan penelitian secara numerik tentang pengurangan *drag* dengan mengontrol separasi aliran pada bagian belakang kendaraan. Simulasi dilakukan dengan menggunakan metode *Lattice Boltzmann 3D* dengan model turbulensi *k-epsilon RNG*. Model uji yang digunakan adalah *Ahmed model* dengan sudut kemiringan 25° terhadap bidang horizontal. Bilangan Reynolds yang digunakan berdasarkan panjang model adalah 2.8×10^6 . Kecepatan *suction* diset pada 24 m/s (0.6 V_o), dimana kecepatan *upstream* V_o adalah 40 m/s. Kontrol aliran yang digunakan adalah *continuous suction* yang ditempatkan pada sisi miring bagian belakang dari mobil *fatsback*. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pengaruh dari *suction* (hisapan) memberikan efek *reattachment* pada aliran yang terseparasi pada dinding bidang miring *Ahmed body* dan pengurangan *drag* hingga 17%.

Serupa dengan Krajinović S. & Fernandes J (2011), juga melakukan suatu penelitian tentang simulasi numerik terhadap aliran di sekitar model kendaraan yang disederhanakan dengan menggunakan kontrol aktif aliran. LES (*large eddy simulation*) digunakan untuk mempelajari pengaruh dan mekanisme aliran yang dihasilkan dengan menggunakan kontrol aktif aliran yang diaplikasikan pada geometri kendaraan (*Ahmed body*) dua dimensi. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa adanya peningkatan tekanan dasar dan pengurangan *drag* sekitar 11%. Sementara, penelitian tentang analisis komputasi kontrol aktif aliran untuk mereduksi *drag* aerodinamika terhadap van model telah dilakukan Harinaldi et al (2011). Pada penelitian ini, model uji yang digunakan adalah modifikasi Ahmed model (*modified/reversed Ahmed model*) dengan ukuran $\frac{1}{4}$ dari *Ahmed model* original. Bagian depan dari model mempunyai kemiringan 35° terhadap bidang horizontal. Bilangan Reynolds yang digunakan adalah 2.98×10^5 berdasarkan panjang model $L = 0.261$ m dan kecepatan *upstream* $U_o = 16.7$ m/s. *Suction* merupakan salah satu kontrol aktif yang diaplikasikan pada penelitian ini yang ditempatkan pada bagian belakang dari model. Kecepatan *suction* diset pada 1 m/s, 5 m/s, 10 m/s dan 15 m/s. Pengurangan *drag* terbaik yang diperoleh sebesar 15.83%.

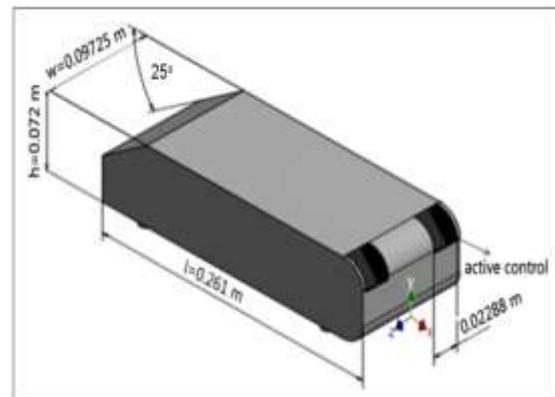
Pendekatan komputasi dengan menggunakan *software CFD Fluent 6.3* digunakan pada penelitian ini dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh penempatan *suction* pada hambatan aerodinamika model kendaraan.

