

ANALISIS KARAKTERISTIK AERODINAMIKA VORTEX GENERATOR PADA DESAIN BODY MOBIL CYBERTRUCK MENGGUNAKAN METODE SIMULASI CFD

Fahri¹⁾, Fatahul Arifin^{1)*}, Eka Satria Martomi¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya
Jl. Sriwijaya Negara, Bukit Besar Palembang 30139, Indonesia
email korespondensi: farifinus@polsri.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Received:
05/08/24

Received in revised:
01/10/24

Accepted:
16/10/24

Online-Published:
29/11/24

© 2024 The Authors. Published by
Machinery: Jurnal Teknologi Terapan
(Indexed in SINTA)

doi:
<http://doi.org/10.5281/zenodo.14195767>

ABSTRAK

Penelitian ini didasarkan kepada penghematan bahan bakar yang saat ini dalam kondisi terbatas yang harus dilakukan penghematan energi agar bahan bakar didunia tidak habis, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh Vortex Generator terhadap desain body mobil Cybertruck dengan variasi radius fillet pada kemiringan vortex yaitu 10°, 20° dan 30°. Variasi letak vortex generator pada kecepatan 80 Km/h dan 100 Km/h melalui metode simulasi CFD pada aplikasi Ansys. Menurut hasil perbandingan, didapatkan bahwa Vortex Generator pada desain body mobil dengan desain radius fillet 20° yang diletakkan dibagian depan berpengaruh terhadap pengurangan coefficient drag dan force drag pada desain body mobil cybertruck dengan nilai cd sebesar 0,45266866 dan Fd sebesar 481,77061 N di kecepatan 80 Km/h kemudian cd sebesar 0,45201879 dan Fd sebesar 748,97953 N di Kecepatan 100 Km/h, yang berarti bahwa vortex generator yang terletak kedepan menurunkan CD dan Fd pada Cybertruck lebih baik dari letak lainnya sehingga pemisahan angin akan semakin baik.

Kata Kunci: Aerodinamis, Computational Fluid Dynamics, Pembangkit Pusaran, Koefisien Tarik, Gaya Tarik.

ABSTRACT

This research is based on fuel savings which are currently in limited conditions and energy savings must be made so that the world's fuel does not run out, this study purpose to determine the effect of the Vortex Generator on the design of body Cybertruck with variations in the fillet radius on the vortex slope, namely 10°, 20° and 30°. The variations location of vortex generator speeds on 80 Km/h and 100 Km/h, The CFD analysis is simulated by ansys. The comparison results, were found that the Vortex Generator on the body car with a 20° fillet radius design placed at the front has an influence on reducing the drag coefficient, namely reducing the drag coefficient and force drag on the body of cybertruck with a cd of 0.45266866 and Fd of 481.77061 N at a speed of 80 Km/h then cd of 0.45201879 and Fd of 748.97953 N at a speed of 100 Km/h, which means that the vortex generator located at the front lowers the CD and Fd on the Cybertruck better than other locations so that the wind separation will be better.

Keywords: Aerodynamics, Computational Fluid Dynamics, Vortex Generator, Coefficient Drag, Force Drag.

1 PENDAHULUAN

Kelangkaan energi yang terjadi pada saat ini disebabkan meningkatnya harga jual energi yang secara bersamaan diikuti oleh tuntutan lonjakan permintaan global [1]. Permintaan global untuk mengurangi emisi

bahan bakar fosil mendorong kita untuk meningkatkan penerapan energi terbarukan untuk menjaga keamanan dari penghematan energi [2]. Bidang Otomotif salah satunya, berupaya berkontribusi dalam peningkatan aerodinamis kendaraan merupakan beberapa metode dalam rangka penghematan konsumsi bahan bakar kendaraan. Aerodinamika dapat mengurangi gaya *drag* yang membuat mobil lebih stabil, dan menekan konsumsi bahan bakar. Energi angin telah lama dimanfaatkan dimana [3] merupakan salah satu energi terbarukan yang maksimal [4]. *Force drag* adalah gaya yang bekerja berlawanan arah dengan pergerakan kendaraan dan bekerja pada arah horizontal pada kendaraan. Gaya *drag* terjadi karena adanya beda tekanan pada di bagian depan dan belakang bodi kendaraan dan apabila dilihat pada kendaraan darat, tekanan tarik berdampak hampir 90% dari total *drag* [5]. Aerodinamika pada kendaraan mobil yang sangat efektif memiliki nilai antara 3-4% untuk upaya penghematan konsumsi bahan bakar hingga 10%, bermanfaat untuk reduksi gaya *drag*, reduksi konsumsi bahan bakar menjadi hal esensial dalam pengembangan otomotif, dalam konservasi energi dan proteksi lingkungan. Reduksi gaya *drag* merupakan langkah yang penting dalam kajian aerodinamis kendaraan dalam reduksi penggunaan bahan bakar serta kinerja berkendara [6].

