

ANALISA AERODINAMIKA *BODY* MOBIL HEMAT BAHAN BAKAR ANTAWIRYA KONSEP 3 DENGAN MENGGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*

*Rizky Laila Nursyahbani¹, M. S. K. Tony Suryo Utomo²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*E-mail: rizkyang@yahoo.com

Abstrak

Bahan bakar minyak mengalami pengurangan dari tahun ke tahun karena minyak bumi merupakan sumber daya yang tidak dapat diperbaharui. Oleh karena itu, rencana penghematan BBM menjadi sangat penting disuarakan dewasa ini. Seiring dengan terus berkembangnya teknologi, para *engineer* industri otomotif berusaha menekan koefisien gaya tahanan (C_d) seminimal mungkin, sehingga konsumsi bahan bakar dapat ditekan. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan upaya perancangan *body* mobil yang lebih aerodinamis dan mendesain kembali mobil Antawirya terdahulu dengan nama Antawirya konsep 3, mensimulasikan dan membandingkan hasil simulasi dalam hal ini nilai *drag coefficient* pada kedua desain, serta mengetahui pola aliran udara di sekitar *body* mobil. Simulasi aerodinamika mobil dilakukan di dalam *wind tunnel* yang ditetapkan sebagai domain komputasi dengan menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Menggunakan metode turbulen *k-epsilon realizable standard wall function*, yang ditentukan berdasarkan validasi pada fenomena *backward-facing step*. Menggunakan metode diskretisasi *second order upwind* untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Jumlah masing-masing *grid* untuk mobil Antawirya terdahulu dan Antawirya konsep 3 adalah sebesar 862391 dan 639641. Hasil dari simulasi menunjukkan penurunan pada nilai *drag coefficient* mobil Antawirya konsep 3 terhadap mobil Antawirya terdahulu, yaitu pada kecepatan 10 km/h terjadi penurunan *drag coefficient* sebesar 24,93 %, pada 20 km/h penurunan sebesar 25,20 %, pada 30 km/h penurunan sebesar 26,01 %, pada 40 km/h penurunan sebesar 26,02 %, pada 50 km/h penurunan sebesar 26,37 %, dan pada 60 km/h sebesar 25,83 %. Fenomena separasi dan *wake* terjadi pada bagian belakang *body* mobil, dimana separasi dan *wake* pada mobil Antawirya konsep 3 lebih pendek dibandingkan mobil Antawirya terdahulu. Hal ini dikarenakan *body* mobil Antawirya konsep 3 lebih aerodinamis.

Kata kunci: Aerodinamika, *Computational Fluid Dynamics* (CFD), *Drag Coefficient*, Separasi, *Wake*.

Abstract

Fuel oil declining from year to year since oil resources of the earth are not renewable. Hence, a fuel saving plan is something of considerable importance today. Continued development of technology has enabled automotive engineers to place an emphasis on vehicle fuel consumption by keeping the drag coefficient (C_d) value to minimum, which in turn should improve fuel efficiency. This research is aimed at effort to produce a more aerodynamic car body design, particularly to redesign the previous Antawirya car known as Antawirya Konsep 3, to simulate and compare the results of both cars, in term of the drag coefficient values, and to learn about the air flow pattern around the car. Car aerodynamics simulation are conducted in wind tunnel set as the computing domain by *Computational Fluid Dynamics* (CFD). The *k-epsilon turbulent realizable standard wall function* method is used in this research, which is specified based on the phenomenon of validation in backward-facing step. This research also use the *second order upwind* as the discretization method for more accurate results. The number of each grid for previous Antawirya and Antawirya konsep 3 are 862391 and 639641. The results of the simulation show a reduction of drag coefficient on Antawirya konsep 3 compare to the previous Antawirya. Drag coefficient has shown a decrease by 24,93% at a rate of 10 km/h, a decrease by 25,20% at 20 km/h, a decrease by 26,01% at 30 km/h, a decrease by 26,02% at 40 km/h, a decrease by 26,37% at 50 km/h, and a decrease by 25,83% at 60 km/h. The separation and wake phenomenon also occurred on the back of the car body, as the separation and wake on Antawirya konsep 3 are shorter than the previous Antawirya design. This is due to the fact that the body of Antawirya konsep 3 has a more aerodynamic.

