

# Perbaikan Karakteristik Aerodinamika pada Kendaraan Niaga

**Soejono Tjitro**

Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

**Agus Aria Wibawa**

Alumnus Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

## Abstrak

Performansi tinggi pada kendaraan dibutuhkan dalam menghadapi gaya aerodinamis. Di mana gaya-gaya aerodinamis ini mempengaruhi kestabilan dan respon kendaraan.

Performansi kendaraan dapat dikendalikan dengan mengatur dan mengendalikan karakteristik kendaraan. Dalam penelitian ini, model kendaraan ditambahkan asesoris, seperti : air foil, air dam, side air dam, spoiler, dan dress up dengan memvariasi kecepatan.

Hasil penelitian menunjukkan penambahan asesoris menimbulkan akibat yang unik pada gaya aerodinamis.

Kata kunci : aerodinamis, gaya hambat, gaya angkat

## Abstract

*A vehicle must have a high performance to be up against aerodynamic force that effect its stability and response. Vehicle's performance can be controlled by modifying their characteristic. In this research, vehicle's model is modified by the installation of accessories, such as : air foil, air dam, side air dam, spoiler, and dress up. The speed of the vehicle was varied in this research.*

*The result of this research shows that add accessory has a unique effect on the aerodynamic force.*

Keywords : aerodynamic, drag force, lift force

## 1. Pendahuluan

Kebutuhan sarana transportasi semakin meningkat seiring dengan kemajuan jaman. Sarana transportasi khususnya kendaraan beroda empat sudah merupakan kebutuhan vital bagi setiap kehidupan manusia. Karena sarana ini banyak membantu meringankan pekerjaan manusia. Sehingga sarana transportasi dapat mempengaruhi penyelesaian suatu pekerjaan baik kualitas, kuantitas dan kenyamanan.

Kendaraan roda empat jenis niaga (van) adalah salah satu jenis kendaraan yang banyak dijumpai di Indonesia. Karena jenis ini sangat fleksibel penggunaannya, bisa untuk mengangkut penumpang dan atau barang. Tetapi jenis ini memiliki tingkat performansi yang tidak begitu tinggi dibandingkan dengan jenis sedan. Akibatnya pemakaian bahan bakar lebih boros, laju kendaraan terbatas serta kestabilan kendaraan tidak begitu baik.

Dilain pihak, dengan semakin menipisnya cadangan minyak bumi maka pemakaian bahan bakar dituntut sehemat mungkin dengan hasil semaksimal mungkin. Demikian juga dibidang otomotif, para ahli otomotif dituntut untuk menciptakan kendaraan yang memiliki performansi yang tinggi dengan pemakaian bahan bakar seefisien mungkin. Performansi kendaraan yang tinggi meliputi gaya hambat (*drag force*) dan gaya angkat (*lift force*) yang dihasilkan sekecil mungkin. Karena aspek ini mempengaruhi stabilitas serta respon kendaraan saat melaju pada kecepatan tinggi.

Salah satu cara untuk mengendalikan atau mengatur performansi kendaraan adalah mengatur dan mengendalikan karakteristik aerodinamika. Hal ini dapat dilakukan dengan mendesain kendaraan yang bentuknya aerodinamis mungkin atau menambah beberapa peralatan (*aerofil*, *spoiler*, dan sebagainya) pada bentuk kendaraan yang sudah ada.

## 2. Metodologi Penelitian

### 2.1 Pembuatan Model Uji

Kendaraan niaga yang akan diamati adalah kendaraan jenis van, yaitu Suzuki Super Carry

**Catatan** : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Januari 2000. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Mesin Volume 2 Nomor 1 April 2000.

Extra tipe Rocky dengan karoseri New Armada. Spesifikasi teknis kendaraan sebagai berikut :

- berat = 9721,71 N
- letak titik berat (a) = 969 mm
- tinggi titik berat (h) = 281 mm
- posisi  $c_p$  (x) = 1008 mm
- posisi  $c_p$  (y) = 1092 mm
- panjang wheel base = 1960 mm
- jarak track depan = 1265 mm
- jarak track belakang = 1250 mm
- lebar bodi = 1460 mm
- panjang bodi = 1460 mm
- daya motor = 55 hp/5500 rpm
- torsi maksimum = 7,8 kgm/4000 rpm

Skala model uji terhadap model sesungguhnya adalah 1 : 24.

## 2.2 Pembuatan Asesoris

Asesoris yang dimaksud adalah air dam, *side air dam*, *spoiler*, *negative wing*. Khusus *negative wing*, acuan pembuatannya memakai acuan pembuatan profil sayap NACA 63-412.

