

## SIMULASI AERODINAMIKA MOBIL HEMAT BAHAN BAKAR 'ANTAWIRYA' KONSEP 2 MENGGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* (CFD)

\*Fathony Imaduddin Yusuf<sup>1</sup>, M. S. K. Tony Suryo Utomo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: thonyusuf@gmail.com

### Abstrak

Pada akhir Juli 2011, jumlah cadangan minyak di negara-negara anggota IEA (*International Energy Agency*) sebesar 4.1 miliar barel. Di Indonesia, sekitar Rp. 193,8 triliun atau 11.5% dialokasikan untuk subsidi BBM pada APBN 2013 di mana lebih dari 50% subsidi BBM tersebut dinikmati oleh 20% orang terkaya di Indonesia. Sebagai tindakan yang membantu mengatasi masalah ini, dilaksanakan penelitian ini. Penelitian ini melakukan modifikasi pada *exterior* mobil agar memiliki gaya gesek atau  $C_D$  (*Coefficient of Drag*) terhadap udara yang rendah sehingga dapat melaju dengan efisiensi yang lebih baik. Sebelum simulasi, dilakukan terlebih dahulu validasi untuk menentukan solusi kontrol yang tepat. Validasi pada *Backward Facing Step* dilakukan pada aliran internal bergeometri 2 dimensi yang mengacu pada jurnal yang sudah dipublikasikan. Hal ini untuk mencari *reattachment point* pada dasar sisi yang bersinggungan tepat dengan garis *deviding streamline* di mana aliran tidak kembali menuju arah *inlet*. Setelah dilakukan validasi dengan tiga model turbulensi, ditentukan Realizable pada solusi kontrol karena memiliki nilai galat terendah terhadap jurnal yang divalidasi dengan nilai 3.96%. Hasil simulasi yang menggunakan software CFD ANSYS 14.0 ini menampilkan vektor kecepatan pada 5 bidang horizontal, 5 bidang vertikal, 1 bidang simetris, kontur tekanan statis tampak isometric dan tampak belakang. Simulasi dilakukan pada 6 kecepatan: 10 km/j hingga 60 km/j dengan interval 10km/j. Hasil simulasi dapat dikatakan layak diterima karena sudah melewati beberapa syarat dan kriteria yang sudah ditentukan. Setelah dilakukan simulasi, Konsep 2 (hasil mobil yang dikembangkan)  $C_D$  dan Re yang lebih rendah di setiap kecepatannya dibandingkan Antawirya dengan penurunan  $C_D$  terbesar bernilai 0.196 berada di kecepatan 60 km/j atau menghemat 45.617%

**Kata kunci:** *Coefficient of Drag ( $C_D$ ), Backward Facing Step, reattachment point.*

### Abstract

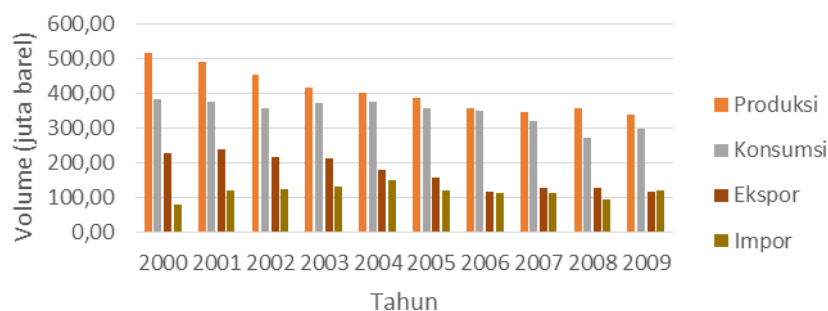
In late July 2011, total amount of oil stocks in IEA (*International Energy Agency*) member countries is 4.1 billion barrels. In Indonesia, about Rp. 193.8 trillion or 11.5% is allocated as subsidy to the state budget in 2013 which more than 50% of the fuel subsidy enjoyed by 20% of the richest people in Indonesia. As measures to solve this problem, this research is carried out. The task is to modificate the car exterior that has a lower frictional force or  $C_D$  (*Coefficient of Drag*) than before which it can run with better efficiency. To determine the control solution that will be used, the validation is necessary compared to the published journal. The validation of the *Backward Facing Step* has been performed on 2-dimensional geometry of internal flow. It is to look for *reattachment point* on the below line of the right side that intersect with *deviding streamline* where the flow does not go back toward the inlet. After validation with three turbulence models, *realizable* is the best choice for control solution because it has the lowest error rate to the journals that are validated by the value of 3.96%. Using CFD software ANSYS 14.0, showed the velocity vector in 5 horizontal planes, 5 vertical planes, symmetrical plane, and the contours of static pressure in isometric side. Simulations performed on a 6 speed: from 10 km / h to 60 km / h at intervals of 10 km/h. The results is acceptable because already passed several terms and specified criteria. The results is acceptable because already passed several terms and specified criteria. After the simulation is done , Concept 2 (the developed car ) has lower  $C_D$  and Re in every speed compared to Antawirya with the lowest  $C_D$  is 0.196 in the speed of 60 km/h or saving 45.617 %

**Keywords:** *Coefficient of Drag ( $C_D$ ), Backward Facing Step, reattachment point.*

### 1. Pendahuluan

BBM memiliki peran penting untuk menggerakkan perekonomian. BBM mengambil peran di hampir semua aktivitas ekonomi di Indonesia. Kebutuhan BBM melambung tinggi seiring dengan pertumbuhan industri,

transportasi, dan kenaikan jumlah kendaraan bermotor yang beredar. Bahkan pada tahun 2008, Indonesia keluar dari OPEC, organisasi eksportir minyak dunia karena Indonesia harus mengimpor minyak untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri yang semakin meningkat [1].



