

EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI SUDUT KEMIRINGAN LEADING EDGE TERHADAP KARAKTERISTIK AERODINAMIKA KENDARAAN BUS

Ahmad Khusnul Hidayat

S1 Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

E-mail : ahmadhidayat4@mhs.unesa.ac.id

A. Grummy Wailanduw

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

E-mail : grummywailanduw@unesa.ac.id

Abstrak

Aerodinamika berasal dari dua buah kata yaitu *aero* berarti udara dan *dinamika* berarti kekuatan atau tenaga. Jadi aerodinamika dapat diartikan sebagai ilmu pengetahuan yang mempelajari akibat yang ditimbulkan oleh udara pada objek yang bergerak atau sebaliknya. Model uji dalam penelitian ini yang menyerupai kendaraan jenis bus yang dibuat dari PCB (*printed circuit board*) dengan skala 1:30 dari dimensi aslinya, dan akan diamati distribusi tekanan di kontur model, dan menghitung nilai koefisien *drag* dan *lift* dengan memvariasikan kemiringan sudut *leading edge* pada kendaraan bus. Variasi sudut kemiringan *leading edge* antara lain: standar 35,4°; 26,4°; 44,4°; dan 53,4°. *Reynold number* (*Re*) yang digunakan = $4,24 \times 10^4$ (19 Km/Jam), $7,06 \times 10^4$ (32 Km/Jam), dan $9,83 \times 10^4$ (44 Km/Jam). Pengukuran profil kecepatan aliran dibelakang model uji kendaraan dilakukan pada rasio X/L 0,49; X/L 0,61; X/L 0,73 dari *leading edge* pelat datar. Hasil penelitian menunjukkan dengan variasi sudut kemiringan *leading edge* cenderung menurunkan *coefficient pressure* (C_p), pada bagian atap model. Penurunan nilai *coefficient drag preassure* (C_{Dp}) terjadi pada variasi sudut kemiringan pada sudut 53,4° dan $Re = 9,83 \times 10^4$ yakni 0,4923 atau turun 17,80 % dari model yang standart, sehingga bisa dikatakan dengan variasi kemiringan *leading edge* mempunyai dampak terbaik untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar kendaraan. Selain itu dengan memvariasi sudut kemiringan *leading edge* juga dapat meningkatkan *coefficient lift pressure* (C_{Lp}). Sedangkan C_{Lp} pada sudut 53,4° dan $Re = 9,83 \times 10^4$ yakni -0,1291 atau turun 30,52 % dari model yang standart, C_{Lp} terendah ada pada variasi pada sudut 26,4° dan $Re = 7,06 \times 10^4$ yakni -0,2474 atau naik 30,49% dari kendaraan standart. Pada pengukuran profil kecepatan (V_p) cenderung menurunkan defisit momentum aliran pada semua Re dan semua rasio X/L.

Kata kunci: *Leading Edge*, Karakteristik Aerodinamika, dan Kendaraan bus

Abstract

Aerodynamics comes from two words, namely aero means air and dynamics means strength or energy. So aerodynamics can be interpreted as science that studies the effects caused by air on moving objects or vice versa. 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 its original dimensions, and will observe the pressure distribution in the model contour, and calculate the drag coefficient and lift values by varying the slope of the leading edge on bus vehicles. The tilt angle variations of the leading edge include: standard 35.4 °; 26.4 °; 44.4 °; and 53.4 °. Reynold number (Re) used = 4.24×10^4 (19 Km / Hour), 7.06×10^4 (32 Km / Hour), and 9.83×10^4 (44 Km / Hour). The measurement of flow velocity profile behind the vehicle test model was carried out at an X / L ratio of 0.49; X / L 0.61; X / L 0.73 from the leading edge of the flat plate The results showed that the leading edge tilt angle variations tended to reduce the coefficient of pressure (CP), on the roof of the model. The decrease in the value of the drag coefficient preassure (CDp) occurs in a variation of the slope angle at an angle of 53.4 ° and $Re = 9.83 \times 10^4$ which is 0.4923 or decreases by 17.80% from the standard model, so that it can be said with a slope variation best for improving vehicle fuel efficiency. In addition, by varying the leading edge slope angle can also increase the lift pressure (CLp) coefficient. While CLp at the corner of 53.4 ° and $Re = 9.83 \times 10^4$ which is -0.1291 or down 30.52% from the standard model, the lowest CLp is in the variation at the angle 26.4 ° and $Re = 7.06 \times 10^4$ which is -0,2474 or up 30.49% from standard vehicles. The velocity profile measurement (Vp) tends to reduce the flow momentum deficit in all Re and all X / L ratios.

Keywords: *Leading Edge*, Aerodynamic Characteristics, and Bus Vehicle

PENDAHULUAN

Setiap tahun konsumsi bahan bakar minyak di Indonesia mengalami peningkatan. Hal ini menyebabkan jumlah bahan bakar yang ada saat ini semakin berkurang keberadaannya, sehingga banyak topik penelitian yang dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dari pemakaian bahan bakar minyak tersebut. Penelitian di Indonesia saat ini terutama peningkatan efisiensi bahan bakar lebih difokuskan pada penelitian tentang *engine* atau penelitian tentang bahan bakar alternatif. Terkait tentang efisiensi bahan bakar sebenarnya tidak hanya bergantung pada sektor *engine* saja. Desain suatu kendaraan juga harus memperhatikan aspek aerodinamis pada *body* kendaraan, agar aliran udara yang melewati *body* kendaraan dapat dimanfaatkan dengan baik, dan bukan merupakan suatu hambatan.

Aerodinamika berasal dari dua buah kata yaitu *aero* berarti udara dan dinamika berarti kekuatan atau tenaga. Jadi aerodinamika dapat diartikan sebagai ilmu pengetahuan yang mempelajari akibat yang ditimbulkan oleh udara pada objek yang bergerak atau sebaliknya. Objek yang dimaksud dapat berbentuk kendaraan bermotor (mobil, bus, truk, maupun sepeda motor) yang desain bodinya sangat terkait dengan pertimbangan aerodinamis.

Perkembangan zaman dan teknologi menuntut manusia untuk selalu dinamis. Penggunaan transportasi menjadi solusi kongkrit untuk mendukung peningkatan mobilitas manusia. Sampai saat ini, penggunaan alat transportasi umum khususnya bus, masih menjadi alternatif kendaraan yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan manusia. Dan hal ini diiringi pula dengan isu global mengenai krisis energi berbahan bakar fosil yang melanda dunia. Pertumbuhan akan transportasi mengakibatkan pula peningkatan kebutuhan akan energi. Penelitian aerodinamika pada mobil biasanya tergantung pada kebutuhan dan ukuran mobil. Contohnya pada mobil sedan biasanya penelitian aerodinamika lebih mengutamakan pada pengurangan *lift coefficient* agar mobil tetap stabil walau bermanuver di jalan raya, sedangkan untuk kendaraan bus penelitian lebih pada pengurangan *drag coefficient* yang berpengaruh pada efisiensi bahan bakarnya. Perubahan aerodinamika sekecil apapun akan mempengaruhi aliran udara pada kendaraan, karena aliran udara tersebut berubah seiring dengan komponen yang divariasikan terutama pada bagian ujung *leading edge*.

Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti diantaranya adalah **Dyke (1986)** menyatakan bahwa *leading edge* yang semakin besar sudutnya akan menyebabkan tingkat defleksi aliran semakin besar. **Hucho (2013)** menjelaskan bahwa bentuk *leading edge* yang lebih ke arah *lower side* akan menghasilkan penurunan drag sebesar 14%. Akibatnya aliran lebih terdefleksi maksimal ke arah *upper side* sehingga titik separasi lebih tertunda.