Keywords: Aerodynamics, *Computational Fluid Dynamics* (CFD), *Drag coefficient*, Separation, *Wake*.

1. Pendahuluan

Dewasa ini, isu-isu penghematan bahan bakar minyak dan penggunaan energi alternatif untuk mengganti konsumsi bahan bakar minyak semakin digencarkan. Seperti yang diketahui cadangan minyak bumi merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui, sehingga setiap tahunnya cadangan minyak bumi semakin berkurang.

Tabel 1. Cadangan Minyak Bumi Indonesia [1]

Tahun	Terbukti (Milyar Barel)	Potensial (Milyar Barel)	Total (Milyar Barel)
2000	5.12	4.49	9.61
2001	5.10	4.65	9.75
2002	4.72	5.03	9.75
2003	4.73	4.40	9.13
2004	4.30	4.31	8.61
2005	4.19	4.44	8.63
2006	4.37	4.56	8.93
2007	3.99	4.41	8.40
2008	3.75	4.47	8.22
2009	4.30	3.70	8.00
2010	4.23	3.53	7.76
2011	4.04	3.69	7.73
2012	3.74	3.67	7.41
2013	3.69	3.86	7.55

Tabel 1 merupakan data cadangan minyak bumi Indonesia dari tahun 2000 sampai dengan tahun 2014. Dilihat dari data tersebut, cadangan minyak bumi di Indonesia semakin berkurang tiap tahunnya. Semakin berkurangnya cadangan minyak bumi dan seiring dengan terus berkembangnya teknologi, para *engineer* industri otomotif berusaha menekan koefisien gaya tahanan (C_d) seminimal mungkin, sehingga konsumsi bahan bakar dapat ditekan.

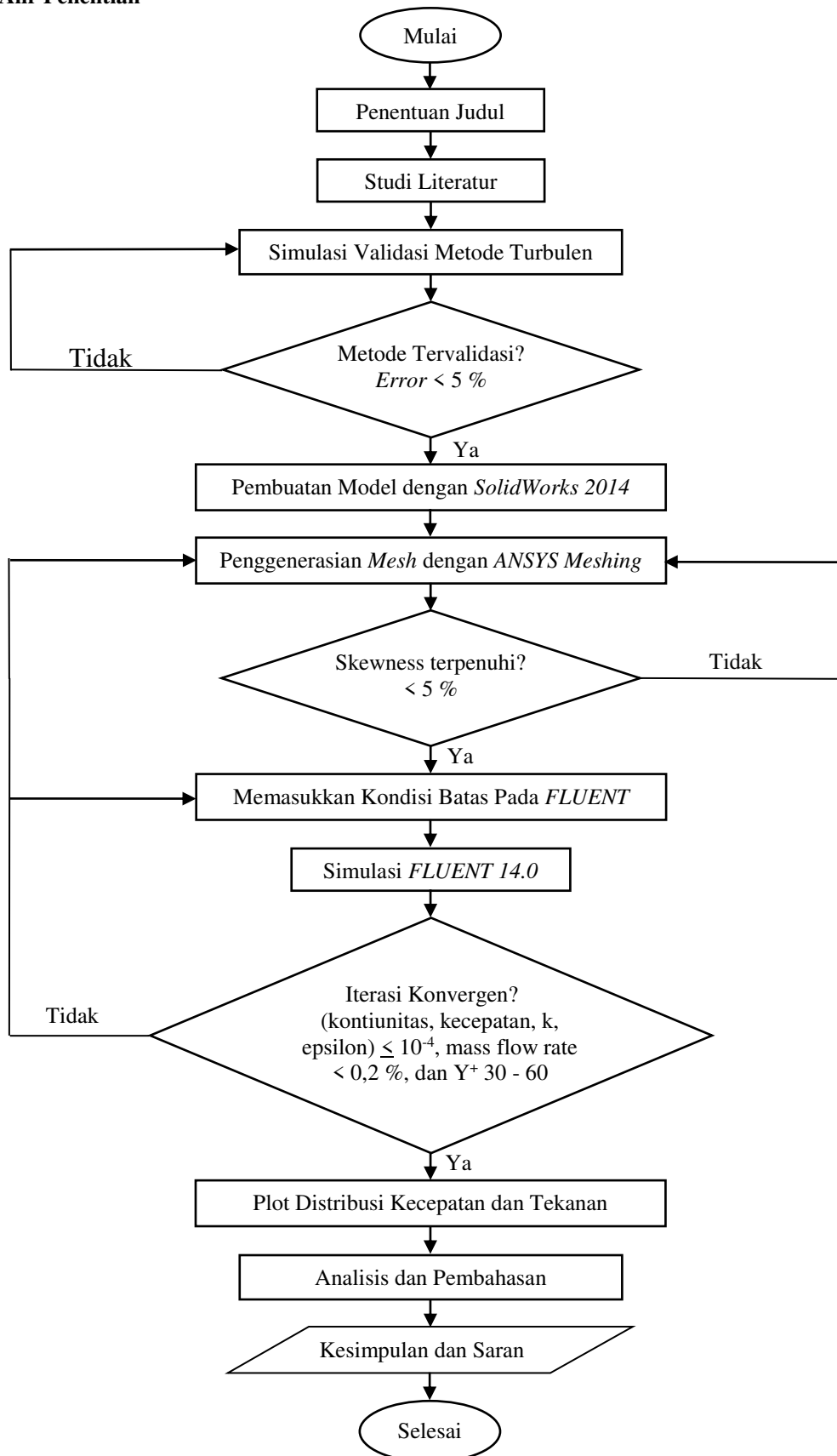
Shell Eco Marathon adalah salah satu contoh terobosan yang dilakukan oleh perusahaan minyak dunia, Shell. *Shell Eco Marathon* merupakan ajang kompetisi dimana para peserta dituntut untuk membangun sebuah mobil dengan penggunaan BBM yang efisien. Ajang ini menarik antusias mulai dari calon generasi penerus, hingga para profesional. Berbagai universitas di seluruh dunia berpartisipasi membangun mobil hemat BBM untuk kompetisi ini, termasuk Indonesia. Ajang ini dianggap sangat menarik, mengingat kompetisi ini dapat membantu para mahasiswa untuk belajar lebih dini dan memberikan pengalaman yang lebih dari sekedar buku teks [2].