**Gambar 1.** Grafik produksi, konsumsi, ekspor, impor minyak bumi per tahun (barrel) Indonesia [2].

Gambar 1 menunjukkan bahwa jumlah produksi, konsumsi, ekspor, impor minyak bumi dari tahun 2000 hingga 2009 memiliki kecenderungan yang terus turun. Hal ini dikarenakan pertimbangan jumlah cadangan yang sedikit sehingga perlu banyak cara untuk mengurangi konsumsi BBM.

*Shell Eco Marathon* adalah salah satu contoh terobosan yang dilakukan oleh perusahaan minyak dunia, Shell. *Shell Eco Marathon* merupakan ajang kompetisi bagi mahasiswa dari seluruh dunia untuk merancang, membangun dan menguji kendaraan hemat energi. Dengan acara tahunan pertama di Amerika, kemudian Eropa dan Asia, pemenangnya adalah tim yang mampu menempuh jarak terjauh dengan menghabiskan bahan bakar yang paling sedikit. Ajang ini menjadi sarana diskusi mengenai gerakan kendaraan dan menginspirasi insinyur muda untuk meneliti sejauh mana efisiensi bahan bakar [3].

Di Indonesia, Kementerian Pendidikan Tinggi bekerja sama dengan Institut Teknologi Surabaya melakukan kompetisi yang sama, yaitu *Indonesia Energy Marathon Challenge (IEMC)*. Hal ini menuntut setiap universitas di Indonesia untuk bisa mengembangkan penelitian mengenai efisiensi bahan bakar. Universitas Diponegoro pada tahun 2013 dan 2014 telah mengikuti kompetisi tersebut, namun masih belum mendapatkan hasil yang maksimal. Hal inilah yang menjadi dasar penelitian ini dilakukan supaya dengan bodi mobil yang lebih aerodinamis yang dapat mengurangi hambatan udara dan menekan penggunaan bahan bakar sehingga Universitas Diponegoro dapat menjadi juara pada kompetisi ini. Aerodinamika menjadi aspek yang sangat diperhatikan dalam desain bodi mobil, sehingga mobil yang dihasilkan dapat mengoptimalkan *engine power* untuk menjadi daya dorong dan membuat bahan bakar menjadi lebih hemat.

Sedikitnya cadangan minyak yang tersedia dan besarnya jumlah subsidi yang dikeluarkan oleh pemerintah adalah alasan penelitian ini dilaksanakan sebagai tindakan yang membantu mengatasi masalah ini dengan melakukan modifikasi pada mobil yang memiliki gaya gesek (*Coefficient of Drag*) rendah sehingga mobil dapat berjalan dengan efisiensi yang lebih baik. Modifikasi yang dilakukan mengacu pada regulasi IEMC 2014.

Tujuan yang ingin diperoleh dalam penelitian ini adalah untuk memperoleh informasi mengenai besarnya koefisien tahanan (*Coefficient of Drag*) pada mobil hemat bahan bakar 'Antawirya' beserta pengembangan desain barunya dengan menelaah pola aliran udara di sekeliling mobil sehingga dapat melakukan upaya-upaya perancangan bodi mobil yang lebih aerodinamis sehingga menurunkan koefisien tahanan aerodinamika yang bertujuan pada penghematan bahan bakar.

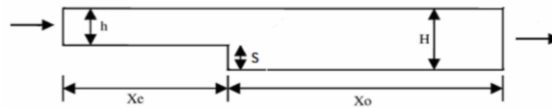
## 2. Metode Penelitian dan Validasi

### 2.1. Simulasi Menggunakan Software CFD

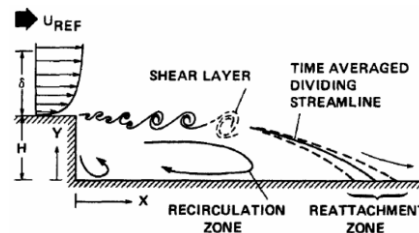
Simulasi yang dilakukan menggunakan software ANSYS 14.0. Salah satu hal yang penting dalam simulasi adalah validasi. Pada penelitian ini validasi yang dilakukan mengacu jurnal yang membahas *Backward Facing Step*. Pembuatan model menggunakan software Solidworks 2014 dilakukan setelah validasi dianggap memenuhi kriteria yang ditentukan. Proses iterasi dianggap selesai terhadap suatu model jika memenuhi kriteria konvergensi yaitu;  $continuity = x-y-z \text{ velocity} = k = \epsilon \leq 10^{-4}$ . Untuk metode solusi, digunakan *Second Order* di setiap *Spatial Discretization*. Parameter yang menentukan hasil simulasi untuk aliran fluida sudah benar atau tidak adalah dengan mengetahui nilai *mass flowrate*, yaitu kurang dari 0,2 %. Dalam simulasi kasus aliran turbulen, pengaruh kerapatan mesh di dekat dinding diperhitungkan. Semakin rapat *mesh* di sekitar dinding, maka akan meningkatkan keakuratan hasil perhitungannya berdasarkan batasan dari metode perlakuan yang digunakan. Simulasi ini menggunakan metode perlakuan di dekat dinding dengan *standard wall function*. Nilai batas  $y^+$  untuk *standard wall function* adalah 30 sampai 60 sehingga untuk  $y^+$  hasil simulasi harus diantara nilai tersebut.