Berdasarkan penelitian di atas, perancangan modifikasi *leading edge* merupakan suatu metode untuk

meningkatkan efisiensi bahan bakar dengan mengurangi gaya hambat aerodinamik (*drag*) pada *body* kendaraan. Terkait dengan penjelasan tersebut, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh variasi *leading edge* kendaraan bus. Model mobil dibuat menyerupai bentuk aslinya dengan menggunakan skala tertentu, ditempatkan pada *wind tunnel* untuk di lihat distribusi tekanannya. Peneliti mengharapkan adanya perbaikan gaya drag aerodinamika pada kendaraan bus, sehingga dapat lebih menghemat bahan bakar dan menambah jarak tempuh kendaraan bus. Hal ini dikarenakan bus merupakan kendaraan yang di gunakan untuk transportasi umum oleh masyarakat untuk bepergian di dalam kota maupun di luar kota, dan juga bus menjadi salah satu transportasi yang sangat diminati oleh kalangan menengah ke bawah.

METODE

Flowchart Penelitian

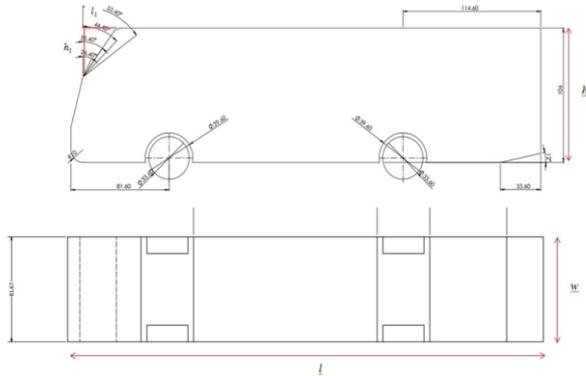


Gambar 1. Flowchart penelitian

Variabel Penelitian

- Variabel bebas pada penelitian ini adalah model uji standart sudut $35,4^\circ$ dan variasi sudut kemiringan *leading edge* $26,4^\circ, 44,4^\circ$ dan $53,4^\circ$ selain itu Variasi *Reynold Number* $4,24 \times 10^4$ (19 Km/Jam), $7,06 \times 10^4$ (32 Km/Jam), dan $9,83 \times 10^4$ (44Km/Jam).

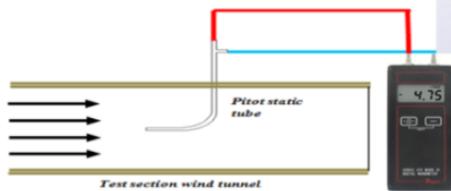
- Variabel terikat dari penelitian ini adalah *coefficient pressure* C_p pada permukaan atas dan bawah, *coefficient drag pressure* C_{DP} , *coefficient lift pressure* C_{LP} , dan titik separasi.
- Variabel kontrol dari penelitian ini adalah model uji diletakkan 200 mm dari *leading edge* pelat datar ditentukan dari poros roda depan. Penempatan *pitot static tube* dengan rasio X/L 0,49; 0,61; 0,73 dan Temperatur udara 26°C (299°K), Massa Jenis Udara $1,179\text{ Kg/m}^3$.



Gambar 2. Geometri model dan kendaraan

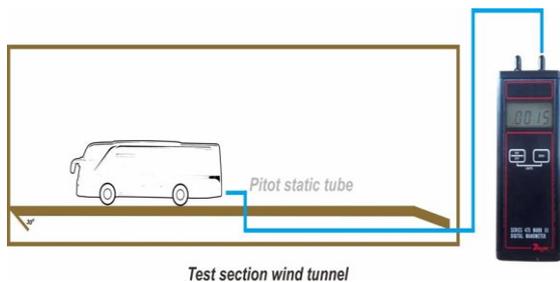
Teknik Pengumpulan Data

Sebelum mengambil data perlu dilakukan pengambilan data kecepatan *freestream* yang berguna untuk mengetahui kecepatan aliran pada *test section*.



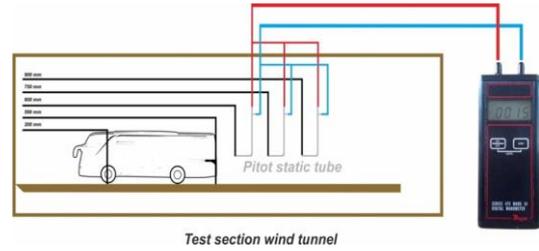
Gambar 3. Skema pengukuran kecepatan *freestream*

Selanjutnya untuk pengukuran tekanan statik untuk *coefficient pressure* (C_p) pada permukaan atas dan bawah, model uji menggunakan *pressure tap* yang dihubungkan dengan selang ke *manometer digital*, kemudian data diolah dalam bentuk tabel dan grafik.



Gambar 4. Skema pengambilan data tekanan statik untuk C_p pada *lower dan upper surface* model uji

Selanjutnya untuk pengukuran tekanan dinamik untuk (V_p) dibelakang model uji menggunakan *pitot static tube* yang dihubungkan selang ke manometer kemudian data diolah dalam bentuk table dan grafik.



Gambar 5. Skema pengambilan data tekanan dinamik untuk V_p di belakang model

Teknik Analisis Data

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan mengumpulkan data dari setiap hasil yang terjadi melalui eksperimen secara langsung. Untuk mendapatkan data secara akurat penelitian dibantu menggunakan manometer digital untuk mengukur besarnya tekanan, kemudian data dianalisa dalam bentuk grafik dengan perhitungan sebagai berikut:

- Perhitungan *coefficient pressure* (C_p)

$$C_p = \frac{P_c - P_\infty}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U_\infty^2}$$

Keterangan:

C_p = Koefisien tekanan

P_c = Tekanan statis pada kontur lokal

P_∞ = Tekanan statis *freestream*

$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U_\infty^2$ = Tekanan dinamis *freestream*

- Perhitungan *coefficient drag pressure* dan *coefficient lift pressure* (C_{DP} dan C_{LP})

Dalam keadaan sesungguhnya model mobil merupakan kombinasi antara kontur lengkung dan datar. Dengan demikian pada proses perhitungan merupakan hasil gabungan dari beberapa bagian kontur model. Integrasi tersebut dapat diselesaikan dengan metode aturan *Simpson* $\frac{1}{3}$ segmen berganda yang telah digunakan oleh Wahyuono (2013) yang telah disesuaikan nilai batas bawah dan batas atas sesuai dengan kontur model yang aslinya. Rincian untuk *upper surface* terdiri dari kontur lengkung yaitu pada bagian depan model dan bagian tengah hingga belakang model, sedangkan kontur datar terdapat pada *lower surface* model, adapun rumusnya sebagai berikut:

o Kontur lengkung

$$I \cong \frac{f(x_0) + 4 \sum_{i=1,3,5}^{n-1} f(x_i) + 2 \sum_{j=2,4,6}^{n-2} f(x_j) + f(x_n)}{3n}$$

Keterangan:

- a = batas bawah (0)
- b = batas atas (2,04)
- $f(x_0) = C_p(0).sin$
- $f(x_n) = C_p(2,04).sin(2,04)$ untuk C_{LP}
- $f(x_0) = C_p(0).cos 0$
- $f(x_n) = C_p(2,04).cos(2,04)$ untuk C_{DP}
- n = jumlah data
- $f(x_i)$ = perkalian dari fungsi data gasal dimana; i = 1,3,5,...n-1
- $f(x_j)$ = perkalian dari fungsi data genap dimana; i = 2,4,6,...n-2

o Kontur datar

$$I \cong \frac{f(x_0) + 4 \sum_{i=1,3,5}^{n-1} f(x_i) + 2 \sum_{j=2,4,6}^{n-2} f(x_j) + f(x_n)}{3n}$$