Metodologi Penelitian

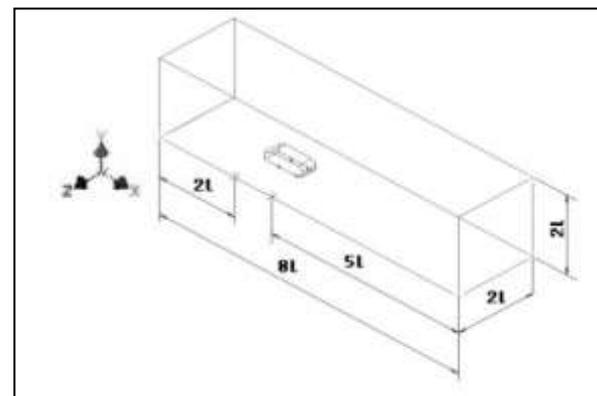
Model uji yang digunakan pada penelitian ini diperlihatkan pada Gb. 1. Model tersebut adalah model kendaraan yang disederhanakan dan mempunyai disain dasar berupa *body Ahmed* terbalik (*reversed Ahmed body*) yang mempunyai rasio geometri 0.25 dari model orisinal *Ahmed body* (Ahmed S.R., et al, 1984). Karena itu, model uji memiliki dimensi panjang $l = 0.261$ m, lebar $w = 0.09725$ m, dan tinggi $h = 0.072$ m. Model *reversed Ahmed body* ini mempunyai sudut kemiringan (ϕ) 25° pada bagian depan terhadap bidang horizontal.

Komputasi domain dari *reversed Ahmed model* yang berbentuk 3D yang digunakan pada penelitian ini ditampilkan pada Gb. 2. Dari Gb. 2, terlihat bahwa komputasi domain mempunyai panjang (L) = 8l, lebar (W) = 2l, dan tinggi (H) = 2l (l = panjang model dalam arah-x).

Kecepatan *upstream* dan kecepatan *suction* adalah masing-masing 16.7 m/s dan 0.5 m/s yang digunakan pada penelitian ini. Persamaan atur (*governing equation*) diselesaikan dengan komputasi menggunakan *software CFD FLUENT 6.3* dengan basis perhitungan metode volume hingga (User's Guide Manual of Fluent 6.3, 2006)



Gambar 1. Dimensi model kendaraan



Gambar 2. Domain aliran dalam CFD

Model turbulensi *k-epsilon standard* digunakan pada pendekatan komputasi dengan persamaan seperti yang ditampilkan pada persamaan (1) dan (2).

a. Energi Kinetik

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k + P_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (1)$$

b. Laju Disipasi

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (P_k + C_{3\epsilon} P_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \quad (2)$$

Hubungan koefisien *drag* dengan gaya *drag* yang terjadi pada *bluff body* ditampilkan pada persamaan (3).

$$C_d = \frac{F_d}{\frac{1}{2} \rho V_\infty^2 S} \quad (3)$$

dimana ρ adalah densitas udara, V_∞ adalah kecepatan *upstream*, S adalah luas penampang dan F_d adalah besarnya gaya *drag* yang terjadi pada model kendaraan disepanjang arah longitudinal. Besarnya gaya *drag* dapat dihitung dari viskositas gaya *drag* dan tekanan gaya *drag*, dimana berlaku persamaan :

$$F_d = \int \tau_w \sin \theta dS + \int p \cos \theta dS \quad (4)$$

Substitusi persamaan (3) dan (4) menjadi :

$$C_d = \int \frac{\tau_w}{\frac{1}{2} \rho V_\infty^2 S} \sin \theta dS + \frac{\int C_p \cos \theta dS}{S} \quad (5)$$

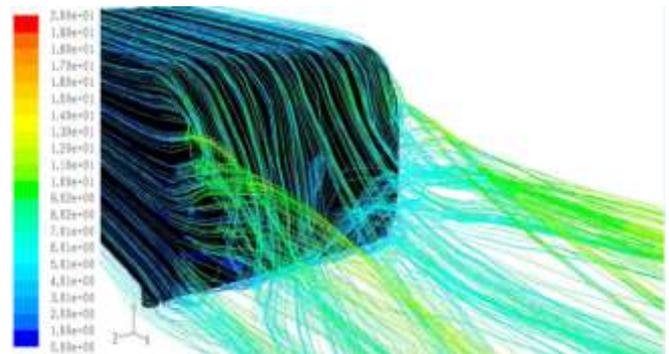
dimana $\tau_w = \mu(du/dy)_w$ adalah *wall shear stress* yang didapat dari *gradien wall velocity* dan $C_p = (p-p_\infty) / (\rho V_\infty^2 / 2)$ adalah koefisien tekanan yang didapat dari distribusi tekanan di *wall*.