## 2.3 Analisa Dimensional

Agar pengujian skala model dapat mewakili fenomena sebenarnya yang terjadi pada skala penuh (obyek sesungguhnya), skala model yang dibuat harus memiliki kesamaan geometri, dinamis maupun kinematis daripada skala penuh. Untuk pengujian kesamaan tersebut menggunakan theorem Buckingham Pi. Dari analisa theorem Buckingham Pi didapatkan hubungan antara skala model dengan skala penuh, yaitu :

$$\left[ \frac{F}{A_f V^2 r} \right]_{Model} = \left[ \frac{F}{A_f V^2 r} \right]_{skala-Penuh} \quad (1)$$

$$\left[ \frac{m}{L_c V r} \right]_{Model} = \left[ \frac{m}{L_c V r} \right]_{skala-Penuh} \quad (2)$$

## 2.4 Pengujian Model Pada Terowongan Angin

Terowongan angin yang dipakai adalah jenis *Open Circuit-Sub Sonic*. Spesifikasinya: dimensi 2980 x 1830 x 800 mm, kecepatan udara 20 m/det, motor rating 1,5 kW, *testing section* 310 x 310 x 410 mm, *testing section area* 88900 mm<sup>2</sup>, *lift balance* (maks) 7,0 N, *drag balance* (maks) 2,5 N.

Model uji beserta asesorisnya diuji satu persatu di terowongan angin. Adapun ragam model yang diujikan adalah model uji van dengan variasi : keadaan normal, air dam, *side*

*air dam*, *spoiler*, *spoiler* 11 °, *air foil* 7°, *air foil* 8°, *air foil* 9°, *air foil* 10°, *dress up*, dengan variasi kecepatan udara 9 m/det, 10 m/det, 12 m/det, 14 m/det, 16 m/det, 18 m/det, 20 m/det. Model uji ditempatkan minimum 44,2 mm dari ujung depan *ground plane*, agar dapat menghadirkan fenomena jalan pada eksperimen yang dilakukan. Dari pengujian terowongan angin ini akan mendapatkan gaya angkat (*lift force*), gaya hambat (*drag force*) serta gaya samping (*side force*).

## 2.5 Analisa Skala Penuh

Dengan didapatkan masing-masing gaya pada pengujian di terowongan angin, dapat menghitung harga-harga koefisien  $c_L$ ,  $c_D$ . Melalui studi similaritas akan mendapatkan kecepatan udara pada skala penuh. Dengan diperolehnya harga kecepatan udara, dapat memperkirakan gaya hambat serta gaya angkat yang terjadi pada skala penuh.

## 3. Teori Dasar

### 3.1 Aerodinamika Otomotif

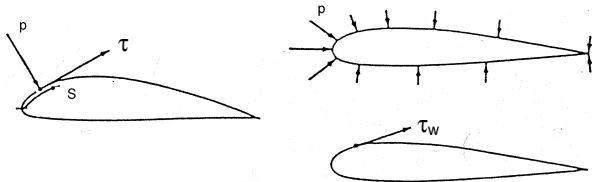
Perkembangan dunia aerodinamika otomotif dimulai sekitar tahun 1900 dimana para desainer pada saat itu menciptakan mobil mulai memperhatikan faktor aerodinamis selain faktor-faktor mekanis seperti mekanisme penggerak dan transmisi, pengendalian, dan lain-lain. Pada awal perkembangan aerodinamika otomotif dimulai dengan memperhatikan aerodynamic drag yang berpengaruh terhadap kecepatan kendaraan, konsumsi bahan bakar dan daya motor.

Secara umum proses aliran fluida pada kendaraan yang sedang bergerak dapat dikategorikan menjadi tiga kategori, yaitu : aliran udara pada sekitar kendaraan, aliran udara yang masuk ke dalam kendaraan, dan aliran udara yang masuk ke bagian mesin. Dua kategori pertama berhubungan erat satu sama lain, misalnya aliran udara yang berada di atas kompartemen motor secara langsung bergantung pada bidang aliran di sekeliling kendaraan. Dalam mendesain kedua kategori tersebut harus dipertimbangkan bersama-sama. Dan disisi lain, aliran udara di bagian motor secara tidak langsung berhubungan dengan kedua hal tersebut diatas.

Aliran udara di bagian luar inilah yang mengakibatkan terjadinya gaya dan momen yang berpengaruh terhadap kemampuan dan stabilitas arah kendaraan.

### 3.2 Gaya Aerodinamis

Gaya aerodinamis dapat dinyatakan sebagai akibat aliran udara pada suatu permukaan dari suatu benda yang bersumber dari distribusi tekanan pada permukaan dan tegangan geser pada permukaan.