Keterangan:

- a = batas bawah (0)
- b = batas atas (6,17)
- $f(x_0) = C_p(0).sin 0$
- $f(x_n) = C_p(6,17).sin(6,17)$ untuk C_{LP}
- $f(x_0) = C_p(0).cos 0$
- $f(x_n) = C_p(6,17).cos(6,17)$ untuk C_{DP}
- n = jumlah data
- $f(x_i)$ = perkalian dari fungsi data gasal dimana; i = 1,3,5,...n-1
- $f(x_j)$ = perkalian dari fungsi data genap dimana; i = 2,4,6,...n-2

Sehingga,

$$C_{DP} = \frac{1}{2}I$$

$$C_{LP} = -\frac{1}{2}I$$

• Perhitungan profil kecepatan (V_p)

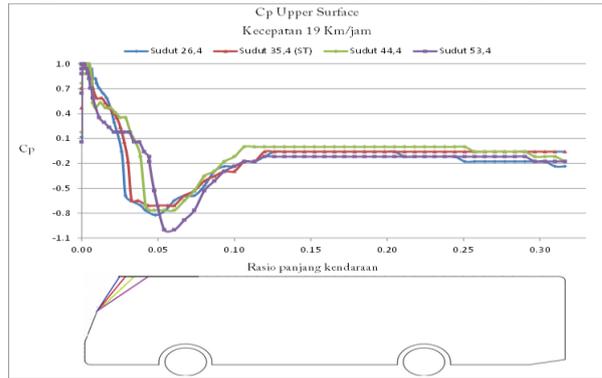
$$v_p = \left[\frac{\sum \left[1 - \frac{u}{U_{max}} \right]}{\sum u} \right] \times 100\%$$

Keterangan:

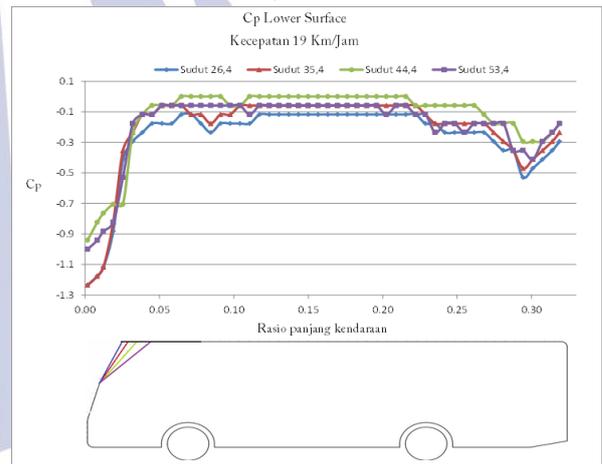
- u = kecepatan lokal dibelakang model
- U_{max} = kecepatan maksimum aliran

HASIL DAN PEMBAHASAN

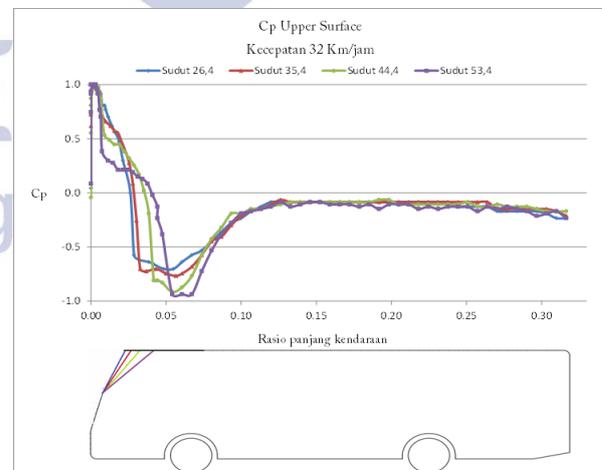
Data Pembahasan *Coefficient Pressure (Cp)* Model Dengan Variasi Sudut Kemiringan *Leading Edge*



Gambar 6. $C_p - x/l$ upper surface model standart dan dengan variasi sudut kemiringan *leading edge* pada $Re = 4,24 \times 10^4$

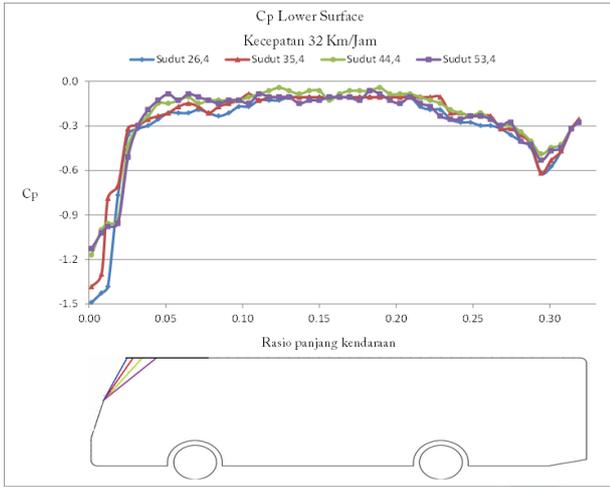


Gambar 7. $C_p - x/l$ lower surface model standart dan dengan variasi sudut kemiringan *leading edge* pada $Re = 4,24 \times 10^4$

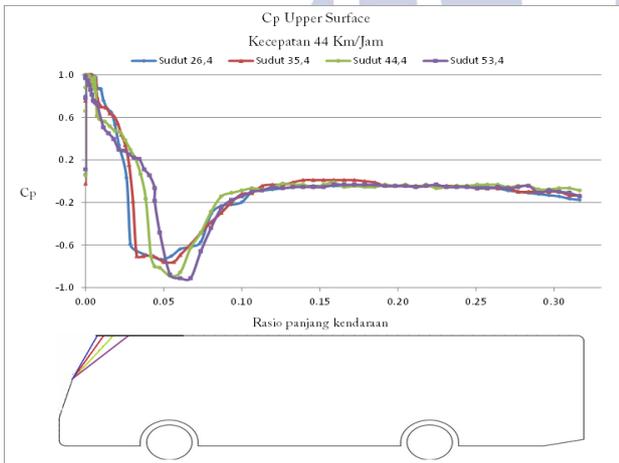


Gambar 8. $C_p - x/l$ upper surface model standart dan dengan variasi sudut kemiringan *leading edge* pada $Re = 7,06 \times 10^4$

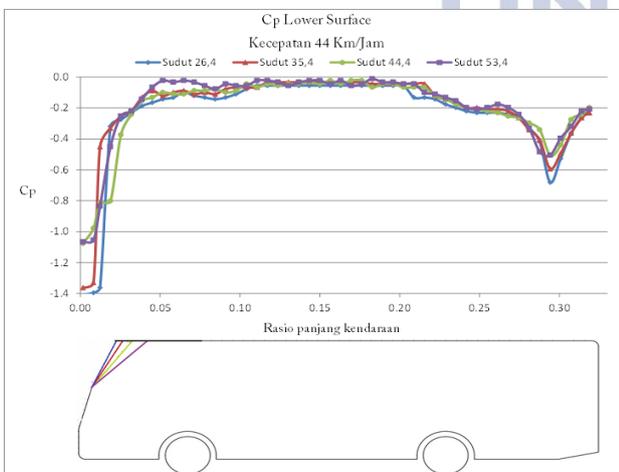
Ekspерimen Pengaruh Variasi Sudut Kemiringan *Leading Edge*



