

VISUALISASI PENGARUH VARIASI SUDUT KEMIRINGAN *LEADING EDGE* TERHADAP KARAKTERISTIK AERODINAMIKA KENDARAAN BUS

Wildan Fahmi

S1 Pendidikan Teknik Mesin Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

E-mail : wildan.16050524058@mhs.unesa.ac.id

A. Grummy Wailanduw

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

E-mail: grummywailanduw@unesa.ac.id

Abstrak

Pada dasarnya dalam peningkatan efisiensi bahan bakar tidak hanya meliputi tentang bagian mesin saja. Namun, terdapat aspek lain yang dapat mempengaruhi efisiensi bahan bakar, yaitu tentang aerodinamis pada bodi kendaraan agar laju aliran udara yang melewati bodi kendaraan dapat dimanfaatkan dengan baik. Dalam meningkatkan sisi aerodinamis kendaraan terdapat beberapa faktor yang berpengaruh antara lain : dimensi utama berupa panjang, lebar, dan tinggi kendaraan, sudut *diffuser*, *ground clearance*, sudut kemiringan *leading edge*. Dengan melakukan metode dan teknik dalam pengambilan data secara visualisasi ini, dapat mengetahui dan memahami fenomena pada laju aliran secara nyata sesuai dengan kondisi *real*. Model uji dalam penelitian ini yang menyerupai kendaraan jenis bus yang dibuat dari PCB (*printed circuit board*) dengan skala 1:30 dari dimensi aslinya. Penelitian ini dilakukan dengan sudut standart *leading edge* $35,4^\circ$ dan memvariasikan sudut *leading edge* $26,4^\circ$; $44,4^\circ$; $53,4^\circ$ dengan menggunakan alat bantu *smoke generator*, *open circuit wind tunnel subsonic* dengan dimensi *test section* (365 mm x 365 mm x 1250 mm) dan *Reynold number* (*Re*) yang digunakan = $0,26 \times 10^5$. Hasil penelitian ini menunjukkan dengan variasi sudut kemiringan *leading edge* didapatkan hasil visualisasi yang berbeda. Pada variasi sudut kemiringan *leading edge* $53,4^\circ$ memiliki garis alir yang lebih baik daripada variasi sudut kemiringan *leading edge* $35,4^\circ$ (standar) dapat dilihat dari visualisasi aliran pada titik stagnasi, aliran saat terdefleksi ke bagian *upper surface* dan *lower surface*, lalu terjadinya *bubble surface* pada aliran, dan terjadinya titik separasi aliran ketika akan meninggalkan kontur kendaraan.

Kata kunci: Visualisasi *Leading Edge*, Karakteristik aerodinamika,, dan Kendaraan bus

Abstract

Basically in improving fuel efficiency not only covers the engine parts. However, there are other aspects that can affect fuel efficiency, which is about aerodynamics in the vehicle body so that the air flow rate that passes through the vehicle body can be utilized properly. In increasing the aerodynamic side of the vehicle there are several influential factors, among others: main dimensions in the form of length, width, and height of the vehicle, *diffuser angle*, *ground clearance*, *leading edge tilt angle*. By doing the methods and techniques in visualizing this data retrieval, it can know and understand the phenomena at the flow rate significantly in accordance with the real conditions. The test model in this study resembles a bus type vehicle made from a PCB (*printed circuit board*) with a scale of 1:30 from the original dimension. This study was conducted with a *leading edge* standard angle of 35.4° and varied the angle of *leading edge* 26.4° ; 44.4° ; 53.4° by using *smoke generator* tools, *open subsonic wind tunnel circuits* with *test section* dimensions (365 mm x 365 mm x 1250 mm) and *Reynold number* (*Re*) used = 0.26×10^5 . The results of this study indicate the *leading slope angle* variations *edge* results are different visualizations. The variation in the *leading edge* of the *leading edge* 53.4° has a flow line that is better than the variation in the slope angle of the *leading edge* 35.4° (standard) can be seen from the visualization of flow at the point of stagnation, flow when deflected to the *upper surface* and *lower surface*, then occur *bubble surface* in flow, and the occurrence of flow separation points when it will leave the contour of the vehicle.