## 2.2. Validasi

Geometri *backward-facing step* mengikuti simulasi yang telah dilakukan sebelumnya. Dengan geometri yang sama selanjutnya akan disimulasikan dengan model turbulen yang berbeda untuk mendapatkan model turbulen yang memiliki *error* terkecil. Gambar 2 dan Tabel 1 merupakan penjelasan geometri dan dimensi *backward-facing step*. Gambar 3 merupakan skema simulasi dan Tabel 2 menunjukkan posisi *reattachment point* yang mana fluida tidak mengalir menuju inlet dan bertepatan dengan garis *dividing streamline*. Area di sebelah kiri *dividing streamline* merupakan daerah *recirculation* di mana aliran berputar balik menuju *inlet*



Gambar 2. Geometri *backward-facing step* [4].



Gambar 3. Skema *backward-facing step* aliran turbulen [4].

Tabel 1. Dimensi Geometri Backward-Facing Step [4].

No	Keterangan	Simbol	Jarak (m)
1	Tinggi saluran masuk	h	5.2
2	Tinggi saluran keluar	H	10.1
3	Tinggi tingkat	S	4.9
4	Panjang saluran masuk	Xe	200
5	Panjang saluran keluar	Xo	500

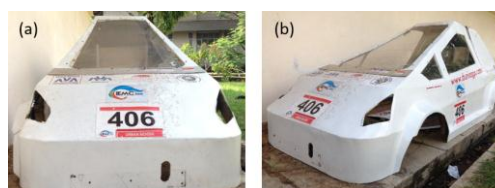
Tabel 2 menjelaskan perbandingan titik *reattachment* dari simulasi yang dilakukan pada tiap-tiap jenis model turbulen dengan jarak titik *reattachment* yang telah dilakukan pada simulasi sebelumnya dari literatur. Dari Tabel 2 dapat diketahui bahwa menggunakan metode turbulen *k-epsilon realizable* diperoleh jarak titik *reattachment* yang paling mendekati dengan hasil simulasi dari literatur

Tabel 2. Jarak Titik *Reattachment* dari Model *k-epsilon*.

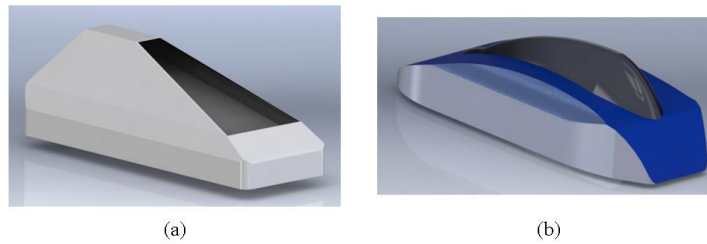
No	Model turbulen <i>k-epsilon</i>	Jarak titik <i>reattachment</i> dari simulasi (m)	Jarak titik <i>reattachment</i> dari literatur (m)	Error (%)
1	Standard	27	33.32	18.97
2	RNG	29	33.32	12.9
3	Realizable	32	33.32	3.96

## 2.3. Pembuatan Model

Pemodelan geometri Antawirya awalnya mengukur manual pada bodi mobil Antawirya yang sudah dibuat kemudian digambar dengan Solidworks 2014. Sedangkan desain pengembangan mobil baru (Konsep 2) dibuat lebih aerodinamis, yaitu bentuknya mengikuti *streamline* atau mengikuti arah aliran fluida. Gambar 4 merupakan bodi mobil Antawirya yang nantinya akan dibuat model dengan *software SolidWorks*. Sedangkan model untuk desain mobil Antawirya dan Konsep 2 dapat dilihat pada 5

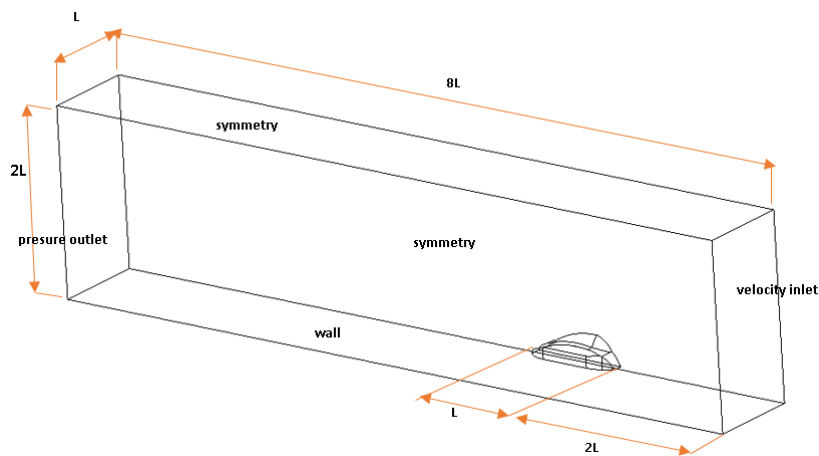


Gambar 4. Geometri Antawirya yang digunakan pada IEMC 2014 (a) tampak depan (b) *isometric*.