Perkembangan teknologi yang sangat pesat, membuat Peneliti atau pengkaji banyak menciptakan perangkat yang mampu melakukan proses rekayasa sebagai pendekatan penerapan nyata. Perangkat – perangkat dimaksud adalah perangkat lunak yang dapat digunakan untuk menguji proses rekayasa desain secara virtual sebelum diterapkan konstruksi fisik. Hal ini dilakukan agar kerugian yang didapatkan berkurang serta dapat membuat konstruksi lebih presisi sehingga hasil konstruksi fisik menjadi lebih baik. *software* yang digunakan dalam dunia industri rekayasa *engineering* diantaranya: *Ansys*, *Inventor*, *Autocad*, dan *Solidworks*. *Autodesk Inventor*. Perangkat lunak dimaksud adalah sebuah program *CAD (Computer Aided Design)* yang memiliki kemampuan pemodelan 3 dimensi dalam rangka proses pembuatan objek prototipe 3D secara visual [7]. Perangkat lunak memiliki kemampuan mendesain alat serta dapat memproses analisa numerik dari alat yang telah disimulasikan. Penelitian yang memanfaatkan metode komputasi dengan *CFD (Computational Fluid Dynamics)* menjadi solusi. Adapun perangkat lunak yang digunakan diantaranya *CFDSof*, *Solid Work* maupun menggunakan perangkat lunak yang khusus diperuntukkan untuk rekayasa teknik yaitu *ANSYS Fluent* [8].

Vortex Generator (VG) adalah sebuah komponen kecil yang berbentuk sirip ikan, yang terpasang secara vertikal pada permukaan kendaraan. *VG* adalah untuk menunda pemisahan aliran udara [8]. *VG* ditelaah melalui rekayasa desain yang di pasang pada bagian *body* mobil *Cybertruck* menggunakan perangkat lunak *Autodesk Inventor*. Desain kendaraan akan disimulasikan melalui perangkat lunak *Ansys* yaitu model kendaraan *Cybertruck*. *Body* mobil masa kini memiliki desain futuristik sangat menarik perhatian dan cocok untuk digunakan dalam proses rekayasa simulasi desain, *coefficient drag* yang mempengaruhi aerodinamis pada *body* mobil, umumnya memiliki nilai antara 0,2 dan 0,5, sedangkan benda berbentuk permukaan *body* kotak memiliki nilai lebih besar dari 1,0 dan untuk benda berbentuk kerucut kecil seperti peluru memiliki nilai kurang dari 0,1 [10].

Berdasarkan hal tersebut dilakukan pembuktian dengan rekayasa aerodinamika dengan Tujuan riset yaitu menganalisis karakteristik aerodinamika *VG* pada desain *body* mobil *cybertruck* menggunakan metode simulasi *CFD*. Pemasangan *VG* diharapkan mampu mereduksi hambatan aerodinamika pada desain *body* mobil *cybertruck*. *Coefficient Drag (Cd)* dan *Force Drag (Fd)* pada desain *body* mobil *CyberTruck* menjadi salah satu nilai pengamatan yang diamati saat proses simulasi.

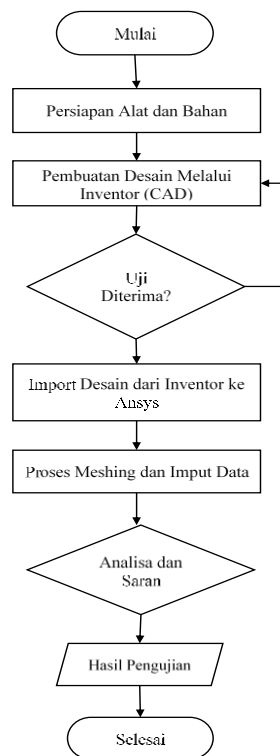
2. BAHAN DAN METODA

2.1 Persiapan Alat dan Bahan

Kegiatan rekayasa menggunakan beberapa alat dan bahan yang harus digunakan yaitu:

- Laptop digunakan sebagai sarana penyusunan desain, proses rekayasa simulasi, dan analisa data maupun pembuatan jurnal);
- Perangkat lunak *Autodesk Inventor* digunakan untuk pembuatan permodelan;
- Perangkat lunak *Ansys* digunakan untuk simulasi numerik fluida;
- Perangkat lunak *Microsoft Excel* digunakan sebagai pencatatan data hasil simulasi, dan penyusunan diagram atau grafik dalam media perbandingan hasil analisa;
- desain rancangan *body* mobil *Cybertruck*.

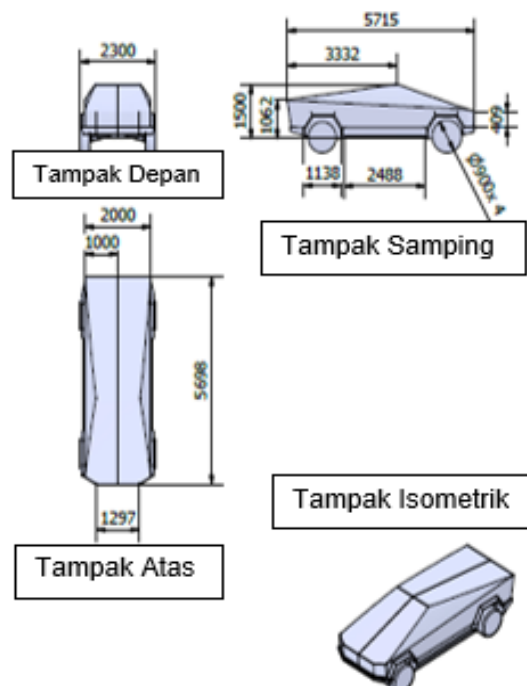
Kegiatan rekayasa terdapat beberapa tahapan yang dilakukan, disusun ke dalam diagram alir. Adapun diagram alir dimaksud adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram alir kegiatan rekayasa desain dan simulasi

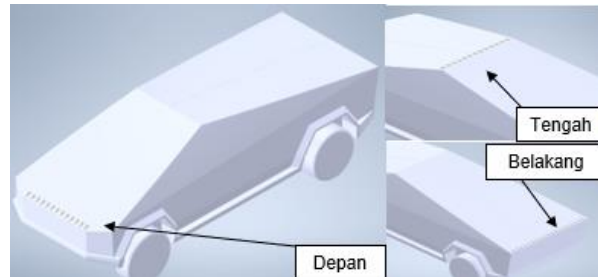
2.2 Pembuatan desain permodelan melalui Autodesk Inventor (CAD)

Proses penyusunan model dilakukan dengan perangkat lunak Autodesk Inventor desain yang dibuat menginterpretasikan bentuk kendaraan mobil dengan permukaan body mobil cybertruck yang futuristic yang diwujudkan pada Gambar 2. Selanjutnya di berikan tanda lokasi penempatan VG pada lokasi kap depan, atap dan kap belakang body mobil sesuai Gambar 3.



