

AERODYNAMIC ANALYSIS OF SPORT UTILITY VEHICLE (SUV) BY COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD) APPROACH

Buyung Junaidin

Teknik Dirgantara, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto, Yogyakarta
buyung112011@gmail.com

Abstract

The main purpose of aerodynamics analysis of a vehicle is optimizing it's form to increase aerodynamics efficiency. More streamline of aerodynamic design of a vehicle not just effecting to lower fuel consumption which is cause by lower drag due to wind at highspeed, but also increasing stability dan control of the vehicle itself. The vehicles are existed with many variations of form so they have difference aerodynamic characteristics. For a personal vehicle like cars, have many variants such as sedan, sport utility vehicle (SUV), multipurposes utility vehicle (MPV), ect. It becomes a motivation to do research about aerodynamic analysis of a SUV car which is a car variant with huge utilize in Indonesia. In this research, aerodynamic characteristics of SUV car are evaluated by computational simulation with computational fluid dynamics (CFD) approach. CFD simulation yields aerodynamic characteristics data and flow behaviors around car model. Simulation results show that critical drag coefficient (C_{Dcrit}) of SUV car is 0.36 with lift coefficient is 0.25. the C_{Dcrit} of the car is lower than typical value for a modern car. So that, optimalization of SUV car form which analyzed is needed. Contours of pressure at car surfaces show that high pressure area are located at front of grill and windshield, and low-pressure area are located at nose and leading-trailing roof due to the form nose and leading-trailing roof are streamlines. At back surface of the car, low pressure area are formed by flow separation which creates wake.

Keyword: Aerodynamics, CFD, Car, SUV.

1. Pengantar

Aerodinamika dari bentuk mobil adalah hal yang sangat penting dan termasuk fenomena yang kompleks [1]. Tujuan utama dari analisis aerodinamika dari sebuah kendaraan adalah untuk mengoptimalkan bentuk kendaraan untuk meningkatkan efisiensi aerodinamika kendaraan dengan cara mengatur bentuk eksterior kendaraan menjadi bentuk yang lebih *streamline*.

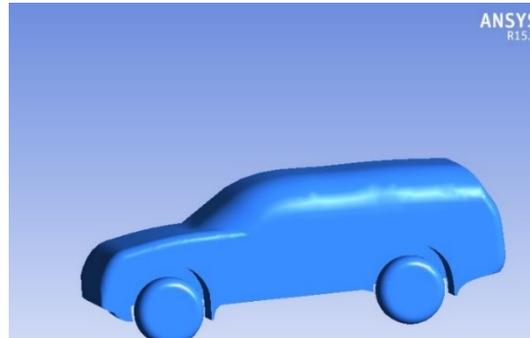
Desain aerodinamika dari kendaraan yang lebih *streamline* tidak hanya berpengaruh pada menurunnya konsumsi bahan bakar akibat adanya penurunan gaya hambat yang disebabkan aliran udara ketika kendaraan bergerak dengan kecepatan tinggi, tetapi juga meningkatkan kestabilan dan kontrol dari kendaraan itu sendiri.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menganalisis aerodinamika kendaraan seperti mobil [2], truk [3], bus [4] dan kereta api super cepat [5]. Penelitian-penelitian tersebut dilakukan baik dalam bentuk eksperimen maupun simulasi numerik. Penelitian tentang aerodinamika kendaraan masih terus dilakukan untuk meningkatkan efisiensi aerodinamika kendaraan. Kendaraan memiliki variasi bentuk yang beragam sedangkan bentuk yang berbeda memiliki karakteristik aerodinamika yang berbeda pula. Untuk kendaraan pribadi seperti mobil saja memiliki variasi yang beraneka ragam, mulai dari bentuk sedan, sport utility vehicle (SUV), multipurpose utility vehicle (MPV) dan lain-lain. Hal ini menjadi motivasi untuk melakukan penelitian tentang karakteristik aerodinamika terhadap salah satu variasi kendaraan pribadi yang saat ini banyak digunakan di Indonesia yaitu mobil sport utility vehicle (SUV).