**Gambar 5.** Gambar CAD simulasi tampak *isometric* (a) Antawirya (b) Konsep 2.

Selanjutnya adalah memasukkan model (Antawirya & Konsep 2) yang telah dibuat ke dalam *Design Modeller* yang terdapat dalam ANSYS untuk membuat geometri *wind tunnel* nya. Selain itu, proses simulasi ini dilakukan dengan mensimulasikan setengah bodi mobil (*halfcut*) yaitu membuat kondisi simetri. Hal ini agar proses komputasi menjadi lebih cepat karena jumlah *grid* yang digunakan menjadi lebih sedikit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6

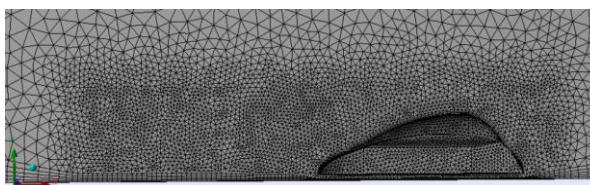


**Gambar 6.** Geometri Konsep 2 dan wind tunnel dengan ANSYS *Design Modeller*.

Penggenerasian *mesh* dilakukan secara bertahap yaitu membuat *mesh* pada keseluruhan volume *wind tunnel* yang telah digabungkan menjadi volume dengan bodi mobil. Selanjutnya adalah merapatkan *mesh* di dinding bodi mobil dan jalan dengan melakukan *inflation* dengan membuat *layer* di sekitar dinding. Kemudian membuat geometri kotak yang baru pada *design modeller* untuk dilakukan proses *mesh* yang lebih rapat disekitar bodi mobil. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan keakuratan perhitungan pada jenis aliran turbulen. Pada Gambar 7 dan Gambar 8 merupakan hasil dari penggenerasian *mesh* pada tiap-tiap mobil.



**Gambar 7.** Penggenerasian *mesh* Antawirya.



**Gambar 8.** Penggenerasian *mesh* Konsep 2.

Dari proses penggenerasian *mesh* yang dilakukan, kemudian dilihat nilai *skewness* nya sudah sesuai dengan batas maksimal yang ditentukan oleh FLUENT atau belum. Pada tabel 3 menjelaskan nilai *skewness* dan jumlah *grid* dari tiap-tiap model, dapat dilihat bahwa *skewness* yang diperoleh kurang 0,95 sehingga proses penggenerasian *mesh* yang telah dilakukan dapat diterima.

**Tabel 3.** Jumlah *Grid* dan *Skewness* Antawirya dan Konsep 2.

Model	Jumlah <i>Grid</i>	<i>Skewness</i>
Antawirya	862391	0.81
Konsep 2	548806	0.80

Kemudian adalah memberikan kondisi batas pada masing masing model. Pemberian kondisi batas ini nantinya akan digunakan acuan dalam memberikan parameter-parameter oleh FLUENT.

## 2.4 Simulasi Model

Tahapan yang dilakukan dalam simulasi pada ANSYS FLUENT adalah sebagai berikut:

- Melakukan *import file* melalui *dari ANSYS Meshing*.
- File* yang diimport merupakan domain komputasi aliran yang diteliti.
- Melakukan pengecekan *grid*.
- Menentukan formulasi *solver* dan model fisik dari suatu permasalahan seperti model aliran yang *steady/unsteady* atau pun laminar/turbulen,
- Menentukan jenis dan sifat material.
- Menentukan nilai kondisi batas dari model yang dibuat.
- Menentukan metode diskretisasi yang akan dilakukan.
- Menentukan parameter pada *solution control*.
- Melakukan *initialize* medan aliran.
- Melakukan proses perhitungan (iterasi).

Data yang didapatkan untuk simulasi aerodinamika ini adalah besaran koefisien *drag*. Seberapa besar pengaruh koefisien *drag* terhadap model mobil Antawirya dengan model mobil Antawirya konsep 2 divariasikan dengan kecepatan mobilnya. Apabila koefisien *drag* model mobil Antawirya konsep 2 lebih rendah dibandingkan dengan koefisien *drag* mobil Antawirya, maka penelitian yang dilakukan sudah memenuhi tujuan desain aerodinamis untuk menekan penggunaan bahan bakar. Selain itu fenomena aliran fluida di sekeliling mobil harus dilihat, hal ini dilakukan untuk mengetahui fenomena separasi dan *wake* pada bagian belakang bodi mobil dan pengaruhnya terhadap nilai koefisien *drag*.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Pengaruh Kecepatan terhadap $Re$ dan $C_D$

Setiap kecepatan memiliki karakternya masing-masing yang berpengaruh terhadap beberapa hal dan yang akan dibahas pada subab ini hanya dua: *Reynold Number* dan  $C_D$  (*Coefficient of Drag*). Tabel 4 menunjukkan hal tersebut pada Antawirya dan pada Konsep 2. Penurunan  $C_D$  terbesar dan  $C_D$  nilai terendah berada di kecepatan 60 km/j begitu pula bilangan Reynold. Skala ditampilkan di sebelah kiri untuk dua gambar. Satuan skala untuk vektor kecepatan adalah km/j dan untuk kontur tekanan adalah Pa.