Gambar 9. $C_p - x/l$ lower surface model standart dan dengan variasi sudut kemiringan leading edge pada $Re = 7,06 \times 10^4$



Gambar 10. $C_p - x/l$ upper surface model standart dan dengan variasi sudut kemiringan leading edge pada $Re = 9,83 \times 10^4$



Gambar 11. $C_p - x/l$ lower surface model standart dan dengan variasi sudut kemiringan leading edge pada $Re = 9,83 \times 10^4$

Gambar 6 – 11 adalah grafik C_p . Menjelaskan perbandingan grafik $C_p=f(x/l)$ antara model uji standart dan model uji yang menggunakan semua variasi kemiringan sudut *leading edge* pada kontur permukaan atas (*upper surface*) pada $Re = 4,24 \times 10^4$. Dari grafik *upper surface* di atas tampak bahwa titik stagnasi ada pada bagian depan model kendaraan, yakni pada $x/l = 0,002$. Pada titik tersebut nilai $C_p = 1$ atau $U = 0$, dapat dikatakan bahwa terjadi tekanan lokal yang paling besar pada titik tersebut dimana aliran udara mengalami perlambatan sesaat sehingga menyebabkan tekanan menjadi sangat besar.

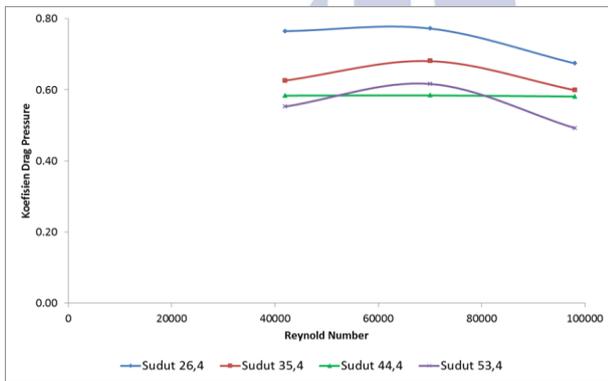
Pada kontur *upper surface*, setelah titik stagnasi partikel udara mengalami percepatan aliran (*accelerated flow*) yang ditandai dengan penurunan nilai distribusi C_p , artinya aliran udara mengalami percepatan momentum. Perubahan distribusi C_p ini berbeda untuk setiap variasi perubahan sudut kemiringan *leading edge*. Seperti yang terlihat pada gambar 6. kendaraan dengan sudut $53,4^\circ$ mempunyai nilai tekanan minimum yang lebih rendah daripada variasi yang lainnya. Ini berarti percepatan alirannya lebih besar dan dengan adanya percepatan tersebut, terlihat posisi titik separasi menjadi tertunda. Hal ini sangat berbeda pada variasi sudut $26,4^\circ$ dan $35,4^\circ$ (*Standart*). Pada dua variasi *leading edge* tersebut, grafik distribusi C_p memiliki bentuk grafik distribusi yang sangat mirip dan keduanya memiliki aliran yang stabil karena distribusi C_p yang terjadi tidak terlalu signifikan perubahannya.

Pada semua variasi sudut kemiringan *leading edge* setelah titik stagnasi grafik mengalami penurunan tekanan. Pada sudut $35,4^\circ$ yaitu pada titik $x/l = 0,002$ sampai $0,061$, pada sudut $26,4^\circ$ yaitu pada titik $x/l = 0,002$ sampai $0,048$, pada sudut $44,4^\circ$ yaitu pada titik $x/l = 0,002$ sampai $0,061$, dan pada sudut $53,4^\circ$ yaitu pada titik $x/l = 0,002$ sampai $0,061$ hal ini dikarenakan aliran mengalami percepatan sehingga distribusi C_p mengalami penurunan, setelah itu aliran mulai mengalami titik separasi, pada sudut $35,4^\circ$ yaitu pada titik $0,120$, pada sudut $26,4^\circ$ yaitu pada titik $0,113$, pada sudut $44,4^\circ$ yaitu pada titik $0,107$, dan pada sudut $53,4^\circ$ yaitu pada titik $0,126$ dimana aliran mulai meninggalkan kontur bodi kendaraan. Model kendaraan dengan sudut standart dan yang divariasikan kemiringan *leading edge* mempunyai tren yang hampir sama. Tetapi diagram garis mulai mengalami perbedaan tekanan terutama pada bagian ujung *leading edge* yaitu pada x/l antara $0,007$ sampai $0,120$, dikarenakan pada bagian ini kontur body pada bagian depan terutama pada *leading edge* mempunyai sudut kemiringan yang berbeda-beda.

Dari data yang sudah diperoleh pada distribusi C_p *upper surface* dan *lower surface* pada model standart dan model yang sudah divariasikan sudut kemiringan *leading edge* pada $Re = 9,83 \times 10^4$ di atas dapat disimpulkan bahwa nilai terbaik dimiliki pada variasi sudut $53,4^\circ$ hal ini bisa dilihat bahwa dari semua variasi, sudut $53,4^\circ$ mempunyai nilai C_p atau tekanan yang paling minimum penurunannya (pada bagian ujung *leading edge*) aliran yang mengalami percepatan yang semakin tinggi dapat

membuat distribusi C_p mengalami penurunan, semakin besar percepatan aliran membuat titik separasi yang lebih jauh kebelakang yaitu pada $x/l = 0.159$, dibanding dengan variasi yang lainnya, Sehingga aliran udara yang melewati *pressure tab* bisa bergerak lebih baik dan separasi udara yang terjadi dapat dikurangi sekecil mungkin. Hal ini dapat disimpulkan bahwa pada sudut $53,4^\circ$ pada $Re = 9,83 \times 10^4$ mempunyai nilai terbaik yaitu mempunyai nilai separasi yang jauh kebelakang dibandingkan dengan variasi sudut kemiringan *leading edge* yang lainnya dari titik separasi itu dapat dilihat bahwa titik separasi yang semakin jauh kebelakang akan berdampak pada nilai C_{DP} di belakang kendaraan, nilai C_{DP} yang semakin kecil maka gaya hambat yang dihasilkan juga semakin kecil, gaya hambat yang semakin kecil yang efek dari gaya hambat ini dapat berpengaruh terhadap penggunaan bahan bakar atau efisiensi bahan bakar

Data Pembahasan Coefficient Drag Prressure (C_{DP}) Model Bus Dengan Variasi Kemiringan Leading Edge



Gambar 12. Grafik $C_{DP} = Re$ pada model standart dan dengan variasi kemiringan sudut *Leading edge*.

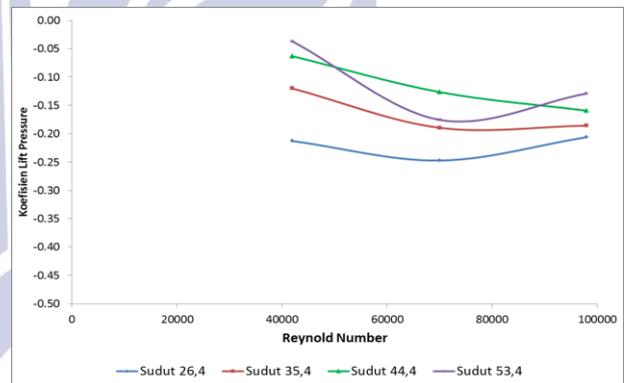
Gambar 12 di atas menjelaskan perbandingan grafik $C_{DP} = f(Re)$ antara model uji standart (sudut $35,4^\circ$) dangan yang sudah divariasai sudut kemiringannya (sudut $26,4^\circ$, $44,4^\circ$, dan $53,4^\circ$). Pemvariasian sudut *leading edge* memiliki tren grafik $C_{DP} = f(Re)$ yang berbeda. Dari grafik di atas dapat terlihat bahwa dengan pemvariasian sudut *leading edge* yang semakin besar sudutnya maka nilai C_{DP} semakin kecil dengan kecepatan atau (Re) yang sama.

