

ISSN 3025-5635  
Vol. 2 No. 2

# SIMULASI NUMERIK DAN MODIFIKASI DESAIN SESUAI REGULASI *SHELL ECO MARATHON* PERFORMA AERODINAMIKA PADA BODI MOBIL *URBAN CONCEPT*

**Anastas Rizaly<sup>1\*</sup>, Febri Riyan Romadhoni<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surabaya  
Jl. Sutorejo No. 59, Surabaya, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surabaya  
Jl. Sutorejo No. 59, Surabaya, Indonesia

email : anastas.rizaly17@gmail.com

(Received: 15-02-2024; Reviewed: 10-06-2024; Accepted: 25-07-2024)

## Abstrak

*Shell Eco Marathon* merupakan ajang kompetisi yang digelar tiap tahun dan peserta dari berbagai sekolah maupun universitas di penjuru dunia sebagai ajang untuk inovasi mobil agar tercapai efisiensi kendaraan yang optimum dan terutama hemat bahan bakar dengan menggunakan simulasi desain bodi menggunakan metode *computational fluid dynamics*. Hasil simulasi menunjukkan desain bodi 2 memiliki koefisien *drag* lebih rendah 0.011699 - 0.013979 (11,8% - 14,23%) di 3 variasi kecepatan inlet dari pada desain bodi 1. Dari desain bodi 2 didapatkan nilai *downforce* yang lebih baik sehingga traksi mobil lebih baik saat di kendaraikan dengan penurunan gaya *lift* di dibandingkan bodi 1 dengan nilai selisih koefisien *lift* sebesar 0.001395 - 0.003878 (57,42%- 85,40%). Dengan hasil yang dijelaskan diatas maka dapat disimpulkan bodi 2 memiliki bodi yang lebih aerodinamis serta karena *downforce* yang dihasilkan lebih baik maka traksi, kestabilan saat dikendarai dan daya cengkraman ban lebih baik dibandingkan desain bodi 1.

**Kata Kunci:** Aerodinamika, Koefisien *Drag*, Koefisien *Lift*, *Shell Eco Marathon*.

## 1. PENDAHULUAN

*Shell Eco Marathon* merupakan ajang kompetisi yang digelar tiap tahun yang digelar di seluruh dunia dan peserta dari berbagai sekolah maupun universitas di penjuru dunia sebagai ajang untuk inovasi kendaraan khususnya mobil agar tercapai efisiensi kendaraan yang optimum dan terutama hemat bahan bakar. Efisiensi diukur dengan menguji kendaraan yang dirancang untuk menempuh jarak terjauh dengan penggunaan bahan bakar yang paling rendah (Abidin et al., 2023). Metode pengurangan konsumsi bahan bakar tidak hanya fokus dalam pengembangan mesin saja, namun bentuk dimensi bodi mobil yang efisien dan ringan akan mengurangi massa dan akhirnya dapat mengurangi energi yang dibutuhkan untuk menggerakkan kendaraan (Council et al., 2011). Bentuk bodi sangat berperan dalam mengurangi konsumsi bahan bakar melalui penyesuaian gaya. Gaya yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar pada bodi mobil diantaranya gaya *drag* dan *downforce*.

Dalam perkembangan zaman dari teknologi otomotif manusia dituntut untuk selalu dinamis. Penghematan energi melalui pengurangan pemakaian bahan bakar dan peningkatan efisiensi mesin adalah tujuan dari berbagai pengembangan teknologi dewasa ini. Perlu diketahui bahwa penggunaan alat transportasi darat meningkat seiring dengan peningkatan mobilitas manusia. Menurut data Badan Pusat Statistik Kementerian Perindustrian Indonesia, jumlah kendaraan terus menerus semakin meningkat dengan pertumbuhan rata-rata pertahunnya 8% sampai dengan 15%. Kebutuhan akan transportasi yang meningkat mengakibatkan meningkatnya pula jumlah konsumsi energi bahan bakar yang dibutuhkan. Di Indonesia, transportasi merupakan sektor pengonsumsi minyak terbesar dengan 40.1% dari total. Para produsen kendaraan pun mulai dituntut untuk dapat menghasilkan suatu kendaraan yang memiliki tingkat efisiensi bahan bakar yang tinggi. Menurut Hasugian (2018) banyak cara yang ditempuh untuk mewujudkan hal tersebut seperti menurunkan beban berat kendaraan, mengoptimalkan efisiensi dari mesin, cara mengemudi yang baik dan mengurangi gaya hambat (*drag*) yang ditimbulkan dengan membuat bentuk bodi yang aerodinamis. Dengan berkembangnya ilmu aerodinamika yang begitu pesat disertai juga berkembangnya ilmu mekanika fluida, maka sangat memungkinkan untuk mendesain bentuk kendaraan yang khususnya pada mobil yang memiliki gaya hambat aerodinamika sekecil mungkin. Untuk mengarah ke konsep optimalisasi dari bentuk kendaraan tersebut, para peneliti biasa menggunakan analisis aliran fluida yang melintasi bodi kendaraan baik 2 Dimensi maupun 3 Dimensi.