Hasil dan Pembahasan

Medan Kecepatan

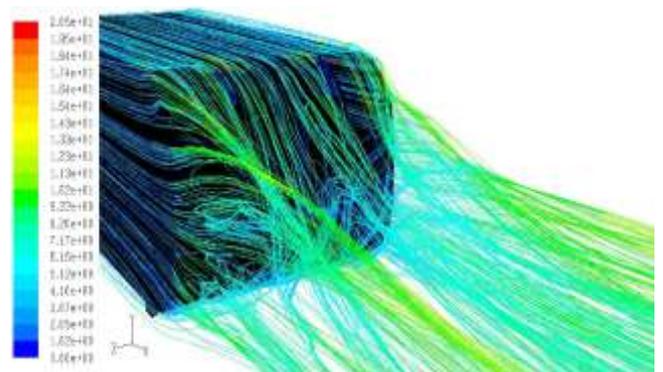
Pola aliran yang dihasilkan pada bagian belakang dari *reversed Ahmed body* dengan kemiringan bagian depan ϕ 25° tanpa kontrol aliran dengan kecepatan *upstream* yang diberikan adalah 16.7 m/s ditampilkan pada Gb. 3.

Dari Gb. 3., terlihat bahwa separasi aliran terjadi pada bagian belakang dari *reversed Ahmed body* mengakibatkan adanya aliran balik sehingga olakan (*wake*) terbentuk. Separasi aliran terjadi karena fluida tidak dapat mengalir mengikuti bentuk permukaan dari *reversed Ahmed model*. Struktur olakan yang terbentuk pada bagian belakang *reversed Ahmed body*, selain disebabkan oleh separasi aliran juga dipengaruhi oleh adanya *vortex longitudinal* yang muncul pada dari bagian tepi samping, sisi belakang pada model *reversed Ahmed body* yang disebabkan karena adanya perbedaan kecepatan aliran antara daerah olakan dan daerah samping.



Gambar 3. Pathline kecepatan tanpa kontrol aliran dengan kecepatan *upstream*, $U_o = 16.7$ m/s

Gb. 4 memperlihatkan pengaruh kontrol aliran berupa *suction* dengan kecepatan 0.5 m/s terhadap pola aliran yang terbentuk pada bagian belakang dari *reversed Ahmed body* dengan kecepatan *upstream* diberikan sebesar 16.7 m/s.



Gambar 4. Pathline kecepatan dengan *suction* dengan kecepatan, $U_{sc} = 0.5$ m/s dan kecepatan *upstream*, $U_o = 16.7$ m/s

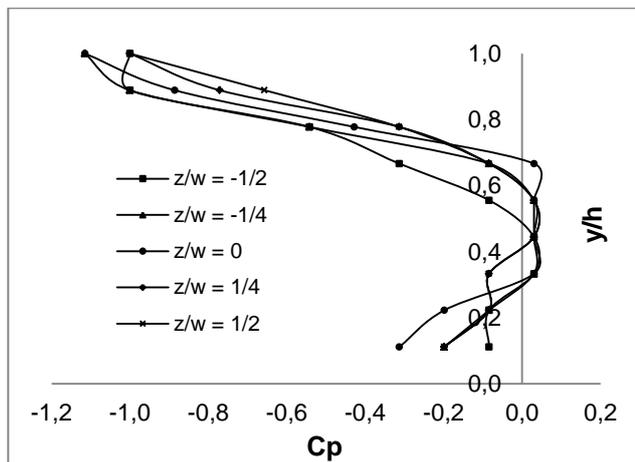
Gb. 4 memberikan informasi bahwa dengan adanya *suction*, olakan (*wake*) dan *vortex* pada model *reversed Ahmed body* tanpa kontrol aliran dapat dikurangi. Hal tersebut terjadi karena adanya tambahan energi berupa

aliran fluida dari *suction* yang menyebabkan olakan (*wake*) menjadi berkurang. Hasil yang serupa juga diperoleh oleh Roumeas et al (2009) dimana mengaplikasikan kontrol aktif *suction* yang penempatannya di bagian atas dari jendela belakang (*rear window*) pada geometri mobil *fastback* yang disederhanakan. Demikian pula penelitian yang telah dilakukan oleh Harinaldi et.al (2011 & 2012) dengan menggunakan model *reversed Ahmed Body* yang mempunyai kemiringan pada bagian depan (ϕ) 35° .