Hal tersebut karena saat aliran udara bertabrakan dengan sudut yang tajam (sudut *leading edge* yang semakin besar) tersebut mengalami perputaran yang mengakibatkan terjadinya defleksi kemudian mengalami *bubble separation*. yang akan menjadikan aliran udara pada *upper surface* model kendaraan tingkat defleksinya dan *bubble separation* semakin kecil, sehingga aliran udara segera kembali turun mengikuti kontur bodi (*Reattachment*). Kemudian bisa dilihat dari titik separasi yang terjadi, yaitu ketika titik separasi semakin kebelakang (mengikuti kontur) maka bisa dilihat bahwa nilai C_{DP} semakin kecil juga. Pengaruh yang terjadi adalah dengan semakin besar nilai Re maka nilai C_{DP}

semakin kecil. Pada $Re = 4,24 \times 10^4$ model sudut $35,4^\circ$ (standart) nilai $C_{DP} = 0,6262$, pada variasi sudut $26,4^\circ$ nilai $C_{DP} = 0,7648$, pada variasi sudut $44,4^\circ$ nilai $C_{DP} = 0,5836$, pada variasi sudut $53,4^\circ$ nilai $C_{DP} = 0,5529$. Pada $Re = 7,06 \times 10^4$ model sudut $35,4^\circ$ (standart) nilai $C_{DP} = 0,6807$, pada variasi sudut $26,4^\circ$ nilai $C_{DP} = 0,7723$, pada variasi sudut $44,4^\circ$ nilai $C_{DP} = 0,5842$, pada variasi sudut $53,4^\circ$ nilai $C_{DP} = 0,6165$. Pada $Re = 9,83 \times 10^4$ model sudut $35,4^\circ$ (standart) nilai $C_{DP} = 0,5989$, pada variasi sudut $26,4^\circ$ nilai $C_{DP} = 0,6741$, pada variasi sudut $44,4^\circ$ nilai $C_{DP} = 0,5811$, pada variasi sudut $53,4^\circ$ nilai $C_{DP} = 0,4923$.

Penurunan *coefficient drag pressure* (C_{DP}) tertinggi adalah pada variasi sudut kemiringan *leading edge* sudut $53,4^\circ$ dengan $Re = 9,83 \times 10^4$ yakni $0,4923$ atau turun $-17,80\%$ dari model kendaraan standart (sudut $35,4^\circ$) pada Re yang sama. Dengan turunnya nilai *coefficient drag pressure* (C_{DP}) maka efisiensi penggunaan bahan bakar pada kendaraan bus juga semakin meningkat, sehingga penggunaan bahan bakar minyak semakin irit. Untuk data *coefficient drag pressure* (C_{DP})

Data Pembahasan Coefficient Lift Prressure (C_{LP}) Model Bus Dengan Variasi Kemiringan Leading edge



Gambar 13. Grafik $C_{DP} = Re$ pada model standart dan dengan variasi kemiringan sudut *Leading edge*.

Gambar 13 di atas menjelaskan perbandingan grafik $C_{LP} = f(Re)$ antara model uji standart (sudut $35,4^\circ$) dangan yang sudah divariasai sudut kemiringannya (sudut $26,4^\circ$, $44,4^\circ$, dan $53,4^\circ$). Pemvariasian sudut *leading edge* memiliki tren grafik $C_{LP} = f(Re)$ yang berbeda. Dari grafik di atas dapat terlihat bahwa dengan pemvariasian sudut *leading edge* yang semakin besar sudutnya maka nilai C_{LP} semakin besar dengan kecepatan atau (Re) yang sama.

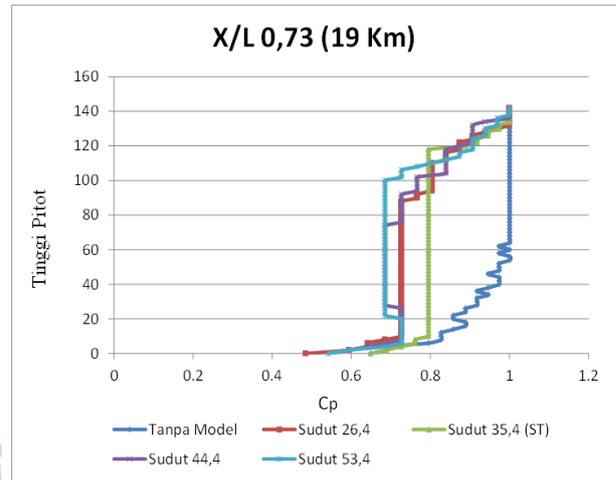
Hal ini terjadi karena pembagian aliran *upper surface* dan *lower surface* semakin bagus. Pengaruh yang terjadi adalah dengan semakin besar nilai Re maka nilai C_{LP} semakin kecil. Pada $Re = 4,24 \times 10^4$ model sudut $35,4^\circ$ (standart) nilai $C_{LP} = -0,1202$, pada variasi sudut $26,4^\circ$ nilai $C_{LP} = -0,2129$, pada variasi sudut $44,4^\circ$ nilai $C_{LP} = -0,0632$, pada variasi sudut $53,4^\circ$ nilai $C_{LP} = -0,0370$. Pada $Re = 7,06 \times 10^4$ model sudut $35,4^\circ$ (standart) nilai $C_{LP} = -0,1896$, pada variasi sudut $26,4^\circ$ nilai $C_{LP} = -0,2474$, pada

Eksperimen Pengaruh Variasi Sudut Kemiringan *Leading Edge*

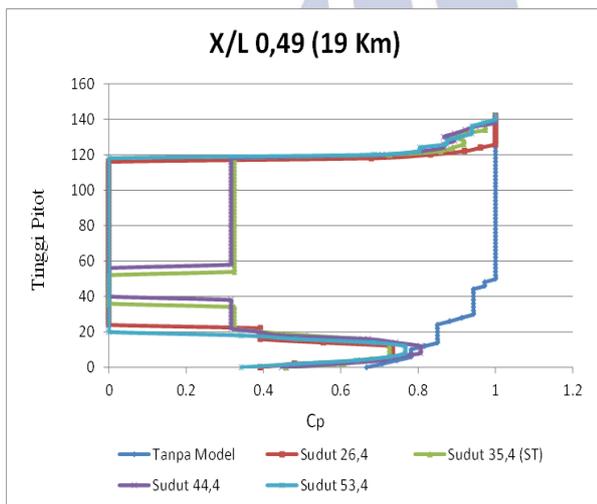
variasi sudut $44,4^\circ$ nilai $C_{LP} = -0,1265$, pada variasi sudut $53,4^\circ$ nilai $C_{LP} = -0,1756$. Pada $Re = 9,83 \times 10^4$ model sudut $35,4^\circ$ (standart) nilai $C_{LP} = -0,1858$, pada variasi sudut $26,4^\circ$ nilai $C_{LP} = -0,2061$, pada variasi sudut $44,4^\circ$ nilai $C_{LP} = -0,1594$, pada variasi sudut $53,4^\circ$ nilai $C_{LP} = -0,1291$.