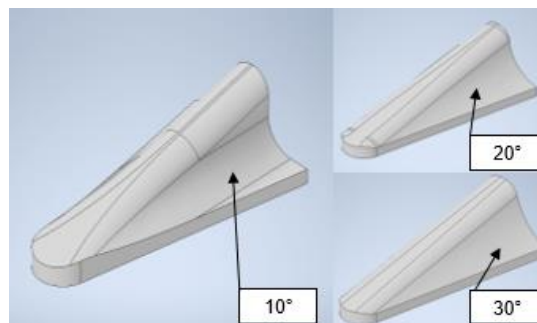
Gambar 2. Cybertruck

Model desain *body* mobil *cybertruck* dibuat lengkap tampak, lengkap dengan dimensi. Dimensi lebar 2300mm dan panjang total 5698mm. Rencana penempatan VG di alokasikan pada 3 (tiga) titik yaitu di posisi depan berada pada kap penutup mesin, posisi tengah pada atap dan posisi belakang pada penutup kap belakang.



Gambar 3. Letak Vortex Generator

Detail desain VG disusun dengan menggunakan perangkat lunak *Autodesk Inventor*, bentuk permukaan yang dibuat berbentuk segitiga seperti sirip ikan dengan dimensi Panjang 100mm, lebar 50mm, tinggi 30mm, ketebalan 5mm dan memiliki variasi radius *fillet* yaitu 10°, 20° dan 30°. Model VG ditunjukkan pada Gambar 4. Desain VG dirangkai pada model *body* mobil *cybertruck* di bagian depan sebanyak 13 buah, bagian tengah sebanyak 13 buah dan belakang sebanyak 19 buah.



Gambar 4. Variasi Vortex Generator

Ketika benda padat bergerak melewati udara, gaya *drag* merupakan salah satu gaya hambatan utama pada benda. Ketika mobil berjalan dan melakukan pembakaran bahan bakar, *force drag* menarik mobil ke belakang sehingga mengurangi kecepatan. Akibatnya, bahan bakar kurang efisien. Ketika mobil melaju sekitar 55 mil per jam, kerugian aerodinamika mengurangi sekitar 50-60% daya keluaran mesin [11].

Gaya hambat ataupun *force drag* adalah gaya yang menarik ke belakang, mendorong mundur dan menjadi penghambat ketika kendaraan melaju ke depan [12-13].

Drag yang dihasilkan terbagi menjadi dua yaitu *drag* yang terjadi karena gaya gesek dan yang diakibatkan oleh tekanan. *Drag* dapat dituliskan dalam *Coefficient Drag* (C_d), yaitu perbandingan antara drag dengan *Dynamic Pressure Freestream* [14-15] yang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$C_d = \frac{F_d}{\frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \cdot A} \quad (1)$$

dimana:

C_d : *Coefficient Drag*

D : *Force Drag* (N)

Untuk *Force drag* didapatkan melalui persamaan berikut:

$$F_d = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A \quad (2)$$

ρ : Massa jenis udara (1.225 Kg/m³)

v : Kecepatan udara (m/s)

A : Luas Penampang (3.52572 m²)

Simulasi CFD yang dilakukan menggunakan *mesh* dengan jumlah mesh sebanyak 195973 *cells* dengan ukuran *mesh minimum size* 0,06 m dan *maximum size* 0,3 m, menggunakan jenis *mesh poly-hexcore*. Fluida yang digunakan adalah udara dengan masa jenis 1.225 Kg/m³, dengan model *viscous K- Omega SST*.

2.3 Import desain *inventor* ke *ansys*

Desain rancangan *modeling* yang telah disusun dengan perangkat lunak *Autodesk Inventor*, selanjutnya di proses lebih lanjut pada perangkat lunak *ansys* untuk dapat dilakukan simulasi.

2.4 Proses *meshing* dan *input data*

Desain rancangan yang telah di impor ke perangkat lunak *ansys* dengan simulasi *CFD* selanjutnya dilakukan proses aktivasi *meshing* dan *input data* parameter. Apabila data sudah sesuai selanjutnya di *running* simulasi.

2.5 Analisa

Hasil proses simulasi yang telah di *running* selanjutnya di telaah dan di analisis secara mendetail. Sehingga diperoleh data hubungan atau pengaruh yang dihasilkan dari penempatan *VG* pada *body* mobil *cybertruck*.

