



Pengujian Model Mobil *Pick Up* Komersial di Terowongan Angin

Ema Amalia*, Lia Yuanawati

Kelompok Keahlian Fisika Terbang, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132

*Email: ema@ftmd.itb.ac.id

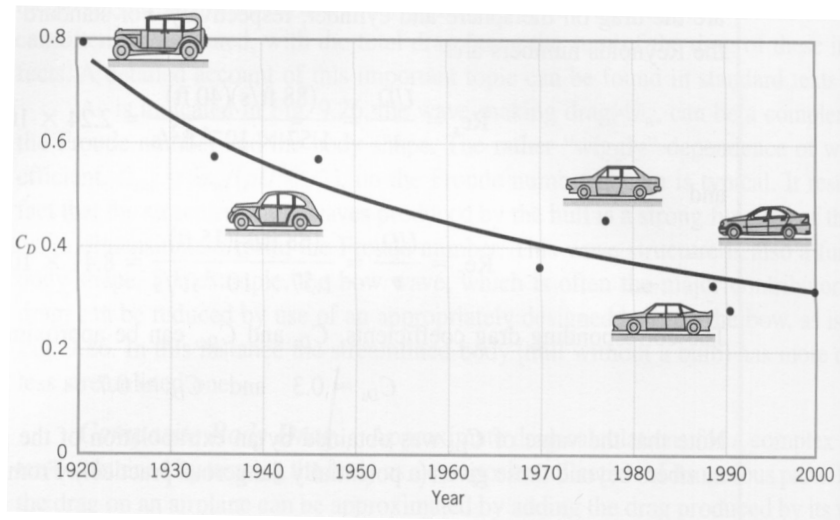
Abstrak. Pada penelitian ini diukur gaya hambat model mobil pick up Dodge RAM 150 dan dilakukan teknik visualisasi aliran untuk mengetahui detail pola aliran pada model tersebut. Dalam penelitian ini, gaya hambat yang diukur adalah gaya hambat total. Gaya hambat aerodinamika merupakan salah satu penyebab tingginya konsumsi bahan bakar untuk kendaraan darat. Studi dilakukan secara eksperimental dengan melakukan pengujian di terowongan angin berkecepatan rendah yang memiliki seksi uji berukuran 30 cm x 30 cm yang dilengkapi timbangan luar. Metoda pengurangan gaya hambat aerodinamika yang digunakan adalah penambahan perangkat pada model, yaitu berupa *spoiler*, kanopi dan *spoiler* + kanopi. Desain konfigurasi tambahan ini didapat dari pengamatan terhadap hasil visualisasi aliran dengan menggunakan bedak dan lempung China (*China Clay*). Pengujian dilakukan pada kecepatan 36 km/jam, 54 km/jam, 72 km/jam, 79.2 km/jam, dan 90 km/jam. Pengurangan gaya hambat karena pemasangan *spoiler*, kanopi, dan *spoiler* + kanopi bervariasi terhadap kecepatan. Pada kecepatan 90 km/jam efek pemasangan *spoiler*, kanopi, dan *spoiler* + kanopi menjadi tidak dominan.

Keywords: aerodinamika eksperimental; pengurangan gaya hambat aerodinamika; visualisasi aliran.

1 Pendahuluan

Karakteristik aerodinamika yang penting diukur pada mobil adalah gaya hambat (D) atau koefisien gaya hambat (C_D). Besarnya gaya hambat sangat erat kaitannya dengan konsumsi pemakaian bahan bakar per kilometernya. Makin kecil gaya hambat mobil makin hemat pemakaian bahan bakarnya. Gambar 1 memberi ilustrasi mengenai sejarah pengurangan koefisien gaya hambat mobil.

Evaluasi gaya hambat mobil dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu: pengujian di jalan raya, pengujian di terowongan angin, dan dengan metoda komputasional. Dalam penelitian ini dipilih metoda pengujian di terowongan angin dengan skala kecil dengan mempertimbangkan ketersediaan peralatan di Laboratorium Aerodinamika, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara.



Gambar 1 Sejarah pengurangan koefisien gaya hambat mobil [1]

Tujuan dari penelitian ini adalah mengukur gaya hambat model mobil dengan skala 1:26, mengetahui pola aliran pada model mobil tersebut dengan metoda visualisasi aliran dan melakukan uji coba perubahan desain pada mobil untuk mencari penurunan gaya hambat pada kecepatan yang sama. Diharapkan diperoleh hasil yang menarik dengan dilakukannya perubahan desain pada model mobil tersebut, misalnya apakah perubahan desain tersebut dominan dalam penurunan gaya hambat pada kecepatan tertentu.

