

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Konstruksi umum kendaraan

Pada umumnya konstruksi umum bagian mobil terbagi menjadi 2 kelompok besar yaitu, *body* dan *chassis* dilihat gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Body dan chassis kendaraan. [4]

Bodi merupakan bagian dari kendaraan, dan bentuknya (umumnya) terbuat dari pelat logam (baja) dengan ketebalan antara 0,6 mm hingga 0,9 mm, sehingga bodi harus mampu menahan tekanan udara yang lebih besar. Selain badan, digunakan sebagai tempat penumpang atau kargo. Meskipun sasis adalah bagian dari kendaraan, ia menopang bodi dan mesin [4].

2.2. Bodi Otomotif

Gambar 2.2. Bodi otomotif merupakan bagian kendaraan yang dibentuk sedemikian rupa sehingga penumpang ataupun barang yang ada berada didalam kendaraan terlindungi dari terpaan angin, panas matahari dan Hujan.



Gambar 2. 2 Bodi otomotif [5]

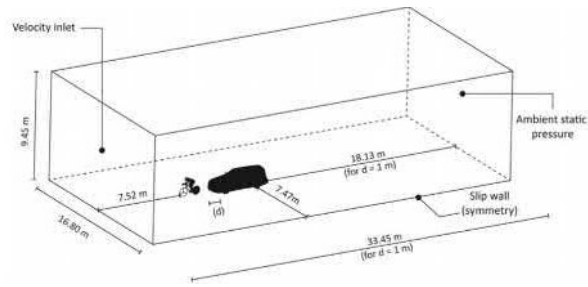
Dengan perkembangan teknologi yang semakin maju, bentuk dari sebuah bodi kendaraan sangat diperhitungkan untuk mencapai tujuan – tujuan yang di harapkan, bentuk bodi yang dibuat sedemikian rupa guna menghasilkan karakteristik aliran fluida yang berbeda – beda dan sangat berpengaruh terhadap fungsi dan bentuk bodi tersebut [5].

2.3. *Computational Fluid Dynamics*

Computational fluid dynamics (CFD) merupakan salah satu cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk memecahkan dan menganalisis masalah yang terjadi pada aliran fluida. Para ilmuwan dan insinyur menggunakan CFD untuk melakukan eksperimen numerik di laboratorium virtual. Dalam hal karakteristik aliran, CFD dapat menampilkan pola aliran yang lebih rinci dan akurat, yang akan sulit dan mahal, dan bahkan tidak mungkin diselesaikan dengan menggunakan teknik eksperimental [6].

2.4. *Wind Tunnel*

Wind tunnel (terowongan angin) merupakan alat yang digunakan dalam penelitian aerodinamik (gambar 2.3). *Wind tunnel* digunakan untuk mempelajari efek aliran – aliran udara yang melewati benda solid. Saat ini pengujian terowongan angin sudah banyak digunakan pada kendaraan - kendaraan,

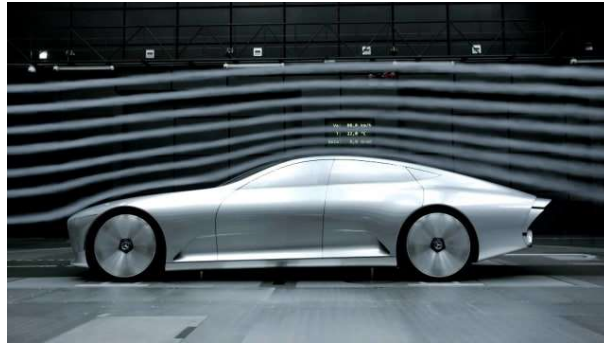


Gambar 2. 3. Wind Tunnel [7]

Terowongan angin merupakan bentuk dari aliran angin yang akan menimpa kendaraan atau benda yang akan di simulasikan, biasanya terowongan angin ini berbentuk persegi panjang yang didesain sedemikian rupa sehingga benda kerja yang akan disimulasikan masuk kedalam terowongan angin tersebut [8].