Tabel 1. Formulir Pencatatan Hasil Simulasi *CFD* Aerodinamika *Cybertruck* dengan *Vortex Generator*

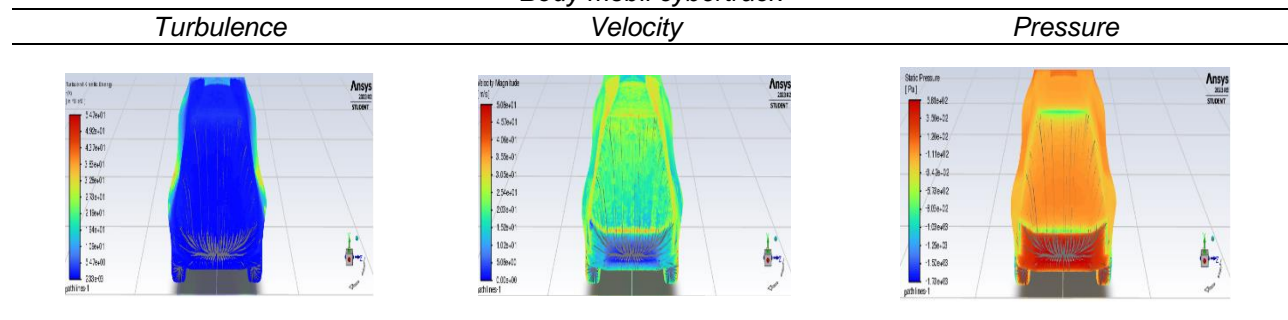
Pencatatan Data Hasil Pengujian <i>Vortex Generator</i> pada <i>CyberTruck</i>				
Variasi Letak <i>VG</i>	Kecepatan Angin (km/h)	Radius <i>Fillet VG</i> (°)	<i>Force Drag</i>	<i>Coefficient Drag</i>
Depan	80 Km/h	10°		
		20°		
		30°		
Tengah	dan 100 Km/h	10°		
		20°		
		30°		
Belakang		10°		
		20°		
		30°		

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Simulasi

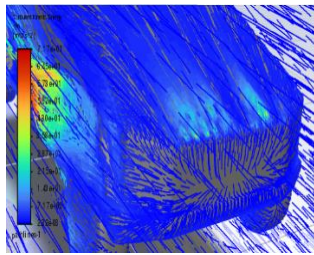
Berikut merupakan hasil *contour* dari permukaan *body* mobil *cybertruck* yang telah didapatkan melalui simulasi *CFD* pada *ansys* dapat dilihat melalui tabel berikut ini.

Tabel 2. Hasil Simulasi *Body* mobil *cybertruck*

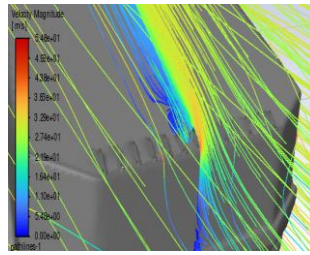


Vortex Generator Bagian Depan

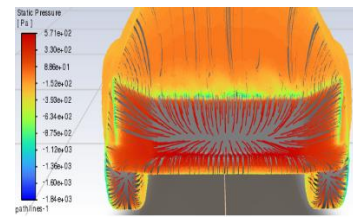
Turbulence



Velocity

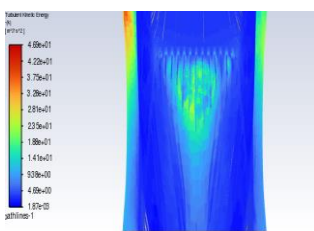


Pressure

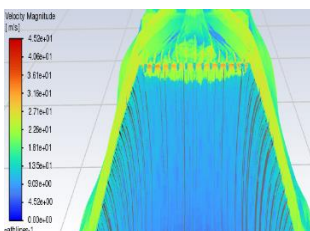


Vortex Generator Bagian Tengah

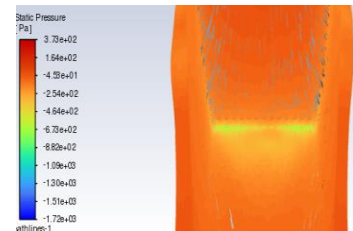
Turbulence



Velocity

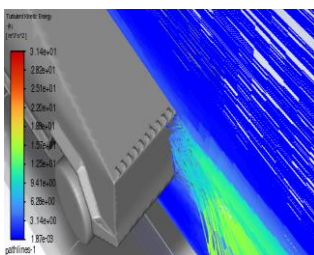


Pressure

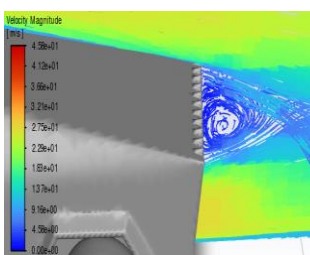


Vortex Generator Bagian Belakang

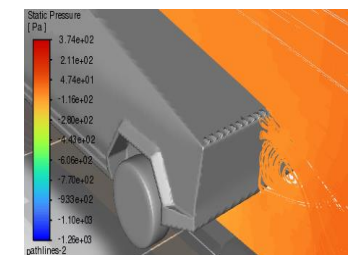
Turbulence



Velocity



Pressure



Hasil penelitian melalui simulasi CFD tersebut didapatkan nilai pada *cybertruck* dengan variasi penempatan *vortex generator*. Nilai tersebut terdapat pada *Turbulence*, *Velocity* dan *Pressure*. *body* mobil *cybertruck* tanpa *vortex generator* diperoleh hasil maksimum $5.47e+01 \text{ m}^2/\text{s}^2$ pada nilai *turbulence*, $5.08e+01 \text{ m/s}$ pada nilai *velocity* dan $5.81e+02 \text{ Pa}$ pada *pressure*. *Vortex Generator* yang diletakkan didepan mendapatkan hasil maksimum $7.17e+01 \text{ m}^2/\text{s}^2$ pada nilai *turbulence*, $5.48e+01 \text{ m/s}$ pada nilai *velocity*, dan $5.71e+02 \text{ Pa}$ pada nilai *Pressure*, kemudian *Vortex Generator* yang diletakkan ditengah diperoleh hasil maksimum $4.69e+01 \text{ m}^2/\text{s}^2$ pada nilai *turbulence*, $4.52e+01 \text{ m/s}$ pada nilai *Velocity*, dan $3.73e+02 \text{ Pa}$ pada *Pressure*. Selanjutnya *Vortex Generator* yang diletakkan di belakang diperoleh hasil maksimum $3.14e+01 \text{ m}^2/\text{s}^2$ pada nilai *turbulence*, $4.58e+01 \text{ m/s}$ pada nilai *Velocity* dan nilai *Pressure* $3.74e+02 \text{ Pa}$.

