

Analisis *Streamlines* Udara Di Sepanjang Permukaan Bodi Kendaraan Menggunakan Simulasi ANSYS Fluent

Rivaldo Anderson Robert, Made Sucipta, I Made Widiyarta
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Bodi kendaraan merupakan salah satu bagian penting dari kendaraan yang perlu pengembangan, dengan tujuan membuat bodi kendaraan yang semakin aerodinamis. Banyak penelitian simulasi kendaraan yang telah dilakukan untuk menganalisa faktor aerodinamika kendaraan seperti gaya drag, gaya lift, gradien tekanan, maupun aliran udara namun untuk pembahasan mengenai fenomena *streamlines* yang terjadi masih kurang. Maka dari itu pada penelitian ini, melakukan simulasi pada suatu desain bodi kendaraan menggunakan Ansys Fluent yang selanjutnya akan dianalisa *streamlines* yang terjadi pada beberapa titik di sepanjang bodi kendaraan. Penelitian ini juga menggunakan variasi kecepatan kendaraan 30 km/jam, 40 km/jam dan 50 km/jam untuk melihat pengaruh kecepatan kendaraan terhadap *streamlines* udara yang terjadi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aliran udara yang melewati permukaan bodi kendaraan akan mengikuti bentuk dari permukaan bodi kendaraan tersebut. Namun pada beberapa titik yang memiliki kelengkungan perubahan sudut yang besar, aliran udara sulit untuk mengikutinya. Hal yang didapatkan juga yaitu, terjadinya *wake* atau pusaran udara pada bagian belakang kendaraan akibat adanya separasi aliran pada *trailing edge* kendaraan. Dan kenaikan kecepatan kendaraan akan memperbesar juga gradien kecepatan udara yang melewati kontur permukaan bodi kendaraan.

Kata kunci: Streamlines, Bodi Kendaraan, Kecepatan Kendaraan, Aerodinamika

Abstract

The vehicle body is one of the important parts of the vehicle that needs development, with the aim of making the vehicle body more aerodynamic. Many vehicle simulation studies have been conducted to analyze vehicle aerodynamic factors such as drag force, lift force, pressure gradient, and airflow, but the discussion of the streamlines phenomenon that occurs is still lacking. Therefore, in this study, simulating a vehicle body design using Ansys Fluent which will then analyze the streamlines that occur at several points along the vehicle body. This research also uses vehicle speed variations of 30 km/h, 40 km/h and 50 km/h to see the effect of vehicle speed on air streamlines that occur. The results showed that the airflow passing through the surface of the vehicle body will follow the shape of the vehicle body surface. However, at some points that have large angular curvature changes, the air flow is difficult to follow. What is also obtained is the occurrence of a wake or air vortex at the rear of the vehicle due to the separation of the flow at the trailing edge of the vehicle. And the increase in vehicle speed will also increase the air velocity gradient passing through the contour of the vehicle body surface.

Keywords: Streamlines, Vehicle Body, Vehicle Speed, Aerodynamics

1. Pendahuluan

Body kendaraan adalah salah satu bagian penting pada kendaraan selain dari mesin atau penggerak kendaraan dan juga *frame* atau rangka kendaraan [1], karena *body* akan mempengaruhi laju kendaraan dan secara tidak langsung *body* akan berpengaruh pada pemakaian bahan bakar [2]. *Body* merupakan bagian dari kendaraan yang dapat dilihat langsung yang berupa pelat atau komponen yang menutupi *frame* atau rangka kendaraan dan melindungi penumpang dan barang di dalamnya [1]. *Body* yang baik sebaiknya memiliki bentuk yang aerodinamis sehingga faktor gesekan yang menghambat kendaraan akan semakin kecil [3].

Untuk melihat fenomena aerodinamis aliran udara yang terjadi pada permukaan bodi kendaraan diperlukan suatu perangkat lunak yang dapat melihat fenomena ini. Ansys Fluent merupakan salah satu program dari CFD yang dapat membantu dalam melihat bagaimana pengaruh aliran fluida,

perpindahan panas serta fenomena lainnya pada suatu sistem [4].