Pengaruh variasi sudut *leading edge* yang terbaik atau dengan kenaikan *coefficient lift pressure* (C_{LP}) terkecil adalah pada variasi sudut kemiringan *leading edge* sudut $53,4^\circ$ dengan $Re = 4,24 \times 10^4$ yakni $-0,0370$ atau turun $-17,80\%$ dari model kendaraan standart (sudut $35,4^\circ$) pada Re yang sama. Dengan turunnya nilai *coefficient drag pressure* (C_{DP}) maka kestabilan pada kendaraan bus juga semakin meningkat sehingga pengendara dapat mengemudi dengan lebih baik

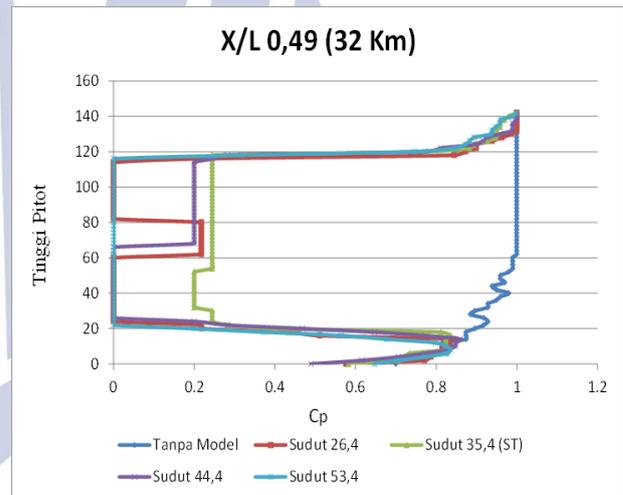
Data Pembahasan *Velocity Profile* (V_F) Model Bus Dengan Variasi Kemiringan *Leading Edge*



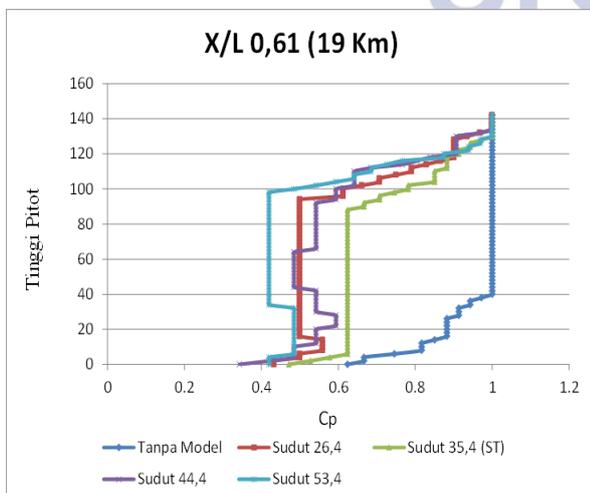
Gambar 16. Grafik $u/U_{max} - y/h$ pada $X/L = 0,73$ dan $Re = 4,24 \times 10^4$



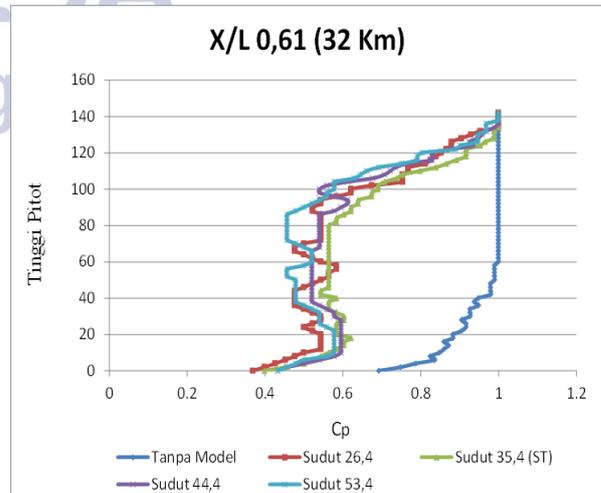
Gambar 14. Grafik $u/U_{max} - y/h$ pada $X/L = 0,49$ dan $Re = 4,24 \times 10^4$



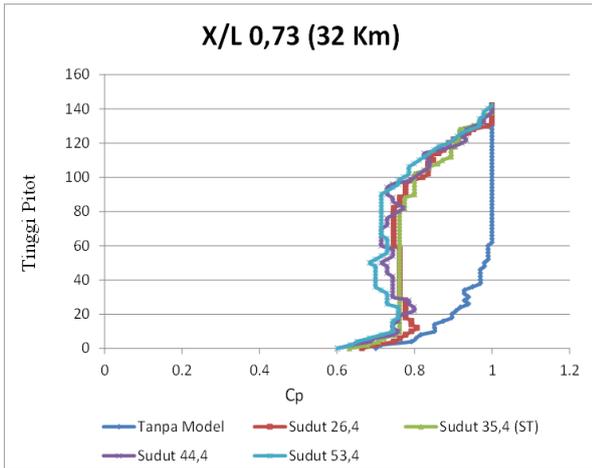
Gambar 17. Grafik $u/U_{max} - y/h$ pada $X/L = 0,49$ dan $Re = 7,06 \times 10^4$



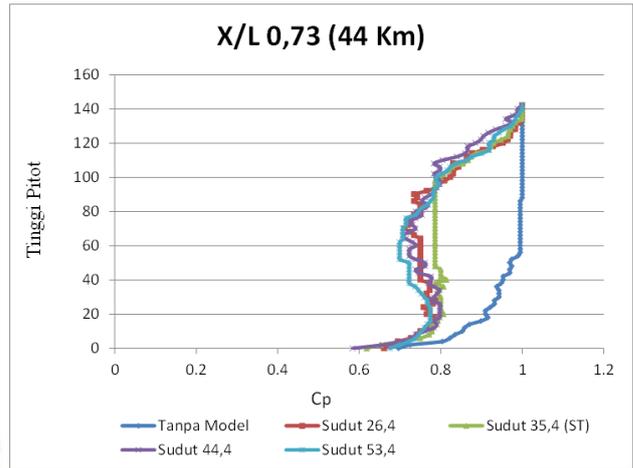
Gambar 15. Grafik $u/U_{max} - y/h$ pada $X/L = 0,61$ dan $Re = 4,24 \times 10^4$



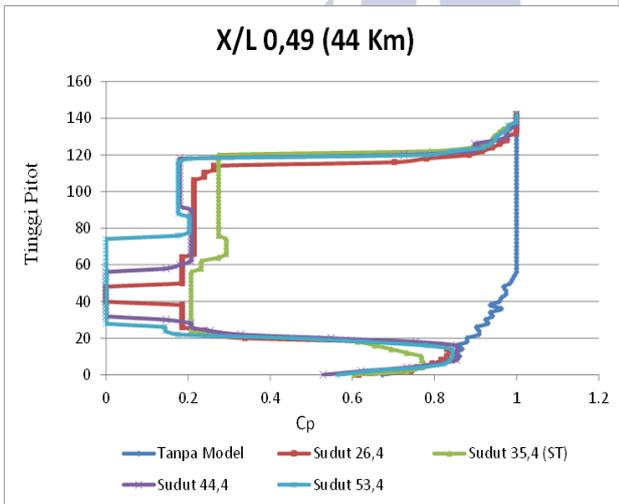
Gambar 18. Grafik $u/U_{max} - y/h$ pada $X/L = 0,61$ dan $Re = 7,06 \times 10^4$