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini sebagai berikut: Untuk mengetahui karakteristik aliran fluida yang melintasi bodi mobil dengan parameter yaitu nilai koefisien *drag* dan koefisien *lift* pada bodi mobil yang di desain sesuai regulasi *Shell Eco Marathon*. Mengetahui Fenomena Aliran secara fisis di pada bodi mobil yang di desain sesuai regulasi *Shell Eco Marathon*. Mengetahui tampilan kontur kecepatan, Tekanan, dan *pathlines* yang melintas pada mobil dan sebagai referensi dalam melakukan simulasi desain untuk tim kontes mobil hemat Energi Universitas Muhammadiyah Surabaya.

## 2. METODOLOGI

Penelitian ini di mulai dengan tahap studi literatur mengenai fluida, aerodinamika pada kendaraan, gaya aerodinamika dan *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Semua literatur yang telah didapatkan kemudian dilanjutkan review untuk memberikan pemahaman yang lebih utuh dan kompleks yang dibutuhkan dalam proses simulasi serta Analisa dari hasil simulasi.

Dalam aerodinamika, ada koefisien yang disebut  $C_D/C_L$  atau koefisien gaya angkat yaitu koefisien untuk menyeret. Koefisien ini membantu para insinyur memahami bagaimana aliran udara fluida kendaraan, dan ketergantungan yang berbeda dari perangkat itu sendiri dan dapat membantu membuat perubahan radikal pada mereka. Rasio ini adalah tentang rasio gaya angkat/tarik dengan dinamika yang berbeda tekanan di sekitar permukaan terhadap luasnya. Untuk memperoleh koefisien semacam ini, digunakan komputer perangkat lunak untuk analisis CFD atau pengujian *wind tunnel* akan bekerja untuk mendapatkan nilai keseluruhan  $C_D/C_L$  [6]. Untuk keperluan matematika dan fisika, memahami cara komputasi Koefisien ini berguna untuk memberikan gambaran tentang bagaimana gaya angkat dan tarik diturunkan. Gaya hambat yang dialami oleh suatu benda bergerak searah dengan kecepatan aliran dan dicirikan oleh koefisien hambatan[14]. Seperti yang didefinisikan dalam persamaan berikut:

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho V^2 A} \quad (1)$$

*Downforce* meningkatkan kinerja kendaraan dengan meningkatkan beban normal pada ban. Hal ini meningkatkan potensi gaya menikung yang memungkinkan kendaraan menikung lebih cepat dan mengurangi waktu putaran (Cengel et al., 2006). Untuk mengetahui besarnya koefisien gaya angkat ( $C_L$ ) dapat didefinisikan dalam persamaan berikut:

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \rho V^2 A} \quad (2)$$

Dalam simulasi *CFD* kasus ini menggunakan *Ansys workbench* dan secara garis besar dibagi menjadi tiga tahap yaitu *pre-processing*, *processing*, dan *postprocessing*. Dalam proses simulasi untuk mendapatkan hasil *meshing* yang akurat maka selain dengan metode general *meshing* diatas dapat dilakukan dengan menggunakan metode *wall treatment* pada saat *meshing* dengan menggunakan  $y^+$ . Dimana  $y^+$  merupakan *dimensionless* yang menentukan tinggi *meshing* pertama dari *wall*, yaitu daerah *adverse pressure gradient*. Beberapa urutan sebelum mendapatkan nilai  $y^+$  dan kemudian proses *meshing* dapat dilakukan. Berikut persamaan yang dipakai untuk mendapatkan nilai *wall distance* ( $y$ ) (Hamza, 2021):