Beberapa penelitian yang dilakukan berhubungan dengan simulasi aliran yang melewati suatu kontur permukaan seperti pengembangan perancangan *body* mobil Antawirya Residual SAT yang lebih aerodinamis, dengan melakukan analisis nilai koefisien drag pada dua desain yang telah dibuat, serta melihat bagaimana aliran udara di sekitar *body* kendaraan. Pada penelitian ini dilakukan dengan variasi kecepatan kendaraan 40 km/jam, 50 km/jam, 60 km/jam dan 70 Km/jam. Hasil yang didapat menunjukkan nilai koefisien *drag* mobil Antawirya Turangga Veda 2 lebih kecil daripada mobil Antawirya terdahulu, dengan penurunan terbesar terjadi pada kecepatan kendaraan 70 km/jam, yaitu sebesar 19,56 % [5].

Selanjutnya ada pula penelitian yang dilakukan untuk meneliti serta melakukan modifikasi pada desain kendaraan yang telah ada dengan tujuan untuk membuat desain bodi baru yang lebih aerodinamis dengan target nilai koefisien *drag*-nya lebih rendah

dari 0,35. Modifikasi yang dilakukan berupa penambahan spoiler, membuat coakan pada bagian bawah di sisi belakang kendaraan dan memperhalus sudut tajam pada desain bodi [6].

Lalu ada penelitian yang meneliti mengenai faktor aerodinamika pada *ahmed body car* yang sebelumnya dilakukan modifikasi pada bagian belakang model dengan sudut kemiringan 0° . Penelitian juga dilakukan dengan variasi kecepatan kendaraan 80 km/jam, 100 km/jam, dan 120 km/jam. Hasil yang diperoleh adalah nilai koefisien drag terkecil adalah 0.54 pada variasi kecepatan kendaraan 80 km/jam dan yang tertinggi adalah 0.59 pada variasi kecepatan kendaraan 120 km/jam [7].

Dengan demikian tujuan dari penelitian ini yaitu untuk melihat bagaimana aliran *streamlines* udara saat melewati permukaan bodi kendaraan pada suatu desain kendaraan yang telah dibuat. Simulasi dilakukan pada variasi kecepatan kendaraan 30 km/jam, 40 km/jam dan 50 km/jam. Dan batasan dalam penelitian ini yaitu, simulasi dan analisis dilakukan pada bodi kendaraan dan simulasi dilakukan tanpa adanya aksesoris tambahan lainnya seperti kaca spion dan lain-lain.

2. Dasar Teori

2.1 Eksternal Flow

Aliran eksternal adalah aliran yang berkembang secara bebas pada lapisan batas, tanpa hambatan yang disebabkan oleh permukaan yang berdekatan. Aliran ini dapat didefinisikan sebagai aliran fluida di sekitar benda yang tercelup seluruhnya ke dalam fluida tersebut. Contoh aliran eksternal adalah aliran fluida diatas permukaan pelat, kawat atau pipa [8].

2.2 Aliran Udara pada Kendaraan

Secara umum semua fenomena aerodinamis yang terjadi pada kendaraan diakibatkan oleh gerakan relatif partikel udara yang mengalir di sepanjang bodi kendaraan. Pada saat kendaraan melaju, maka partikel-partikel udara akan melewati bodi kendaraan pada suatu lintasan yang dinamakan *streamlines*. *Streamlines* adalah garis-garis lintasan partikel udara yang memiliki arah yang sejajar dan tidak berpotongan satu sama lain dan memiliki nilai gradien kecepatan yang berbeda-beda sesuai dengan medan kecepatan yang dilalui. Lintasan aliran udara pada posisi yang jauh dari kendaraan akan saling sejajar dan memiliki harga kecepatan mendekati nilai kecepatan *freestream*. Sedangkan lintasan aliran udara yang dekat dengan permukaan kendaraan akan memiliki pola aliran yang sangat kompleks dikarenakan adanya bentuk bodi kendaraan yang kompleks sehingga di sekitar kendaraan akan terjadi fenomena-fenomena gangguan aliran udara [9].