Dalam penelitian ini, karakteristik aerodinamika kendaraan dipelajari melalui simulasi komputasi dengan pendekatan computational fluid dynamic (CFD). Simulasi CFD menghasilkan data karakteristik aerodinamika dan perilaku aliran di sekitar model mobil.

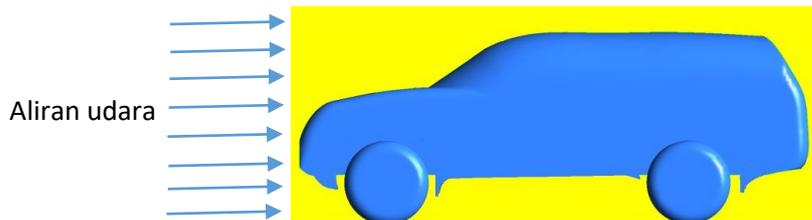
2. Metodologi Penelitian

Analisis aerodinamika mobil SUV diawali dengan memodelkan mobil menggunakan bantuan software CAD. Model CAD mobil dibuat dengan mengikuti bentuk mobil SUV modern (Mitsubishi Pajero Sport). Model CAD mobil sesuai gambar 1.



Gambar 1. Model CAD Mobil SUV

Setelah melakukan pemodelan, tahap berikutnya adalah analisis numerik. Model yang telah dibuat kemudian diimport ke software CFD untuk proses simulasi. Setup simulasi dalam proses CFD sesuai gambar 2.



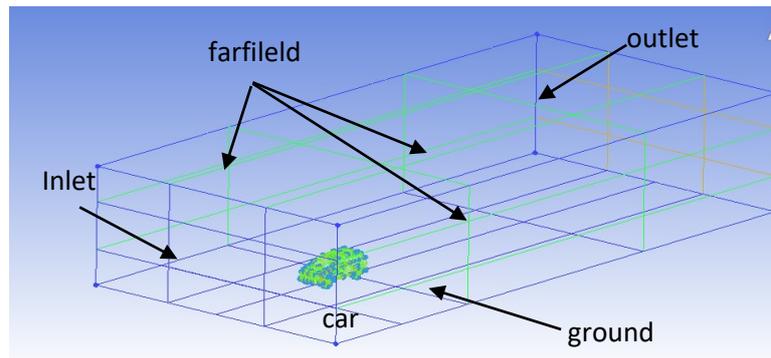
Gambar 2. Setup Simulasi

Di dalam software CFD geometri model mobil disederhanakan dengan menghilangkan bagian – bagian minor seperti spion dan tonjolan - tonjolan pada bagian depan kap mesin mobil untuk memudahkan proses *meshing* dan memperpendek waktu komputasi. Dalam tahap ini variable - variabel yang ditinjau seperti kecepatan mobil, kecepatan angin dimodelkan di dalam software CFD.

Garis besar proses-proses yang dilakukan dalam metode CFD adalah *preprocessing*, *computing*, dan *postprocessing*. Dalam tahap *preprocessing* dilakukan *mesh development*. *Mesh development* adalah proses pembuatan grid-grid dari model yang akan dianalisis. Dalam sebuah mesh terdapat informasi berupa kecepatan, tekanan, gaya, temperatur, dan lain-lain yang diiterasi nilainya sampai mencapai kriteria konvergen yang ditentukan. Ukuran mesh akan menentukan keakuratan dari hasil perhitungan numerik yang dilakukan. Semakin kecil ukuran mesh jumlahnya akan semakin banyak sehingga hasilnya akan semakin mendekati akurat namun proses perhitungan akan menjadi semakin lama, oleh karena itu diperlukan strategi dalam penentuan mesh agar hasil yang diperoleh cukup akurat dan waktu yang dibutuhkan dalam penyelesaian suatu kasus tidak terlalu lama.

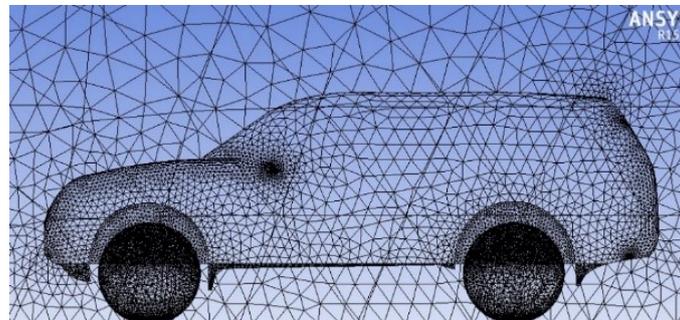
Sebelum dilakukan proses *meshing*, dibuat bagian-bagian untuk memodelkan kondisi batas di sekitar model mobil. Bagian-bagian tersebut adalah *car*, *inlet*, *farfield*, *ground*, dan *outlet*

sesuai gambar 3. Aliran udara yang akan dianalisis adalah aliran yang ada di dalam kondisi batas tersebut.



Gambar 3. Kondisi Batas

Setelah kondisi batas dibuat, dilakukan *meshing* sesuai gambar 4.



Gambar 4. Hasil *Meshing*

Sebelum dapat dilakukan proses perhitungan secara komputasi oleh software CFD, diperlukan pendefinisian kondisi batas, metode komputasi, dan permodelan fluida. Pada kondisi batas inlet diinput nilai kecepatan aliran udara yang telah ditentukan menurut skala Beaufort. Pada kondisi batas farfield dan outlet digunakan kondisi batas tekanan dengan asumsi relative pressure 0 atm. Pada kondisi batas ground dan car digunakan kondisi batas “no slip”.

Fluida yang dianalisis dimodelkan sebagai udara pada temperatur 25°C dengan tekanan 1 atm. Model turbulen yang digunakan adalah shear stress transport (SST). Metode ini dipilih karena dalam metode ini pengaruh shear pada permukaan mobil ikut diperhitungkan sehingga hasil yang diperoleh lebih akurat. Setelah kondisi batas didefinisikan kemudian proses komputasi/iterasi numerik dapat dilakukan.

Setelah proses komputasi selesai, selanjutnya adalah *postprocessing*. Dalam tahap ini hasil dari perhitungan yang dilakukan ditampilkan dalam berbagai macam informasi dan data. Peta distribusi variabel tekanan, kecepatan, *wall shear*, temperatur, *streamlines*, dan besar gaya pada berbagai sumbu acuan.

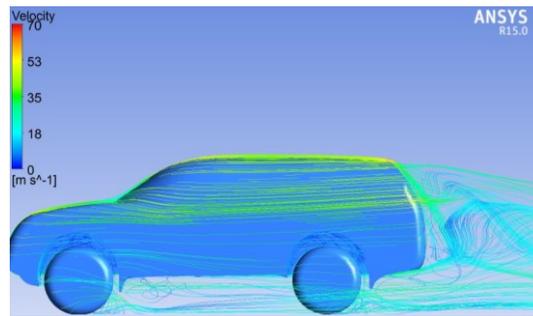
3. Hasil dan Analisis

Hasil simulasi aliran udara yang melewati model mobil SUV dengan pendekatan CFD dibagi dua yaitu: perilaku aliran dan karakteristik aerodinamika SUV akibat aliran udara.

a. Perilaku Aliran Udara

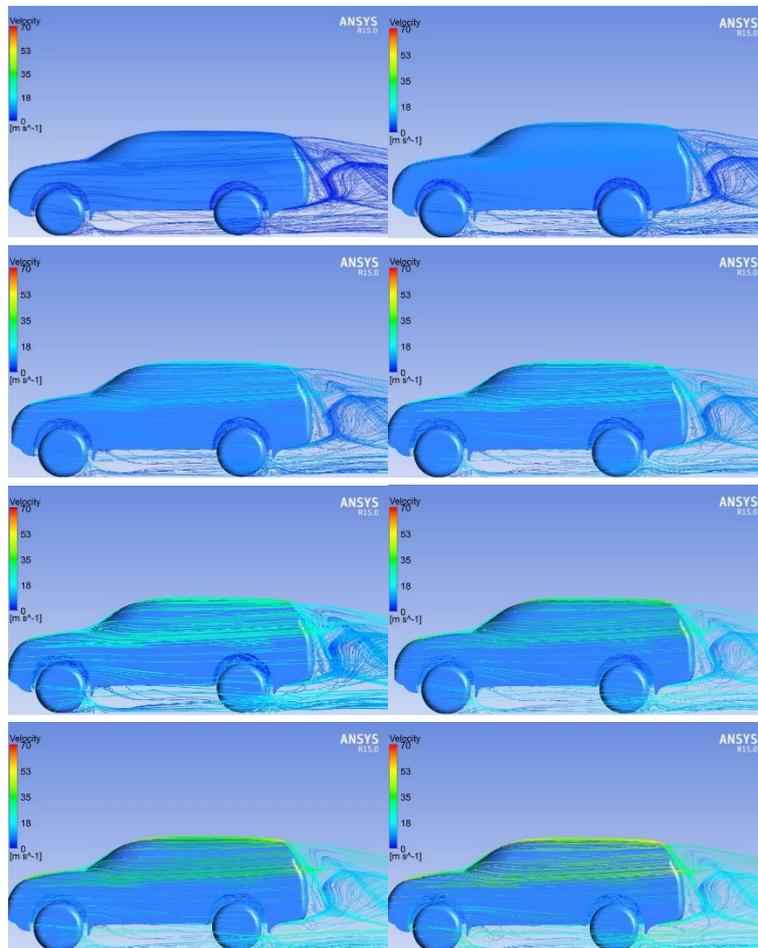
Aliran udara di sekitar kendaraan mengikuti bentuk permukaan model mobil SUV. Separasi aliran terjadi di belakang model. Terbentuk wake di bagian belakang aliran udara yang

telah lepas, hal ini dapat dilihat pada kontur warna yang memiliki kecepatan yang rendah pada gambar 5.



Gambar 5. Streamline Sekitar Model Mobil SUV

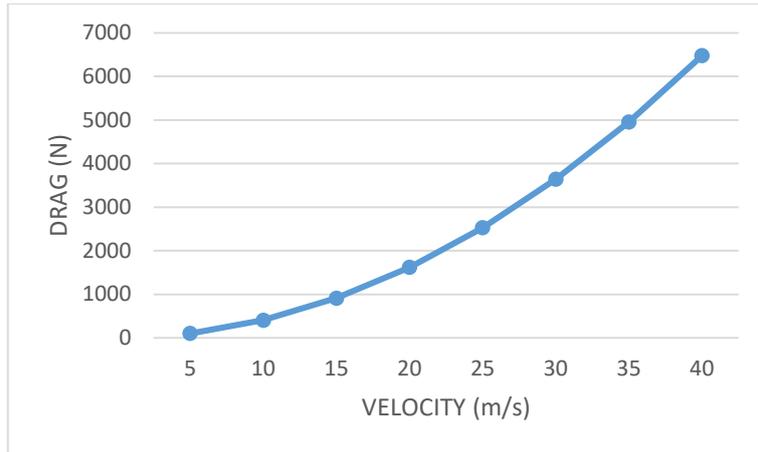
Peningkatan kecepatan aliran udara menyebabkan aliran udara semakin banyak yang lepas di belakang model. Seiring dengan bertambahnya kecepatan maka separasi aliran (*wake*) yang dihasilkan semakin kuat seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.



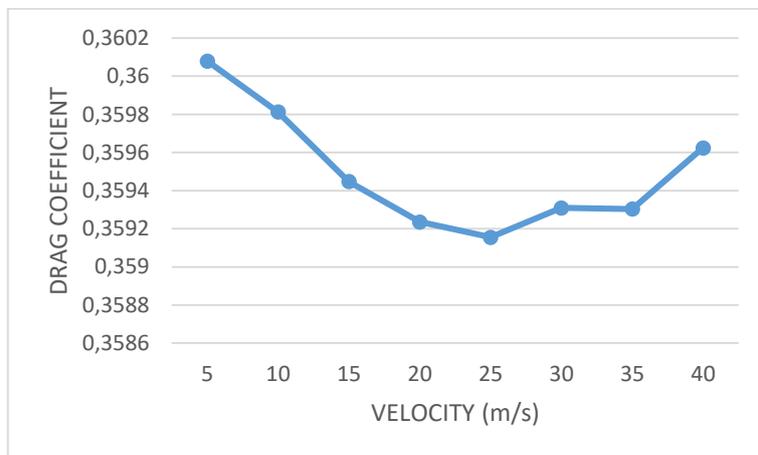
Gambar 6. Streamline Sekitar Model Mobil SUV untuk Berbagai Kecepatan

b. Karakteristik Aerodinamika

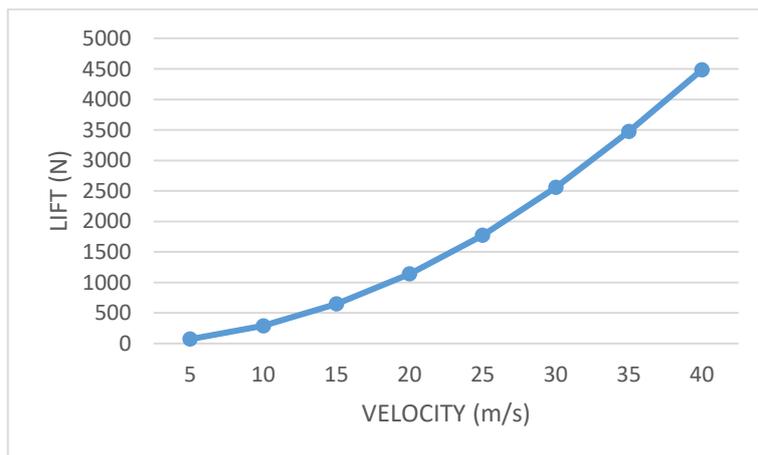
Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, diperoleh gaya-gaya dan koefisien aerodinamika sesuai gambar 7 s/d gambar 10.



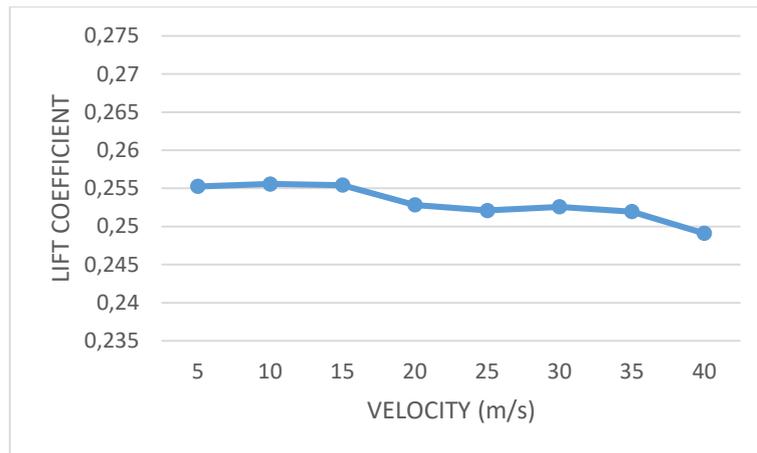
Gambar 7. Gaya Hambat



Gambar 8. Koefisien Hambat

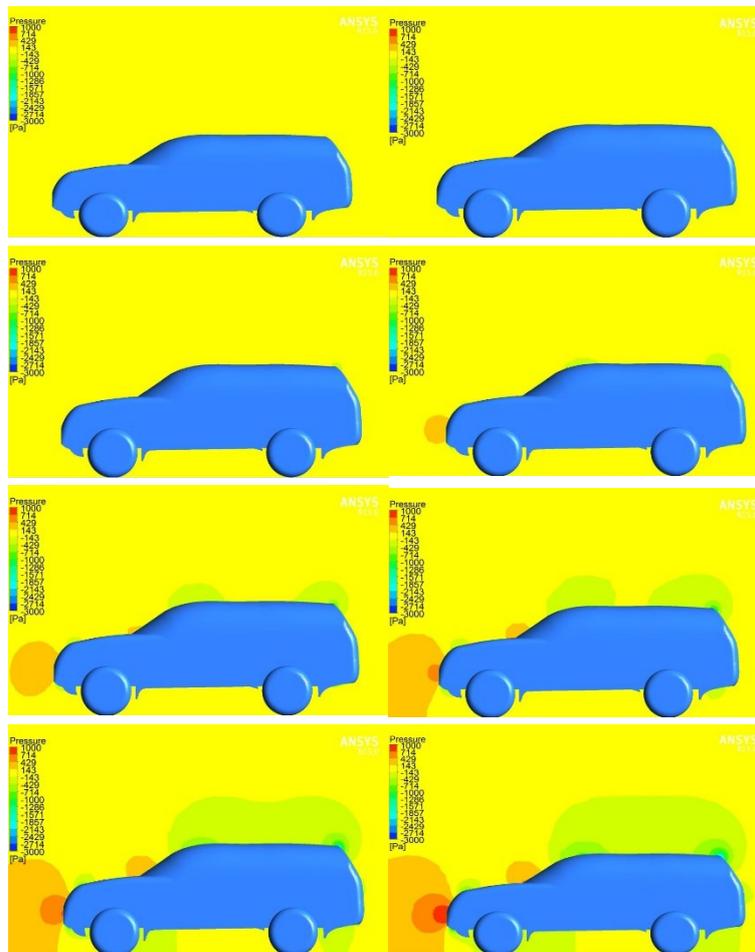


Gambar 9. Gaya Angkat



Gambar 10. Koefisien Angkat Mobil SUV

Gaya hambat yang bekerja pada mobil merupakan gaya akibat hambatan angin yang bekerja pada sumbu longitudinal benda. Gaya ini menghambat gerak laju mobil. Pada gambar 7 dapat dilihat bahwa gaya hambat semakin besar seiring dengan peningkatan kecepatan aliran udara, sebaliknya pada gambar 8 koefisien gaya hambat semakin kecil seiring dengan meningkatnya kecepatan aliran udara. Penurunan koefisien gaya hambat ini dikarenakan perhitungan koefisien gaya hambat berdasarkan efek viskositas aliran dimana ketika kecepatan aliran bertambah, efek viskositas berkurang sehingga menyebabkan koefisien gaya hambat meningkat, namun gaya hambat tetap bertambah dikarenakan adanya gaya hambat dari efek munculnya *wake*, atau dikenal dengan *induced drag*.

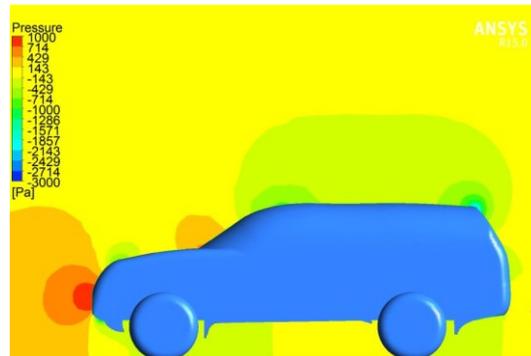


Gambar 11. Kontur Tekanan Berbagai Kecepatan

Peningkatan gaya hambat dapat dijelaskan melalui kontur tekanan pada permukaan mobil bagian depan dan belakang pada gambar 11. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa tekanan pada bagian depan lebih besar daripada tekanan pada bagian belakang. Seiring meningkatnya kecepatan aliran udara maka perbedaan tekanan depan dan belakang juga meningkat hal ini mengakibatkan hambatan atau gaya hambat meningkat. Pada permukaan belakang mobil terdapat daerah bertekanan rendah, pada daerah ini menandakan daerah terjadinya *wake*.