2 Teori Dasar

2.1 Aspek Aerodinamika pada Mobil

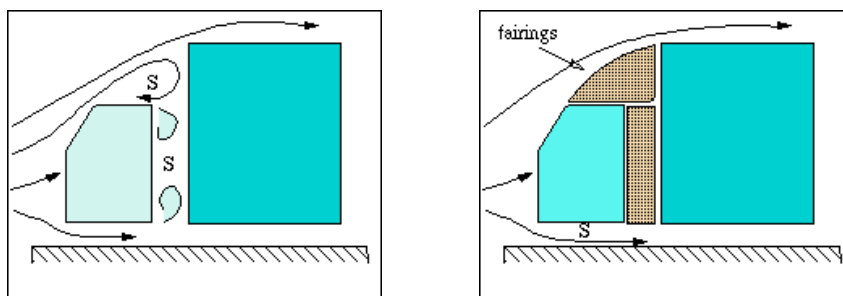
Seperti telah dibahas pada bagian pendahuluan, aspek aerodinamika menjadi penting untuk dikaji dalam kaitannya untuk mereduksi gaya hambat. Tabel 1 memberikan contoh kontribusi gaya hambat bagian-bagian mobil untuk kendaraan komersial yang berukuran sekelas mobil *pick up* Dodge RAM 1500 seperti dalam penelitian ini.

Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah model truk kecil bak terbuka Dodge RAM 1500 dengan skala 1:26. Untuk model seperti ini, lazim dipergunakan sistem *fairing* untuk membuat aliran mengikuti garis arus dan mengurangi gaya hambat akibat udara yang terperangkap. Gambar 2 memperlihatkan sketsa cara pengurangan gaya hambat pada truk dengan memasang sistem *fairing*. Gaya hambat model juga tergantung pada efek

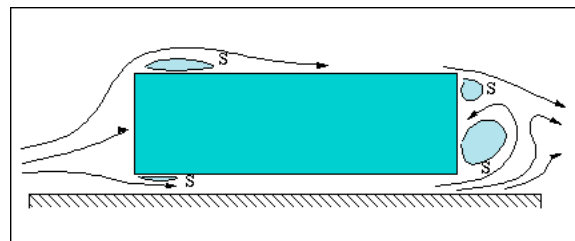
landasan dan separasi sekitar benda tumpul yang terjadi di belakang seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

Tabel 1 Kontribusi gaya hambat untuk kendaraan komersil [2]

Komponen <i>Drag</i>	Kontribusi
<i>skin friction</i>	5 %
<i>fore-body</i>	20 %
<i>under-body</i>	50 %
<i>base</i>	25 %



Gambar 2 Sistem *fairing* yang dipasang pada truk [3]

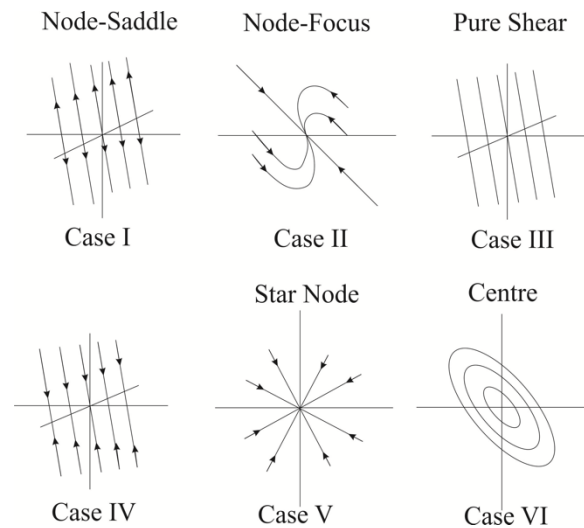


Gambar 3 Separasi yang terjadi pada benda tumpul. [3]

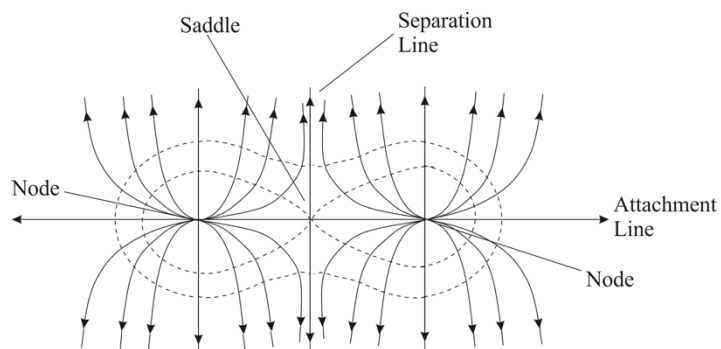
2.2 Interpretasi Visualisasi Aliran

Untuk mempelajari karakteristik aliran di permukaan suatu benda secara mendetail, digunakan teknik visualisasi aliran. Hal-hal yang penting untuk diselidiki dengan menggunakan teknik visualisasi aliran mencakup lokasi titik stagnasi, lokasi transisi lapisan batas, lokasi gelembung separasi, daerah separasi, serta titik-titik kritis dengan lokasinya.