a. *Reynold Number* (Re)

$$Re = \frac{\rho UL}{\mu} \quad (3)$$

b. *Skin Friction Coefficient* (cf)

$$cf = \frac{0,05594}{(Re)^{1/5}} \quad (4)$$

c. *Wall Shear Stress*

$$\tau_w = \frac{1}{2} \rho U^2 cf \quad (5)$$

d. *Friction Velocity*

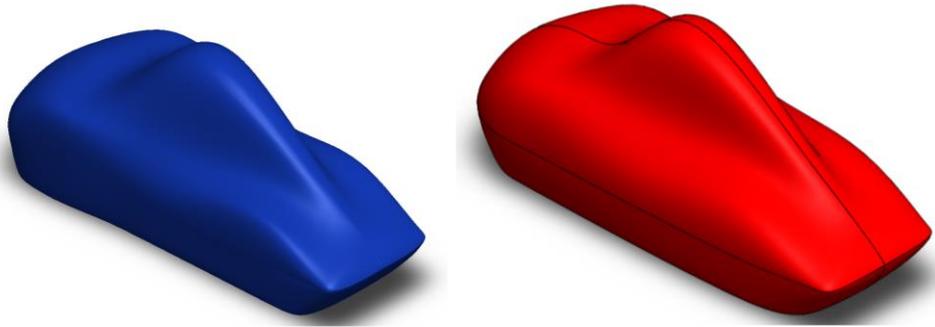
$$u^* = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \quad (6)$$

Untuk sebagian besar pemodelan *near wall* digunakan nilai  $y^+ = 1$  [10].

e. *Wall Distance*

$$y = \frac{y^+ \mu}{u^*} \quad (7)$$

## 2.1 DESAIN GEOMETRI BODI



Gambar 1. Desain Bodi Mobil 1 (biru) dan Bodi Mobil 2 (merah)

Aturan desain bodi mobil dalam kontes mobil hemat energi *Shell Eco Marathon* meliputi: (1) Tinggi, lebar dan panjang kendaraan (2) *Track width* untuk *front axle* dan *rear axle* (3) *wheelbase* (4) *ground clearance* (Shell Eco-Marathon, 2023). Proses desain dilakukan dengan menggunakan *software* Solidworks 2017.

## 2.2 DIMENSI DAN DOMAIN KOMPUTASI

Dimensi domain komputasi sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan dalam beberapa penelitian sebelumnya (Damjanović et al., 2011); (Nugraha, 2021); (Sh Mahdi Al-Obaidi et al., 2018) dengan panjang total domain 7L, lebar 2L dan tinggi 2L.

## 2.3 SIMULASI COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

Penelitian ini mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh (Nugraha, 2021), Pada tahap ini untuk menentukan jenis material yang digunakan dan data *properties* material yang sudah tersedia dalam *fluent database*. Udara dipilih sebagai fluida kerja dengan nilai densitas  $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$ , nilai viskositas  $\mu = 1.7894 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$ . Model turbulen yang digunakan *k-epsilon*. pada model ini menunjukkan kemungkinan mendapatkan hasil yang baik dalam bentuk integral dengan *error* 2-5 % (Oxyzoglou, 2017). Pada simulasi ini di tetapkan kriteria konvergensi merujuk pada penelitian (Hamza, 2021); (Nugraha, 2021) dengan nilai residual  $< 10^{-4}$  dan menggunakan *checking for convergence*. *Residual force* digunakan untuk melihat hasil dari plot nilai  $C_D$  dan  $C_L$ .

Tabel 1. Parameter Simulasi

Parameter	Jenis
Model Geometri	3D Solver
Kondisi Solver	Steady
Model Turbulensi	<i>k-epsilon</i>
Material Properties	Udara

Tabel 2. *Boundary Condition*

No	<i>Boundary Condition</i>	Kondisi
1	<i>Velocity Inlet</i>	Fluida Udara - <i>Velocity Inlet</i> : 5,56 m/s, 8,33m/s, 11.11 m/s [1] - <i>Turbulence Intensity</i> 5 % [2]
2	<i>Pressure Outlet</i>	- <i>Backflow Reference Frame</i> : - - <i>Gauge Pressure</i> : 0 Pa [8] - <i>Turbulence Intensity</i> 5 %
3	<i>Wall</i>	<i>No slip wall</i>
4	<i>Ground</i>	<i>No slip</i>