Keywords: *Leading Edge Visualization*, *Aerodynamic Characteristics*, and *Bus Vehicles*

PENDAHULUAN

Saat ini banyak penelitian tentang bagaimana cara agar kendaraan mampu lebih efisiensi dalam hal bahan bakar yang hanya berfokus pada bagian mesin. Pada dasarnya dalam peningkatan efisiensi bahan bakar tidak hanya meliputi tentang bagian mesin saja. Namun, terdapat aspek lain yang dapat mempengaruhi efisiensi bahan bakar, yaitu tentang aerodinamis pada bodi kendaraan. Pada kendaraan juga harus memperhatikan aspek aerodinamis pada bodi kendaraan, agar laju aliran udara yang melewati bodi kendaraan dapat dimanfaatkan dengan baik. Aerodinamika berasal dari dua buah kata yaitu *aero* berarti udara dan *dinamika* berarti kekuatan atau tenaga. Jadi aerodinamika dapat diartikan sebagai ilmu pengetahuan mengenai akibat yang ditimbulkan oleh udara pada benda yang bergerak. Benda yang dimaksud adalah salah satunya kendaraan bermotor (mobil, bis, truk, maupun sepeda motor) yang sangat terkait dengan hubungannya dengan perkembangan aerodinamika sekarang ini.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi gaya aerodinamis bodi kendaraan diantaranya adalah *leading edge* dan *trailing edge*. *Leading edge* sendiri adalah bagian pada bodi kendaraan yang pertama kali dikenai oleh aliran, oleh sebab itu bentuk dan desain *leading edge* sangatlah berpengaruh terhadap karakteristik aliran udara dibelakangnya. Karena semakin tumpul *leading edge* akan menghasilkan defleksi aliran yang kuat yang berakibat pada terjadinya separasi aliran pada sudut kelengkungan *leading edge*, sehingga *drag force* meningkat. Penelitian yang dilakukan Wahyudi (2006) pada bentuk variasi sudut model uji sangat berpengaruh terhadap distribusi tekanan pada *front surface*, *upper surface*, *lower surface* dan berpengaruh terhadap koefisien *lift* yang terjadi pada sudut 45° , 60° dan 75° .

Karakteristik aliran yang melintasi suatu kendaraan, dapat dipelajari dengan berbagai metode pengambilan data, diantaranya metode eksperimen, metode simulasi dan metode visualisasi. Pada masukan data laju aliran dengan menggunakan metode simulasi selalu berasumsi pada suatu kondisi atau keadaan yang ideal. Akan tetapi saat menggunakan metode eksperimen masih banyak faktor yang berpengaruh. Pengambilan data

secara metode visualisasi ini berbeda dengan pengambilan data secara eksperimen dan simulasi. Pergerakan udara yang sangat sulit untuk dilihat dan diamati secara langsung, dapat diketahui dengan pengamatan menggunakan metode atau teknik secara visualisasi. Dengan melakukan metode dan teknik dalam pengambilan data secara visualisasi ini, dapat mengetahui dan memahami fenomena pada laju aliran secara nyata sesuai dengan kondisi *real*. Terdapat berbagai metode dalam visualisasi laju aliran, seperti *Surface Flow Visualisation*, *Optical Methods*, dan *Particle Tracer Methods*. Pada metode *Particle Tracer Methods* terdapat teknik *smoke wire* yang digunakan dalam pengambilan data visualisasi laju aliran. Teknik *smoke wire* menggunakan alat bantu berupa *Wind Tunnel*. Teknik *smoke wire* merupakan metode visualisasi aliran menggunakan asap. Pada teknik *smoke wire* ini diperlukan kepadatan fluida yang cukup, sehingga dapat terlihat dengan jelas laju aliran pada visualisasi pola asap yang dihasilkan. *Wind Tunnel* merupakan alat yang dapat membantu penelitian dalam mempelajari dan memahami laju aliran udara yang akan bergerak di sekitar benda padat. Pada bagian *wind tunnel* udara dialirkan dengan menggunakan bantuan *fan*. Dengan menggunakan *wind tunnel* pada setiap pengujian akan membandingkan laju aliran udara dengan hasil yang diperoleh melalui metode simulasi agar mengetahui laju aliran sebenarnya. Dalam pengujian menggunakan *wind tunnel* dapat memberikan berbagai informasi gaya aerodinamis yang terdapat pada suatu kendaraan.

Terdapat berbagai metode dalam visualisasi laju aliran, seperti *Surface Flow Visualisation*, *Optical Methods*, dan *Particle Tracer Methods*. Pada metode *Particle Tracer Methods* terdapat teknik *smoke wire* yang digunakan dalam pengambilan data visualisasi laju aliran. Teknik *smoke wire* menggunakan alat bantu berupa *Wind Tunnel*. Teknik *smoke wire* merupakan metode visualisasi aliran menggunakan asap. Pada teknik *smoke wire* ini diperlukan kepadatan fluida yang cukup, sehingga dapat terlihat dengan jelas laju aliran pada visualisasi pola asap yang dihasilkan. *Wind Tunnel* merupakan alat yang dapat membantu penelitian dalam mempelajari dan memahami laju aliran udara yang akan bergerak di sekitar benda padat.