2.3 Boundary Layer

Boundary layer (lapisan batas) adalah lapisan tipis yang terbentuk dekat dengan kontur permukaan akibat kecepatan aliran fluida yang tidak seragam karena terpengaruh oleh tegangan geser yang muncul

akibat viskositas. Daerah *boundary layer* dimulai saat aliran yang menempel pada permukaan sampai pada suatu titik dimana aliran memiliki kecepatan mendekati kecepatan aliran bebas [10]. Pada *boundary layer* ada juga suatu fenomena yang disebut dengan separasi aliran. Separasi aliran ini menyebabkan adanya aliran balik yang arahnya berlawanan dengan arah aliran utama.

2.4 Gaya Drag dan Lift

Gaya *drag* adalah gaya hambat yang arah kerjanya berlawanan arah dengan arah gerakan relatif benda [11]. Besarnya gaya hambat akan bernilai berbeda-beda pada setiap kendaraan. Karena tiap kendaraan memiliki bentuk bodi yang berbeda-beda yang mengakibatkan faktor koefisien *drag* juga akan berbeda.

Gaya lift adalah komponen gaya yang tegak lurus terhadap arah aliran yang datang dan ditandai sebagai arah positif jika mengarah ke atas dan jika mengarah ke bawah bernilai negatif.

2.5 Ansys Fluent

Fluent adalah satu jenis program CFD yang menggunakan metode volume hingga (*finite volume*). Untuk metode volume hingga, medan aliran dipecah menjadi elemen volume yang kecil (*cell*) dan setiap elemen tersebut akan ditinjau dengan persamaan yang sesuai pada elemen dan diselesaikan secara numerik. Persamaan yang berlaku adalah *Navier-Stokes* yang merupakan formulasi dari persamaan kekekalan massa, momentum dan energi [12] dan [13].

3. Metode Penelitian

3.1 Variabel Penelitian

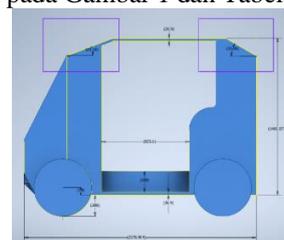
Variabel bebas pada penelitian ini berupa kecepatan kendaraan yaitu, 30 km/jam, 40 km/jam dan 50 km/jam. Dan untuk variabel terikat penelitian ini berupa gambar *velocity streamlines* pada permukaan bodi kendaraan.

3.2 Tahapan Penelitian

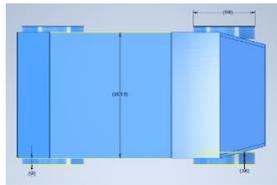
Ada tiga tahapan yang harus dilakukan, yaitu; *pre-processing*, *solving* dan *post-processing*.

1) Pre-processing

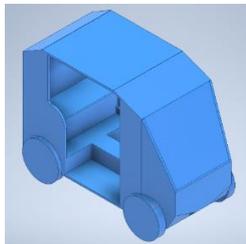
Pre-processing adalah langkah awal dalam membangun dan mempersiapkan analisa komputasi. Pada tahapan ini yaitu pembuatan geometri, membangun domain simulasi, pembuatan meshing, menentukan *boundary condition* dan penentuan parameter-parameter lainnya. Adapun dimensi dari desain kendaraan yang digunakan dalam simulasi dapat dilihat pada Gambar 1 dan Tabel 1.