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 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.

Bentuk *body* mobil yang mempunyai nilai koefisien tahanan (cd) yang kecil dikatakan sebagai bentuk yang aerodinamis, dimana bentuknya adalah *streamline* mengikuti arah aliran udara yang melewati permukaannya. Seperti yang diketahui, pengujian koefisien tahanan suatu kendaraan dapat dilakukan dengan melakukan eksperimen maupun menggunakan model simulasi numerik dengan menggunakan metode *computational fluid dynamics* (CFD). Pengujian koefisien tahanan dengan eksperimen dilakukan di dalam terowongan angin (*wind tunnel*) baik dalam ukuran sebenarnya maupun dalam ukuran skala. Akan tetapi pengujian koefisien tahanan dengan menggunakan cara ini membutuhkan waktu dan biaya yang tidak sedikit. Hal inilah yang menjadi alasan para desainer maupun industri untuk memanfaatkan komputasi dan simulasi numerik sebagai solusi terhadap permasalahan tersebut dengan pertimbangan kecepatan dalam memperoleh data koefisien tahanan dan rendahnya biaya yang harus dikeluarkan dibandingkan dengan melakukan eksperimen.

Tujuan dari penelitian ini adalah pertama, mendesain *body* mobil yang lebih aerodinamis pada mobil Antawirya konsep 3 sehingga mampu menurunkan *drag coefficient* yang bertujuan pada penghematan bahan bakar. Kedua, mensimulasikan *body* mobil hemat bahan bakar, yaitu Antawirya Konsep 3 dengan menggunakan software *Computational Fluid Dynamics* untuk memperoleh informasi mengenai besarnya koefisien tahanan (*Coefficient Drag*). Dan yang ketiga adalah mengetahui pola aliran udara disekitar mobil.

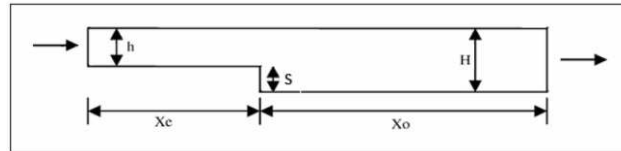
2. Bahan dan Metode Penelitian
 2.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian.