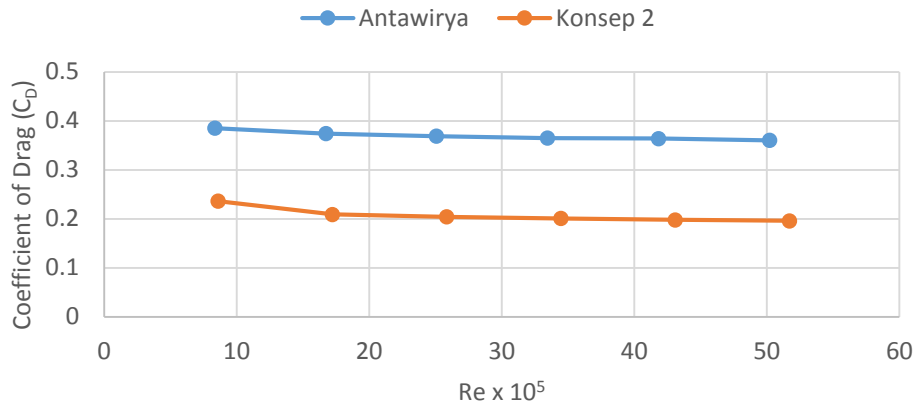
Dapat dilihat pada Gambar 9 bahwa Konsep 2 memiliki  $Re$  yang jauh lebih rendah dibandingkan antawirya. Hal ini menunjukkan bahwa Konsep 2 memiliki kecenderungan aliran turbulen yang lebih kecil dibandingkan Antawirya yang berpengaruh terhadap  $C_D$

**Tabel 4.**  $Re$ ,  $C_D$ , dan Jumlah *Cell* pada Antawirya dan Konsep 2

kec (km/j)	Jumlah <i>Cell</i>		$C_D$		Penurunan (%)	$Re$	
	Antawirya	Konsep 2	Antawirya	Konsep 2		Antawirya	Konsep 2
10	990995	1191455	0,385	0,236	38,747	837386,8	862141,5
20	1376114	1191455	0,374	0,209	44,109	1674773,7	1724283,0
30	2175416	1857869	0,369	0,204	44,678	2509148,3	2586424,5
40	2778795	2598182	0,365	0,201	44,907	3346535,2	3448566,0
50	4624604	4276663	0,364	0,198	45,571	4183922,0	4310707,5
60	4624604	5451508	0,360	0,196	45,617	5021308,8	5172849,0

Gambar 9 menunjukkan bahwa penurunan  $C_D$  terbesar pada Konsep 2 berada diantara kecepatan 10 km/j dan 20 km/j. Aliran pada kecepatan 10 km/j untuk kedua mobil melaju pada daerah transisi yang dekat dengan laminar ( $Re > 1 \times 10^5$ ) dan kedua mobil baru mencapai daerah turbulen pada kecepatan 40 km/j ( $Re > 3 \times 10^6$ ). Dimulai dari kecepatan 30 km/j hingga 60 km/j Konsep 2 memiliki garis linier yang konstan. Antawirya memiliki garis linier dengan penurunan  $C_D$  yang sangat sedikit atau cenderung bernilai konstan.