3.2 Analisa Grafik

Tabel 3. Data Hasil Pengujian *Cybertruck*

Data Hasil Pengujian <i>Cybertruck</i> Tanpa <i>Vortex Generator</i>		
Kecepatan Angin (Km/h)	Coefficient Drag	Force Drag
80 Km/h	0,48810827	519,48863 N
100 Km/h	0,48655242	806,20056 N

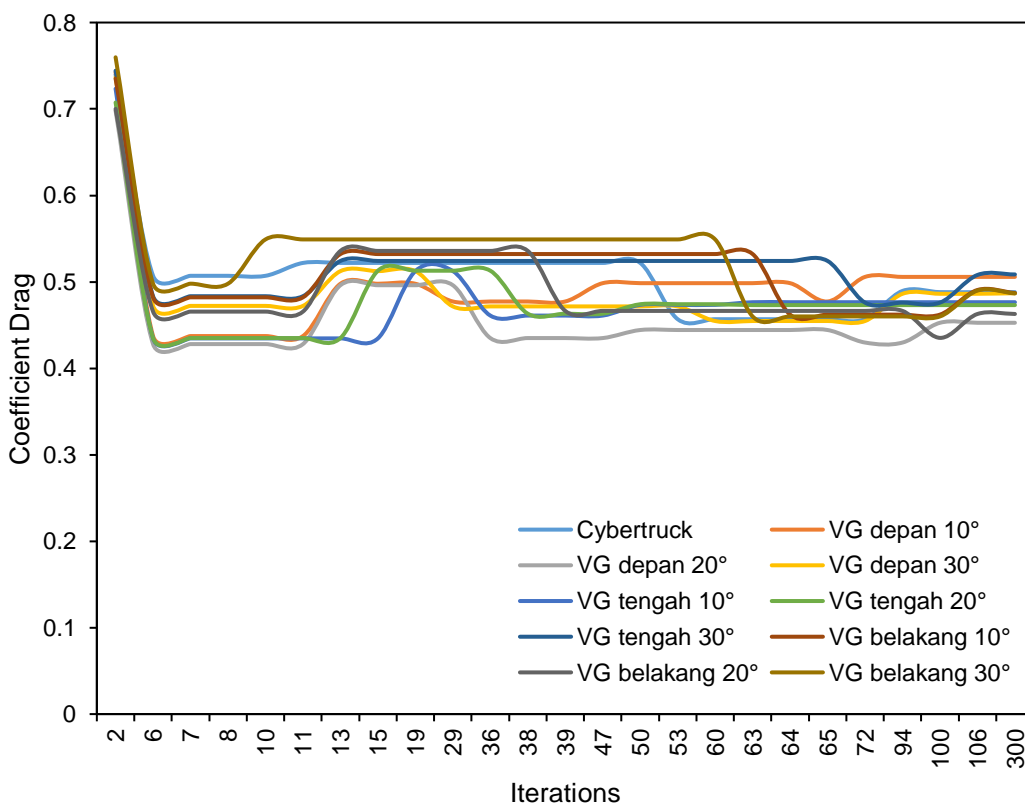
Tabel 2 dan 3 merupakan hasil data simulasi *CFD* yang dilakukan menggunakan aplikasi *ansys* yang dilakukan dengan menganalisis *body* mobil *cybertruck* tanpa *vortex generator* dan dengan pemasangan *vortex generator* yang divariasikan dengan radius *fillet*, letak dan kecepatan.

Tabel 4. Data Hasil Simulasi *CFD* Aerodinamika *Cybertruck* dengan *Vortex Generator*