2.2 Simulasi Validasi Metode Turbulen

Validasi diambil dari hasil eksperimen ataupun simulasi yang sudah pernah dilakukan sebelumnya. Dan digunakan sebagai acuan bahwa simulasi yang dilakukan pada tugas sarjana ini apakah sudah tepat atau belum. Dalam tugas sarjana ini dilakukan validasi mengenai fenomena backward-facing step untuk mengetahui separasi dan titik reattachment, dimana fenomena ini terjadi juga pada kondisi mobil yang sedang bergerak. Metode untuk menentukan separasi dan titik *reattachment* harus benar terlebih dahulu untuk mendukung kelancaran simulasi yang akan dilakukan berikutnya. Pada proses validasi ini, ketiga macam model turbulen di simulasikan untuk mengetahui model turbulen mana yang paling tepat untuk digunakan pada simulasi tugas sarjana ini. Gambar 2 dan Tabel 2 merupakan geometri *backward-facing step*.



Gambar 2. Geometri *backward-facing step* [3].

Tabel 2. Dimensi Geometri *Backward-Facing Step* [3]

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

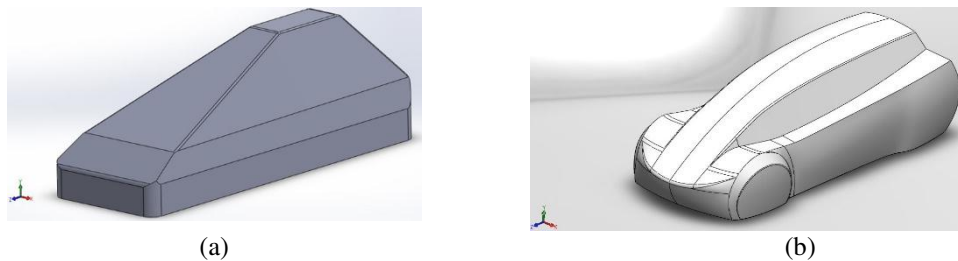
Tabel 3 menjelaskan perbandingan titik *reattachment* dari simulasi ketiga jenis model turbulen yang dilakukan dengan jarak titik *reattachment* yang telah dilakukan pada simulasi sebelumnya dari literatur. Dari Tabel 3 dapat diketahui bahwa jarak titik *reattachment* yang paling mendekati hasil simulasi dari literatur adalah dengan menggunakan metode turbulen *k-epsilon* realizable.

Tabel 3. 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

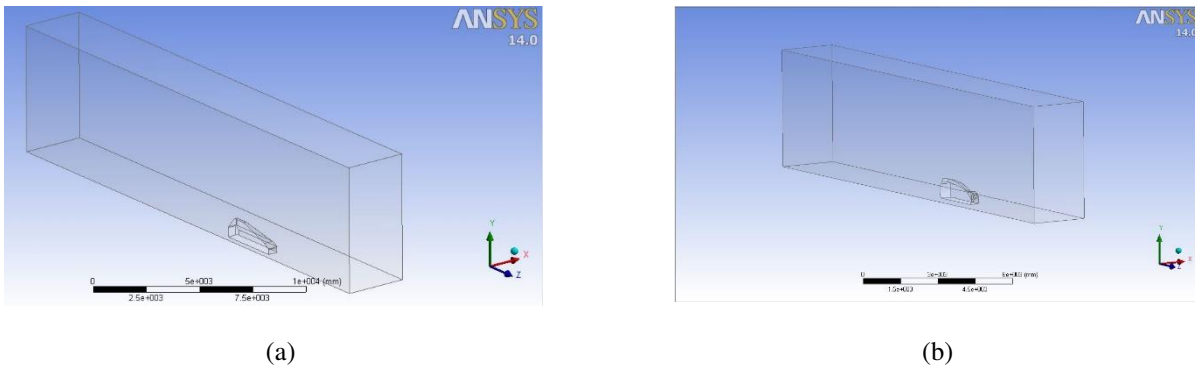
2.3 Pemodelan Mobil Antawirya

Geometri pada mobil lama didapat berdasarkan pengukuran secara manual pada body mobil Antawirya yang sudah dibuat. Sedangkan desain Antawirya konsep 3 dibuat lebih aerodinamis, yaitu bentuknya dibuat *streamline* atau mengikuti arah aliran fluida. *Body* mobil Antawirya terdahulu dan mobil Antawirya konsep 3 dapat dilihat pada Gambar 3 yang digambar dengan menggunakan *software SolidWorks*.