$p = p(s)$  = surface pressure distribution,  
 $\tau = \tau(s)$  = surface shear distribution

Gambar 1. Gaya-gaya Penyebab Gaya Aerodinamis

Pada setiap titik mengalami perbedaan tekanan yang berbeda tergantung letak titik-titik tersebut. Perbedaan ini mengakibatkan terjadinya distribusi tekanan yang berbeda-beda pada permukaan sehingga mengakibatkan timbulnya gaya, yang dinamakan gaya aerodinamis. Sumber kedua adalah tegangan geser yang terjadi pada permukaan benda yang berasal dari efek gesekan fluida yang melawan bidang permukaan benda. Resultan distribusi  $P$  dan  $\tau_w$  pada setiap titik pada permukaan benda menghasilkan gaya  $R$ , dimana dapat diuraikan menjadi dua komponen gaya. Komponen-komponen gaya tersebut adalah komponen yang paralel dengan arah kecepatan  $V$ , dan komponen yang tegak lurus kecepatan  $V$ . Komponen gaya yang paralel dengan kecepatan bisa dinamakan *drag force* (gaya hambat) dan komponen gaya yang lainnya dinamakan *lift force* (gaya angkat).

Gaya aerodinamis yang terjadi pada benda meliputi *aerodinamics drag*, *aerodinamics lift* dan *aerodinamics side*. Selain menimbulkan ketiga gaya tersebut, gaya aerodinamis juga menimbulkan momen pada benda yang terdiri dari *pitching moment*, *yawing moment*, dan *rolling moment*.

*Aerodinamics drag* merupakan gaya seret yang bekerja paralel terhadap arah aliran. *Drag force* ini merupakan gaya yang melawan gerak benda. Secara umum *drag force* ini terjadi akibat perbedaan tekanan antara bagian depan dan belakang benda.

Besar *aerodinamics drag* dapat ditentukan dengan persamaan :

$$F_{AD} = F_D = 0,5 C_D \rho V^2 \quad (3)$$

Pada mulanya aspek *lift force* tidak terlalu diperhatikan, tetapi dengan semakin pesatnya

kemajuan dibidang otomotif dimana kecepatan kendaraan yang semakin tinggi dapat menimbulkan masalah dalam hal stabilitas dan responsif kendaraan. Semakin cepat kendaraan melaju semakin sulit kendaraan dikendalikan. Salah satu cara untuk mengendalikan stabilitas dan meningkatkan respon kendaraan adalah dengan cara memperkecil *lift force* yang terjadi.

Besar *lift force* dapat ditentukan dengan persamaan :

$$F_{AL} = F_L = 0,5 C_L \rho V^2 \quad (4)$$

*Aerodinamics side force* terjadi pada kendaraan karena kendaraan mengalami gaya akibat angin yang membentuk sudut terhadap lintasan kendaraan. Kondisi ini dapat terjadi akibat kendaraan berbelok atau memang karena ada hembusan angin yang membentuk sudut terhadap lintasan kendaraan. Gaya ini dapat mendorong kendaraan ke arah samping sehingga kendaraan akan mengalami *skid* ke samping. Dan apabila *side force* ini bekerja tidak pada titik pusat gravitasi akan menimbulkan *rolling moment* dan *yawing moment* yang berakibat kendaraan akan *rolling* atau *yawing*.

Besar *aerodinamics side force* dapat dicari dengan persamaan :

$$F_{AS} = F_S = 0,5 C_S \rho V^2 \quad (5)$$

dimana :

$C_D$  = koefisien gaya hambat

$C_L$  = koefisien gaya angkat

$C_S$  = koefisien gaya samping

$\rho$  = massa jenis udara,  $kg/m^3$

$A_f$  = luas frontal,  $m^2$

$V$  = kecepatan relatif antara kendaraan dengan udara,  $m/det$

Ketiga gaya tersebut di atas bekerja pada titik pusat tekanan,  $C_p$  (*centre of pressure*) dan gaya-gaya ini menimbulkan momen aerodinamis akibat adanya jarak atau lengan antara titik pusat tekanan dengan titik pusat gravitasi,  $CG$  (*centre of gravity*). Besar momen yang dihasilkan sebagai berikut :

$$M_R = 0,5 C_R A_f \rho V^2 l \quad (6)$$

$$M_Y = 0,5 C_Y A_f \rho V^2 l \quad (7)$$

$$M_P = 0,5 C_P A_f \rho V^2 l \quad (8)$$

dimana :

$M_R$  = koefisien momen *rolling*

$M_Y$  = koefisien momen *yawing*

$M_P$  = koefisien momen *pitching*

$l$  = panjang karakteristik,  $m$

### 3.3 Analisa Dimensional

Pada umumnya jarang sekali problem mekanika fluida dapat diselesaikan dengan metode analitik. Penyelesaian yang digunakan umumnya merupakan metoda gabungan antara metoda analitik dan metoda eksperimen. Tetapi dilain pihak, metoda eksperimen ini memerlukan waktu relatif lama dan biaya yang cukup besar. Untuk itu perlu dicari jalan keluar agar eksperimen yang dilakukan tidak terlalu lama dan biaya yang dikeluarkan sekecil mungkin tetapi hasil eksperimen tetap memadai. Hal ini bisa dilakukan dengan Analisa Dimensional.