2.5. Aerodinamika pada bodi kendaraan

Aerodinamika adalah ilmu pengetahuan yang mempelajari dampak – dampak yang di timbulkan gas atau udara yang bergerak, aerodinaika berasal dari dua kata, “aero” adalah udara dan “dinamika” merupakan ilmu yang menganalisis benda yang bergerak serta penyebabpergerakkan tersebut. Kendaraan yang memiliki bodi aerodinamis memiliki banyak hal yang mempengaruhi, salah satunya pengaruh aerodinamis besaran atau hambatan dari suatu objek adalah udara yang melwatinya, yang diukur dengan besaran dan dinyatakan dengan nilai *Coefficient of drag*. Semakin kecil nilai koefisien *drag* tersebut maka semakin aerodinamis sebuah bodi kendaraan tersebut . Aliran tersebut ditunjukkan dalam gambar (2.4).



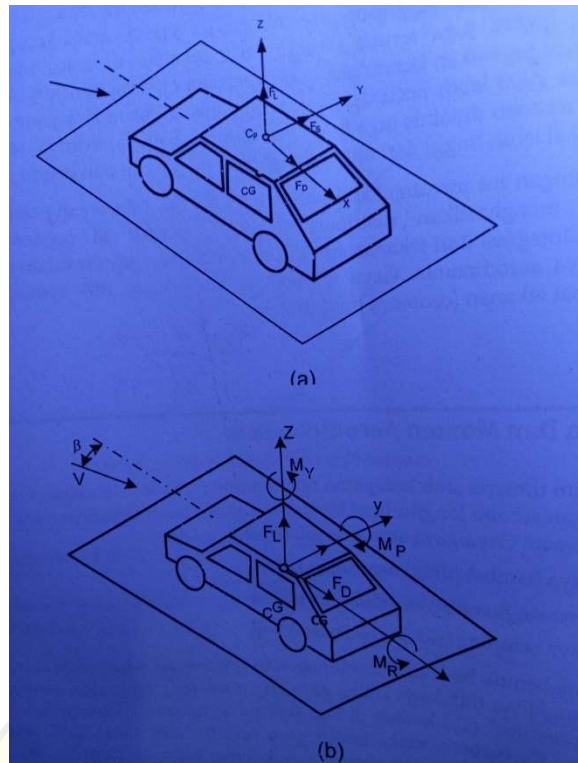
Gambar 2. 4 Aerodinamika body kendaraan [8]

Nilai *Coefficient of drag* ditentukan beberapa faktor, faktor yang sangat mempengaruhi adalah desain body *Coefficient of drag* juga berpengaruh terhadap beberapa hal salah satunya terhadap kecepatan kendaraan, koefisien hambat udara atau koefisien *drag* berpengaruh secara signifikan terhadap kecepatan kendaraan dalam meningkatkan aerodinamis pada bodi kendaraan dapat dilakukan dengan menurunkan nilai *Coefficient of drag* dari kendaraan tersebut. Menurunkan nilai koefisien *drag* dapat dilakukan dengan cara merubah atau memodifikasi geometri bodi bagian depan dapat menurunkan nilai koefisien drag sebesar 6,78 % .

2.6. Gaya dan momen Aerodinamika

Pada kendaraan umumnya arah kecepatan angin relatif tidak sejajar dengan sumbu longitudinal kendaraan, ada tiga gaya aerodinamis dalam kendaraan (gambar 2.5) , gaya aerodinamis sebagai berikut:

- Gaya hambat (*drag*) aerodinamik (F_D).
- Gaya angkat (*lift*) aerodinamik (F_L).
- Gaya samping (*side*) aerodinamik (F_S).



Gambar 2. 5. Gaya dan momen aerodinamika pada kendaraan [9]

Bentuk dari bodi kendaraan dan pola aliran udara pada kendaraan, maka besar kemungkinan titik kerja ketiga gaya angin tersebut yang pada umumnya disebut “*center of pressure*” (C_P) berada di luar titik pusat massa dari kendaraan (C_G). Karena letak C_P dan C_G berbeda maka ketiga gaya aerodinamik diatas dapat menimbulkan momen aerodinamis terhadap sumbu x, y, dan z yang berpusat pada C_G . Ada tiga momen aerodinamik yang dapat terjadi pada kendaraan yaitu:

- Moment *Rolling* (M_R) yaitu momen terhadap sumbu x.
- Moment *Pitching* (M_P) yaitu momen terhadap sumbu y.
- Moment *Yawing* (M_Y) yaitu momen terhadap sumbu z.