(a) Tampak samping



(b) Tampak atas



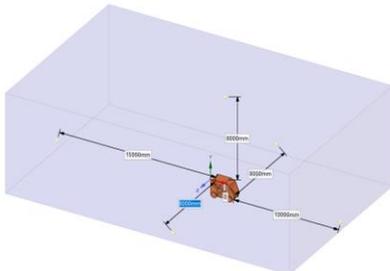
(c) Tampak 3D

Gambar 1. Desain bodi kendaraan

Tabel 1. Dimensi kendaraan

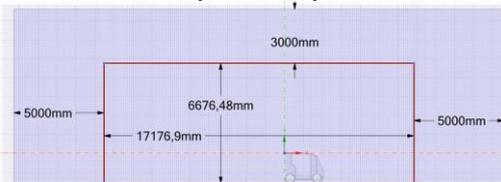
Panjang	2176,9 mm
Lebar	1029,9 mm
Tinggi	1480,5 mm
Besar sudut leading edge	21,18°
Besar sudut trailing edge	30°

Setelah memiliki desain simulasi, kemudian dilanjutkan pembuatan domain simulasi pada menu geometri Ansys Fluent. Domain simulasi adalah suatu ruang yang ditentukan untuk membatasi tempat simulasi yang dilakukan. Ukuran domain simulasi yang dipakai dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Domain Simulasi

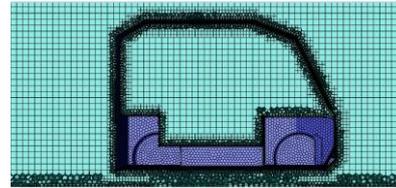
Pada pembuatan domain simulasi, juga dibuat *Body of Influence* (BOI) yang merupakan ruang didalam domain simulasi yang bentuk agar meshing pada daerah ini dibuat lebih kecil daripada lingkungan sekitarnya dan proses *solving* akan menjadi lebih valid. Ukuran BOI dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Ukuran BOI

Langkah selanjutnya adalah proses *meshing* pada domain simulasi. Tujuan proses *meshing* adalah membentuk *cell-cell* kecil yang meliputi setiap titik pada daerah domain simulasi, dan pada *cell* inilah terjadi proses penyelesaian masalah secara numerik oleh *solver* yang dipilih. *Meshing* yang dipakai dalam

penelitian ini adalah *poly-hexcore* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Meshing pada bodi kendaraan

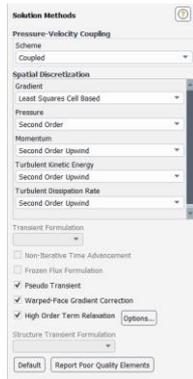
Untuk pengecekan *mesh* untuk melihat apakah *mesh* yang digunakan telah dikatakan baik, dapat menggunakan metode *skewness quality*, *orthogonal quality* atau yang lainnya. Pada penelitian ini melakukan pengecekan menggunakan *skewness quality* dan *inverse orthogonal quality* untuk volume *mesh*. Dan didapatkan nilai *skewness quality* sebesar 0,852, dan nilai *inverse orthogonal quality* sebesar 0,91.

Selanjutnya masuk pada menu *setup* dan mengatur parameter-parameter simulasinya seperti mengatur model permasalahan yang mau diselesaikan dipilih model *viscous k-epsilon realizable*, lalu mengatur *boundary condition* yaitu kecepatan aliran saat masuk domain simulasi pada sisi *inlet*, kondisi tekanan aliran pada sisi *outlet* domain simulasi dan kondisi dinding domain simulasi saat dilewati aliran pada *setting wall*. Dan yang terakhir menentukan nilai referensi yang dipakai dalam simulasi ini seperti area frontal kendaraan, kecepatan aliran, densitas dan viskositas fluida. Untuk nilai referensi yang dipakai pada penelitian bisa dilihat pada Gambar 5.

Reference Values	
Area (m ²)	1.598494
Density (kg/m ³)	1.225
Enthalpy (J/kg)	0
Length (m)	1
Pressure (pascal)	0
Temperature (K)	288.16
Velocity (m/s)	8.33
Viscosity (kg/m-s)	1.7894e-05
Ratio of Specific Heats	1.4
Yplus for Heat Tran. Coef.	300

Gambar 5. Nilai referensi

Kemudian masuk pada menu *solution* lalu mengatur *solution methods*, bisa dilihat pada Gambar 6. Selanjutnya masuk pada *residual monitor* dan mengatur nilai konvergensi yang akan menentukan bahwa hasil telah sesuai dan iterasi dihentikan. Pada penelitian ini konvergensi ditentukan sebesar 10^{-5} . Setelah itu melakukan *initialization* dan dipilih *standard initialization*, dan selanjutnya dapat melakukan *running* simulasi dengan iterasi 500.