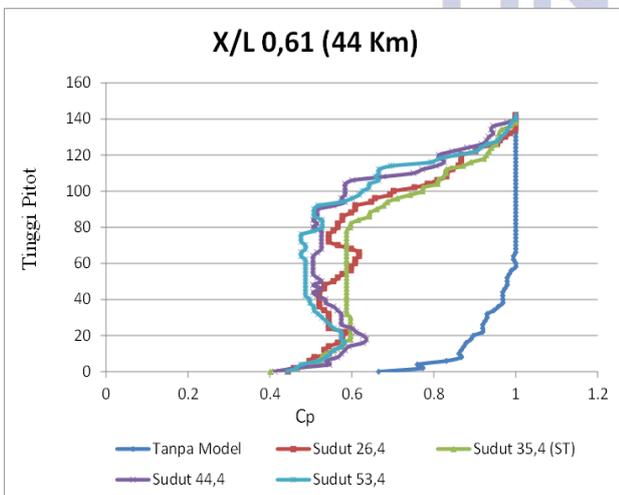
Gambar 19. Grafik $u/U_{max} - y/h$ pada $X/L = 0,73$ dan $Re = 7,06 \times 10^4$



Gambar 22. Grafik $u/U_{max} - y/h$ pada $X/L = 0,73$ dan $Re = 9,83 \times 10^4$



Gambar 20. Grafik $u/U_{max} - y/h$ pada $X/L = 0,49$ dan $Re = 9,83 \times 10^4$



Gambar 21. Grafik $u/U_{max} - y/h$ pada $X/L = 0,61$ dan $Re = 9,83 \times 10^4$

Gambar 14 - 22 adalah grafik profil kecepatan (V_p) pada rasio X/L 0,49; 0,61; dan 0,73 pada $Re = 4,24 \times 10^4$, $Re = 7,06 \times 10^4$; $Re = 9,83 \times 10^4$. Dari data *velocity profile* yang didapat, dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan defisit momentum paling besar terjadi pada kendaraan Bus pada variasi sudut 53,4. Hal ini dikarenakan pada kendaraan bus dengan sudut ini terjadi separasi pada bagian atas kabin, yang berdampak juga pada aliran dibelakang kendaraan dan meningkatkan defisit momentum aliran dibelakang kendaraan.

Defisit momentum terbesar berikutnya adalah yang terjadi pada kendaraan Bus pada variasi sudut 26,4°. Hal ini dikarenakan bentuk *Leading edge* yang paling tumpul dibandingkan dengan variasi yang lainnya sehingga mengakibatkan ada aliran yang bergerak di samping kendaraan sehingga mengakibatkan defisit momentum yang cukup besar.

Sedangkan untuk defisit momentum yang terjadi pada kendaraan Bus dengan variasi sudut 44,4° memiliki defisit momentum yang relatif kecil. Hal ini dikarenakan pada sudut 44,4° tetap terjadi aliran yang bergerak kesamping, tetapi aliran yang bergerak kesamping tidak terlalu besar sehingga defisit momentum pun juga tidak terlalu besar.

Untuk defisit momentum terkecil terjadi pada kendaraan dengan sudut standart 35,4°. Hal ini dikarenakan aliran udara melewati kontur *upper surface* kendaraan dengan sempurna tanpa ada aliran udara yang bergerak kesamping... Dapat disimpulkan bahwa pada setiap variasi X/L *pitot static* dan variasi *reynold number* defisit momentum yang paling kecil terjadi pada kendaraan dengan sudut standart yaitu sudut 35,4° tetapi C_{DP} terbaik justru didapatkan pada variasi sudut kemiringan *leading edge* sudut 53,4°. Hal ini menurut pendapat peneliti dikarenakan nilai yang didapatkan pada C_{DP} adalah hasil perhitungan dari *upper* dan *lower surface*. Sedangkan daerah *wake* tidak hanya didapat karena aliran yang melewati tersebut tetapi juga yang

melewati aliran *other* kendaraan. Sehingga mungkin terjadi perbedaan hasil antara wake dan C_{DP} .

Data Hubungan Antara C_{LP} dan C_{DP} Dengan Velocity Profile (V_P)

Tabel 1. Data C_{DP} , C_{LP} , dan velocity profile (V_P) bagian pada $Re = Re = 4,24 \times 10^4$

KECEPATAN RENDAH $Re = 4,24 \times 10^4$								
No	Variasi	CDP	CLP	Presentase %		Presentase Defisit Momentum (%)		
				CDP	CLP	X/L (0.49)	X/L (0.61)	X/L (0.73)
1	Sudut 35,4° (standart)	0.6262	-0.1202	-	-	23.4	7.22	3.91
2	Sudut 26,4°	0.7648	-0.2129	22.13	77.12	59.3	11.97	5.41
3	Sudut 44,4°	0.5836	-0.0632	-6.80	-47.42	23.2	11.44	5.95
4	Sudut 53,4°	0.5529	-0.0370	-11.71	-69.22	61.4	14.69	6.31

Tabel 2. Data C_{DP} , C_{LP} , dan velocity profile (V_P) bagian pada $Re = Re = 7,06 \times 10^4$

KECEPATAN SEDANG $Re = 7,06 \times 10^4$								
No	Variasi	CDP	CLP	Presentase %		Presentase Defisit Momentum (%)		
				CDP	CLP	X/L (0.49)	X/L (0.61)	X/L (0.73)
1	Sudut 35,4° (standart)	0.6807	-0.1896	-	-	14.5	5.69	2.62
2	Sudut 26,4°	0.7723	-0.2474	13.46	30.49	26.1	7.04	2.78
3	Sudut 44,4°	0.5842	-0.1265	-14.18	-33.28	20.5	6.32	3.01
4	Sudut 53,4°	0.6165	-0.1756	-9.43	-7.38	31.3	7.33	3.36

Tabel 3. Data C_{DP} , C_{LP} , dan velocity profile (V_P) bagian pada $Re = Re = 9,83 \times 10^4$

KECEPATAN TINGGI $Re = 9,83 \times 10^4$								
No	Variasi	CDP	CLP	Presentase %		Presentase Defisit Momentum (%)		
				CDP	CLP	X/L (0.49)	X/L (0.61)	X/L (0.73)
1	Sudut 35,4° (standart)	0.5989	-0.1858	-	-	10.7	3.75	1.72
2	Sudut 26,4°	0.6741	-0.2061	12.56	10.93	11.5	4.32	1.99
3	Sudut 44,4°	0.5811	-0.1594	-2.97	-14.21	13.5	4.70	2.10
4	Sudut 53,4°	0.4923	-0.1291	-17.80	-30.52	15.7	4.94	2.10

Dari data pada tabel 1, 2, dan 3 diatas menunjukkan bahwa pada setiap perubahan variasi sudut kemiringan *leading edge* pada semua Re akan menyebabkan *coefficient drag pressure* (C_{DP}) semakin turun. Pada semua variasi *leading edge* pada $Re = 4,24 \times 10^4$ di dapatkan nilai C_{DP} yang berbeda, dan penurunan yang terbaik yaitu pada sudut 53,4° dengan nilai 0,5529 atau turun 11,71% dari kendaraan standart (35,4°). Sedangkan pada semua variasi *leading edge* pada $Re = 7,06 \times 10^4$ di dapatkan nilai C_{DP} yang berbeda, dan penurunan yang terbaik yaitu pada sudut 44,4° dengan nilai 0,5842 atau turun 14,18% dari kendaraan standart (35,4°). Sedangkan pada semua variasi *leading edge* pada $Re = 9,83 \times 10^4$ di dapatkan nilai C_{DP} yang berbeda, dan penurunan yang terbaik yaitu pada sudut 53,4° dengan nilai 0,4923 atau turun 17,80% dari kendaraan standart (35,4°). Penurunan *coefficient drag pressure* (C_{DP}) paling banyak adalah pada variasi sudut kemiringan *leading edge* dan $Re = 9,83 \times 10^4$ yakni

0,4923 atau turun 17,80% dari model yang standart (sudut 35,4°) pada Re yang sama.