Dalam aerodinamika dimana terjadi interaksi antara benda (kendaraan) dengan udara sekitarnya. Sehingga parameter-parameter yang menentukan besarnya gaya aerodinamis dapat ditentukan dari : dimensi kendaraan (luas frontal), kecepatan relatif kendaraan dan udara, massa jenis udara, viskositas udara. Dalam bentuk persamaan fungsi, besaran gaya aerodinamis adalah :

$$F = f (A_f, V, \rho, \mu) \quad (9)$$

Buckingham Pi merupakan salah satu metoda Analisa Dimensional yang digunakan untuk menentukan persamaan fungsi. Dan nantinya hasil analisa Buckingham Pi digunakan untuk pengujian model yang mewakili benda sesungguhnya. Agar pengujian model dapat memenuhi syarat maka diperlukan beberapa syarat kesamaan, antara lain : kesamaan kinematis, kesamaan dinamis dan kesamaan geometris. Kesamaan kinematis dan dinamis berhubungan dengan gaya-gaya sedangkan kesamaan geometris berhubungan dengan model dan skala penuh (*full scale*).

### 3.4 Definisi Van

Van didefinisikan sebagai kendaraan yang berfungsi sebagai pengangkut barang yang ringan pada jarak yang pendek. Van juga didefinisikan sebagai truk yang dilengkapi dengan ruang penumpang berbentuk kotak, yang atapnya dipasang secara tetap. Posisi pengemudi berada disamping atau di atas mesin. Kabin depan didesain untuk dua penumpang. Van jenis *pick up* memiliki ruang belakang yang terbuka dan biasanya disebut *light truck*.

Beberapa asesoris tambahan yang akan dipasang pada *van*, antara lain :

- Air dam, merupakan asesoris yang diletakkan di bagian depan bawah kendaraan. Konstruksinya bisa menyatu dengan bodi atau desain terakhir menyatu dengan

bumper. Fungsinya sebagai pembendung atau penahan aliran udara.

- *Side air dam* dipasang pada bagian bawah sisi kendaraan di antara kedua *wheel base*. Sama dengan air dam, *side air dam* berfungsi sebagai penahan aliran udara.
- *Spoiler*, dipasang dibagian atas belakang kendaraan, sesuai dengan namanya berfungsi sebagai perusak aliran udara.
- *Negative wing* memiliki fungsi sebagai peralatan yang memberikan gaya angkat negatif.

## 4. Pembahasan

### 4.1 Gaya Hambat

Penambahan asesoris variasi pada kendaraan *van* menimbulkan dampak terhadap gaya hambat. Untuk semua penambahan asesoris kecuali air dam, memperlihatkan bahwa gaya hambat yang dialami oleh kendaraan cenderung semakin besar dibandingkan dengan keadaan kendaraan normal (tanpa asesoris) terutama pada kecepatan kendaraan diatas 80 km/jam, seperti yang diperlihatkan pada grafik 1. Hal ini tentunya berimbas pada kelajuan kendaraan dimana laju kendaraan akan berkurang. Penambahan air *foil* memberikan gaya hambat yang terbesar dibandingkan asesoris lainnya kecuali penambahan *dress up* pada kendaraan. Dengan memperbesar sudut elevasi pada air *foil* akan mempengaruhi gaya hambat yang dihasilkan. Hal ini diperlihatkan pada grafik 4 bahwa gaya hambat yang dihasilkan air *foil* 10° lebih besar dibandingkan gaya hambat yang dihasilkan air *foil* 9°, air *foil* 8°, maupun air *foil* 7°. Karena dengan semakin besar *negative angle of attack* nilai koefisien hambat (cD) semakin besar. Namun perubahan sudut elevasi yang sangat kecil mengakibatkan perubahan gaya hambat tidak begitu besar.

Pada grafik 6 menunjukkan bahwa pemberian asesoris *spoiler* menimbulkan gaya hambat yang lebih kecil dibandingkan dengan pemberian *dress up*. Tetapi dengan memperbesar sudut elevasi *spoiler* ternyata memperkecil gaya hambat yang dihasilkan tetapi perbedaan gaya hambatnya tidak begitu besar. Hal ini diperlihatkan nilai koefisien hambat, cD *spoiler* 11° lebih kecil dibandingkan dengan *spoiler*. Namun gaya hambat yang diakibatkan oleh pemasangan *spoiler* masih lebih besar dibandingkan dengan penambahan air dam.

Penambahan air dam pada kendaraan tidak begitu efektif karena dampak gaya hambat yang dihasilkan hampir tidak jauh beda dengan

dampak gaya hambat yang dihasilkan oleh kendaraan normal. Hal ini dapat dilihat pada grafik 2.