Gambar 6. Solution methods

2) Solving

Pada tahapan ini *solver* akan menyelesaikan permasalahan sesuai dengan setting dan parameter-parameter yang telah ditentukan pada tahap *pre-processing*. Model permasalahan yang digunakan yaitu model *viscous k-epsilon realizable*, dan menggunakan *solver pressure-based* dan aliran *steady flow*.

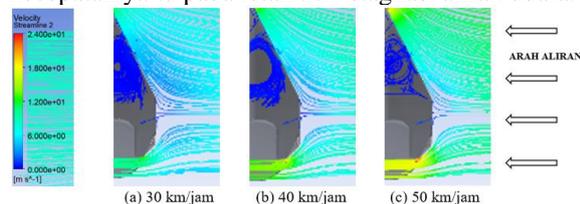
3) Post-processing

Pada tahap ini hasil dari simulasi yang dilakukan akan ditampilkan berupa data kualitatif dan data kuantitatif. Dalam penelitian ini data yang dicari adalah data kualitatif berupa visualisasi aliran dengan menampilkan gambar *velocity streamlines*.

4. Hasil dan Pembahasan

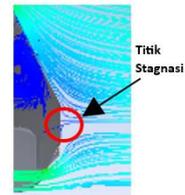
4.1. Streamlines pada Bagian Depan Kendaraan

Pada bagian depan bodi kendaraan ini, dapat dilihat pada Gambar 7, kesamaan dari tiga variasi kecepatan yaitu pada letak titik stagnasi aliran udara.



Gambar 7. Streamlines pada bagian depan bodi kendaraan

Dapat dilihat pada Gambar 8, pada titik ini kecepatan partikel aliran udara semakin mendekati kontur permukaan kendaraan menjadi semakin kecil, karena lintasan aliran udara terhalangi oleh bodi kendaraan dan aliran membentuk suatu lintasan aliran yang melengkung dekat dengan permukaan kendaraan. Garis lintasan aliran yang mengalami titik stagnasi tersebut memiliki kecepatan aliran paling rendah dibandingkan kecepatan aliran partikel udara disekitarnya. Dari lintasan aliran yang mengalami stagnasi ini, aliran disampingnya akan memiliki lintasan aliran yang menyesuaikan mengikuti lengkungan dari lintasan alir dibawahnya dan mengalir menuju kelengkungan permukaan kendaraan yang terdekat yaitu ke bagian atas, ke bagian bawah dan ke samping kendaraan.

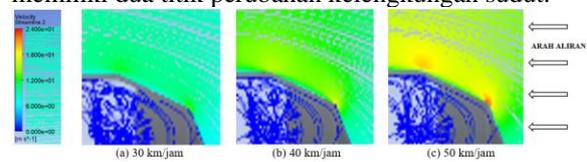


Gambar 8. Titik stagnasi

Dengan menaikkan kecepatan kendaraan yang dilakukan, mengakibatkan kecepatan aliran udara yang mengalir mulai dari lintasan disamping titik stagnasi sampai lintasan terluar memiliki kecepatan aliran yang lebih tinggi.

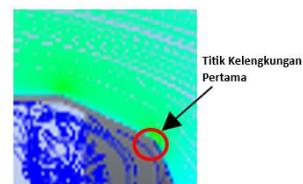
4.2. Streamlines pada Bagian Leading Edge Kendaraan

Dapat dilihat pada Gambar 9 merupakan kondisi aliran saat melewati daerah *leading edge* yang memiliki dua titik perubahan kelengkungan sudut.