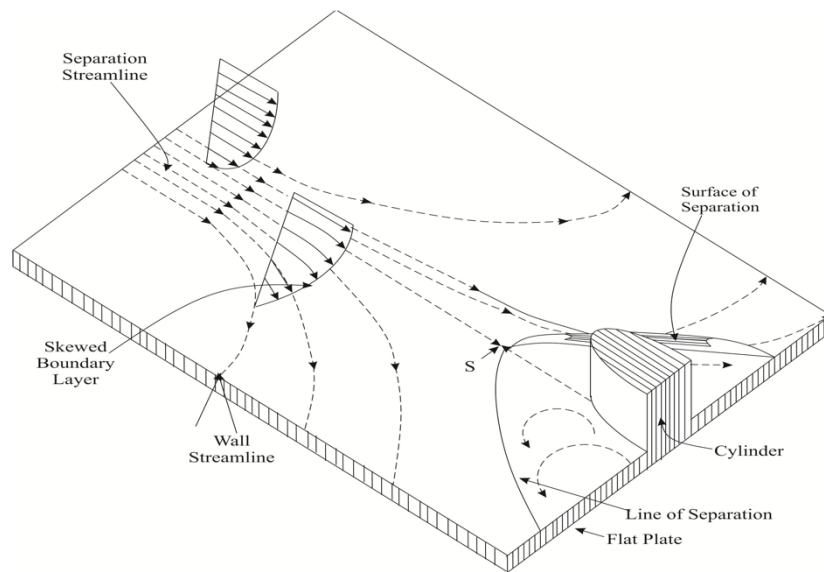
Interpretasi hasil visualisasi aliran membutuhkan pengetahuan tentang titik-titik kritis dalam aliran. Titik-titik kritis tersebut disebut pula dengan titik-titik diam karena kecepatan pada titik-titik tersebut sama dengan nol. Titik-titik kritis tersebut diilustrasikan pada Gambar 4. Gambar 5 memberikan ilustrasi karakteristik titik nodal (*node*), separasi titik nodal dan titik *saddle* dalam 2-dimensi, sedangkan Gambar 6 memberikan ilustrasi secara 3-dimensi. Interpretasi hasil visualisasi aliran dijelaskan pada sub-bagian 4.2.



Gambar 4 Titik-titik kritis pada visualisasi aliran.
(digambar ulang dari Perry [4])



Gambar 5 Ilustrasi hubungan antara titik-titik kritis secara 2-dimensi
(digambar ulang dari Tobak [5])



Gambar 6 Ilustrasi hubungan titik-titik kritis secara 3-dimensi (digambar ulang dari White [6])

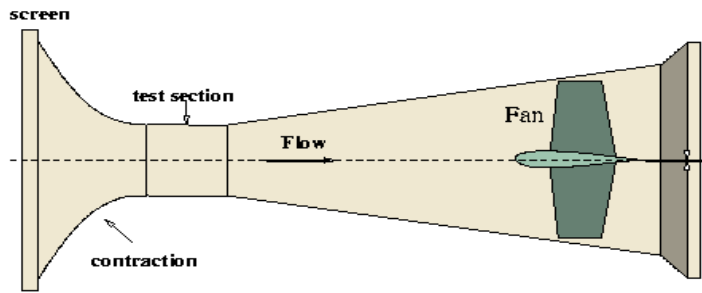
3 Metoda Eksperimen



Gambar 7 Model mobil Dodge RAM 1500 skala 1:26

Penelitian ini menggunakan metoda pengujian di terowongan angin dengan skala kecil. Model mobil yang digunakan seperti diperlihatkan pada gambar 7. Model tersebut adalah model mobil pick up Dodge RAM 1500 dengan skala 1:26 dari aslinya. Model ini terbuat dari resin dan memiliki panjang 19,5 cm, lebar 7 cm, dan tinggi 6,5 cm. Pemilihan skala model ini disesuaikan dengan ukuran seksi uji terowongan angin yang digunakan, yaitu 30 cm x 30 cm. Gambar 8 memberikan sketsa terowongan angin yang digunakan. Gaya hambat diukur dengan

menggunakan sistem timbangan luar. Yang diukur adalah gaya hambat total model. Kecepatan maksimum di seksi uji adalah 27 m/s atau 97,2 km/jam. Bilangan Reynolds waktu pengujian adalah dalam orde ratusan ribu. Sebagai contoh, untuk kecepatan 25 m/s (90 km/jam), bilangan Reynolds adalah $2,78 \times 10^5$ (digunakan panjang model untuk perhitungan bilangan Reynolds). Pengujian dilakukan untuk beberapa kecepatan seperti dijelaskan pada bagian 4: hasil dan analisis.