#### 4.2 Gaya Angkat

Penambahan asesoris air dam pada kendaraan normal menghasilkan gaya angkat terbesar dibandingkan dengan penambahan asesoris lainnya dan kendaraan kondisi normal. Dan sebaliknya penambahan asesoris air *foil* 10° menghasilkan gaya angkat pada kendaraan terkecil.

Tidak semua penambahan asesoris pada kendaraan menimbulkan efek gaya angkat yang berkebalikan dengan efek gaya hambat. Ada sebagian kendaraan dengan penambahan asesoris menimbulkan gaya hambat lebih besar dibandingkan dengan kendaraan kondisi normal (tanpa asesoris) tetapi gaya angkat yang dihasilkan cenderung lebih kecil dari kendaraan kondisi normal. Hal ini diperlihatkan pada grafik 5 bahwa penambahan air *foil* dan *side* air dam sangat efektif menurunkan gaya angkat dan dipihak lain meningkatkan gaya hambat yang dihasilkannya, seperti yang ditunjukkan pada grafik 1.

Pada grafik 1 dan grafik 5 menunjukkan bahwa penambahan *spoiler* dan *dress up* cenderung memperbesar baik gaya hambat maupun gaya angkat dibandingkan dengan kendaraan normal. Hal ini disebabkan adanya gerakan turbulensi udara yang cenderung menekan ke atas. Gaya angkat yang ditimbulkan oleh penambahan *dress up* lebih besar dibandingkan dengan *spoiler*, seperti yang ditunjukkan di grafik 7. Dengan memperbesar sudut elevasi *spoiler* akan menurunkan gaya angkat tetapi masih lebih besar dibandingkan dengan kendaraan normal.

Penambahan air *foil* akan mengurangi gaya angkat kendaraan sehingga kestabilan kendaraan akibat gaya angkat lebih baik dan responsif. Tetapi dengan memperkecil sudut elevasi air *foil* (negative angle of attack) cenderung memperbesar gaya angkat. Namun masih lebih kecil efek gaya angkatnya dibandingkan dengan kendaraan *van* tanpa asesoris (normal). Hal ini ditunjukkan pada grafik 8. Karena dengan penambahan air *foil* menyebabkan harga koefisien angkat,  $c_L$  semakin kecil. Dengan semakin kecilnya harga  $c_L$  akan memperkecil gaya angkat kendaraan.

Grafik 6 menunjukkan bahwa penambahan air dam justru memperbesar gaya angkat walaupun efek gaya hambat yang dihasilkan tidak jauh beda dengan kendaraan normal. Karena dengan adanya air dam ini, udara di

bawah kendaraan akan terperangkap. Dengan terperangkapnya udara, udara cenderung bergerak ke atas. Hal ini sesuai dengan fungsi air dam sebagai pembendung aliran udara

#### 4.3 Traksi

Gaya-gaya normal yang bekerja pada roda depan (*front axle*) dan roda belakang (*rear axle*) dipengaruhi juga oleh gaya-gaya aerodinamis yang bekerja pada kendaraan. Gaya normal pada roda depan mempengaruhi *handling* kendaraan atau perilaku arah kendaraan sedangkan roda belakang terutama mempengaruhi perilaku traksi karena sistem penggerak kendaraan adalah penggerak roda belakang (Rear Wheel Drive). Akan tetapi traksi yang ditimbulkan bukan saja akibat gaya normal melainkan juga gaya angkat yang akan mempengaruhi roda depan. Dengan adanya gaya angkat pada roda depan akan menimbulkan *pitching moment*. Momen ini mengakibatkan munculnya gaya pada roda belakang.

Penambahan air dam, *spoiler*, *dress up*, cenderung mempertinggi gaya angkat. Semakin besar gaya angkat yang dihasilkan maka traksi pada roda belakang akan semakin kecil dan traksi pada roda depan semakin besar. Hal ini mengakibatkan gaya dorong kendaraan menjadi lebih kecil sehingga meningkatkan respon traksi terhadap *handling*.

Dan sebaliknya penambahan *side* air dam dan air *foil* cenderung meningkatkan traksi pada roda belakang dan menurunkan traksi pada roda depan. Hal ini dapat dilihat pada grafik 6 dan grafik 8 dimana penambahan *side* air dam dan air *foil* menurunkan gaya angkat kendaraan dimana traksi roda belakang menjadi besar. Sehingga gaya dorong kendaraan bertambah besar dan respon kendaraan terhadap *steering* lebih baik. Akan tetapi konsekuensinya perlu menambahkan daya motor kendaraan.