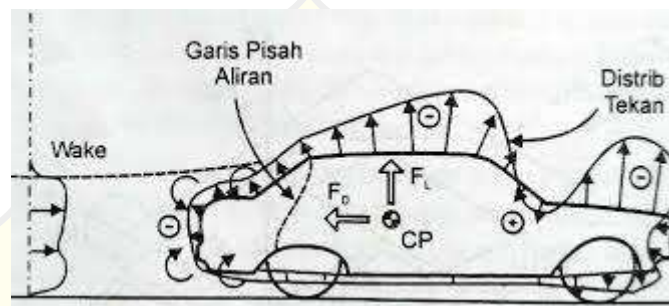
2.6.1. Gaya hambat (*Drag*) aerodinamik

Gaya hambat adalah gaya yang bekerja dalam arah horisontal pada kendaraan (paralel terhadap aliran) dan berlawanan arah dengan arah gerak maju kendaraan.

Gaya hambat total terdiri dari beberapa jenis gaya, yaitu :

1. Hambatan bentuk

Gaya hambat yang disebabkan oleh adanya gradien tekanan (*pressure drag*) dan adanya gesekan (*friction drag*). Terbentuknya gaya hambatan (*form drag*) pada kendaraan dapat dijelaskan seperti terlihat gambar 2.6.



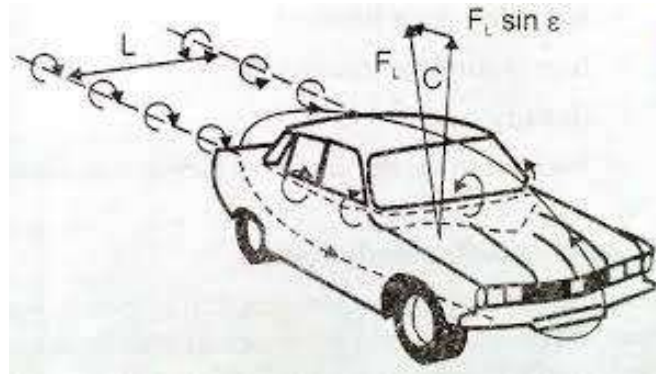
Gambar 2. 6. hambatan bentuk pada kendaraan [9]

Bentuk tubuh kendaraan yang kompleks menyebabkan distribusi tekanan di sepanjang permukaan kendaraan. Selain itu, aliran udara kental, tekanan geser muncul di sepanjang kendaraan permukaan dengan perbedaan tekanan antara bagian depan kendaraan dan bagian belakang kendaraan, di mana tekanan positif bekerja di bagian depan kendaraan dan tekanan negatif di bagian belakang kendaraan.

2. Hambatan pusaran

Karena perbedaan tekanan antara bagian atas dan bagian bawah kendaraan, menyebabkan munculnya aliran udara gesekan dari permukaan bawah ke permukaan kendaraan dalam bentuk *vortex* .

Munculnya pusaran di dalam kendaraan juga akan menghambat gerakan kendaraan yang disebabkan oleh pengaruh gaya pengangkatan vertikal pada badan mobil yang bergerak secara horizontal [9] , terbentuknya *vortex* terlihat gambar 2.7.



Gambar 2. 7. Hambatan pusaran pada kendaraan [9]

Vortex terjadi akan mengubah arah *lift* yang awalnya tegak lurus ke jalan menuju kemiringan dengan sudut yang relatif kecil. Munculnya defleksi ke arah belakang gaya *lift* menyebabkan komponen *drag* yang diinduksi di arah horizontal ditunjukkan dalam persamaan (2.1)

$$D_I = F_L \sin \varepsilon \quad (2.1)$$

3. Hambatan tonjolan

Gaya hambat yang disebabkan oleh profil tertentu tonjolan pada permukaan tubuh kendaraan seperti cermin, pegangan pintu, antena, dan aksesoris lainnya.

4. Hambatan aliran dalam

Hambatan aliran dalam adalah Gaya aliran udara yang mengalir melalui sistem pendingin mesin kendaraan yaitu radiator.