Dari data di atas juga dapat terlihat bahwa dengan memvariasikan sudut *leading edge* semakin besar sudutnya dapat menaikkan *coefficient lift pressure* (C_{LP}). Nilai *coefficient lift pressure* (C_{LP}) tertinggi adalah pada variasi sudut kemiringan *leading edge* sudut 53,4° dan $Re = 4,24 \times 10^4$ yakni -0,0370 atau naik 69,22% dari model yang standart (sudut 35,4°) pada Re yang sama.

Dari data pada tabel 1, 2, dan 3 diatas juga menunjukkan bahwa pada setiap kenaikan defisit momentum aliran pada setiap rasio X/L dan Re maka akan diikuti dengan naiknya nilai *coefficient drag pressure* (C_{DP}). Hal tersebut terjadi karena besarnya defisit momentum aliran menunjukkan daerah *wake* yang semakin besar, sehingga dapat meningkatkan nilai *coefficient drag pressure* (C_{DP}).

Dari data diatas data yang diharapkan yaitu nilai C_p yang mempunyai nilai terendah yaitu pada variasi sudut kemiringan *leading edge* 53,4° pada semua variasi Re , nilai C_{DP} yaitu yang mempunyai nilai paling kecil yaitu pada variasi sudut kemiringan *leading edge* 53,4° pada $Re = 9,83 \times 10^4$ (44 Km/jam), hal ini karna semakin kecil nilai C_{DP} maka gaya hambat yang dihasilkan juga semakin kecil, efek dari gaya hambat ini dapat berpengaruh terhadap penggunaan bahan bakar atau efisiensi bahan bakar. Sedangkan untuk nilai C_{LP} yaitu yang mempunyai nilai paling kecil yaitu pada variasi sudut kemiringan *leading edge* 26,4° pada $Re = 7,06 \times 10^4$ (32 Km/jam), hal ini karna semakin kecil nilai C_{LP} maka gaya angkat kendaraan yang dihasilkan juga semakin kecil, efek dari gaya angkat ini yaitu pada kestabilan kendaraan yang semakin baik

PENUTUP

Simpulan

- Pemvariasian sudut kemiringan *leading edge* dapat mengubah nilai distribusi tekanan (C_p), semakin distribusi tekanan semakin kecil maka gaya tekan kendaraan juga semakin kecil sehingga kendaraan bisa melaju tanpa ada tekanan yang besar.
- Pemvariasian sudut kemiringan *leading edge* cenderung menurunkan nilai *coefficient drag pressure* (C_{DP}). Penurunan *coefficient drag pressure* (C_{DP}) tertinggi adalah pada variasi sudut kemiringan *leading edge* 53,4° dan $Re = 9,83 \times 10^4$ yakni 0,4923 atau turun -17,80% dari model bus standart dengan sudut 35,4° pada Re yang sama. Dengan demikian variasi kemiringan *leading edge* dapat menurunkan nilai *coefficient drag pressure* (C_{DP}), karna semakin kecil nilai C_{DP} maka gaya hambat yang dihasilkan juga semakin kecil, efek dari gaya hambat ini dapat berpengaruh terhadap penggunaan bahan bakar atau efisiensi bahan bakar.
- Pemvariasian sudut kemiringan *leading edge* cenderung menaikkan nilai *coefficient lift pressure*

(C_{LP}). Kenaikan paling kecil adalah pada variasi sudut kemiringan *leading edge* $53,4^\circ$ dan $Re = 4,24 \times 10^4$ yakni $-0,0370$ atau naik $-69,22\%$ dari model bus standart dengan sudut $35,4^\circ$ pada Re yang sama. Dengan kecilnya nilai *coeffisient lift pressure* (C_{LP}) maka gaya angkat kendaraan yang dihasilkan juga semakin kecil, efek dari gaya angkat ini yaitu pada kestabilan kendaraan yang semakin baik.

- Dalam pengukuran profil kecepatan (V_P) dibelakang model kendaraan semua variasi Sudut kemiringan *leading edge* cenderung menurunkan defisit momentum aliran pada setiap Re dan pada setiap rasio X/L .

Saran

Adapun saran pada penelitian ini adalah:

- Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk banyak memodifikasi bentuk body kendaraan, seperti pemvariasian sudut *trailing edge*, *rear spoiler*, *diffuser*, dan *body kits* agar didapatkan nilai C_L dan C_D yang optimal serta efisiensi gaya aerodinamika pada kendaraan.
- Pada saat sebelum proses pengambilan data sebaiknya lakukan kalibrasi dahulu pada alat yang digunakan (Manometer Digital) agar hasil yang didapat lebih akurat.
- Selalu perhatikan waktu pengambilan data pada manometer digital. Waktu yang digunakan pada pengambilan data harus sama setiap titiknya.
- Untuk perusahaan atau karoseri bus sebaiknya lebih memperhatikan segi aerodinamis kendaraan bus karna ini berpengaruh pada gaya hambat dan gaya angkat kendaraan, hal ini karna semakin kecil nilai C_{DP} maka gaya hambat yang dihasilkan juga semakin kecil, gaya hambat yang semakin kecil yang efek dari gaya hambat ini dapat berpengaruh terhadap penggunaan bahan bakar atau efisiensi bahan bakar. Untuk pengemudi kendaraan bus sebaiknya untuk mengurangi gaya hambat gunakan laju kendaraan pada kecepatan tinggi, karna semakin tinggi kecepatan maka gaya hambat nya semakin kecil pula.

- 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.
- Katz, Joseph. 1995. *Race Car Aerodynamics Designing for Speed*. Bentley Publishers: a division of Robbert Bentley, Inc.
- Massey, Gerrard and John Ward Smith. 1998. *Mechanics of Fluids*. Seventh Edition. United Kingdom: Stanley Thornes.
- Nevers, Noel de. 1991. *Fluid Mechanics for Chemical Engineers 2nd Edition*. Utah: Mc Graw-Hill, Inc.
- Sutantra, I Nyoman. 2001. *Teknologi Otomotif Teori dan Aplikasinya*. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin FTI ITS.
- Sutantra, I Nyoman. 2010. *Teknologi Otomotif: Teori dan Aplikasinya*. Edisi Kedua. Surabaya: Guna Widya Press.
- Tim Penyusun Buku Pedoman Penulisan Skripsi. 2014. *Pedoman Penulisan Skripsi*. Surabaya: University Press.
- Wahyuono, Heru Bagas. 2013. *Studi Eksperimen Karakteristik Aliran Turbulen Melintasi Empat Silinder Sirkular Tersusun Secara Equispaced Dengan Jarak Antar Silinder P/D = 4 Di Dekat Dinding Datar*. Tugas Akhir Teknik Mesin FTI-ITS: Surabaya
- Wijaya, Fiqih Hari. 2016. *Eksperimen Pengaruh Variasi Rasio Ketinggian Ujung Leading Edge dan Kemiringan Sudut Trailing Edge Bodi Mobil Terhadap Karakteristik Aerodinamika Model Mobil Chev*. Skripsi. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin FT Unesa
- 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.

DAFTAR PUSTAKA

- Aprilyanto, Bayu. 2016. *Karakteristik Aerodinamik Pada Kendaraan Jenis Truk Yang Di Lengkapi Roof Spoiler*. Skripsi. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin FT Unesa.
- Dyke, Milton Van. 1986. *An Album of Fluids Motion Standfords*. Departemen of Mechanical Engineering Standford University.