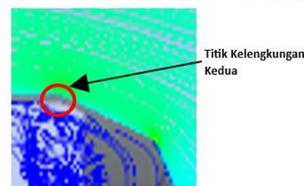
Gambar 9. Streamlines pada bagian leading edge kendaraan

Aliran udara yang mengalir dari bagian depan kendaraan pertama-tama akan melewati perubahan kelengkungan atau besar sudut dari titik ini yang terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Titik kelengkungan pertama leading edge

Pada titik ini aliran udara dengan kecepatan yang tinggi, tidak dapat mengikuti perubahan sudut dari permukaan bodi kendaraan. Mengakibatkan lintasan aliran yang dekat dengan permukaan seolah-olah akan tetap bergerak lurus sejajar dengan lintasan sebelum titik ini dan menyinggung lintasan aliran diatasnya. Sedangkan untuk lintasan aliran yang berada diatas, akan mengikuti dan membuat kelengkungan lintasan aliran menjadi lebih melebar ke atas kendaraan.



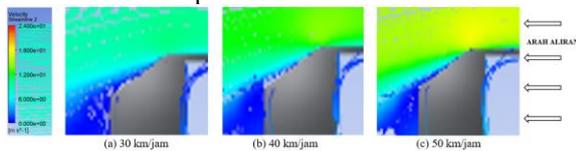
Gambar 11. Titik kelengkungan kedua leading edge

Lalu pada titik kedua kelengkungan *leading edge* seperti yang terlihat pada Gambar 11, aliran yang sudah mulai menyesuaikan perubahan dari besar sudut kelengkungan permukaan bodi kendaraan akan lebih mudah dalam menyesuaikan perubahan besar kelengkungan permukaan yang kedua ini, karena perubahan yang terjadi tidak terlalu besar. Lintasan aliran setelah titik ini kembali sejajar mengikuti

kontur permukaan bagian atas kendaraan dengan gradien kecepatan aliran yang semakin tinggi mendekati kecepatan *freestream* dengan meningkatnya ketinggian titik lintasan alirannya dari permukaan. Dan dengan semakin meningkatnya kecepatan kendaraan, maka kecepatan aliran *freestream* juga semakin meningkat.

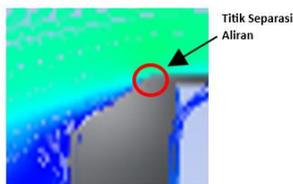
4.3. Streamlines pada Bagian Trailing Edge Kendaraan

Aliran udara yang mengalir melewati kelengkungan sudut *trailing edge* ini akan mengikuti kontur dari permukaan ini seperti yang terlihat pada Gambar 12. Namun dapat dilihat terjadi gradien kecepatan dengan perbedaan nilai yang cukup besar pada bagian ini, khususnya setelah aliran udara melewati titik ini pada Gambar 13.



Gambar 12. Streamlines pada bagian trailing edge kendaraan

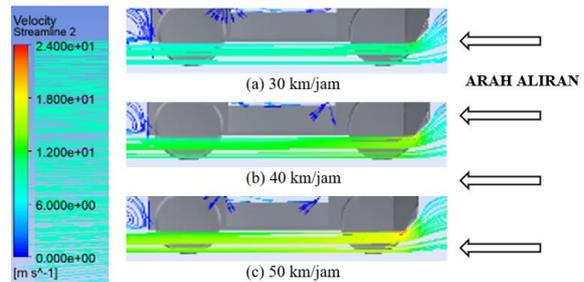
Pada bagian ini terjadi fenomena separasi aliran, dimana aliran pada sisi *upstream* memiliki kecepatan tinggi dan terpengaruh dengan aliran *freestream* sedangkan pada sisi *downstream* aliran masih terpengaruh oleh dampak gesekan dengan permukaan bodi kendaraan sehingga membuat kecepatan aliran lebih kecil akibat tegangan geser yang terjadi. Hal ini membuat terjadinya perbedaan tekanan yang terjadi, dan berdampak terjadinya aliran balik (*wake*) atau pusaran udara pada bagian belakang kendaraan yang besarnya bergantung pada cepat atau lambatnya separasinya aliran terjadi pada bagian *trailing edge* kendaraan.