Pada kenyataanya hanya hambatan bentuk dan hambatan pusat yang paling besar pengaruhnya terhadap gaya hambat secara keseluruhan. Gaya hambat tersebut

adalah sebagai fungsi dari kecepatan kuadrat secara umum perumusan gaya hambat angin dalam persamaan (2.2) dan (2.3)

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \cdot \rho \cdot V_a^2 \cdot A_f \quad (2.2)$$

$$C_d = \frac{2 \cdot F_d}{\rho \cdot V_a^2 \cdot A_f} \quad (2.3)$$

Dimana

C_d = koefisien gaya *drag*.

F_d = gaya *drag*

A_f = luas frontal kendaraan (m^2).

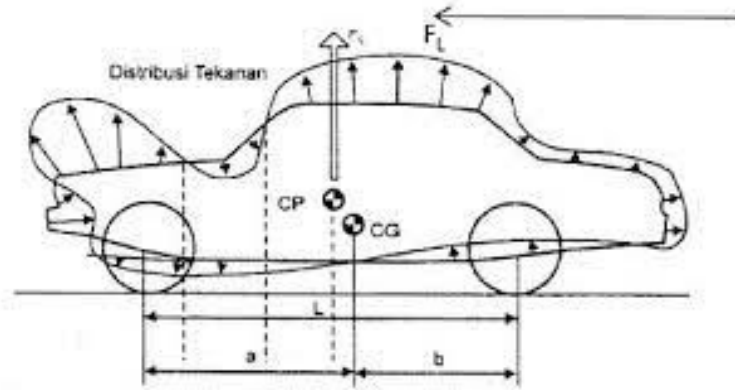
ρ = densitas udara (Kg/m^3).

V_a = kecepatan relatif angin terhadap kendaraan (m/s).

2.6.2. Gaya angkat (*Lift*) Aerodinamik

Perbedaan bentuk antara permukaan atas dan bagian bawah kendaraan menyebabkan aliran udara pada permukaan atas lebih cepat dari pada aliran udara pada permukaan bawah, sehingga tekanan pada permukaan atas kendaraan lebih rendah dari pada tekanan permukaan bawah.

Faktor lain adalah kekasaran permukaan bawah mobil yang disebabkan oleh profil mesin dan komponen lain yang memperlambat aliran di bawah ini, meningkatkan tekanan aliran permukaan bawah. Oleh karena itu tekanan dengan bagian bawah mobil umumnya lebih besar dari tekanan yang bekerja di atas mobil sehingga menyebabkan pembentukan *lift* untuk dorongan aliran udara dari permukaan bawah ke permukaan kendaraan atas kendaraan.



Gambar 2. 8. Distribusi tekanan penyebab gaya angkat [9]

Gaya ini bekerja pada arah vertikal, arah keatas ditandai sebagai arah positif dan kebawah sebagai arah negatif (gambar 2.8.). Gaya lift secara total dapat dirumuskan sebagai berikut (persamaan 2.4 dan 2.5)

$$F_l = \frac{1}{2} C_l \cdot \rho \cdot V_a^2 \cdot A_f \quad (2.4)$$

$$C_l = \frac{2 \cdot F_l}{\rho \cdot V_a^2 \cdot A_f} \quad (2.5)$$

Dimana

C_l = koefisien gaya lift.

F_l = gaya lift.

A_f = luas frontal kendaraan (m^2).

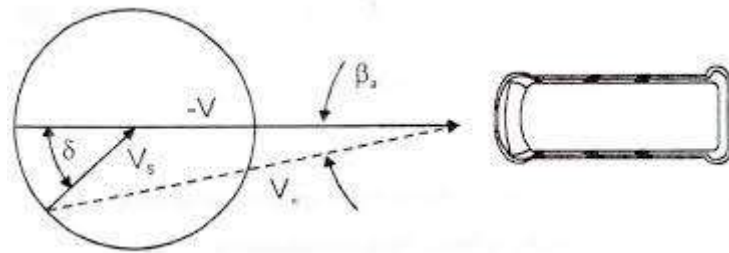
ρ = densitas udara (Kg/m^3).

V_a = kecepatan relatif angin terhadap kendaraan (m/s).