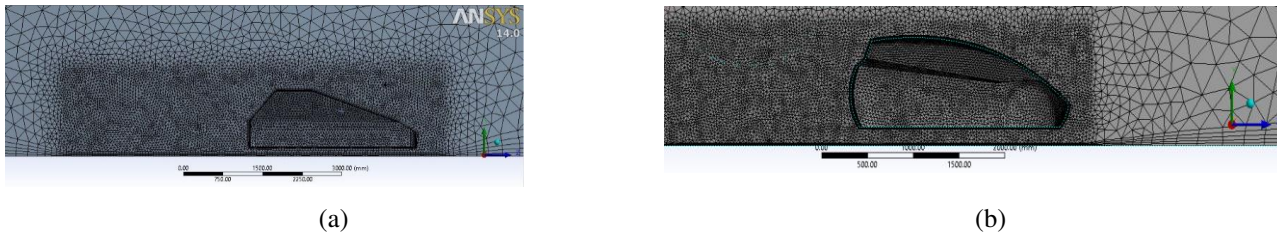
Gambar 3. Model *body* mobil (a) Antawirya terdahulu dan (b) Antawirya konsep 3.

Geometri kedua mobil kemudian dimasukkan kedalam *design modeller* yang terdapat dalam ANSYS untuk membuat geometri *wind tunnel*. Proses simulasi ini dilakukan dengan mensimulasikan setengah *body* mobil yaitu membuat kondisi simetri. Hal ini dilakukan untuk proses komputasi menjadi lebih cepat karena jumlah *grid* yang digunakan menjadi lebih sedikit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Geometri mobil (a) Antawiryra terdahulu dan (b) Antawiryra konsep 1 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 *body* mobil. Selanjutnya adalah merapatkan *mesh* di dinding *body* mobil dan jalan dengan melakukan *inflation* dengan membuat *layer* disekitar dinding. Kemudian membuat geometri kotak yang baru pada *design modeller* untuk dilakukan proses *mesh* yang lebih rapat disekitar *body* mobil. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan keakuratan perhitungan pada jenis aliran turbulen. Gambar 5 merupakan hasil dari penggenerasian *mesh* pada tiap-tiap mobil Gambar 5. Penggenerasian *mesh* pada mobil Antawiryra terdahulu menghasilkan jumlah *grid* sebanyak 862391 dengan *skewness* sebesar 0,81, dan 639641 dengan *skewness* 0,73 untuk Antawiryra konsep 3.



Gambar 5. Penggenerasian *mesh* pada mobil (a) Antawiryra terdahulu dan (b) Antawiryra konsep 3.

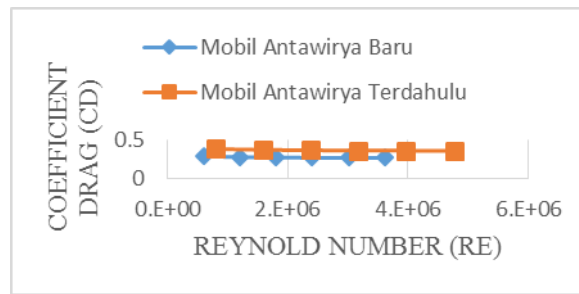
3. Hasil dan Pembahasan

Drag Coefficient merupakan karakteristik yang paling penting dalam desain aerodinamika. Semakin kecil nilai dari *drag coefficient*-nya maka akan semakin optimal pula *engine power* yang digunakan. *Drag coefficient* juga berpengaruh terhadap penggunaan bahan bakar. Semakin kecil nilai *drag coefficient*-nya maka semakin hemat pula penggunaan bahan bakarnya. Hal ini disebabkan oleh hambatan udara yang semakin kecil. Tabel 4 menunjukkan nilai *drag coefficient* seta presentase penurunannya pada mobil Antawiryra terdahulu dan mobil Antawiryra konsep 3. Desain mobil Antawiryra konsep 3 dalam hal ini dinyatakan berhasil apabila nilai *drag coefficient* yang dihasilkan lebih rendah daripada mobil Antawiryra terdahulu.