Pada *mesh* digunakan metode tetrahedral. Digunakan metode inflasi pada *mesh* ini untuk menangkap *boundary layer* yang terbentuk di permukaan mobil. Ukuran *mesh* untuk domain komputasi dan *body of influence* sebesar 6,082 m. Digunakan *inflation* dengan *first layer thickness* dengan ketentuan perhitungan seperti pada persamaan 1.3-1.7 serta dari model simulasi dari beberapa penelitian menunjukkan nilai  $+y^+ \approx 1$  dengan *grow rate* 1,1-1,2 (Salim et al., 2009) dengan hasil *first layer thickness* ( $y$ ) sebagai berikut:

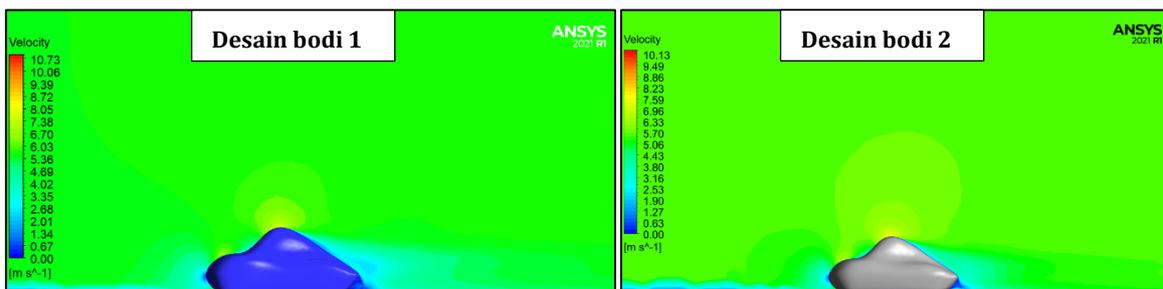
Tabel 3. Nilai *First Layer Thickness* variasi kecepatan *inlet*

Kecepatan <i>Inlet</i> (m/s)	<i>Reynold number</i>	<i>First Layer Thickness</i> ( $y$ )
5,56	$1 \times 10^6$	$3,67 \times 10^{-3}$
8,33	$1,65 \times 10^6$	$2,53 \times 10^{-3}$
11,11	$2,2 \times 10^6$	$1,97 \times 10^{-3}$

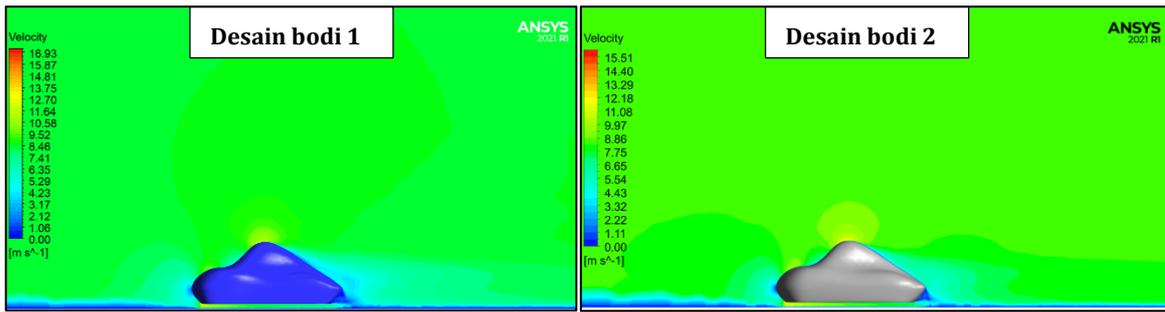
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 DISTRIBUSI KECEPATAN PADA BODI KENDARAAN