Gambar 8 Sketsa terowongan angin tipe terbuka yang digunakan [7]

Model yang digunakan pada pengujian ini telah memenuhi persyaratan *blockage* yaitu agar efek lapisan batas di dinding tidak mengganggu aliran di sekitar model. Perhitungan *blockage* seperti diperlihatkan pada persamaan (1). Menurut HHEV Team [8], *blockage* tidak boleh melebihi 7,5%.

$$Blockage = \frac{100 \times model_frontal_area}{test_section_area} \times skala_model \quad (1)$$

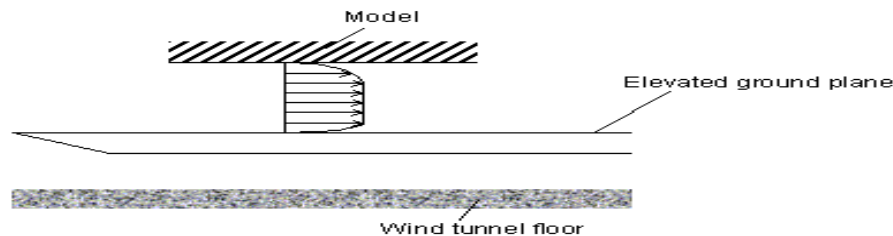
$$Blockage = \frac{100 \times 4.34 \times 10^{-2} m^2}{9 \times 10^{-2} m^2} \times \frac{1}{26} = 0.71\%$$

Cara memasang model di seksi uji terowongan angin merupakan masalah tersendiri, karena kondisi aliran di dekat permukaan jalan pada kondisi nyata berbeda dengan kondisi aliran di dekat permukaan dinding seksi uji terowongan angin. Perbedaan ini terletak pada perbedaan profil kecepatan. Ilustrasi mengenai perbedaan profil kecepatan sekitar dinding ini dapat dilihat pada Gambar 9(a) dan 9(b).



Gambar 9 Ilustrasi perbedaan profil kecepatan: (a) Kondisi nyata; (b) Kondisi di wind tunnel. [8]

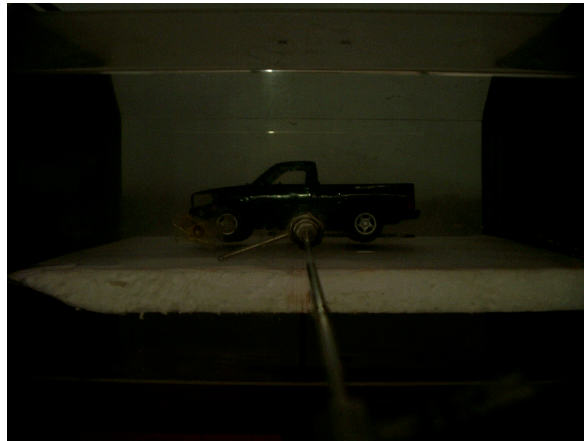
Dalam penelitian, ini, untuk mengurangi perbedaan profil kecepatan ini digunakan *elevated ground plane* seperti diperlihatkan pada gambar 10. Dengan cara ini, diperoleh tebal lapisan batas yang lebih tipis dengan profil kecepatan dekat *elevated ground plane* yang lebih mendekati kondisi nyata di permukaan jalan.



Gambar 10 Profil kecepatan dengan pemasangan *elevated ground plane*. [8]

Elevated ground plane yang digunakan dibuat dari *Styrofoam* dengan ketebalan 3 cm dan panjang 42 cm (sepanjang seksi uji). Dengan menggunakan *elevated ground plane*, maka model dipasang di dalam seksi uji terowongan angin seperti diperlihatkan pada gambar 11. Kecepatan angin yang digunakan dalam pengujian adalah 10 m/detik (36 km/jam), 15 m/detik (54 km/jam), 20 m/detik (72 km/jam), 22 m/detik (79,2 km/jam) dan 25 m/detik (90 km/jam).