Tabel 4. Nilai *Drag Coefficient* Terhadap Variasi Kecepatan Fluida Pada Mobil Antawiryra Terdahulu dan Desain Mobil Antawiryra Konsep 3

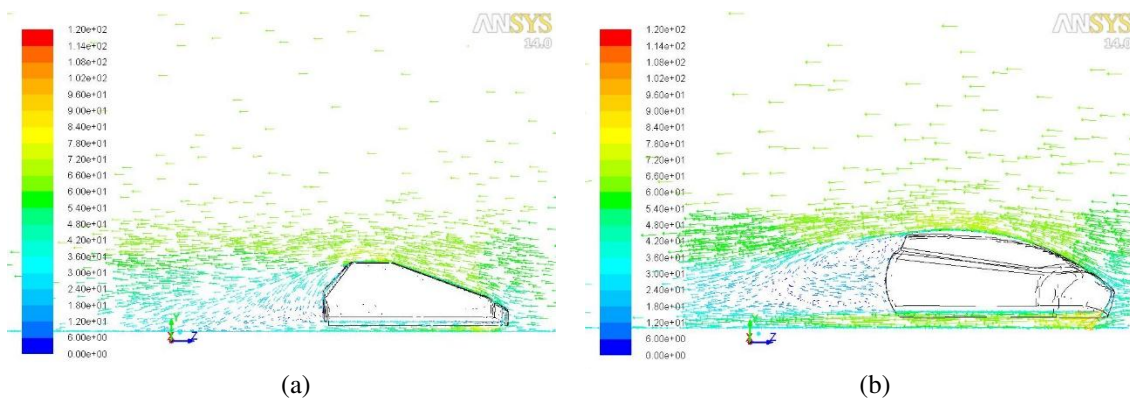
No	Kecepatan (km/h)	<i>Drag Coefficient</i> (<i>Cd</i>)		Presentase Penurunan
		Antawiryra Terdahulu	Antawiryra Konsep 3	
1	10	0.385	0.289	24,93 %
2	20	0.373	0.279	25,20 %
3	30	0.369	0.273	26,01 %
4	40	0.365	0.270	26,02 %
5	50	0.364	0.268	26,37 %
6	60	0.360	0.267	25,83 %

Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat bahwa nilai *drag coefficient* desain mobil Antawiryra konsep 3 lebih kecil dibandingkan mobil Antawiryra terdahulu. Hal ini menunjukkan bahwa desain baru mobil Antawiryra sudah berhasil, karena nilai *drag coefficient*-nya lebih kecil. Peningkatan kecepatan aliran fluida akan meningkatkan bilangan Reynold nya, dimana hubungan bilangan Reynold dengan koefisien *drag* adalah semakin besarnya bilangan Reynold maka nilai koefisien *drag* akan semakin kecil [4]. Perbandingan hubungan bilangan Reynold dengan koefisien *drag* pada mobil Antawiryra terdahulu dan desain mobil Antawiryra konsep 3 dapat dilihat pada Gambar 6.

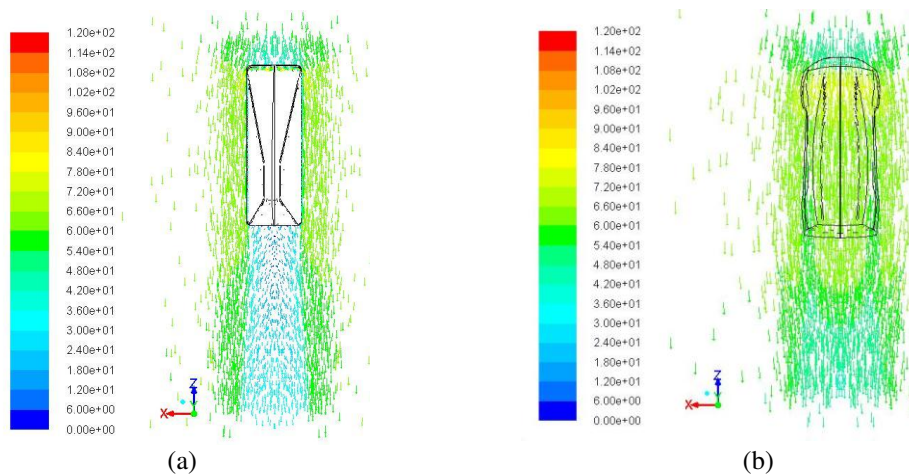


Gambar 6. Perbandingan hubungan bilangan Reynold dengan *coefficient drag* pada desain mobil Antawirya terdahulu dan mobil Antawirya konsep 3.