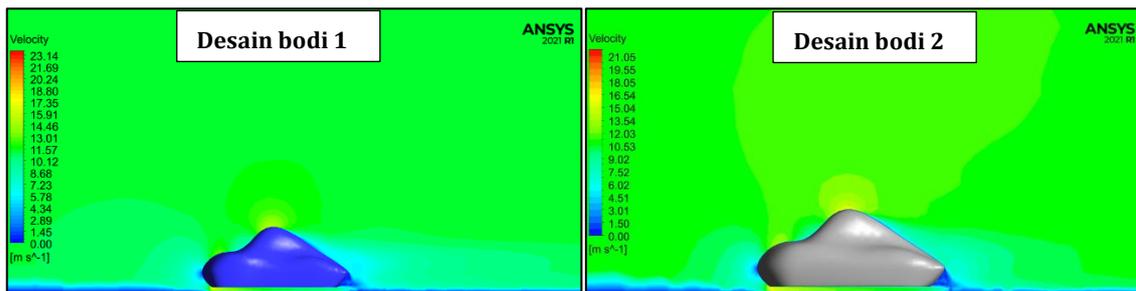
Pada penelitian ini simulasi dilakukan dengan memberikan parameter kecepatan *inlet* 5,56 m/s, 8,33 m/s dan 11,11 m/s dengan kondisi *no slip* pada *ground*. Selanjutnya didapatkan hasil visualisasi distribusi kecepatan sebagai berikut:



Gambar 2. Distribusi Kecepatan Pada Kecepatan *Inlet* 5,56 m/s



Gambar 3. Distribusi Kecepatan Pada Kecepatan *Inlet* 8,33 m/s



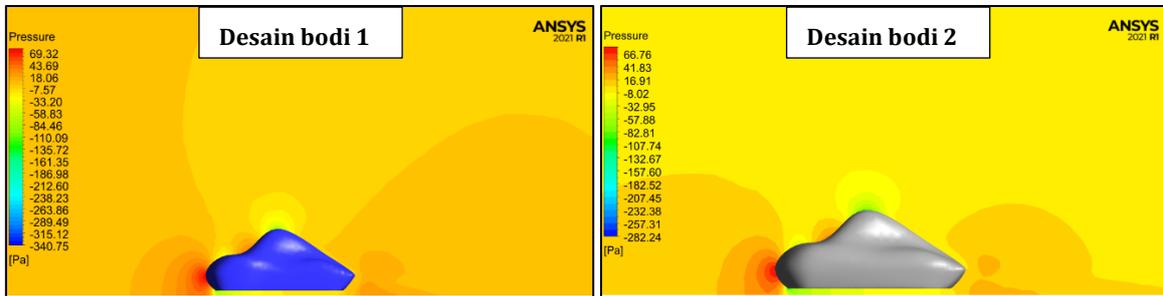
Gambar 4. Distribusi Kecepatan Pada Kecepatan *Inlet* 11,11 m/s

Pada distribusi kecepatan *inlet* 11,11 m/s ini kedua bodi mobil memiliki distribusi kecepatan yang relatif tinggi dibandingkan dengan pada kecepatan *inlet* 5,56 m/s dan 8,33 m/s, hal tersebut merupakan efek desain dari kedua bodi dengan radius lengkung dan panjang *crumple zone* pada area *front bumper* sampai *hood*. Pada area *roof* sampai *deck* relatif sedikit lebih besar pada desain bodi 2 dengan selisih nilai distribusi kecepatan mencapai 0,4 m/s. Pada gambar 3,4,5 distribusi kecepatan diatas, terjadi peningkatan kecepatan udara pada bagian bawah kendaraan, udara yang mengalir cepat menciptakan area bertekanan rendah sehingga terjadi gaya dorong kebawah yang disebut *downforce*, lalu didapati area berwarna biru pada bagian depan dan belakang bodi, area berwarna biru pada bagian depan mobil menandakan bahwa terjadi hantaman udara saat mobil bergerak sehingga menciptakan area yang bertekanan tinggi, sedangkan pada bagian belakang terdapat *wake*, dimana aliran udara mengalami resirkulasi (berputar disuatu tempat) yang dimana dapat menciptakan gaya hambat, kontur *wake* merupakan area kontur dimana kecepatan udara mendekati atau sebesar 0 m/s (Suryady et al., 2022). Pada area *side body* tidak terlalu banyak area stagnasi pada bodi 2 dibanding bodi yang pertama sehingga aliran udara yang sudah melewati *side body* dapat dengan cepat mengarah ke area belakang mobil (*rear body*). Dari 3 hasil distribusi kecepatan diatas dapat dilihat bahwa desain bodi 2 lebih efisien serta dapat mendistribusikan aliran udara lebih baik dibandingkan bodi 1, hal tersebut sangat mempengaruhi koefisien *drag* dimana semakin kecil nilai koefisien *drag*, maka semakin efisien juga desain bodi tersebut dan yang terpenting dapat mengurangi konsumsi bahan bakar.