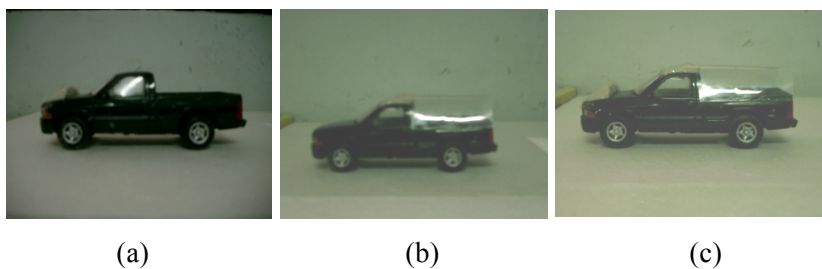
Sebagai upaya pengurangan gaya hambat, model ditambahi *spoiler*, kanopi, dan *spoiler*+kanopi seperti diperlihatkan pada Gambar 12, lalu diuji pada kecepatan-kecepatan seperti disebutkan sebelumnya. *Spoiler*, kanopi, dan *spoiler*+kanopi dibuat dengan menggunakan lembaran mika (akrilik tipis) Pada dasarnya penambahan perangkat pengurangan gaya hambat ini menggunakan prinsip *fairing* seperti dijelaskan pada sub-bagian 2.1. Koreksi terowongan angin yang digunakan berdasarkan Barnard [9] adalah seperti pada persamaan [2].



Gambar 11 Pemasangan model di terowongan angin

$$C_{D \text{ dikoreksi}} = C_{D \text{ pengukuran}} \left(1 - 1.3 \frac{A}{S}\right) \quad (2)$$

dimana C_D adalah koefisien gaya hambat, A adalah luas frontal model, dan S adalah luas seksi uji terowongan angin.



Gambar 12 Penambahan perangkat untuk mengurangi gaya hambat: (a) Model dengan *spoiler*; (b) Model dengan kanopi; (c) Model dengan *spoiler*+kanopi

Visualisasi aliran dilakukan untuk memahami detail pola aliran dan memudahkan untuk melakukan modifikasi agar gaya hambat dapat direduksi dengan menggunakan *spoiler* atau kanopi dan gabungan keduanya. Pada penelitian ini digunakan teknik visualisasi aliran dengan menggunakan bedak untuk aliran di sekitar model dan lempung China (*China Clay*) untuk aliran pada permukaan model. Dari interpretasi visualisasi aliran ini dilakukan pemasangan *spoiler*, kanopi, dan *spoiler*+kanopi untuk pengurangan gaya hambat.

4 Hasil dan Analisis

4.1 Gaya Hambat

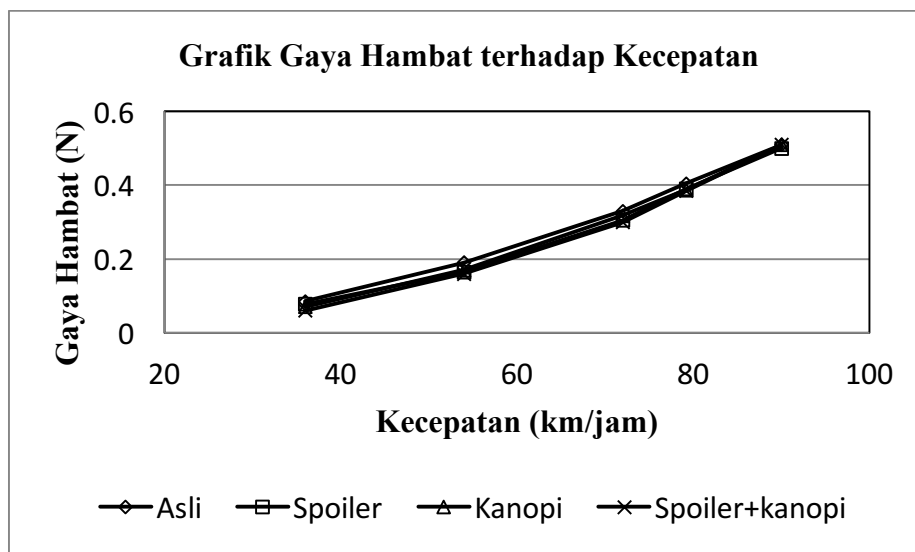
Untuk masing-masing kecepatan dan konfigurasi model, pengujian dilakukan sebanyak tiga kali. Hal ini dilakukan sebagai *repeatability* data. Data yang diambil adalah yang memiliki deviasi antara 0,0001 s.d 0,01.

Dari hasil gaya hambat yang terbaca pada timbangan luar, dengan menggunakan persamaan [3] dapat diketahui nilai C_D model dengan berbagai konfigurasi.