Visualisasi Pengaruh Variasi Sudut Kemiringan *Leading edge*

Pada bagian *wind tunnel* udara dialirkan dengan menggunakan bantuan *fan*. Dengan menggunakan *wind tunnel* pada setiap pengujian akan membandingkan laju aliran udara dengan hasil yang diperoleh melalui metode simulasi agar mengetahui laju aliran sebenarnya. Dalam pengujian menggunakan *wind tunnel* dapat memberikan berbagai informasi gaya aerodinamis yang terdapat pada suatu kendaraan.

Pada penelitian berikut ini peneliti lebih memfokuskan pada aerodinamik model kendaraan bus yang memvariasi sudut kemiringan *leading edge* model bus. Dengan variasi tersebut diharapkan dapat menunjukkan perbedaan visualisasi laju aliran pada model bus tersebut. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti diantaranya adalah **Dyke (1986)** menyatakan bahwa *leading edge* yang semakin tumpul akan menyebabkan tingkat defleksi aliran semakin besar. **Hucho (2013)** bahwa bentuk *leading edge* yang lebih kearah *lower side* akan menghasilkan penurunan *drag* sebesar 14%. Dengan memodifikasi bodi bus yang aerodinamik diharapkan bus mampu lebih efisien dalam pemakaian bahan bakar, serta dapat menambah nilai estetika pada kendaraan tersebut.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah yang diajukan adalah sebagai berikut:

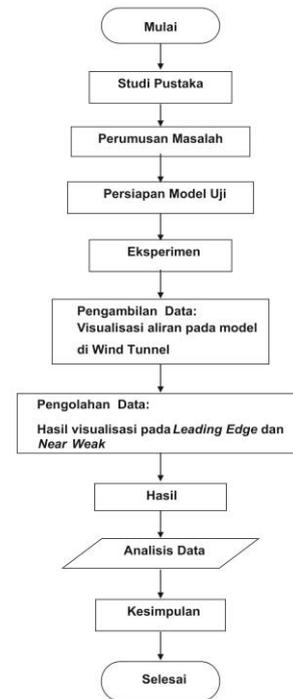
- ❖ Bagaimana hasil visualisasi aliran model bus sebelum divariasikan pada sudut kemiringan *leading edge* 35,4° dan setelah dilakukan variasi pada sudut kemiringan *leading edge* 26,4°; 44,4°; dan 53,4°
- ❖ Bagaimana hasil visualisasi aliran dibelakang model bus (*near wake*) sebelum divariasikan sudut kemiringan *leading edge* 35,4° dan setelah dilakukan variasi sudut kemiringan *leading edge* 26,4°; 44,4°; dan 53,4°

Tujuan Penelitian

- ❖ Untuk mengetahui hasil visualisasi aliran model bus sebelum divariasikan pada sudut kemiringan *leading edge* 35,4° dan setelah dilakukan variasi pada sudut kemiringan *leading edge* 26,4°; 44,4°; dan 53,4°
- ❖ Untuk mengetahui hasil visualisasi aliran dibelakang model bus (*near wake*) sebelum divariasikan sudut kemiringan *leading edge*

35,4° dan setelah dilakukan variasi sudut kemiringan *leading edge* 26,4°; 44,4°; dan 53,4°

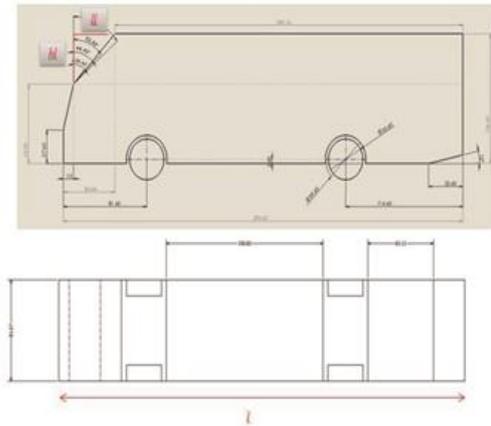
METODE



Gambar 1. Flow chart penelitian

Variabel Penelitian

- ❖ Variabel bebas pada penelitian ini adalah model uji yang menyerupai bus dengan ukuran standard pada sudut kemiringan *leading edge* 35,4° dan variasi pada sudut kemiringan *leading edge* 26,4°; 44,4°; dan 53,4°
- ❖ Variabel terikat dari penelitian ini adalah aliran pada *leading edge* model bus dan pola aliran belakang model bus (*near weak*)
- ❖ Variabel kontrol dari penelitian ini adalah model uji diletakkan 200 mm dari *leading edge* pelat datar yang ditentukan pada poros roda depan selain itu variasi *Reynolds number* yang digunakan adalah $0,26 \times 10^5$