### 3.2 DISTRIBUSI TEKANAN PADA BODI KENDARAAN

Pada gambar 6 tampak warna merah mendominasi pada bagian *bumper* yang merupakan titik stagnasi dengan nilai koefisien tekanan paling tinggi serta *front driver compartment* juga memiliki distribusi tekanan yang tinggi ini diakibatkan area tersebut merupakan area terpecahnya aliran udara yang di lalui oleh mobil menuju area *side body* hal

tersebut adalah yang menyebabkan *drag* pada mobil, seperti pada gambar 6 area *side body* pada desain mobil 2 memiliki tingkat distribusi tekanan yang lebih rendah dibandingkan pada bodi 2, ini diakibatkan bentuk *side body* pada desain 2 lebih *streamline* dan datar pada bagian *cover* roda sehingga tidak adanya area stagnasi.



Gambar 5. Distribusi Tekanan Pada Area Sekitar Kendaraan

Perbedaan radian tekanan di atas dan di bawah mobil menyebabkan perbedaan tekanan antara permukaan atas dan bawah bodi kendaraan sehingga terjadi *downforce* (McLean, 2018). Hal ini disebabkan karena rendahnya *ground clearance* yang dimiliki bodi kendaraan baik desain mobil 1 maupun desain bodi 2 dengan besar dari *ground clearance* 100 mm.

### 3.3 KOEFISIEN *DRAG* ( $C_D$ ) DAN KOEFISIEN *LIFT* ( $C_L$ )

Tabel 4. Hasil Koefisien *Drag* Simulasi

Koefisien <i>Drag</i> ( $C_D$ )				
Kecepatan	Bodi 1	Bodi 2	Selisih	(%)
5.56 m/s	0.0991444	0.0874458	0.011699	11.80%
8.33 m/s	0.0982565	0.0842774	0.013979	14.23%
11.11 m/s	0.0972170	0.0835846	0.013632	14.02%

Desain bodi 2 memiliki gaya *drag* yang lebih kecil dibandingkan desain bodi 1 dengan selisih gaya *drag* 11,8%-14,23%. Ini menunjukkan bahwa pada desain bodi 2 memiliki bentuk *side body* yang lebih *streamline* dibandingkan dengan desain bodi 1, dengan selisih hasil tersebut dapat di lihat juga nilai koefisien *drag* yang juga lebih kecil dibandingkan dengan bodi 1, karena nilai koefisien *drag* berbanding terbalik dengan nilai gaya *drag* jika variabel yang di simulasikan terhadap kecepatan *inlet* (Ullah et al., 2021).

Tabel 5. Hasil Koefisien *Lift* Simulasi

Koefisien <i>Lift</i> ( $C_L$ )				
Kecepatan	Bodi 1	Bodi 2	Selisih	(%)
5.56 m/s	-0.002430	-0.003825	0.001395	57.42%
8.33 m/s	-0.004146	-0.007417	0.003270	78.89%
11.11 m/s	-0.004541	-0.008420	0.003878	85.40%

Dengan nilai koefisien *lift* yang di dapat dalam simulasi bisa di katakan bahwa *downforce* yang dimiliki oleh bodi 2 lebih besar nilainya di banding bodi 1, ini dikarenakan desain radius serta *crumple zone* pada *bumper mobil* dari bodi 2 lebih *streamline* atau aerodinamis sehingga kecepatan aliran pada *ground* lebih stabil tanpa melewati daerah stagnasi seperti di *bumper* dan *driver compartmen* sehingga tekanan di aera *ground clearance* pada bodi 2 lebih rendah. Tekanan rendah pada *ground clearance* atau celah di bawah mobil dapat memberikan beberapa keuntungan dalam hal traksi dan performa mobil saat menavigasi (Fakhrudin et al., 2021). Dari analisa dan data kuantitatif yang didapatkan dari proses simulasi, menunjukkan bahwa pada desain bodi 2 memiliki bentuk *side body* dan *front bumper* yang lebih *streamline* dibandingkan dengan desain bodi 1, dengan selisih hasil tersebut dapat di lihat juga nilai koefisien *drag* yang juga lebih kecil dibandingkan dengan bodi 1, karena nilai koefisien *lift* berbanding terbalik dengan nilai gaya *lift* jika variabel yang di simulasikan terhadap kecepatan *inlet* (Ullah et al., 2021).