Gambar 13. Titik separasi aliran pada trailing edge kendaraan

4.4. Streamlines pada Bagian Bawah Kendaraan

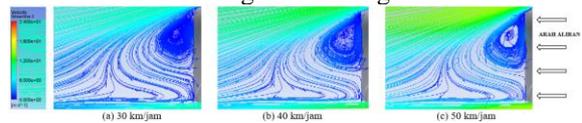
Pada bagian bawah kendaraan dari ketiga variasi kecepatan kendaraan memiliki pola aliran yang sama dapat dilihat pada Gambar 14, namun dengan gradien kecepatan yang berbeda. Aliran udara sejajar mengikuti kontur permukaan bagian bawah kendaraan dan juga permukaan jalan. Semakin ke belakang gradien kecepatan semakin berkembang hingga pada suatu titik di bagian belakang kendaraan aliran akan bersatu kembali atau menjadi lintasan yang sejajar dengan aliran yang melewati bagian atas kendaraan.



Gambar 14. Streamlines pada bagian bawah kendaraan

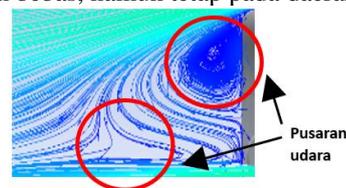
4.5. Streamlines pada Bagian Belakang Kendaraan

Dilihat pada Gambar 15, bahwa terjadi pusaran udara atau *wake* di bagian belakang kendaraan.



Gambar 15. Streamlines pada bagian belakang kendaraan

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 16, terdapat dua pusaran udara yang terjadi pada bagian belakang kendaraan. Ini terjadi akibat udara dengan kecepatan yang rendah pada sisi *downstream* tetap mengikuti permukaan kontur bagian belakang kendaraan, sedangkan pada sisi *upstream* mengikuti kontur kelengkungan lintasan aliran dibawahnya dan bersatu kembali dengan aliran yang melewati bawah kendaraan. Hal ini mengakibatkan aliran dengan kecepatan rendah tersebut terjebak pada daerah dibelakang kendaraan, karena tidak ada ruang untuk alirannya mengalir diantara lintasan aliran udara dengan kecepatan yang lebih tinggi sehingga aliran udara tersebut berputar-putar membentuk pusaran udara yang alirannya tidak mengalir lagi mengikuti arah aliran bebas, namun tetap pada daerah tersebut.



Gambar 16. Letak pusaran udara pada bagian belakang kendaraan

Dengan meningkatnya kecepatan kendaraan, maka akan memperbesar dari *wake* yang terbentuk. Semakin besar *wake* yang terbentuk maka akan memperbesar gaya hambat yang dialami oleh kendaraan. Karena, *wake* yang terbentuk memberikan dampak seolah-olah laju kendaraan ditahan. Sehingga dalam pemanfaatan kendaraan jika digunakan, penggunaan bahan bakar menjadi kurang efisien.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis penelitian mengenai simulasi *streamlines* udara di sepanjang permukaan bodi kendaraan dengan variasi kecepatan 30 km/jam, 40 km/jam dan 50 km/jam dapat disimpulkan kenaikan kecepatan kendaraan berdampak pada kenaikan kecepatan aliran udara yang melewati kontur permukaan bodi kendaraan. Lalu aliran udara

mengalir mengikuti bentuk kontur permukaan yang dilaluinya, dengan aliran yang paling dekat dengan permukaan memiliki nilai kecepatan yang mendekati nol, namun semakin tinggi letak suatu aliran dari permukaan, maka kecepatannya semakin besar dan mendekati kecepatan aliran bebas. Selanjutnya separasi aliran terjadi akibat perbedaan tekanan pada sisi *upstream* dan sisi *downstream* yang besar. Aliran pada sisi *downstream* masih terpengaruh dengan efek tegangan geser permukaan. Dan yang terakhir besar atau kecilnya *wake* atau pusaran udara yang terjadi pada daerah belakang kendaraan bergantung pada separasi aliran udara yang terjadi pada bagian *trailing edge* kendaraan.