Medan Tekanan

Gb. 5 menunjukkan hasil distribusi koefisien tekanan tanpa kontrol aliran pada bagian belakang dari *reversed Ahmed body* dengan kecepatan *upstream* 16.7 m/s. Dari Gb. 5 tersebut, diperoleh nilai minimum koefisien tekanan yang berlokasi pada $y/h = 1$ dan $z/w = -1/4$ ditampilkan pada Tabel 1.

Kontrol aliran berupa *suction* yang ditempatkan pada bagian belakang dari *reversed Ahmed body* dengan kecepatan 0.5 m/s mempengaruhi distribusi koefisien tekanan yang diperoleh dengan kecepatan *upstream* 16.7 m/s, seperti yang ditunjukkan pada Gb. 6. Nilai minimum koefisien tekanan yang diperoleh dari Gb. 6 berlokasi pada $y/h = -1/4$ dan $z/w = 1/4$ diperlihatkan pada Tabel 1.



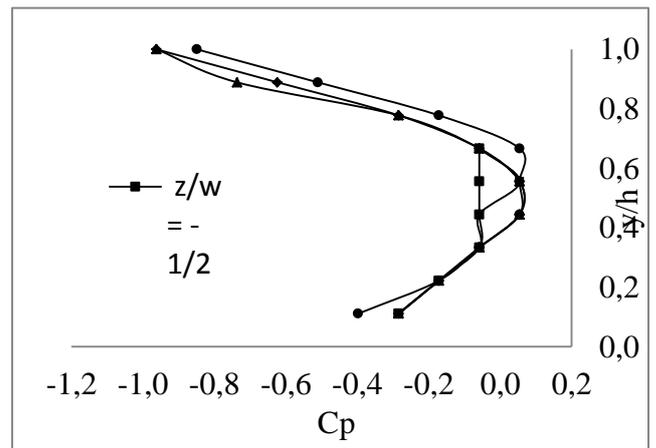
Gambar 5. Distribusi koefisien tekanan tanpa kontrol aliran pada bagian belakang dari *reversed Ahmed body* dengan kecepatan *upstream*, $U_0 = 16.7$ m/s

Tabel 1. Nilai minimum koefisien tekanan

Kecepatan <i>upstream</i> , U_0 (m/s)	Koefisien tekanan, C_p	
	TKA	Dengan <i>suction</i> , $U_{sc} = 0.5$ m/s
16.7	-1.148	0.9618

Distribusi koefisien tekanan yang ditunjukkan dalam Gb. 5 merupakan hubungan y/h terhadap C_p pada berbagai posisi z/w . y/h adalah perbandingan antara tinggi grid dengan tinggi dari *reversed Ahmed body*, C_p adalah koefisien tekanan dan z/w adalah perbandingan antara lebar grid dengan lebar dari *reversed Ahmed body*.

Penambahan kontrol aliran berupa *suction* dengan kecepatan 0,5 m/s yang penempatannya pada bagian belakang dari *reversed Ahmed body* memberikan pengaruh yang signifikan dimana pada Gb. 6, nampak bahwa nilai koefisien tekanan statik mengalami peningkatan.



Gambar 6. Distribusi koefisien tekanan dengan kecepatan *upstream* $U_0 = 16.7$ m/s dan kecepatan *suction* $U_{sc} = 0.5$ m/s pada bagian belakang dari *reversed Ahmed body*

Dari Tabel 1, terlihat bahwa nilai minimum koefisien tekanan mengalami peningkatan. Pada kecepatan *suction* 0.5 m/s, terjadi peningkatan nilai koefisien tekanan statik sebesar 13.72%. Hal tersebut sejalan juga dengan penelitian yang dilakukan A. Kourta and P. Gilliéron (2009), dimana *suction* mampu mengurangi *total pressure loss* dan meningkatkan tekanan statik di permukaan benda atau model. Hasil serupa juga diperoleh Harinaldi et.al (2011 & 2012) dan Budiarmo et. al (2011), dimana *suction* yang diletakkan pada bagian belakang *reversed Ahmed body* memberikan efek peningkatan tekanan statik.