2.6.3. Gaya samping

Jika kendaraan dipengaruhi oleh udara (tanpa angin) atau ada gerakan angin yang sejajar dengan arah kendaraan, tidak akan ada gaya samping. Karena kesimetrisan aliran udara di sisi kendaraan sehingga tekanan di sisi kendaraan sama.

Tetapi pada kenyataannya, jarang terjadi pergerakan aliran angin yang paralel dengan arah kendaraan. Biasanya arah serangan angin tidak sejajar dengan arah pergerakan mobil sehingga membentuk sudut tertentu sampai akhir. Pada gambar 2.9.



Gambar 2. 9. Sudut serang angin [9]

Pada demikian dihasilkan resultan kecepatan udara (V_a) dari kecepatan kendaraan (V) dan kecepatan angin (V_w), yang membentuk sudut tertentu (β_a) terhadap jalur kendaraan.

Gaya samping bekerja di arah horizontal dan transversal sehingga mendorong kendaraan ke samping. Gaya samping juga terjadi dalam kondisi kendaraan berbelok. Gaya samping dapat dirumuskan pada persamaan (2.6) dan (2.7)

$$F_s = \frac{1}{2} C_s \cdot \rho \cdot V_a^2 \cdot A_f \cdot \beta_a \quad (2.6)$$

$$C_s = \frac{2 \cdot F_s}{\rho \cdot V_a^2 \cdot A_f \cdot \beta_a} \quad (2.7)$$

Dimana :

C_s = koefisien gaya *side*.

F_s = gaya *side*.

A_f = luas frontal kendaraan (m^2).

ρ = densitas udara (Kg/m^3).

V_a = kecepatan relatif angin terhadap kendaraan (m/s).

β_a = sudut serang angin

2.7. Pengaruh bentuk bodi

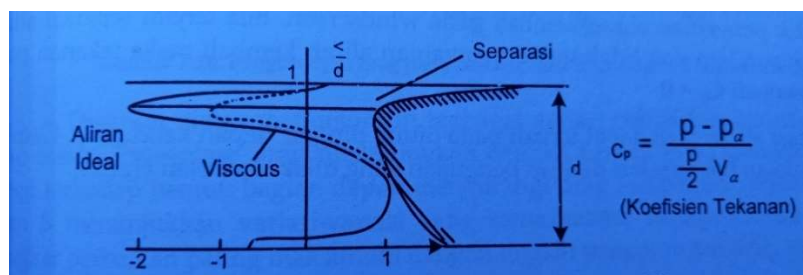
Banyak masalah di bidang aerodinamika yang tidak terselesaikan hanya dengan menghitung analitis dan matematika tetapi harus menggunakan berbagai jenis eksperimen untuk membantu memecahkan masalah dan mendukung teori-teori dasar yang ada. Dari hasil eksperimen dapat diambil oleh kesimpulan yang nantinya akan berguna untuk memecahkan masalah aerodinamis.

Proses perancangan bentuk bodi kendaraan dibagi dalam 5 tahap yaitu *basic body*, *basic shape*, *basic model*, *styling model* dan tahap akhir yaitu *production car*.

Analisis yang dilakukan oleh berbagai pakar aerodinamika dalam bentuk bodi kendaraan dilakukan dengan melakukan penelitian pengujian pada berbagai jenis komponen bodi kendaraan dan pengaruhnya terhadap beban angin.

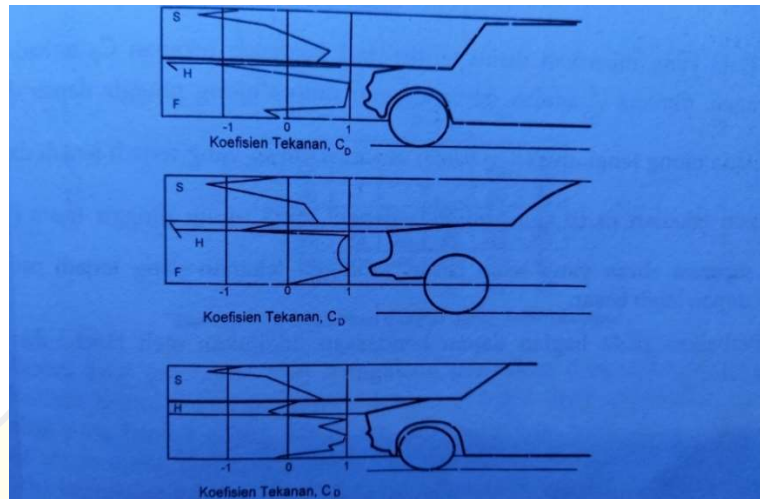
2.7.1. Bagian Depan Mobil (*forebody*)