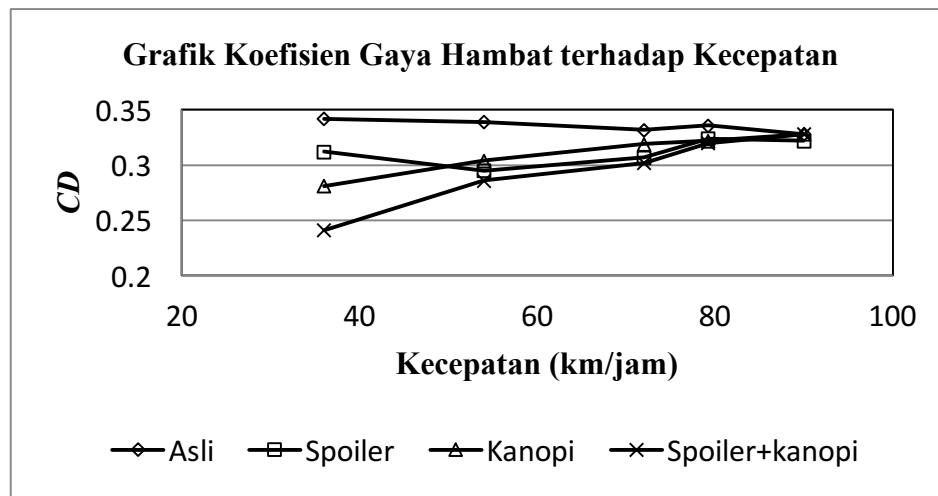
$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho v^2 A} \quad (3)$$

Hasil C_D pengukuran yang diperoleh dengan menggunakan Persamaan (3) dan dikoreksi dengan menggunakan Persamaan (2).

Gambar 13 menunjukkan hasil pengukuran gaya hambat untuk berbagai konfigurasi pada berbagai kecepatan. Sedangkan gambar 14 menunjukkan nilai C_D -nya. C_D disini adalah yang telah dikoreksi dengan persamaan (2). Gambar 15 memberikan grafik persentase pengurangan koefisien gaya hambat pada masing-masing kecepatan untuk konfigurasi dengan *spoiler*, dengan kanopi, dan dengan *spoiler*+kanopi.

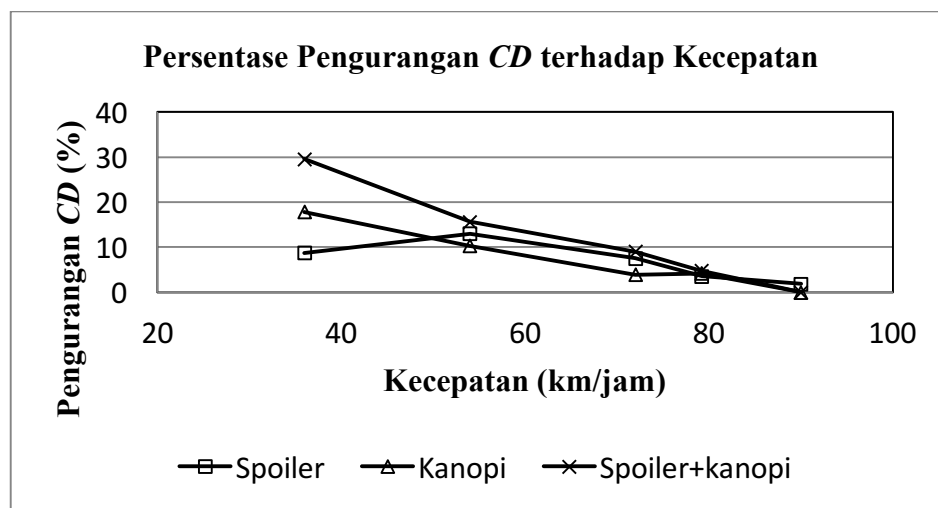


Gambar 13 Grafik gaya hambat terhadap kecepatan mobil untuk berbagai konfigurasi



Gambar 14 Koefisien gaya hambat mobil untuk berbagai konfigurasi

Pada Gambar 13 dapat dilihat bahwa gaya hambat turun dengan penambahan perangkat pengurangan gaya hambat. Gambar 14 lebih jelas lagi memperlihatkan penurunan gaya hambat tersebut. Dari Gambar 14 dan 15 dapat dilihat bahwa penambahan perangkat pengurangan gaya hambat berkurang efektivitasnya dengan naiknya kecepatan. Ini adalah hasil yang menarik dari penelitian ini dan kenapa ini bisa terjadi dibahas pada sub-bagian 4.2.