Daftar Pustaka

- [1] Prihadnyana, Y., Widayana, G., Dantes, K. R. (2017). *Analisis Aerodinamika pada Permukaan Bodi Kendaraan Mobil Listrik GASKI (Ganesha Sakti) dengan Perangkat Lunak ANSYS 14.5*. Jurnal Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, Vol. 8, No. 2.
- [2] Badrawada, IG. G., Purwanto, A., Edo, F. (2019). *Analisa Aerodinamika Bodi Kendaraan Mataram Proto Diesel dengan ANSYS 15.0*. Jurnal ENGINE, Vol. 3, No.1, Hal. 8-14.
- [3] Saputra, Y., Nazaruddin., Syafri. (2019). *Perancangan Bodi Mobil Hemat Energi Tipe Urban Bono Kampar*. Jurnal Online Mahasiswa Bidang Teknik dan Sains, Vol. 6.
- [4] Yogatama, M., Trisno, R. (2018). *Studi Koefisien Drag Aerodinamika pada Model Ahmed Body Terbalik Berbasis Metode Numerik*. Jurnal Teknik Mesin, Vol. 7, No. 1, Hal. 10-14.
- [5] Jhon, J. S., Utomo, M.S.K. T. S. (2017). *Analisis Aerodinamika Body Mobil Hemat Energi Antawirya Residual-Sat dengan Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics*. Jurnal Teknik Mesin S-1, Vol. 5, No. 1, Hal. 50-59.
- [6] Vajra, G. A., Tobing, S., Iskandar, I. (2021). *Analisis Aerodinamika Bodi Mobil Hemat Energi Kelas Urban Menggunakan Computational Fluid Dynamics*. Jurnal Rekayasa Mesin, Vol. 16, No. 2, Hal. 210-217.
- [7] Ariyanto., Noviati, T. (2022). *Karakteristik Aerodinamika Pada Analisa Ahmed Body Car Menggunakan Software Ansys Workbench 18*. Jurnal Teknik dan Science, Vol. 1, No. 2, Hal. 19-31.
- [8] Cengel, Y. A., Cimbala, J. M. (2006). *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*. New York, McGraw-Hill.
- [9] Atmika, I K. A, Lokantara, I P. (2010). *Tinjauan Beban Aerodinamis terhadap Kinerja Stabilitas Arah Kendaraan*. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra.M, Vol. 4, No. 2, Hal. 173-179.
- [10] Whindrachaya, A. A. M., Sutardi. (2016). *Studi Numerik Karakteristik Boundary Layer Turbulen pada Pelat Datar dengan Alur Melintang Tipe-D*. Jurnal Teknik ITS, Vol. 5, No. 2, Hal. 668-672.
- [11] Edfi, R. D., Utama, I. K. A. P. (2018). *Analisa Perubahan Gaya Angkat dan Hambatan Total terhadap Variasi Aspect Ratio dan Winglet pada Sayap Kapal Wing in Surface Effect Menggunakan Aplikasi CFD*. Jurnal Teknik ITS, Vol. 7, No. 2, Hal. 204-209.
- [12] Bruce, R. M., Donald, F. Y., Theodore, H. O., Wade, W. H. (2009). *Fundamental of Fluid Mechanics Sixth Edition*. John Wiley & Sons Inc.
- [13] Winata, I M. P. A., Dewi, P. E., Sudarsana, P. B., Sucipta, M. (2022). *Air-Flow Simulation in Child Respirator for Covid-19 Personal Protection Equipment Using Bamboo Activated Carbon Filter*. Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences, Vol. 91, No. 1, Hal. 83-91.



Rivaldo Anderson Robert
Menyelesaikan studi SMA di SMAN 1 Malinau pada tahun 2018, kemudian melanjutkan pendidikan tinggi di jurusan teknik mesin Universitas Udayana pada tahun 2018, dan menyelesaikannya pada tahun 2023.

Bidang penelitian yang dilakukan adalah pada bidang konversi energi.