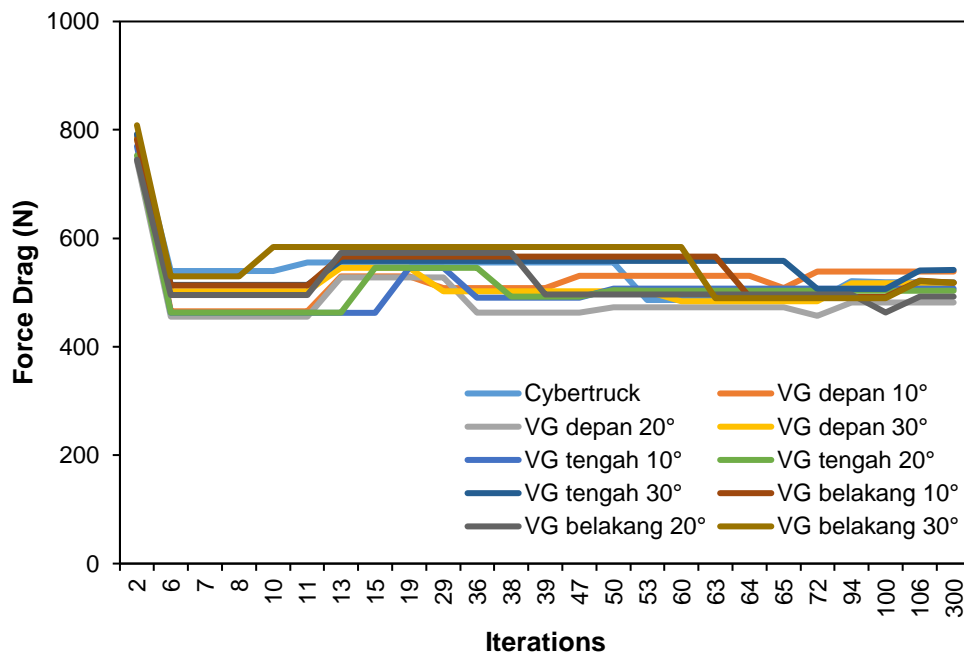
Data Hasil Pengujian <i>Vortex Generator</i> pada <i>CyberTruck</i>				
Variasi Letak VG	Kecepatan Angin (km/h)	Radius <i>Fillet</i> VG (°)	<i>Force Drag</i>	<i>Coefficient Drag</i>
Depan	80 Km/h	10°	538,24263 N	0,50572942
		20°	481,77061 N	0,45266866
		30°	518,16142 N	0,48686124
Tengah		10°	507,07452 N	0,47644406
		20°	503,55678 N	0,47313881
		30°	541,27003 N	0,50857394
Belakang		10°	518,35844 N	0,48704636
		20°	492,60565 N	0,4628492
		30°	517,84553 N	0,48656443
Depan	100 Km/h	10°	837,21818 N	0,50527195
		20°	748,97953 N	0,45201879
		30°	803,46498 N	0,48490146
Tengah		10°	784,52304 N	0,47346976
		20°	775,55988 N	0,46806037
		30°	836,13695 N	0,50461942
Belakang		10°	809,68982 N	0,48865823
		20°	765,00807 N	0,46169222
		30°	800,09798 N	0,48286943

3.2.1 Grafik Perbandingan pada Kecepatan 80 Km/h

Berikut merupakan hasil interpretasi grafik perbandingan dari simulasi *CFD* pada *body* mobil *cybertruck* dengan metode simulasi *CFD* (*Computational Fluid Dynamics*) menggunakan variasi radius *fillet* dari VG, letak VG, dan kecepatan yaitu 80 Km/h dan 100 Km/h yang akan menunjukkan bahwa VG memiliki pengaruh terhadap karakteristik aerodinamika pada *body* mobil *cybertruck*.



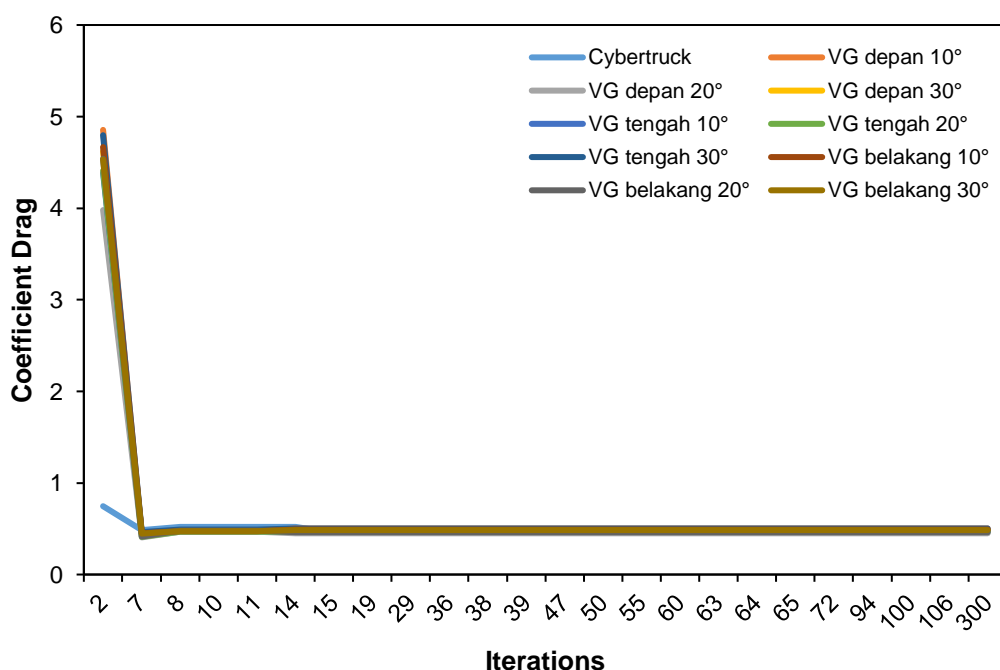
Gambar 5. Grafik Perbandingan *Coefficient Drag* pada Kecepatan 80 Km/h