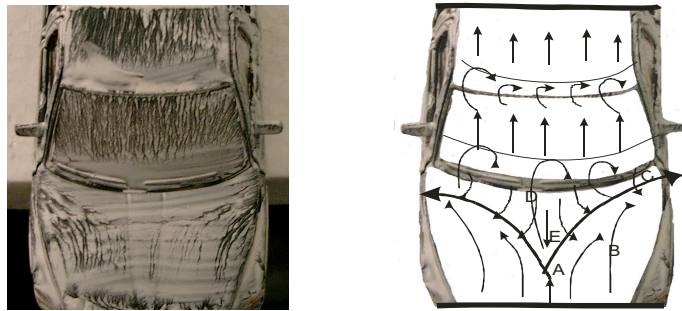
Gambar 15 Persentase Pengurangan C_D untuk masing-masing kecepatan

4.2 Visualisasi Aliran dengan Lempung China (*China Clay*)

4.2.1 Visualisasi Aliran pada Kecepatan 36-54 km/jam

Hasil Visualisasi aliran menggunakan lempung China (*China Clay*) disajikan pada Gambar 16 yang menunjukkan visualisasi aliran pada permukaan model pada kecepatan di bawah 54 km/jam (15 m/s). Dapat dilihat bahwa garis arus pada dinding yang mengalir dari *front end* (sumbu-y) bertemu dengan garis separasi yang berasal dari *saddle*. Pola aliran seperti ini yang diinterpretasikan sebagai *saddle*. Ketika kedua garis arus ini bertemu, akan mengakibatkan terjadinya separasi.

Hasil visualisasi dengan menggunakan bedak ditunjukkan pada Gambar 17 menunjukkan bahwa pada kecepatan 36 s.d 54 km/jam, setelah terjadi separasi di *front end* aliran mengalami penempelan kembali di kaca depan. Aliran udara kembali menyusuri permukaan sampai mengalami separasi kembali di tepi belakang atap mobil. Daerah antara separasi dengan penempelan kembali merupakan *separation bubble*.



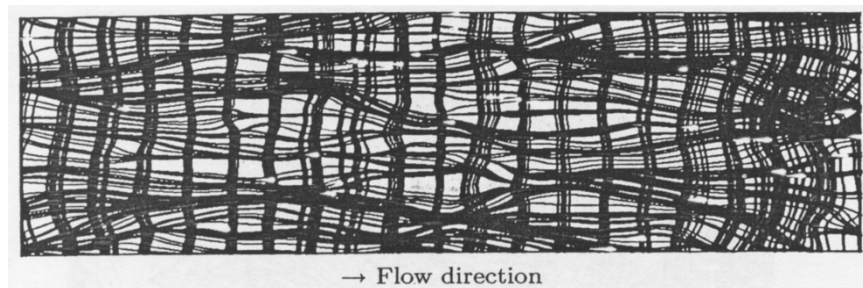
Gambar 16 Pola aliran pada kecepatan dibawah 54 km/jam (kanan).
Keterangan (kiri) : A : *Saddle*; B : garis arus dinding; C : garis separasi; D : *Bubble*, E : garis penempelan kembali



Gambar 17 Visualisasi aliran menggunakan bedak pada kecepatan 36 km/jam

Ada korelasi antara visualisasi aliran pada permukaan model (Gambar 16) dan visualisasi aliran sekitar model (Gambar 17), yaitu: Pada daerah kaca depan, ketika aliran kembali melekat pada permukaan, udara akan mengalami gesekan-gesekan dengan permukaan. Di bawah pola separasi tersebut juga terjadi vorteks, sehingga kombinasi dari *skin friction* dengan vorteks ini menghasilkan pola seperti Gambar 18.