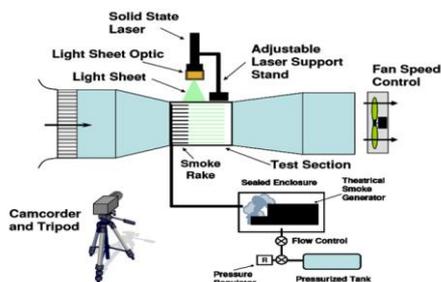


Gambar 2. Geometri kendaraan bus

Tahap Pengumpulan Data

Pengambilan Data Visualisasi Aliran Pada *Wind Tunnel* benda uji model bus diletakkan didalam *test section wind tunnel* pada jarak 200mm dari *leading edge* terhadap sumbu roda depan. Pengambilan data visualisasi aliran udara pada saat pengujian menggunakan kamera. Asap atau kabut yang dikeluarkan oleh *smoke generator* akan terhisap oleh *fan* dengan kecepatan rendah. Asap akan terlihat dan terekam oleh kamera pada setiap fenomena yang terjadi ketika melewati seluruh bagian bodi model uji.

Pencahayaan dengan bantuan lampu sorot pada saat pengujian dapat membantu memperjelas untuk melihat pola aliran yang sedang terjadi. Pengujian model menggunakan alat *smoke generator*, pipa aliran asap dan pencahayaan dari lampu, kemudian kamera akan merekam fenomena aliran yang sedang terjadi dan akan dilakukan analisa.



Gambar 3. Skema distribusi visualisasi aliran asap

Teknik Analisa Data

Pada penelitian ini, peneliti menggunakan metode deskriptif dengan mengumpulkan data dari setiap hasil yang terjadi melalui eksperimen secara langsung.

Tujuan menggunakan metode deskriptif ini adalah untuk mendapatkan gambaran sifat keadaan tertentu yang masih berjalan pada saat penelitian dilakukan dan menganalisa sebab-sebab dari suatu gejala yang muncul.

Pengambilan data secara metode visualisasi ini berbeda dengan pengambilan data secara metode eksperimen dan metode simulasi. Pergerakan udara yang sangat sulit untuk dilihat dan diamati secara langsung, dapat diketahui dengan pengamatan menggunakan metode atau teknik secara visualisasi. Dengan melakukan metode dan teknik dalam pengambilan data secara visualisasi ini, dapat mengetahui dan memahami fenomena pada laju aliran secara nyata sesuai dengan kondisi *real*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitan data “Visualisasi Pengaruh Variasi Sudut Kemiringan *Leading Edge* Terhadap Karakteristik Aerodinamika Kendaraan Bus ” yang di peroleh dari pengujian di Lab Aerodinamika gedung A8 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya mendapatkan hasil yang di sajikan pada tabel berikut ini.

Proses Visualisasi

❖ **Perhitungan Kecepatan *Freestream***

Dapat ditentukan sebagai berikut:

$$Re = \frac{\rho \cdot U \cdot h}{\mu} \dots\dots\dots(4.1)$$

atau

$$U = \frac{Re \cdot \mu}{\rho \cdot h} \dots\dots\dots(4.2)$$

Keterangan:

ρ = Massa jenis udara = 1,1799 Kg/m³

μ = Viskositas Udara = 1,789 x 10⁻⁵ Kg/m.s

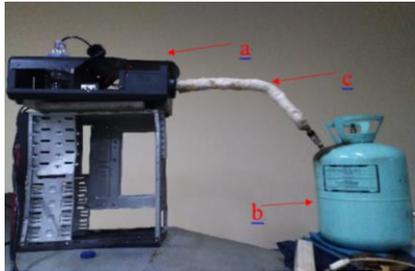
h = Tinggi model kendaraan = 0,12 m

Re = Bilangan *Reynolds* = 0,26x10⁵

$$U = \frac{Re \cdot \mu}{\rho \cdot h} = \frac{0,26 \times 10^5 \times 1,789 \times 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s}}{1,1799 \frac{kg}{m^3} \times 0,12 m} = \frac{0,46514}{0,1415} = 3,3 \text{ m/s}$$

❖ **Pemasangan Alat dan Bahan Pengujian**

Sebelum proses pengujian dalam pengambilan data dilakukan, diperlukan terlebih dahulu pemasangan atau setting alat dan model menjadi satu rangkaian pengujian. Pada pengujian ini, *smoke generator*, tabung asap dilengkapi dengan sebuah pipa yang berfungsi sebagai penghubung agar asap yang keluar dari *smoke generator* mampu mengalir lebih mudah.