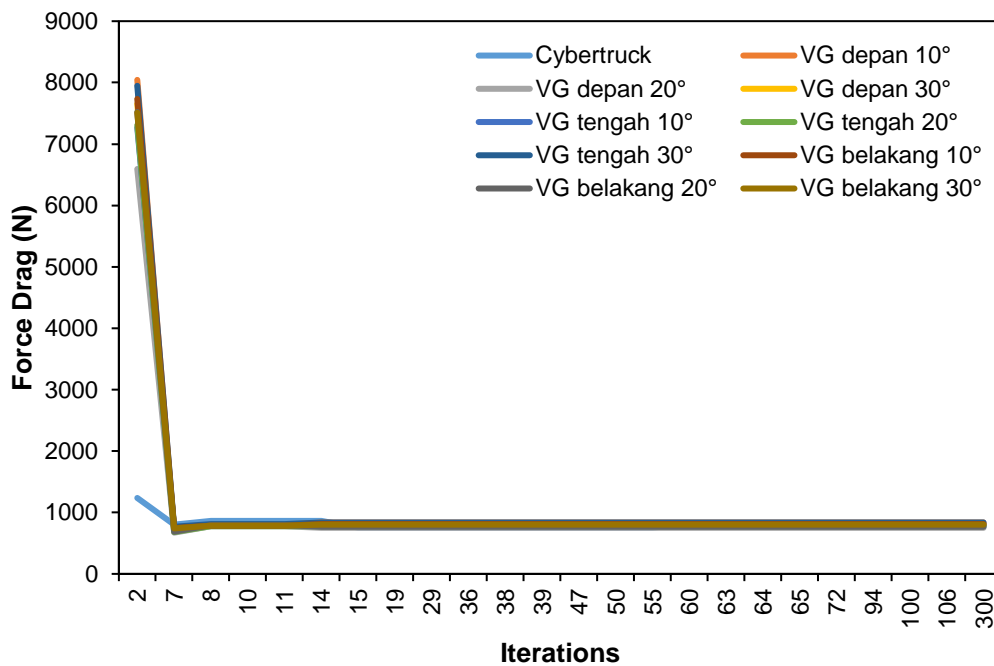
Gambar 6. Grafik Perbandingan Force Drag pada Kecepatan 80 Km/h

Grafik di atas dapat dilihat pola grafik *coefficient drag* dan *force drag* pada perbandingan antara grafik yang telah di analisa. Iterasi diambil sesuai dengan kenaikan pada titik iterasi yang terjadi kenaikan dan penurunan *coefficient drag* dan *force drag* sehingga dapat disimpulkan bahwa *Cybertruck* dengan pemakaian *Vortex Generator* radius 20° pada letak di depan yang paling berpengaruh di antara *vortex generator* dengan radius *fillet* dan letak yang bervariasi lainnya pada kecepatan 80 Km/h dengan nilai *coefficient drag* sebesar 0,45266866 dan *Force Drag* sebesar 481,77061 N dibandingkan dengan *cybertruck* yang tidak dipasangkan *vortex generator* dengan *coefficient drag* sebesar 0,48810827 dan *Force Drag* sebesar 519,48863 N maka bisa dilihat bahwa *Cybertruck* dengan pemakaian *Vortex Generator* radius 20° sangat berpengaruh terhadap penurunan *coefficient drag* Pada kecepatan 80 Km/h.

3.2.2 Grafik Perbandingan pada Kecepatan 100 Km/h



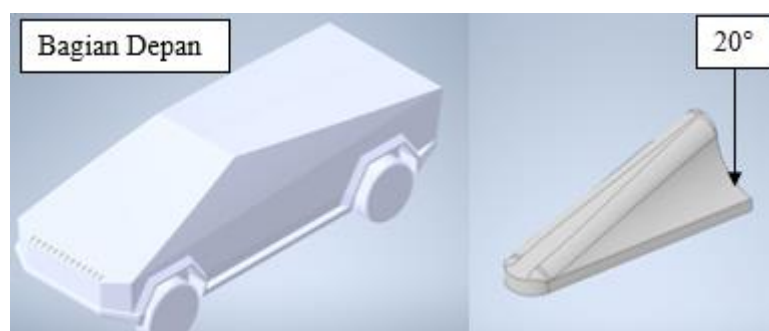
Gambar 7. Grafik Perbandingan Coefficient Drag pada Kecepatan 100 Km/h



Gambar 8. Grafik Perbandingan *Force Drag* pada Kecepatan 100 Km/h

Grafik di atas dapat dilihat pola grafik *coefficient drag* dan *force drag* pada perbandingan antara grafik yang telah di analisa. Iterasi diambil sesuai dengan kenaikan pada titik iterasi yang terjadi kenaikan dan penurunan *coefficient drag* dan *force drag* sehingga dapat disimpulkan bahwa *Cybertruck* dengan pemakaian *Vortex Generator* radius 20° pada letak di depan yang paling berpengaruh di antara *vortex generator* dengan radius *fillet* dan letak yang bervariasi lainnya pada kecepatan 100 Km/h dengan nilai *coefficient drag* sebesar 0,45201879 dan *Force Drag* sebesar 748,97953 N dibandingkan dengan *cybertruck* yang tidak dipasangkan *vortex generator* dengan *coefficient drag* sebesar 0,48810827 dan *Force Drag* sebesar 519,48863 N maka bisa dilihat bahwa *Cybertruck* dengan pemakaian *Vortex Generator* radius 20° sangat berpengaruh terhadap penurunan *coefficient drag* Pada kecepatan 100 Km/h.