### 5. Kesimpulan

Perbaikan karakteristik aerodinamika van dengan pemberian asesoris dapat dilakukan dengan berbagai cara, bergantung pada tujuan perbaikannya. Misalnya pemberian air *foil* akan meningkatkan respon kendaraan terhadap *steering* sehingga segi pengendalian kendaraan lebih terjamin. Pemberian *negative lift wing* pada bagian atas belakang kendaraan akan menambah gaya ke bawah (*down force*) terutama pada roda belakang sehingga kendaraan akan lebih traktif.

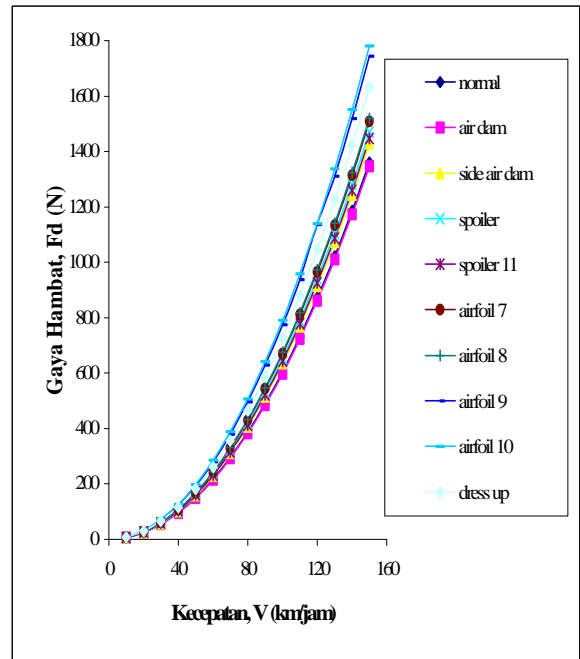
Penambahan asesoris harus memperhatikan aspek-aspek aerodinamis seperti gaya-gaya serta momen yang terjadi akibat gaya aerodinamis. Sehingga diharapkan penambahan ini tidak merugikan atau memperburuk karakteristik aerodinamis kendaraan.

Semakin kecil gaya pada kendaraan maka traksi roda belakang semakin besar sehingga respon kendaraan penggerak roda belakang terhadap *steering* lebih baik

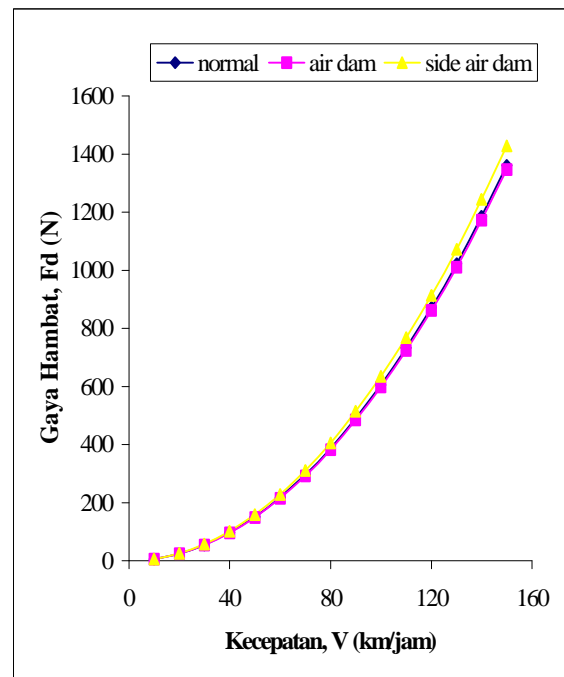
### Daftar Pustaka

1. Abbott, I. H., et al.. *Theory of Wing Section* . New York : Dover Publications, Inc. 1959.
2. Anderson, John D. *Fundamentals of Aerodynamics*. New York : Mc Graw Hill. 1986.
3. Fox, R. W., et al. *Introduction to Fluid Mechanics, 3rd ed.* New York : John Wiley & Sons, Inc. 1985.
4. Hucho, Wolf-Heindrich. *Aerodynamics of Road Vehicles*. London : Butterworths. 1987.
5. Ohno, Hideaki, et al. *Improvement of Aerodynamics Characteristics of Passenger Car by Side Air dams*. JSAE Review, July. 1991.
6. Pope, Alan M.S. *Wind Tunnel Testing, 2nd ed.* New York : John Wiley & Sons, Inc. 1961.
7. Wibawa, Agus A. *Tugas Akhir : Perbaikan Karakteristik Aerodinamika Van Dalam Pengujian Studi Model Pada Terowongan Angin*. Surabaya : Jurusan Teknik Mesin Universitas Kristen Petra. 1994.
8. Wong, Jo Yung. *Theory of Ground Vehicles* . New York : John Wiley & Sons, Inc. 1978.