Gaya angkat timbul akibat perbedaan tekanan pada permukaan bawah dan permukaan atas mobil. Pada gambar 9 dapat dilihat bahwa gaya angkat semakin meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan aliran udara, sebaliknya pada gambar 10 koefisien gaya angkat cenderung tetap seiring dengan meningkatnya kecepatan aliran udara sesuai dengan teori bahwa koefisien angkat hanya dipengaruhi oleh luas penampang, bentuk dan sudut serang aliran udara yang mana dalam simulasi ini parameter-parameter tersebut bernilai tetap.

Peningkatan kecepatan aliran udara menyebabkan permukaan atas mobil mengalami penurunan tekanan. Penurunan tekanan ini terjadi karena separasi aliran pada bagian atas mobil. Pada gambar 11 dapat dilihat bahwa permukaan yang memiliki tekanan rendah pada permukaan atas mobil semakin meluas sehingga tekanan pada permukaan atas lebih rendah daripada tekanan pada permukaan bawah yang menyebabkan gaya angkat semakin bertambah seiring dengan meningkatnya kecepatan aliran udara.



Gambar 12. Kontur Tekanan Permukaan Mobil SUV

Kontur tekanan pada gambar 12 menunjukkan daerah tekanan tinggi terdapat pada bagian depan *grill* dan *windshield* sedangkan daerah tekanan rendah terdapat pada *nose*, dan *leading-trailing roof* hal ini dikarenakan bentuknya yang *streamline*. Pada daerah-daerah ini perlu dilakukan optimasi, misalnya dengan cara mengatur bentuk atau sudut *nose* dan *windshield* menjadi lebih *streamline* serta menambahkan *roof spoiler* untuk meminimalisir separasi aliran, sehingga diperoleh efisiensi aerodinamika kendaraan yang optimal

4. Kesimpulan

Hasil simulasi diperoleh nilai koefisien gaya hambat (C_D) kritis dari mobil SUV adalah 0.36 dan koefisien gaya angkat (C_L) kritisnya adalah 0.25. Jika dibandingkan dengan standar nilai C_D [6] untuk mobil modern yaitu 0.3 masih terlalu besar, sehingga perlu dilakukan optimasi pada bentuk eksterior mobil SUV yang dianalisis. Kontur tekanan pada permukaan mobil SUV menunjukkan daerah tekanan tinggi terdapat pada bagian depan *grill* dan *windshield* serta daerah tekanan rendah terdapat pada *nose*, dan *leading-trailing roof*, hal ini dikarenakan bentuk *nose* dan *roof* yang *streamline*. Pada permukaan belakang mobil SUV muncul daerah bertekanan rendah karena separasi aliran sehingga menghasilkan *wake*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Braess Herman & U. Seiffert, Handbook of Automotive Engineering, SAE International, Warrendale, SA, 2005.
- [2] Manan Desai, S.A.Channiwala, H.J. Nagarsheth, Experimental and Computational Aerodynamic Investigation of a Car, Wseas Transactions on Fluid Mechanics, vol.3, pp 359-368, Oct. 2008.
- [3] Subrata Roy, Pradeep Srinivasan, External Flow Analysis of a Truck for the Hambat Reduction, Kattering University, 2000.
- [4] A. Muthuvel, M. K. Murthi, Sachin N. P, Vinay M. Koshy, S. Sakthi, E. Selvakumar, Aerodynamic Exterior Body Design of Bus, International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 4, Issue 7, July 2013.
- [5] A. M. Biadgo, A. Simonovic, J. Svorcan, S. Stupar, Aerodynamic Characteristics of High Speed Train under Turbulent Cross Winds: a Numerical Investigation using Unsteady-RANS Method, FME Transaction, vol.42, pp 10-18, 2014.
- [6] J. Katz, Race Car Aerodynamics: Designing for Speed, Bentley Publishers, Cambridge, USA, 1995.