4. KESIMPULAN



Gambar 10. *Cybertruck* dengan VG Radius 20° Bagian Depan

Hasil yang diperoleh dari simulasi *CFD* menunjukkan bahwa penggunaan *VG* pada desain *body* mobil *Cybertruck* memiliki pengaruh terhadap *coefficient drag* dan *force drag* dari model mobil tersebut dikarenakan terdapat reduksi *coefficient drag* dan *force drag* yang terjadi setelah dilakukan simulasi dengan membandingkan *VG* dengan desain *fillet* 20° dengan *VG* dengan desain *fillet* 10° dan 30° bahkan turun drastis melebihi model *cybertruck* dengan tidak menggunakan *VG* yang memiliki *Cd* sebesar 0,48810827 dan *Fd* sebesar 519,48863 N. Sehingga, *vortex generator* dengan desain radius *fillet* 20° yang diletakkan dibagian depan memiliki pengaruh terhadap pengurangan *coefficient drag* yaitu pengurangan *coefficient drag* dan *force drag* pada *cybertruck* dengan *cd* sebesar 0,45266866 dan *Fd* sebesar 481,77061 N di kecepatan 80 Km/h kemudian *cd* sebesar 0,45201879 dan *Fd* sebesar 748,97953 N di Kecepatan 100 Km/h, yang berarti bahwa *VG* sangat berpengaruh dalam menurunkan *CD* dan *Fd* pada *Cybertruck*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Astanto, I., Arifin, F., & Bow, Y. (2022). Study of Effect Changing the Blade Shape and Lift Angles on Horizontal Wind Turbine. *International Journal of Research in Vocational Studies (IJRVOCAS)*, 2(1), 33-37. <https://doi.org/10.53893/ijrvocas.v2i1.92>
- [2] Garmana, A., & Arifin, F. (2021, April). CFD analysis for combination savonius and darrieus turbine with differences in the number of savonius turbine blades. In *2021 International Conference on Artificial Intelligence and Mechatronics Systems (AIMS)* (pp. 1-5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/AIMS52415.2021.9466009>
- [3] Arifin, F., Kusumanto, R. D., Bow, Y., Zamheri, A., Rusdianasari, R., Wang, M. W., ... & Herlambang, Y. D. (2022, February). Modelling Design Diffuser Horizontal Axis Wind Turbine. In *5th FIRST T1 T2 2021 International Conference (FIRST-T1-T2 2021)* (pp. 193-196). Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/ahe.k.220205.033>
- [4] Pratama, R. M., Sundari, E., Okviyanto, T., Yahya, Y., Martomi, E. S., & Firdaus, F. (2023). Perancangan Turbin Angin Sumbu Vertikal Sebagai Pembangkit Listrik (Skala Laboratorium). *MACHINERY: Jurnal Teknologi Terapan*, 4(3), 141-148. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10122311>
- [5] Adarsh, P., Cherian, A. G., Arun, K. S., & Kumar, D. R. (2014). Numerical investigation of drag on a trailing aerodynamic sedan vehicle. *International Journal of Mechanical and Production Engineering (IJMPE)*, 2(4), 81-86. <https://iraj.doionline.org/dx/IJMPE-IRAJ-DOIONLINE-651>
- [6] Dubey, A., Chheniya, S., & Jadhav, A. (2013). Effect of Vortex generators on Aerodynamics of a Car: CFD Analysis. *International Journal of Innovations in Engineering and Technology (IJJET)*, 2(1), 137144. https://www.researchgate.net/publication/316855385_Effect_of_Vortex_generators_on_Aerodynamics_of_a_Car_CFD_Analysis
- [7] Arifin, F., Arnoldi, D., Sundari, E., Putri, F., Agasa, F., Ramadhan, Y., ... & Herlambang, Y. D. (2020). Studi analisis simulasi kekuatan beban pada alat bantu pembuatan lubang dengan sudut kemiringan 45 derajat. *Jurnal Polimesin*, 18(2), 116-123. <http://dx.doi.org/10.30811/jpl.v18i2.1837>
- [8] Hidayat, M. F. (2014). Analisa Aerodinamika Airfoil NACA 0012 dengan Ansys Fluent. *Jurnal Kajian Teknologi*, 10(2). <https://journal.untar.ac.id/index.php/teknologi/article/view/250>
- [9] Ahmed, A., & Murtaza, M. A. (2016). CFD Analysis of car body aerodynamics including effect of passive flow devices—A REVIEW. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 5(3), 141-144. https://www.academia.edu/25630215/CFD_Analysis_Of_Car_Body_Aerodynamics_Including_Effect_Of_Passive_Flow_Devices_A_Review
- [10] Ismail, M. P., Ishak, I. A., Samiran, N. A., Mohammad, A. F., Salleh, Z. M., & Darlis, N. (2022). CFD analysis on the effect of vortex generator on sedan car using ansys software. *International Journal of Integrated Engineering*, 14(1), 73-83. <https://doi.org/10.30880/ijie.2022.14.01.008>
- [11] Hadinata, S., & Utomo, M. T. S. (2016). Simulasi Aerodinamika Mobil Toyota Yaris Menggunakan Software Ansys Fluent. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Diponegoro*. https://www.academia.edu/29821157/Simulasi_Aerodinamika_Mobil_Toyota_Yaris_Menggunakan_Software_Ansys_Fluent
- [12] Haidar, A. D., & Charles, H. (2019). Analisis Aerodinamik Bodi Mobil Listrik PROSOE KMHE 2019 Menggunakan CFD Ansys Ver 17. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Mercu Buana Jakarta*. <https://publikasi.mercubuana.ac.id/files/journals/20/articles/5940/submission/original/5940-11665-1-SM.pdf>
- [13] Anggarana, B. G. D. C., & Karohika, I. M. G. (2022). Analisis Aerodinamika Bodi Mobil Dengan Variasi Kecepatan Menggunakan Perangkat Lunak CFD. *Sibatik Journal: Jurnal Ilmiah Bidang Sosial, Ekonomi, Budaya, Teknologi, dan Pendidikan*, 1(8), 1455-1462. <https://doi.org/10.54443/sibatik.v1i8.192>
- [14] A. Anish, Suthen.P.G, Viju.M.K (2017). "Modelling and Analysis of a Car for Reducing Aerodynamic Forces", *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, V47(1). ISSN:2231-5381. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V47P201>
- [15] Arum, W. F., & Dzikirillah, E. F. (2023). Analisis Pengaruh Vortex Generator Terhadap Aliran Udara. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 9(1), 55-64. <https://doi.org/10.56521/teknika.v9i1.793>