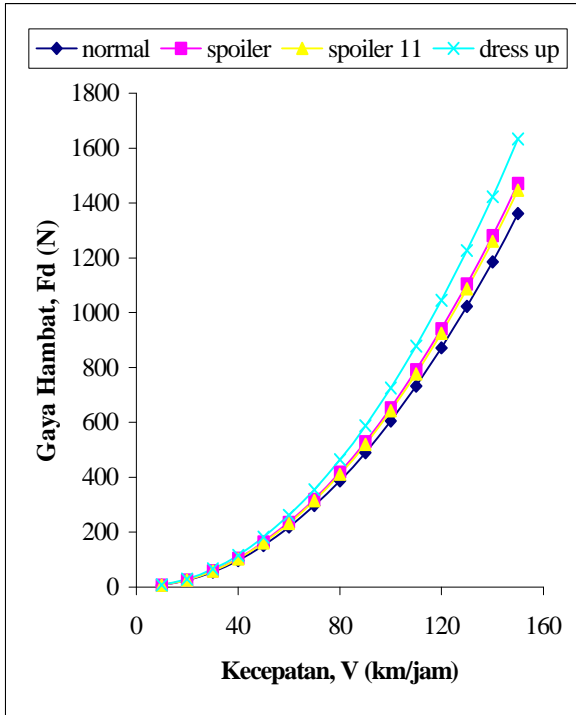
### Lampiran Grafik



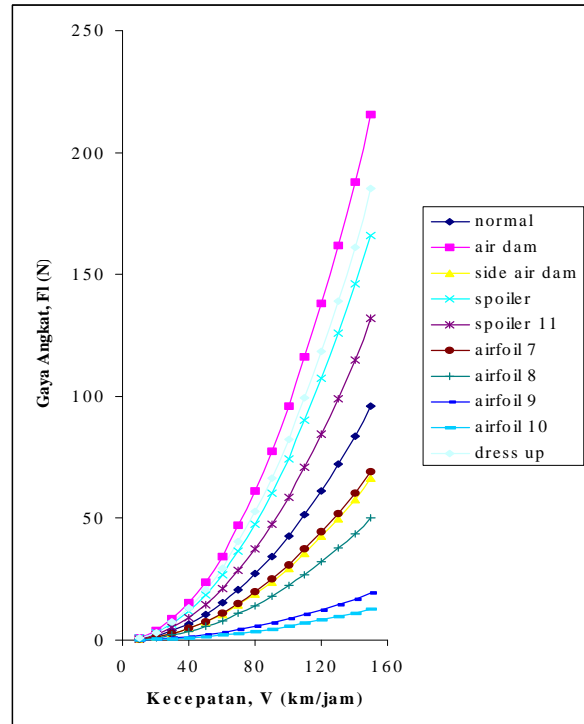
Grafik 1. Perbandingan Gaya Hambat (Fd) Kendaraan Pada Semua Kondisi



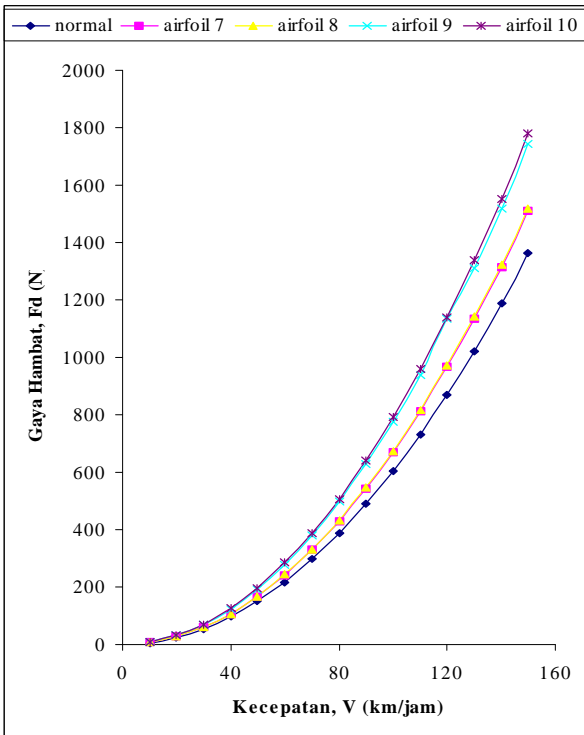
Grafik 2. Perbandingan Gaya Hambat (Fd) Pada : Kendaraan Normal , Kendaraan dengan Air Dam, Kendaraan dengan Side Air Dam