Bagian depan mobil adalah hidung mobil yang terdiri dari tudung, kaca depan bersama dengan peralatan panel depan. Pemisahan yang terkandung dalam hidung mobil dapat terjadi di ujung depan tudung mobil. Gambar 2.10 menunjukkan pemisahan kecil (pemancar angin) yang terjadi di ujung tudung mobil.



Gambar 2. 10. Aliran seperasi pada kap mobil [9]

Dari grafik distribusi tekanan dapat dilihat bahwa dalam kondisi aliran aktual (aliran aktual), titik puncak mengisap di ujung tudung mobil lebih rendah dari aliran ideal (aliran inviscid), serta tekanan di atas *stagnation* titik sedikit lebih besar dari tekanan aliran di atas. Mobil dalam aliran yang sebenarnya (aliran kental) lebih besar daripada dalam aliran ideal (aliran *inviscid*).



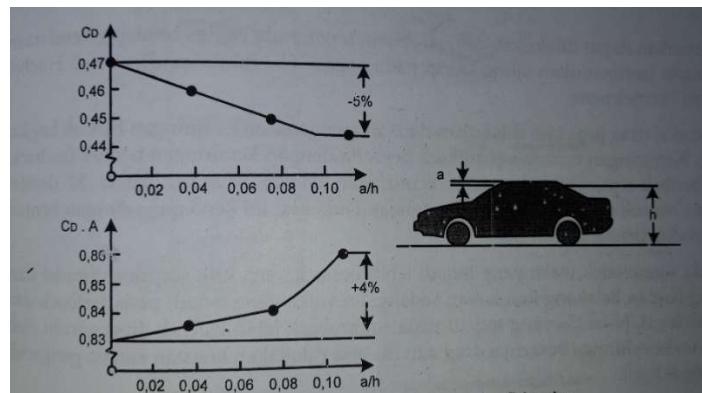
Gambar 2. 11. Grafik distribusi tekanan pada forebody mobil [9]

Distribusi tekanan yang mengenai bagian depan mobil berebeda – beda tergantung dari bentuk depan kendaraan tersebut. Gambar 2.11. menunjukkan grafik distribusi tekanan untuk berbagai bentuk *forebody* mobil.

2.7.2. Bagian atap kendaraan

Pada atap kendaraan dapat dilakukan dengan merancang formulir cembung untuk membuatnya lebih mudah untuk aliran udara ke belakang. Jika *convextivity* diperbesar, koefisien *drag* dapat dikurangi. Jika bentuk cembung dirancang sehingga menyebabkan peningkatan luas di area frontal, maka hambatan aerodinamis juga meningkat jika atap tinggi asli dibiarkan konstan, kaca depan dan

belakang harus dibuat melengkung ke arah kontur sehingga efeknya cembung dapat dicapai.(gambar 2.12)

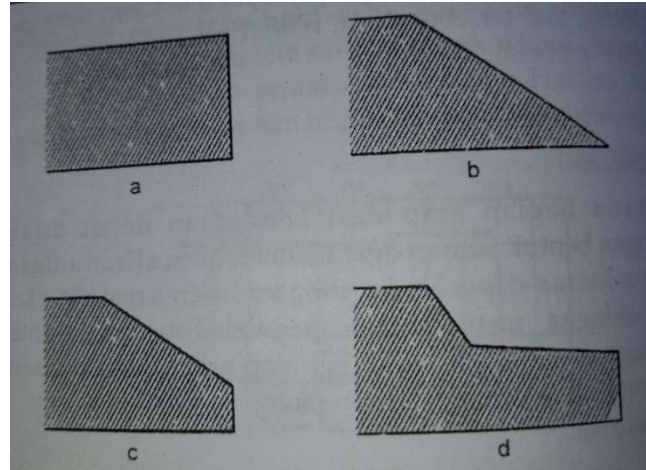


Gambar 2. 12. Pengaruh konvektivitas pada koefisien drag [9]

Aerodinamika *drag* akan berkurang dengan adanya efek *convex* yang disebabkan oleh peningkatan konvektivitas yang akan menghasilkan jarak kelengkungan yang lebih besar pada atap mobil sehingga kecepatan udara yang lebih besar dihasilkan sehingga kehilangan momentum yang terjadi lebih kecil.