**Gambar 9.** Grafik perbandingan C<sub>D</sub> Antawirya vs C<sub>D</sub> Konsep 2 terhadap bilangan Reynold.

### 3.2. Vektor Kecepatan Bidang Horizontal

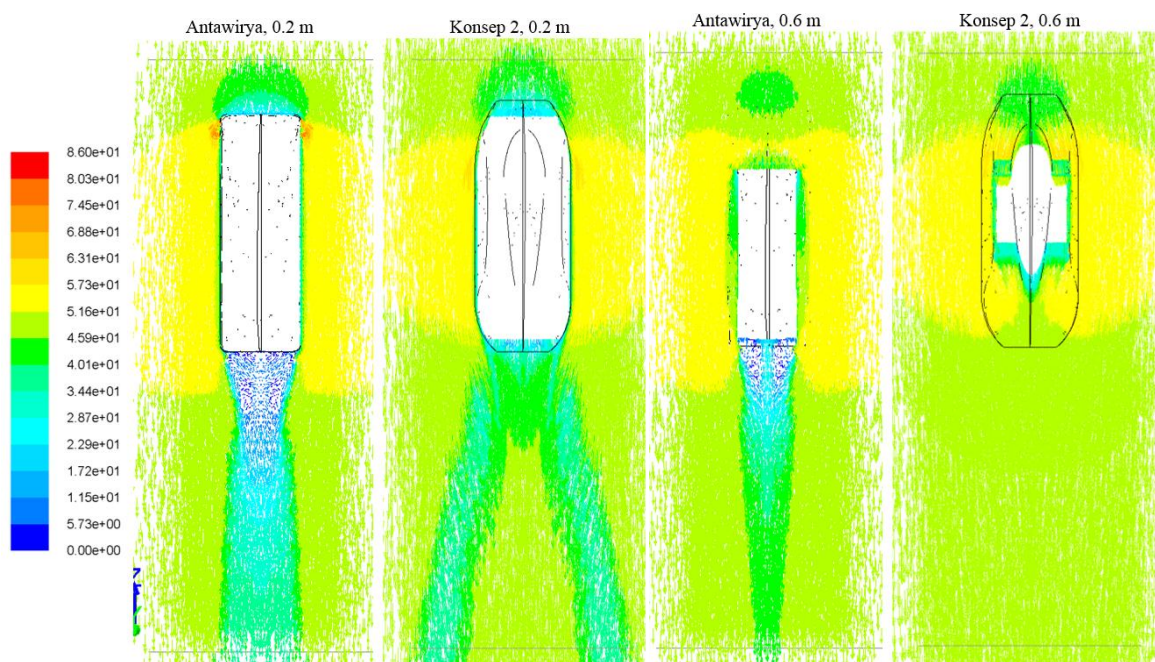
Pembahasan dalam penulisan ini akan lebih banyak menampilkan gambar vektor kecepatan yang terdiri dari 6 kecepatan, 5 bidang vertikal, dan 5 bidang horizontal. Enam kecepatan seperti yang sudah disebutkan memiliki interval 10 km/j yang diawali dari 10 km/j dan berakhir pada 60 km/j. Pada jurnal ini yang akan dibahas hanya 2 bidang untuk kecepatan 50 km/j. ‘Antawirya, 0 m’ artinya adalah vektor kecepatan bidang horizontal pada jarak 0 m dari bawah mobil. Warna biru menunjukkan kecepatan terendah dan merah adalah kecepatan tertinggi. Skala berada di sebelah kiri dalam satuan km/j. Perbandingan dua model dapat dilihat pada Gambar 10 dengan penjelasan sebagai berikut:

a. Ketinggian 0.2 m dari dasar mobil

Daerah kuning yang meliputi sisi samping Antawirya dan Konsep 2 seperti bentuk dua lingkaran yang saling beririsan. *Wake* yang berwarna biru tua pada Antawirya mulai mengerucut sedangkan Konsep 2 masih sama pada ketinggian 0 m. *Recirculation zone* pada Antawirya terlihat jelas dengan warna biru tua di belakang. Daerah stagnasi di depan kedua mobil berwarna hijau tua dan berbentuk setengah lingkaran.

b. Ketinggian 0.6 m dari dasar mobil

Bentuk *wake* pada Antawirya yang seperti lilin masih terlihat sedangkan Konsep 2 tidak membentuk daerah *wake* yang luas seperti Antawirya. *Wake* Konsep 2 hanya meliputi keliling badan yang ditandai dengan warna hijau tua. Daerah stagnasi sama seperti penjelasan 1)



**Gambar 10.** Vektor kecepatan bidang horizontal pada 50 km/j.

### 3.3. Vektor Kecepatan Bidang Vertikal

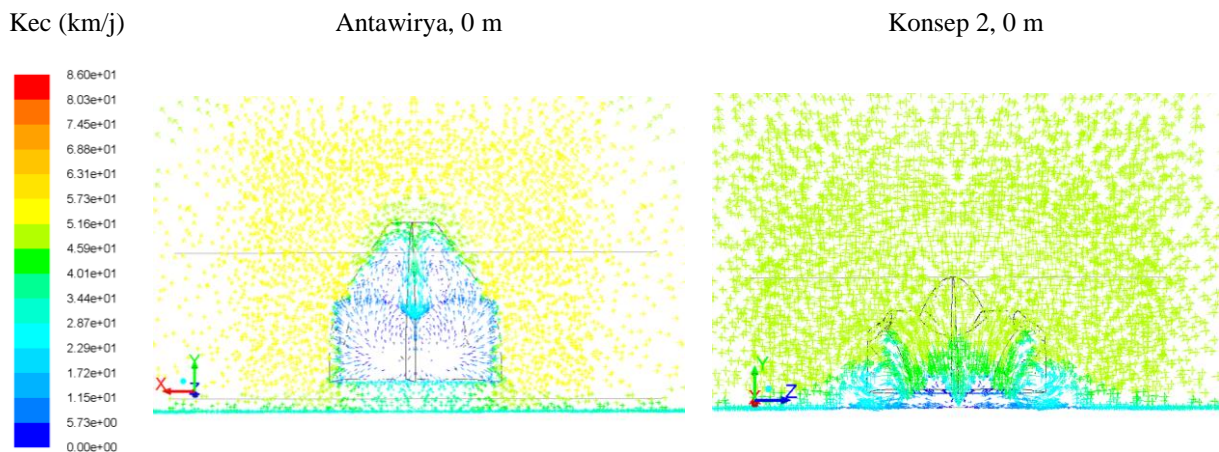
Bidang vertikal yang dimaksud adalah dimulai dari buritan mobil hingga bidang vertikal selanjutnya yang semakin menjauh dari mobil dengan jarak tiap bidang adalah 1 m. Pada subbab kali ini, hanya Gambar 11 dengan kecepatan udara 50 km/j yang akan dibahas pada jarak 0 m dan 2 m dari belakang mobil. ‘Antawirya, 0 m’ artinya adalah vektor kecepatan bidang vertikal pada jarak 0 m dari belakang mobil. Penjelasan Gambar 11 sebagai berikut:

a. Tepat di belakang mobil atau 0 m

Konsep 2 sudah menunjukkan *wake* yang jelas dan rapat di bagian bawah kiri-kanannya sedangkan Antawirya tidak. Disebabkan Konsep 2 memiliki desain yang landai di buritannya, *wake* yang terjadi lebih rapat dan terkonsentrasi. Daerah *wake* pada Antawirya terlihat renggang dan berpusat di bagian tengah. Daerah berwarna kuning berbentuk lingkaran di sekitar Antawirya terlihat jelas.

b. 2 meter dari belakang mobil

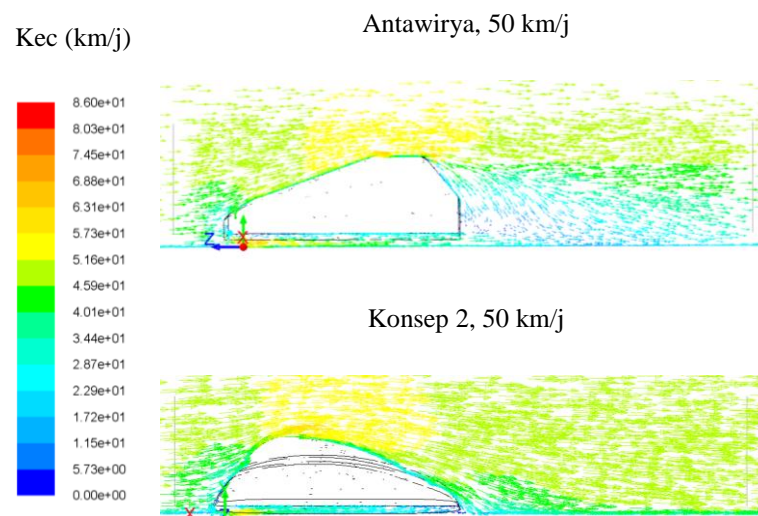
Warna hijau menyelimuti kedua mobil. Warna biru tua sudah tidak terlihat pada daerah *wake* Konsep 2 sedangkan Antawirya masih sama seperti penjelasan 1) hanya saja jarak antar vektor lebih renggang



Gambar 11. Vektor kecepatan bidang vertikal pada 50 km/j.

### 3.4. Vektor Kecepatan Bidang Simetri

Sudut pandang yang terletak di tengah ini (*symmetry*) seperti melihat mobil dengan kondisi setengah badan (*halfcut*). Untuk membantu pemahaman dan efisiensi penulisan, tercantum keterangan di tiap gambar. Sebagai contoh: ‘Antawirya, 50 km/j’ artinya adalah vektor kecepatan bidang simetri pada kecepatan 50km/j. Gambar 12 merupakan vektor kecepatan bidang simetri berbagai kecepatan dengan skala ditampilkan di sebelah kiri. Penjelasan Gambar 12 sebagai berikut

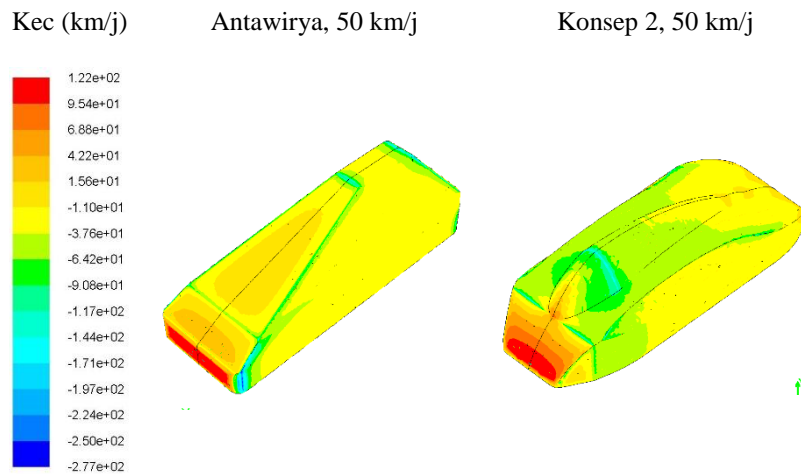


Gambar 12. Vektor kecepatan bidang simetri pada 50 km/j.

### 3.5. Kontur Tekanan Tampak *Isometric*

Setiap kecepatan memiliki pola kontur tekanan yang sama, pada subbab ini dipilih kontur yang memiliki perbedaan yang jelas yaitu pada kecepatan 50 km/j. Perlu diingat kembali bahwa kecepatan berbanding terbalik dengan tekanan. Artinya semakin cepat fluida itu mengalir maka tekanan yang terjadi adalah semakin kecil. Besar kecilnya tekanan akan dijelaskan pada subbab ini dengan warna yang ditampilkan oleh skala pada Gambar 13 yang diletakkan sebelah kiri untuk dua kontur di kecepatan yang sama.