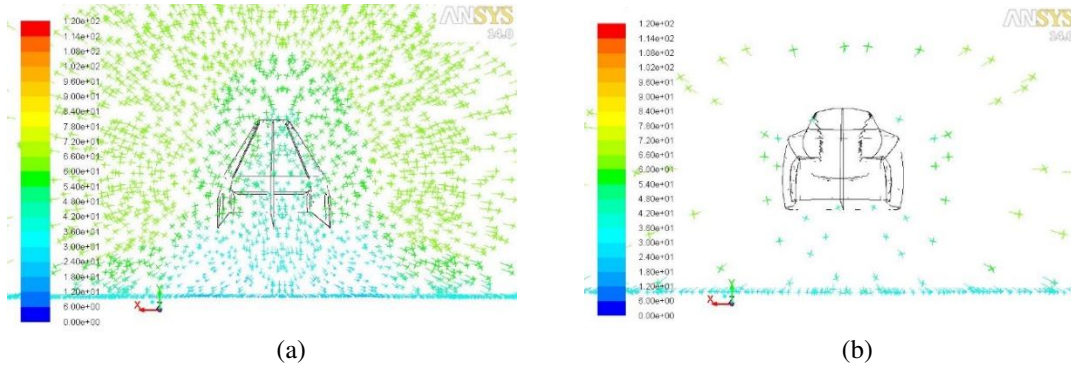
Aliran udara yang melewati bodi mobil akan mengakibatkan terjadinya gradien tekanan antara bagian depan mobil dan bagian belakang mobil, dimana partikel fluida akan mengalami perlambatan. Hal ini akan menyebabkan terjadinya fenomena separasi aliran fluida [4]. Gambar 7, 8 dan 9 merupakan fenomena *wake* aliran fluida yang terjadi pada mobil Antawirya terdahulu dan desain mobil Antawirya konsep 1 dilihat dari tampak samping, atas dan bawah dari bodi mobil dengan kecepatan aliran 10 km/j.



Gambar 7. *Wake* yang terjadi pada bagian belakang *body* mobil (a) Antawirya terdahulu dan (b) Antawirya konsep 3 dilihat tampak samping pada kecepatan aliran 60 km/h.

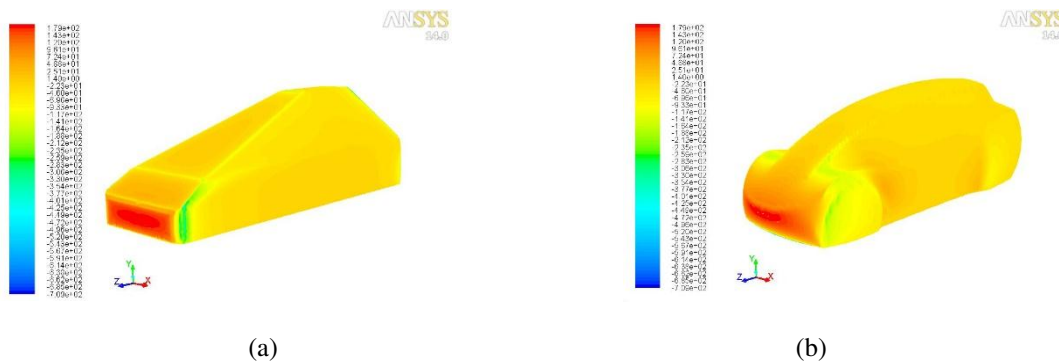


Gambar 8. *Wake* yang terjadi pada bagian belakang *body* mobil (a) Antawirya terdahulu dan (b) Antawirya konsep 3 dilihat tampak atas pada ketinggian 0 m dari bawah *body* mobil dengan kecepatan aliran 60 km/h.