2.7.3. Bagian belakang

Bentuk bagian belakang kendaraan dapat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu *Squareback* (van), *fastback* dan *notchback* (salon), Gambar 2.13. Seperasi yang terjadi pada bentuk persegi dalam umnya mulai dari titik backpoint kendaraan saat dalam bentuk *fastback* dan *notchback* titik – titik dimulai pada desain kemiringan kaca belakang.



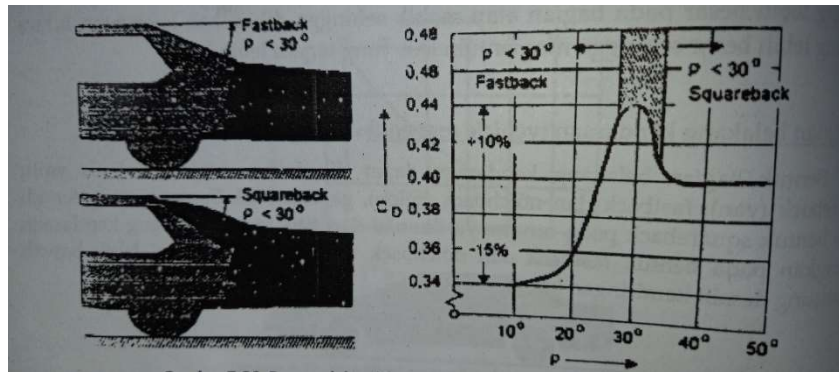
Gambar 2. 13. bagian belakang kendaraan [9]

Perbaikan dapat dilakukan dengan merancai lancip di bagian belakang kendaraan, yaitu pembentukan ujung ujung bagian ini dijelaskan oleh Hucho, Jansen dan Emmelmann

Pengurangan *drag* juga dapat dilakukan oleh kemiringan bagian belakang belakang. Kemirisan bentuk *Squareback* berbeda dari kemiringan bentuk *fastback*, di mana bentuk *Squareback* adalah kemiringan besar dari belakang di atas 30 derajat sementara bentuk *fastback* di bawah 30 derajat. Saat ini kendaraan dengan bentuk *fastback* jarang diproduksi.

Pada *squareback wake* yang terjadi lebih besar karena titik pemisahan dimulai dari titik akhir bagian belakang kendaraan sementara *wake* yang terjadi dalam *fastback* dan salon yang lebih kecil nilai C_d yang terjadi secara persegi lebih dipengaruhi oleh besarnya *drag* dan *lift* dapat dikatakan konstan karena pengaruh pusaran yang sangat kecil.

Dalam bentuk *fastback* Ukuran hambatan pada kemiringan punggung selain dipengaruhi oleh besarnya *wake* juga dipengaruhi oleh aliran pusaran yang terjadi di belakang kendaraan. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 2.14

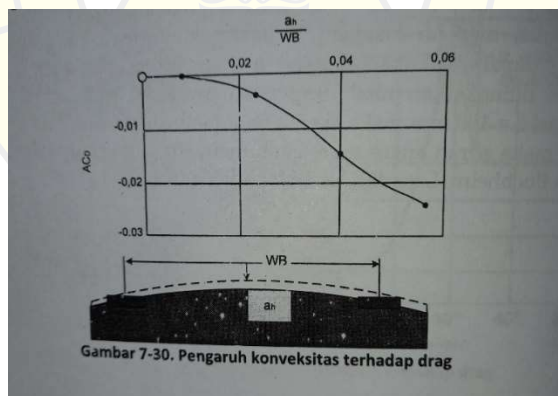


Gambar 2. 14. Pengaruh kemiringan bagian belakang terhadap drag [9]

Bagian belakang memiliki kemiringan antara 15° sampai sengan 35° besarnya *drag* dan *lift* sangat variatif karena adanya pengaruh dari *vortex* yang cukup besar pada kemiringan tersebut.