#### 4. KESIMPULAN

Hasil simulasi menunjukkan desain bodi 2 memiliki koefisien *drag* lebih rendah 0.011699 - 0.013979 (11,8% - 14,23%) di 3 variasi kecepatan inlet dari pada desain bodi 1. Dari desain bodi 2 didapatkan nilai *downforce* yang lebih baik sehingga traksi mobil lebih baik saat di kendarai dengan penurunan gaya *lift* di bandingkan bodi 1 dengan nilai selisih koefisien *lift* sebesar 0.001395 - 0.003878 (57,42%- 85,40%). Dengan hasil yang dijelaskan diatas maka dapat disimpulkan bodi 2 memiliki bodi yang lebih aerodinamis serta karena *downforce* yang dihasilkan lebih baik maka traksi, kesetabilan saat dikendarai dan daya cengkaman ban lebih baik dibandingkan desain bodi 1.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. F. Z., Rahman, M. T. A., Adom, A. H., Jamir, M. R. M., Halim, S. S., & Nawi, M. A. H. M. (2023). An Analysis of Urban Vehicle Body Aerodynamics Using Computational Fluid Dynamics for the Shell Eco-Marathon Challenge. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 30(2), 75–91. <https://doi.org/10.37934/araset.30.2.7591>
- Bakdam Khoirul Hamza. (2021). *Desain dan Analisis Aerodinamika Undertray Pada Mobil Formula Student Sapuangan Speed*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Council, N. R. (2011). *Assessment of Fuel Economy Technologies for Light-Duty Vehicles*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/12924>
- Damjanović, D., Kozak, D., Živić, M., Ivandić, Ž., & Baškarić, T. (2011). CFD analysis of concept car in order to improve aerodynamics. *Járműipari Innováció*, 1(2), 108–115.
- Fakhrudin, M., Wicaksono, H., Baananto, F., Iman Firmansyah, H., Pramita Sari, N., Muzaki, M., Rizky Akbarsyah, K. D., Noveri Dwi Hardyanto Jurusan Teknik Mesin, D., Negeri Malang, P., Soekarno Hatta No, J., & Malang, K. (2021). Optimasi Aerodinamika Bodu Mobil Hemat Energi Ken Dedes Electric Evo 3 Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD). In *EKSERGI Jurnal Teknik Energi* (Vol. 17, Issue 1). <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/eksergi>
- Mcalpine, A. J. (2022). *DESIGN & AERODYNAMIC ANALYSIS FOR A FORMULA SAE RACECAR Project Conducted by : 1–49*.
- McLean, D. (2018). Aerodynamic Lift, Part 2: A Comprehensive Physical Explanation. *The Physics Teacher*, 56(8), 521–524. <https://doi.org/10.1119/1.5064559>

- Nugraha, A. Y. E. (2021). Simulasi Numerik Pengaruh Penambahan Front Wing Dan Rear Wing Terhadap Performa Aerodinamika Pada Mobil Formula Student Nogogeni ITS. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Oxyzoglou, I. (2017). Design & Development of an Aerodynamic Package for an FSAE Race Car. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24595.37920/1>
- Salim, S. M., & Cheah, S. (2009). Wall Y strategy for dealing with wall-bounded turbulent flows. *Proceedings of the International Multiconference of Engineers and Computer Scientists*, 2, 2165–2170.
- Sh Mahdi Al-Obaidi, A., Mahdi Al-obaidi, A. S., & Lai Shen, S. A. (2018). Effect of size and shape of side mirrors on the drag of a personal vehicle. In *Article in Journal of Engineering Science and Technology*. <https://www.researchgate.net/publication/326494093>
- Shell Eco-Marathon. (2023). Shell Eco-Marathon 2023 Official Rules Chapter I.
- Suryady, S., & Zhafran, R. (2022). ANALISA DESAIN BODI KENDARAAN TIPE URBAN CONCEPT PADA PENGARUH KOEFISIEN DRAG DAN KOEFISIEN LIFT. In *PRESISI* (Vol. 24, Issue 1).
- Ullah, A., Badar Zaman, M., Aashan Bhatti, M., Qasim, D., Hamid, A., Xiong, Q., & Khan, A. (2021). CFD study of drag and lift coefficients of non-spherical particles. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2021.10.003>
- Yunus A. Çengel, & John M. Cimbala. (2006). *Fluid Mechanics: Fundamentals and Application*. The McGraw-Hill Companies, Inc.