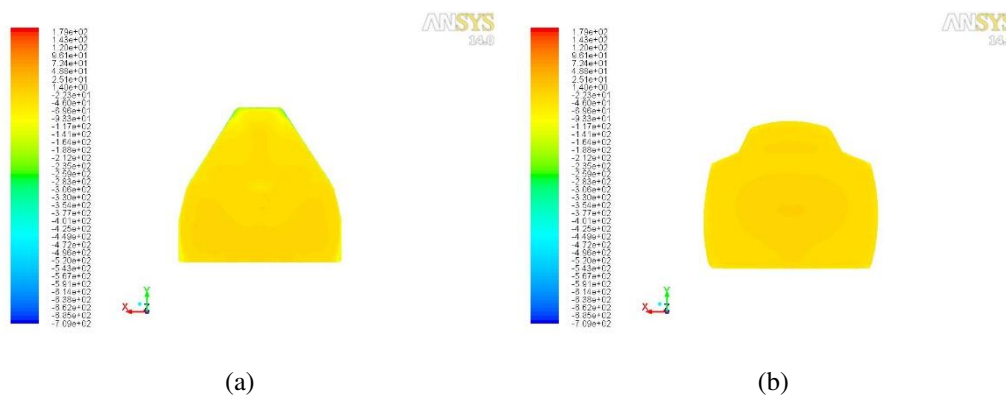


Gambar 9. Wake yang terjadi pada mobil (a) Antawiryra terdahulu dan (b) Antawiryra konsep 3 pada jarak 4 m dari belakang *body* mobil dengan kecepatan aliran 60 km/h.

Dari Gambar 7,8 dan 9 dapat dilihat bahwa fenomena aliran pada mobil Antawiryra konsep 3 menghasilkan daerah separasi dan wake yang lebih pendek daripada mobil Antawiryra terdahulu yang berdampak pada nilai *drag coefficient* menjadi semakin kecil. Untuk distribusi tekanan *static* yang terjadi pada *body* mobil Antawiryra terdahulu dan desain mobil Antawiryra konsep 3 dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11 pada kecepatan aliran 60 km/h.



Gambar 10. Kontur tekanan statik pada mobil (a) Antawiryra terdahulu dan (b) Antawiryra konsep 3 dengan kecepatan aliran 60 km/h.



Gambar 11. Kontur tekanan statik pada mobil (a) Antawiryra terdahulu dan (b) Antawiryra konsep 3 dilihat tampak belakang dengan kecepatan aliran 60 km/h.

Gambar 10 dan Gambar 11 menunjukkan tekanan pada bagian belakang bodi mobil Antawiryra terdahulu lebih rendah daripada tekanan pada bagian belakang *body* mobil Antawiryra konsep 3. Hal ini menunjukkan bahwa pada mobil Antawiryra terdahulu terdapat perbedaan tekanan yang lebih tinggi antara bagian depan *body* mobil dengan bagian belakang *body* mobil Atawiryra konsep 3. Hal ini akan menyebabkan *pressure drag* semakin besar dan membuat nilai *drag coefficient* pada mobil Antawiryra terdahulu lebih besar daripada desain mobil Antawiryra konsep 3. Dengan semakin kecilnya nilai *drag coefficient* pada desain mobil Antawiryra konsep 3 menunjukkan bahwa pengembangan desain yang lebih aerodinamis yang bertujuan untuk penghematan penggunaan bahan bakar. pada mobil Antawiryra terdahulu sudah berhasil dilakukan.

4. Kesimpulan

Hasil dari simulasi menunjukkan penurunan pada nilai *drag coefficient* mobil Antawirya konsep 3 terhadap mobil Antawirya terdahulu, yaitu pada kecepatan 10 km/h terjadi penurunan *drag coefficient* sebesar 24,93 %, kecepatan 20 km/h terjadi penurunan sebesar 25,20 %, kecepatan 30 km/h terjadi penurunan sebesar 26,01 %, kecepatan 40 km/h terjadi penurunan sebesar 26,02 %, kecepatan 50 km/h terjadi penurunan sebesar 26,37 %, dan kecepatan 60 km/h terjadi penurunan nilai *drag coefficient* sebesar 25,83 %. Fenomena separasi dan *wake* juga terjadi pada bagian belakang *body* mobil, dimana separasi dan *wake* pada mobil Antawirya konsep 3 lebih pendek dibandingkan mobil Antawirya terdahulu. Hal ini dikarenakan *body* mobil Antawirya konsep 3 lebih aerodinamis.

5. Daftar Pustaka

- [1] Pusdatin ESDM, 2014, Handbook of Energy & Economic Statistic of Indonesia, Jakarta: Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi.
- [2] *Eco Marathon*, <http://en.wikipedia.org/wiki/Eco-marathon>, diakses: 12 Maret 2014
- [3] 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.
- [4] Fox, W. R., McDonald T. A., Pritchard J. P., 2011, *Introduction to Fluid Mechanics*, 6th edition. John Willey & Sons Inc.