Hambatan Aerodinamika

Pekerjaan Nomor : 2061/UN4.20/PL.09/2013.

Nilai koefisien hambatan dan pengurangan hambatan yang diperoleh dirangkum dalam Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Nilai koefisien hambatan

Kecepatan <i>upstream</i> , U_o (m/s)	Koefisien hambatan, C_d	
	TKA	Dengan <i>suction</i> , $U_{sc} = 0.5$ m/s
16.7	1.7750	1.5245

Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3, tampak bahwa terdapat pengaruh dari penambahan kontrol aliran berupa *suction* dengan kecepatan 0.5 m/s, yang dipasang pada bagian belakang dari *reversed Ahmed body* terhadap nilai koefisien hambatan dan pengurangan hambatan aerodinamika. Pada perbandingan kecepatan *suction* terhadap kecepatan *upstream* $U_{sc}/U_o = 0.03$, pengurangan hambatan aerodinamika yang diperoleh diberikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai pengurangan hambatan dengan kecepatan *suction*, $U_{sc} = 0.5$ m/s

Kecepatan <i>upstream</i> , U_o (m/s)	Pengurangan hambatan, (%)
16.7	14.11

Kesimpulan

Dari hasil komputasi diperoleh informasi bahwa penambahan kontrol aktif aliran berupa *suction* dengan kecepatan 0.5 m/s yang ditempatkan pada bagian belakang dari model kendaraan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan distribusi tekanan sebesar 13.72%. Selain itu, juga diperoleh pengurangan hambatan aerodinamika pada model kendaraan sebesar 14.11%.

Ucapan Terima kasih

Penelitian Post Doktoral ini dibiayai oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Unhas dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan

Nomenklatur

- l panjang model uji (m)
- C_d koefisien hambatan
- C_p koefisien tekanan
- F_d gaya hambatan (N)
- h tinggi model uji (m)
- H tinggi domain komputasi
- L lebar domain komputasi
- S luas penampang (m^2)
- U_o kecepatan *upstream* (m/s)
- U_{sc} kecepatan *suction* (m/s)
- U_{sc}/U_o perbandingan kecepatan *suction* dengan kecepatan *upstream*
- w lebar model uji (m)
- W panjang domain komputasi
- y/h perbandingan antara tinggi *grid* dengan tinggi model
- z/w perbandingan antara lebar *grid* dengan lebar model

Subsripts

- TKA tanpa kontrol aliran

Greek letters

- ρ densitas (kg/m^3)
- ϕ sudut kemiringan model uji (derajat)
- τ_w *wall shear stress* (N/m^2)

Referensi

S.R. Ahmed, G. Ramm and G. Falin, Some salient features of the time averaged ground vehicle wake, SAE technical paper series, No. 840300, Detroit, 1984.

Budiarso, Harinaldi, Tarakka R. & Simanungkalit S.P., Pengaruh Model Turbulensi pada Analisis Komputasi Kontrol Aktif Aliran terhadap Drag Aerodinamika *Reversed Ahmed Body*, Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) ke-10, Malang, 2011

Gad-El-Hak, M., Modern developments in flow control. Appeared in Applied Mechanics Reviews, vol. 49, pp. 365–379, 1996.

Harinaldi, Budiarso, Tarakka R., and Simanungkalit S.P., International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME-IJENS. Vol. 11(03), pp. 24-30, 2011.

Harinaldi, Budiarso, Warjito, Kosasis E.A., Tarakka R.,

Simanungkalit S.P. & I. G. M. Fredy L.T., *Modification of Flow Structure over a Van Model by Suction Flow Control to Reduce Aerodynamics Drag*, Jurnal Makara Seri Teknologi, Terakreditasi No. 110/Dikti/Kep/2009, Depok, Volume 16, Nomor 1, pp. 15-21, 2012

Kourta A. & Gilliéron P., Impact of the Automotive Aerodynamic Control on the Economic Issues, *Journal of Applied Fluid Mechanics*, Vol. 2, No. 2, pp. 69-75, 2009

Roumeas M., Gillieron P., and Kourta A., Analysis and control of the near-wake flow over a square-back geometry, *Computers & Fluids*, 38, pp. 60–70, 2009

User's Guide Manual of Fluent 6.3, 2006.