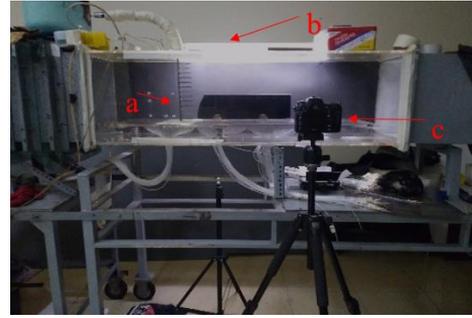
Gambar 3. Pemasangan *smoke generator* dan tabung asap

Keterangan :

- a = *Smoke generator*
- b = Tabung asap
- c = Selang pipa

Selanjutnya asap yang tersimpan di dalam tabung, dikeluarkan melalui pipa (*rake*). Blower yang terdapat pada *wind tunnel* dijalankan untuk menghasilkan aliran udara, dan bersamaan itu asap keluar dari pipa (*rake*) mengalir pada bagian *test section* yang terdapat bodi model.

Adanya kecepatan *blower* pada *wind tunnel* akan mempengaruhi pola aliran asap saat mengenai bodi model. Besarnya *Reynold number* yang digunakan saat pengujian ini adalah $0,26 \times 10^5$ (setara dengan kecepatan $V = 3,3 \text{ m/s}$). Agar pola asap dapat dilihat dengan jelas dan terekam oleh kamera, maka diperlukan lampu sebagai alat bantu penerangan pada saat proses pengujian.



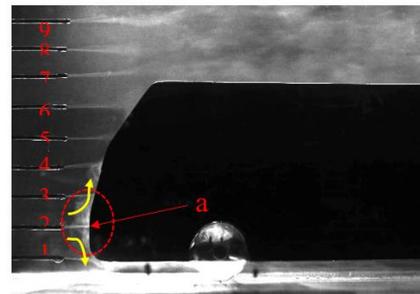
Gambar 4. Pemasangan kamera dan lampu

Keterangan :

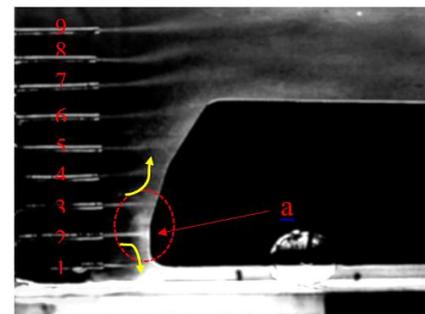
- a = *Rake*
- b = Lampu penerangan
- c = Kamera

❖ **Hasil Penelitian**

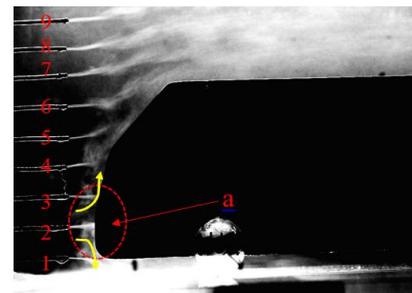
➤ **Pola aliran pada titik stagnasi**



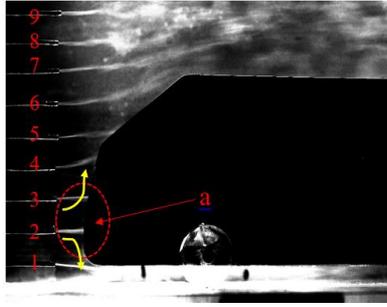
Gambar 5. Titik stagnasi pada *leading edge* $35,4^\circ$



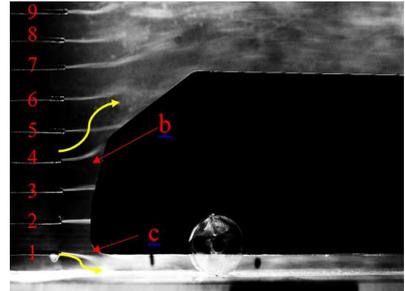
Gambar 6. Titik stagnasi pada *leading edge* $35,4^\circ$