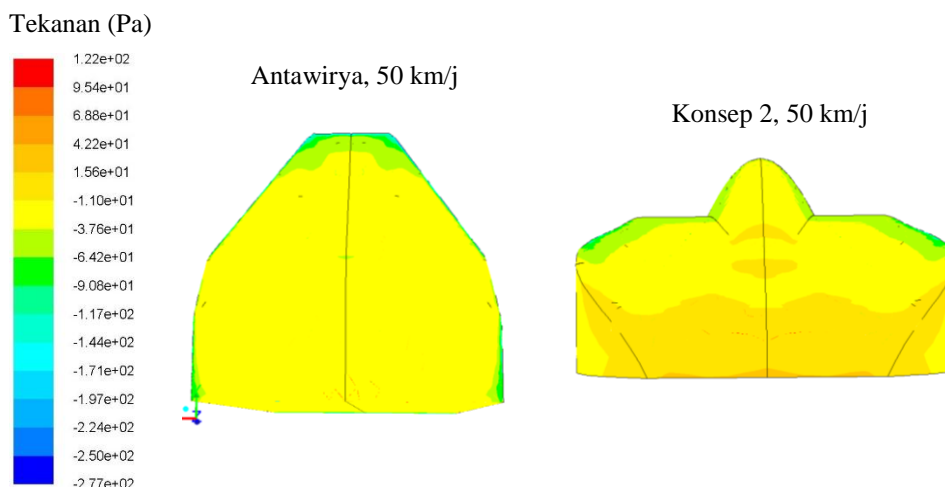
Untuk membantu pemahaman dan efisiensi penulisan, tercantum keterangan di tiap gambar baik tampak *isometric* maupun tampak belakang. Sebagai contoh: 'Antawirya, 50 km/j' artinya adalah kontur tekanan pada kecepatan 50 km/j. Gambar 13 menunjukkan bahwa untuk semua kecepatan memiliki daerah bertekanan yang paling tinggi di daerah depan mobil. Hal ini dikarenakan di daerah tersebut kecepatan terendah terjadi. Daerah ini disebut sebagai daerah stagnasi. Daerah hijau yang berkisar -117 Pa hingga -37,6 Pa pada Konsep 2 tersebar jauh lebih banyak dan merata daripada Antawirya. Persebaran yang luas ini disebabkan permukaan Konsep 2 bersifat lebih streamline dibandingkan Antawirya. Antawirya memiliki daerah berwarna hijau hanya sebatas daerah pada *edge* yang lancip dan berkesan tegas.



Gambar 13. Kontur tekanan statis tampak *isometric* pada 50 km/j.

### 3.6. Kontur Tekanan Tampak Belakang

Gambar 14 memiliki warna kuning yang berkisar -37 Pa hingga -11 Pa mendominasi kedua mobil. Antawirya memiliki warna hijau pada *edge* kiri-kanan sedang Konsep 2 terletak pada *edge* kiri-kanan bagian atas. Warna kuning tua pada bagian bawah hanya dimiliki Konsep 2. Seluruh *edge* dan terendah berada di bawah. Hal ini terlihat pada kontur tekanan untuk seluruh kecepatan.



Gambar 14. Kontur tekanan statis tampak belakang pada 50 km/j.



#### 4. Kesimpulan

Simulasi dilakukan dengan baik sesuai syarat yang sudah ditentukan dengan  $C_D$  pada Konsep 2 lebih rendah di setiap kecepatan dibandingkan Antawirya.  $C_D$  Konsep 2 terendah berada di kecepatan 60 km/j sebesar 0,196 atau turun 45,617% dari  $C_D$  Antawirya yang bernilai 0,360 di kecepatan 60 km/j. *Wake* dan *recirculation zone* pada Antawirya lebih luas dibandingkan Konsep 2. Begitu pula persebaran tekanan pada Konsep 2 lebih merata. Hal inilah yang membuat  $C_D$  Konsep 2 lebih rendah. Konsep 2 dirancang lebih aerodinamis dengan membuat sisi (*face*) yang landai atau membulat (*round up*) sehingga daerah separasi semakin sempit yang membuat  $C_D$  Konsep 2 lebih rendah.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1]. Rivani, E., 2014, "Kebijakan Subsidi BBM dan Efisiensi Perekonomian," *Pendahuluan*, Vol. VI, No. 09/I/P3DI/Mei/2014, p.13-p.14.
- [2]. <http://www.esdm.go.id/minyak-bumi/produksi-konsumsi-ekspor-impor.html>, diakses: 5 Agustus 2014
- [3]. <http://www.shell.com/global/environment-society/ecomarathon.html>, diakses: 24 November 2014
- [4]. Jongebloed, L., 2008, "Numerical Study using FLUENT of the Separation and Reattachment Points for Backwards-Facing Step Flow". Mechanical Engineering, Rensselaer Polytechnic Institute. New York.