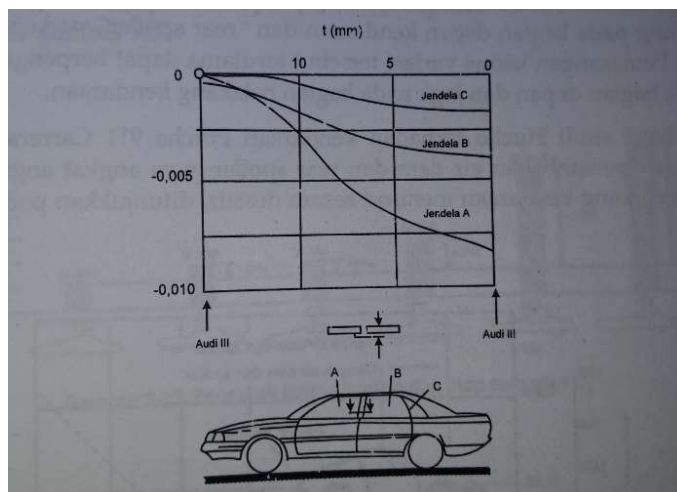
2.7.4. Bagian samping kendaraan

Untuk mereduksi *drag* bagian samping kendaraan dapat dilakukan dengan mendesain kelengkungan bagian samping (*convixty*) seperti terlihat pada gambar 2.15.



Gambar 2. 15. Pengaruh konventivitas terhadap drag [9]

Perbaikan dapat dilakukan juga dengan mengubah posisi kaca samping supaya jarak antara kaca samping dengan pilar sekcil mungkin, hal tersebut dapat dilihat pada gambar 2.16.

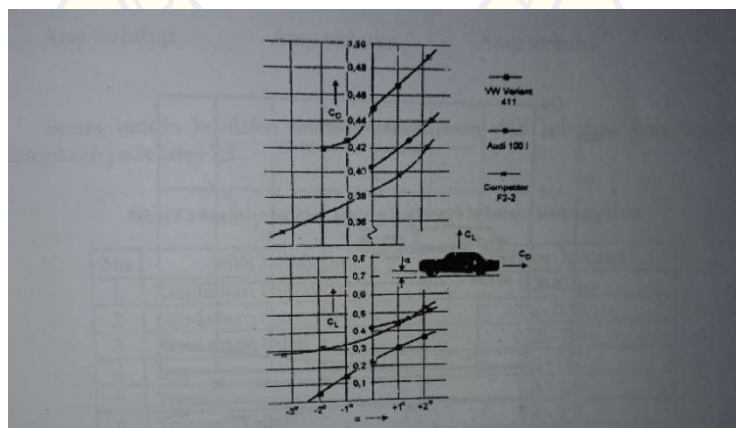


Gambar 2. 16. Efek kaca samping terhadap drag [9]

2.7.5. Bagian bawah kendaraan

Kekasaran kendaraan juga akan meningkatkan nilai tarik kendaraan. Pengurangan dapat dilakukan dengan menghaluskan bagian bawah kendaraan.

Kemiringan bagian bawah kendaraan (α) juga dapat memengaruhi koefisien penghambatan (C_d) dan kendaraan angkat (C_l). Untuk positif, sudut dapat meningkatkan C_d dan C_l seperti terlihat pada gambar 2.17.



Gambar 2. 17. pengaruh kemiringan α terhadap C_D dan C_L [9]

Secara umum koefisien hambat aerodinamis untuk beberapa jenis kendaraan ditunjukkan pada tabel 2.1

Table 2. 1 koefisien hambat aerodinamis untuk beberapa jenis kendaraan

No	Jenis Kendaraan	Koefisen Hambat
1	Kendaraan Penumpang	0,3 - 0,6
2	Kendaraan <i>Convertible</i>	0,4 - 0,65
3	Kendaraan balap	0,25 - 0,3
4	bus	0,6 - 0,7
5	<i>truck</i>	0,8 - 1,0
6	<i>tractor - trailer</i>	0,8 - 1,3
7	sepeda motor + pengendara	1,8