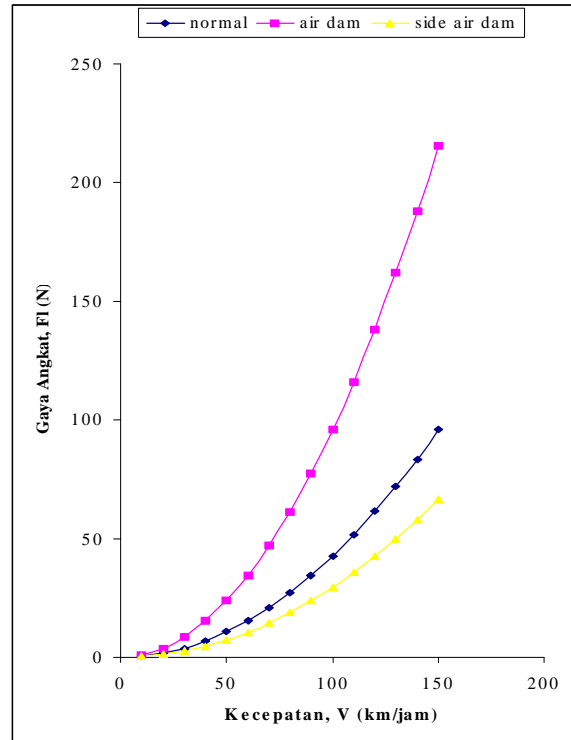
Grafik 3. Perbandingan Gaya Hambat (Fd) Pada : Kendaraan Normal , Kendaraan dengan Spoiler, Kendaraan dengan Spoiler 11°, Kendaraan dengan Dress up



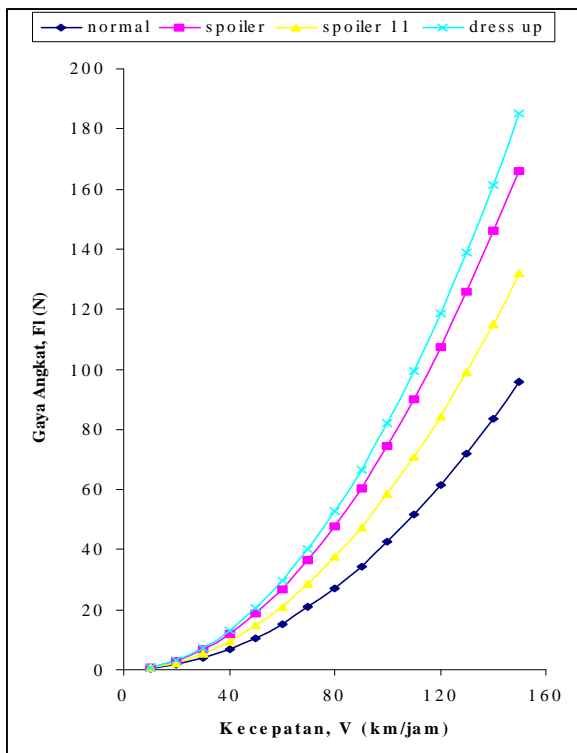
Grafik 5. Perbandingan Gaya Angkat (F1) Kendaraan pada semua Kondisi



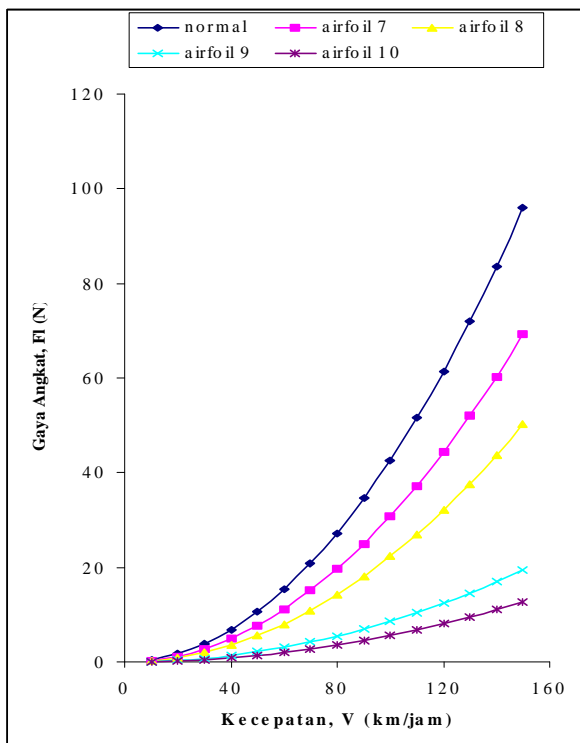
Grafik 4. Perbandingan Gaya Hambat (Fd) pada : Kendaraan Normal, Kendaraan dengan Air Foil Negative Attack 7°, 8°, 9°, 10°



Grafik 6. Perbandingan Gaya Angkat (F1) pada : Kendaraan Normal, Kendaraan dengan Air Dam, Kendaraan dengan Side Air Dam



**Grafik 7. Perbandingan Gaya Angkat (F1) pada : Kendaraan Normal, Kendaraan dengan Spoiler, Kendaraan dengan Spoiler 11°, Kendaraan Dengan Dress up**



**Grafik 8. Perbandingan Gaya Angkat (F1) pada : Kendaraan Normal, Kendaraan dengan Air Negative Attack 7°, 8°, 9°, 10°**