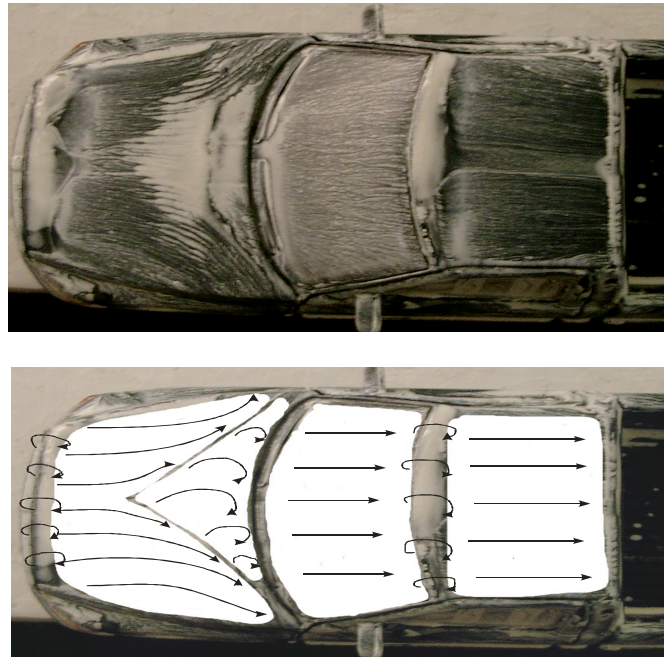
Vorteks banyak terjadi di kaca depan bagian bawah (vorteks berdiri), di atap, dan di *framework* di sebelah kanan dan kiri *windshield*. Penggunaan *spoiler* dan kanopi mempengaruhi pola aliran. *Spoiler* menghilangkan *saddle* yang harusnya terbentuk di tutup mesin. Pada kecepatan rendah, *spoiler* berfungsi untuk meninggikan posisi *re-attachment* sehingga tidak lagi menabrak *windshield* setelah separasi di *front end*. Hal ini akan mengurangi *pressure drag*. Penggunaan kanopi semakin memperpanjang garis *skin friction* dan vorteks yang sebelumnya sudah terjadi di atap



Gambar 18 Garis *skin friction* dan garis vorteks pada aliran di dinding [4]

4.2.2 Visualisasi aliran pada kecepatan 54-90 km/jam

Gambar 19 memperlihatkan hasil visualisasi aliran menggunakan lempung China (*China Clay*) pada permukaan model untuk kecepatan 54 s.d 90 km/jam. Seperti halnya pada kecepatan rendah, separasi juga terjadi di *front end* dan langsung menempel kembali di tepi depan atap. *Saddle* terlihat tipis dan cukup tegas di atas tutup mesin. Namun mengalami penebalan yang cukup tinggi di tengah-tengahnya. Vorteks berdiri banyak terjadi disana. Aliran yang tidak menyentuh kaca depan mengakibatkan pola aliran yang terjadi tidak terkontaminasi dengan penebalan yang merupakan indikasi dari adanya separasi. Ini membuktikan bahwa aliran udara pada kecepatan tinggi tidak menyentuh kaca depan seperti yang terlihat pada visualisasi aliran di sekitar mobil pada kecepatan tinggi. Gambar 20 memberikan hasil visualisasi aliran menggunakan bedak di sekitar model.



Gambar 19 Pola aliran pada kecepatan 54-90 km/jam.



Gambar 20 Visualisasi aliran menggunakan bedak pada kecepatan 80 km/jam.

5 Kesimpulan

Dari Gambar 14 dapat dilihat bahwa untuk konfigurasi asli gaya hambat turun dengan naiknya kecepatan. Gambar 14 dan 15 menunjukkan bahwa penambahan *spoiler* dan kanopi yang memberikan pengurangan gaya hambat yang paling besar. Persentase pengurangan gaya hambat menurun dengan naiknya kecepatan untuk semua penambahan perangkat pengurangan gaya hambat. Jika

dihubungkan dengan hasil visualisasi aliran menggunakan lempung China (*China Clay*) pada sub-bagian 4.2, pada kecepatan rendah di bawah 54 km/jam, terdapat *separation bubble* yang berperan dalam pengurangan gaya hambat yang besar karena aliran menempel kembali. Yang menarik adalah, pada kecepatan 90 km/jam, penambahan alat pengurangan gaya hambat tersebut menjadi tidak dominan efeknya.

Referensi

- [1] Munson, B. R et.al, *Fundamentals of Fluid Mechanics*, John Wiley & Sons, 2002.
- [2] Fillippone, A., www.aerodyn.org/drag/tables-cd-level-2, 2004.
- [3] Fillippone, A., *History of Wind Tunnels: www.aerodyn.org/windTunnel/wind_tunnel*, 2004.
- [4] Perry, A. E., dan Chong, M. S., *Flow Visualization : Techniques and Examples: Interpretation of Flow Visualization*, Imperial College Press, London, 2000.
- [5] Tobak, M. and Peake, D. J., *Topology of ThreeDimensional Separated Flows*, Ann. Rev. Fluid. Mech., vol. 14, 1982, pp. 61—85.
- [6] White, F., *Viscous Fluid Flow*, 2nd edition, McGraw-Hill, 1991.
- [7] Fillippone, A., www.aerodyn.org, 2004.
- [8] HHEV Team, Department of Mechanical Engineering, San Diego State University, USA. URL: www.engineering.sdsu.edu, 2011.
- [9] Barnard, R. H., *Road Vehicle Aerodynamics*, Longman, 1996.