Gambar 7. Titik stagnasi pada *leading edge* $44,4^\circ$

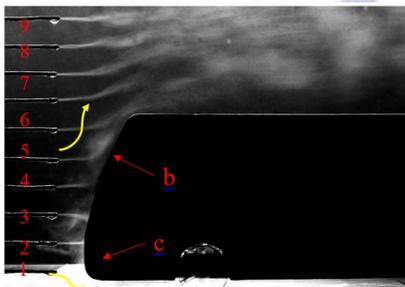


Gambar 7. Titik stagnasi pada *leading edge* 44,4⁰

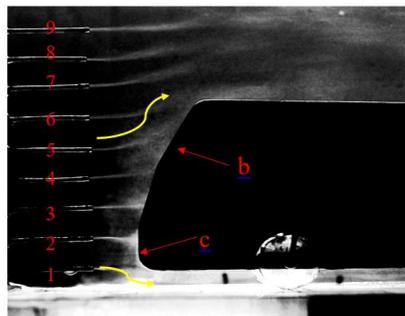


Gambar 12. Pola aliran ke *upper surface* pada *leading edge* 53,4⁰

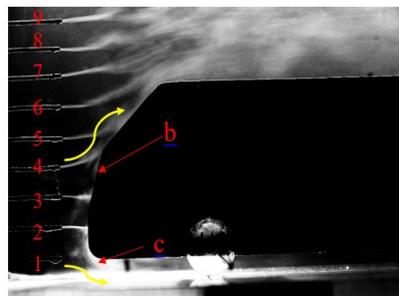
➤ Pola aliran terdefleksi ke *upper surface*



Gambar 9. Pola aliran ke *upper surface* pada *leading edge* 35,4⁰

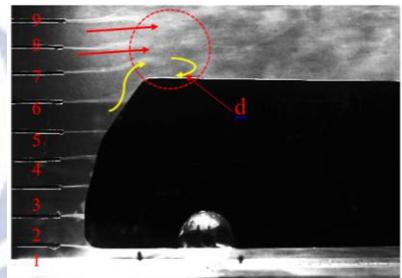


Gambar 10. Pola aliran ke *upper surface* pada *leading edge* 26,4⁰

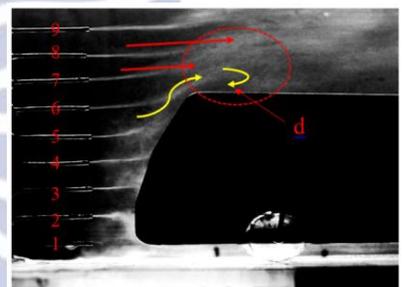


Gambar 11. Pola aliran ke *upper surface* pada *leading edge* 44,4⁰

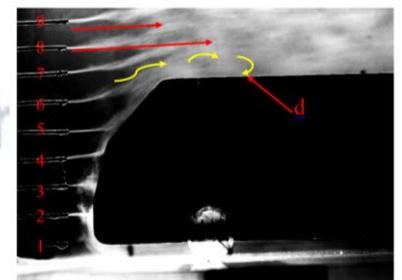
➤ Pola aliran *bubble separation* pada *leading edge*



Gambar 13. Terjadinya *bubble separation* pada *leading edge* 53,4⁰

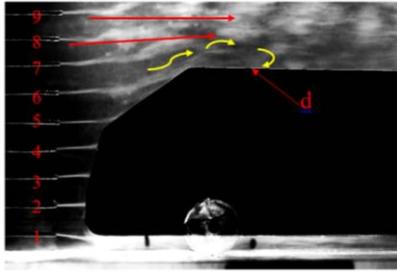


Gambar 14. Terjadinya *bubble separation* pada *leading edge* 26,4⁰

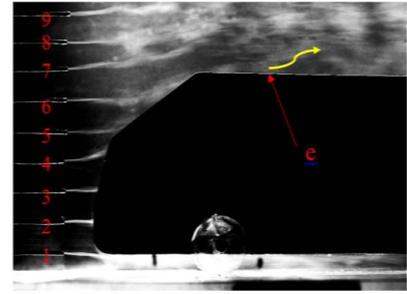


Gambar 15. Terjadinya *bubble separation* pada *leading edge* 44,4⁰

Visualisasi Pengaruh Variasi Sudut Kemiringan *Leading edge*

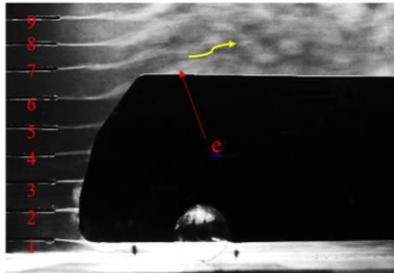


Gambar 16. Terjadinya *bubble separation* pada *leading edge* $53,4^\circ$

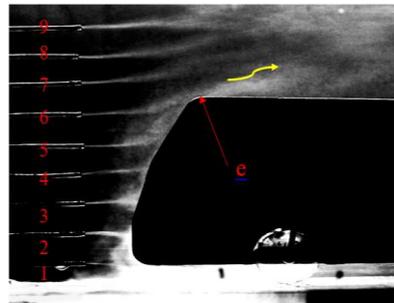


Gambar 19. Pola aliran meninggalkan *upper surface* pada *leading edge* $53,4^\circ$

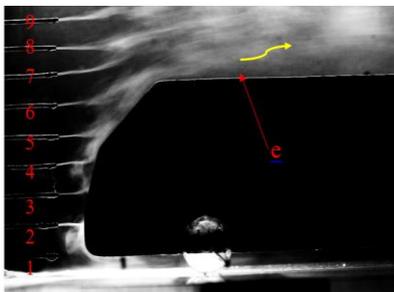
➤ Pola aliran meninggalkan permukaan atas (*upper surface*)



Gambar 17. Pola aliran meninggalkan *upper surface* pada *leading edge* $35,4^\circ$

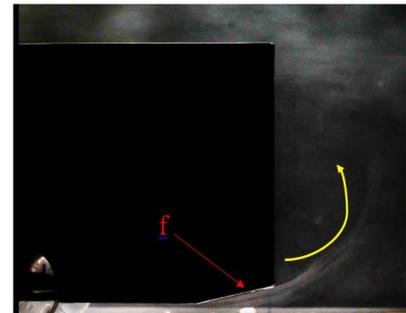


Gambar 18. Pola aliran meninggalkan *upper surface* pada *leading edge* $26,4^\circ$

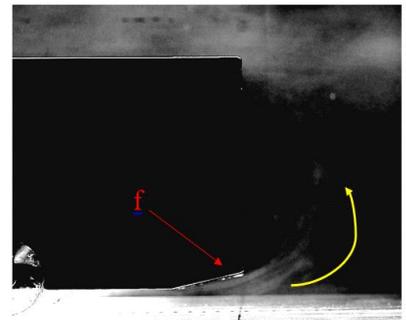


Gambar 19. Pola aliran meninggalkan *upper surface* pada *leading edge* $44,4^\circ$

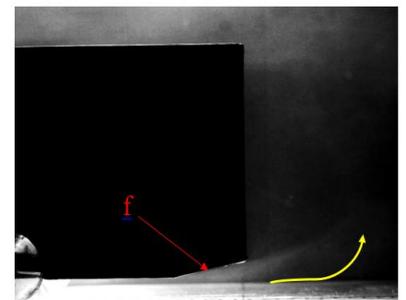
➤ Pola aliran dibelakang model bus (*near wake*)



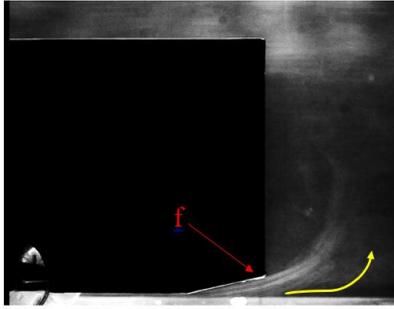
Gambar 20. Pola aliran bagian belakang pada *leading edge* $35,4^\circ$



Gambar 21. Pola aliran bagian belakang pada *leading edge* $26,4^\circ$



Gambar 22. Pola aliran bagian belakang pada *leading edge* $44,4^\circ$



Gambar 23. Pola aliran bagian belakang pada *leading edge* 53,4°

Dari keseluruhan gambar yang terjadi pada bagian *upper surface* dan bagian belakang (*near wake*) gambar 5 sampai 23 pada model sudut *leading edge* standar (35,4°) dan model sudut *leading edge* yang telah divariasikan (26,4°, 44,4° dan 53,4°) pada $Re = 0,26 \times 10^5$ diatas. Dapat disimpulkan bahwa visualisasi garis aliran yang terbaik dimiliki terdapat pada variasi sudut kemiringan *leading edge* 53,4°, hal ini dapat dilihat pada perbedaan garis alir yang melalui dari semua variasi sudut *leading edge*.

Pada variasi sudut *leading edge* 53,4° mempunyai garis alir yang lebih baik, dimulai dari titik stagnasi yang terjadi, garis alir terdefleksi ke bagian *upper surface*, selanjutnya terjadinya *bubble separation*, dan yang terakhir pada titik separasi aliran terlihat lebih jauh ketika akan meninggalkan kontur kendaraan. Titik separasi yang semakin jauh kebelakang ini dapat dikatakan bahwa gaya hambat yang terjadi memiliki gaya hambat yang lebih kecil. Semakin kecil gaya hambat yang terjadi, maka semakin berpengaruh terhadap efisiensi bahan bakar yang digunakan.

PENUTUP

Simpulan

Dari hasil pengolahan data secara deskriptif pada penelitian visualisasi karakteristik aerodinamika pada kendaraan jenis bus yang divariasikan pada sudut kemiringan *leading edge* diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- ❖ Pada penelitian ini didapatkan hasil visualisasi sudut kemiringan *leading edge* 35,4° (standar) dan setelah dilakukan variasi sudut kemiringan *leading edge* 26,4°. Terlihat garis alir pada variasi sudut 26,4° kurang baik ketika melewati kontur kendaraan dibandingkan dengan sudut 35,4° (standar). Selanjutnya pada hasil visualisasi sudut kemiringan *leading edge*

35,4° (standar) dan setelah dilakukan variasi sudut kemiringan *leading edge* 44,4°. Terlihat garis alir pada variasi sudut *leading edge* 44,4° mampu melewati kontur kendaraan dibandingkan dengan sudut 35,4° (standar). Sedangkan pada hasil visualisasi sudut kemiringan *leading edge* 35,4° (standar) dan setelah dilakukan variasi sudut kemiringan *leading edge* 53,4°. Terlihat garis alir pada variasi sudut 53,4° mampu melewati kontur kendaraan lebih baik dibandingkan dengan sudut 35,4° (standar). Dari penjelasan diatas dapat diamati dari perbandingan visualisasi pada titik stagnasi aliran yang terjadi, lalu diteruskan visualisasi garis alir yang terdefleksi ke bagian *upper surface* dan *lower surface* sampai dengan terjadinya *bubble separation*, dan yang terakhir terlihat terjadinya perbedaan visualisasi titik separasi aliran ketika akan meninggalkan kontur kendaraan.

- ❖ Perubahan visualisasi aliran dibelakang kendaraan (*near wake*) sebelum divariasikan sudut kemiringan *leading edge* 35,4° dan setelah dilakukan variasi sudut kemiringan *leading edge* 26,4°; 44,4°; dan 53,4° tidak terlalu berbeda pada visualisasi pola aliran yang terjadi. Hal ini dikarenakan dibagian belakang kendaraan tidak mempunyai perubahan variasi pada bagian *diffuser*.

Saran

Adapun saran pada penelitian ini adalah :

- ❖ Pada saat pengambilan data dalam bentuk foto atau video diharapkan menggunakan kamera yang memiliki kemampuan pengambilan gambar dengan kecepatan yang tinggi, agar foto atau video yang dihasilkan jauh lebih bagus dan lebih jelas.
- ❖ Agar hasil asap yang digunakan saat pengujian mampu terlihat dengan jelas, maka diperlukan alat penghasil asap yang mampu menghasilkan asap lebih pekat.

DAFTAR PUSTAKA

- Dyke, Milton Van. 1986. *An Album of Fluids Motion Standfords*. Departemen of Mechanical Engineering Standford University.
- Fox, Robert W. and Mc. Donald, Alan T. 2003. *Introduction to Fluid Mechanics 6th Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

- Gillespie, Thomas D. 1992. *The issue of vehicle Dynamics*. Warrendale,PA : Society of Automotive Engineers, Inc.
- Heisler, Heinz. 2002. *Advanced Vehicle Technology* Second Edition. London: Hodder Headline PLC
- Hucho, Wolf-Heinrich. 1990. *Aerodynamics of Road Vehicles*, Schwalbach: Germany.
- Hucho, Wolf-Heinrich. 2013. *Hucho-Aerodynamik des Automobils*. 6 Auflage. Munchen: Springer Vieweg.
- Karomah, Mutiara Nuril. dan Wawan Aris Widodo. 2012. "Studi Numerik Karakteristik Aliran Bagian *Rear - End* Bus Penumpang Dengan Variasi Sudut *Diffuser*". JURNAL TEKNIK ITS Vol. 1, No. 1. ISSN: 2301-9271
- Katz, Joseph. 1995. *Race Car Aerodynamics Designing for Speed*. Bentley Publishers: a division of Robbert Bentley, Inc.
- Merzkirch, W. 1987. *Techniques Of Flow Visualization*. France: Advisory Group for Aerospace Research and Development.
- Nevers, Noel de. 1991. *Fluid Mechanics for Chemical Engineers 2nd Edition*. Utah: Mc Graw-Hill, Inc.
- Sham Dol, Sharul., Mohd Arif Mohd Nor., Muhamad Khairun Kamaruzaman. 2006. *An Improved Smoke - Wire Flow Visualization Technique*, (Online), (http://www.researchgate.net/publication/251928116_An_Improved_Smoke-Wire_Flow_Visualization_Technique , diunduh 13 Oktober 2018)
- Sutantra, I Nyoman. 2001. *Teknologi Otomotif Teori dan Aplikasinya*. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin FTI ITS.
- Young, Donald F., Munson, Bruce R Okiishi.,Theodore H. Huebsch, Wade W. 2011. *A Brief Introduction to Fluid Mechanics 5th Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc.