

## 2. TEORI PENUNJANG

### 2.1. Perkembangan Penelitian

Dalam Perkembangannya, peneliti biasanya meneliti aerodinamika kendaraan biasanya dilakukan untuk mobil balap. Hal ini dikarenakan performa aerodinamika sebuah kendaraan paling terlihat dan berpengaruh pada mobil balap. Namun demikian, bukan berarti pada mobil biasa, atau dapat disebut sebagai mobil penumpang, aerodinamika tidak berpengaruh. Faktanya, mengurangi *aerodynamic drag* pada desain sebuah kendaraan dapat meningkatkan efisiensi konsumsi BBM, meningkatkan kecepatan, dan juga kenyamanan berkendara (Sarkar, Chitawan, & Khan, 2022). Nyatanya, efisiensi aerodinamika pada kendaraan berpengaruh pada konsumsi BBM hingga 50-60%. (R. Hassan T. Islam, M. Ali, Q. Islam, 2013) Dengan demikian, *aerodynamic drag* sangat berpengaruh juga pada mobil komersial. Mercedes-Benz E320 W124 Masterpiece merupakan mobil penumpang kelas sedan, yang masih ada *room for improvement*, atau ruang bagi desain mobil ini untuk berkembang.

#### 2.1.1. AMG Body Kit

AMG merupakan perusahaan yang didirikan dan dikembangkan oleh Hans Werner Aufrecht dan Erhard Melcher pada tahun 1967. Perusahaan ini awalnya adalah *supplier* mesin untuk tim balap Mercedes-AMG pada German Touring Car Championship (Mercedes-AMG). Namun demikian, seiring berjalannya waktu, Mercedes-AMG menjadi sebuah kelas tersendiri dalam Mercedes-Benz. Salah satu produk yang dijual secara umum dan dipakai dalam GT World Championship adalah Mercedes-AMG GTR.

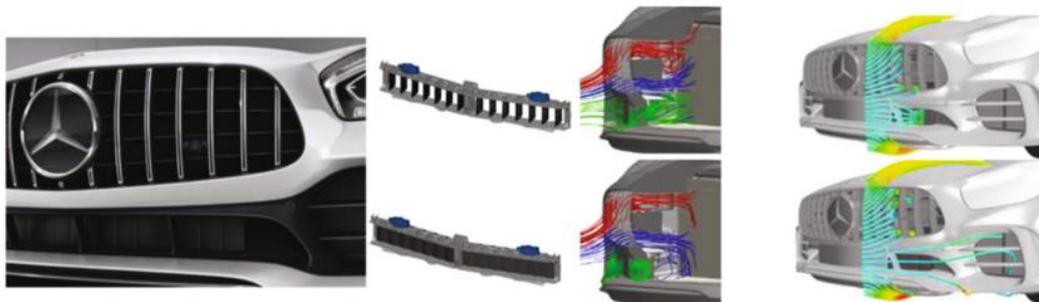
Bagian depan Mercedes-AMG GTR dibuat menyerupai *shark nose*, atau moncong ikan hiu, untuk menciptakan *stagnation point* yang rendah, untuk mendapatkan *aerodynamic effect* yang maksimal (Estrada, 2017).



Gambar 2.1 Bagian depan Mercedes AMG-GTR

Sumber : Gustavo, E. (2017) *Mercedes-AMG GTR: Aerodynamics for the record*, p.139

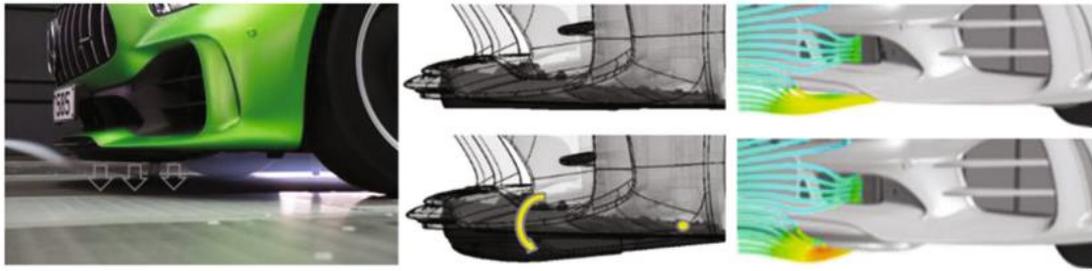
Untuk meningkatkan *aerodynamic performance*, bagian *frontal louvres* pada Mercedes-AMG GTR menggunakan system elektronik, yang dapat diatur secara otomatis. Ketika *frontal louvres* terbuka, maka aliran angina akan langsung masuk menuju mesin guna pengaturan kondisi *thermal* pada mesin. Ketika *frontal louvres* ditutup, maka aliran angina akan di injeksikan menuju ke inlet samping untuk *aerodynamics efficiency* (Estrada, 2017). Hal ini bertujuan untuk mengontrol *aerodynamics coefficient* pada kendaraan saat kendaraan berjalan.



Gambar 2.2 Aerodynamics flow pada Frontal Louvres

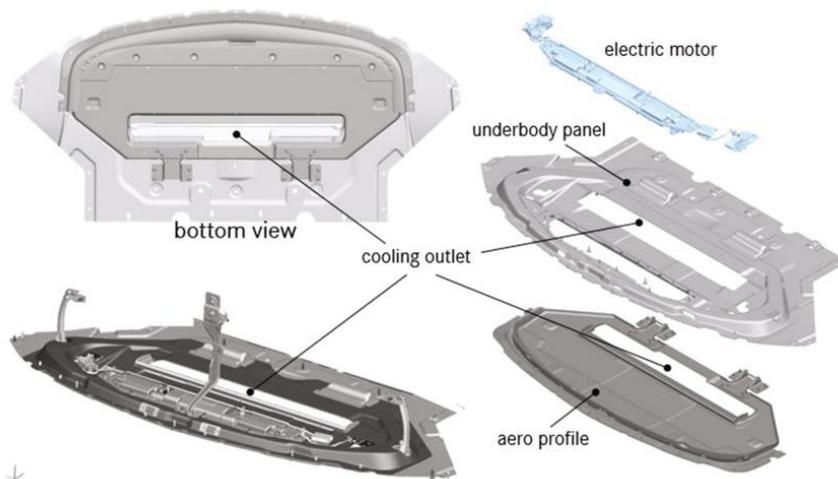
Sumber : Gustavo, E. (2017) *Mercedes-AMG GTR: Aerodynamics for the record*, p.140

Selain itu, *aerodynamic profile* pada bagian *underbody* menggunakan tipe *active aerodynamic underbody*, dengan dibentuk sedemikian sehingga dapat mereduksi *coefficient of drag* mengikuti kecepatan kendaraan. Hal ini menimbulkan *Venturi effect* yang mengurangi *lift* pada bagian depan Mercedes-AMG GTR sebanyak 40kg pada kecepatan 250 km/h (Estrada, 2017).



Gambar 2.3 active aero underbody lip

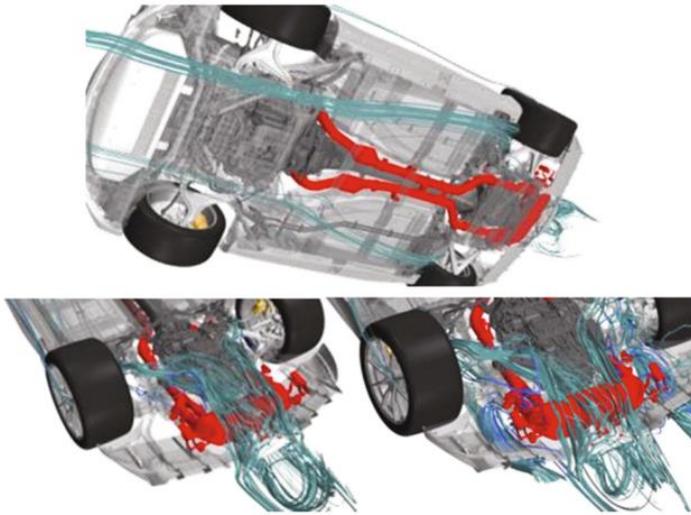
Sumber : Gustavo, E. (2017) *Mercedes-AMG GTR: Aerodynamics for the record*, p.138



Gambar 2.4 underbody aero profile pada bagian depan bawah Mercedes-AMG GTR

Sumber : Gustavo, E. (2017) *Mercedes-AMG GTR: Aerodynamics for the record*, p.139

Pada bagian belakang kendaraan, Mercedes-AMG GTR menggunakan titanium muffler dan *diffuser*, yang mendapat *airflow* dari bagian depan Mercedes-AMG GTR. Hal tersebut membuat aliran yang *streamlined* pada bagian bawah kendaraan, dan diarahkan menuju ke belakang, sehingga meminimalisir turbulensi yang terjadi pada bagian bawah bodi kendaraan (Estrada, 2017).



Gambar 2.5 Streamlined airflow pada bagian bawah tengah (gambar atas) dan pada bagian bawah belakang (gambar bawah) Mercedes-AMG GTR

Sumber : Gustavo, E. (2017) *Mercedes-AMG GTR: Aerodynamics for the record*, p.142

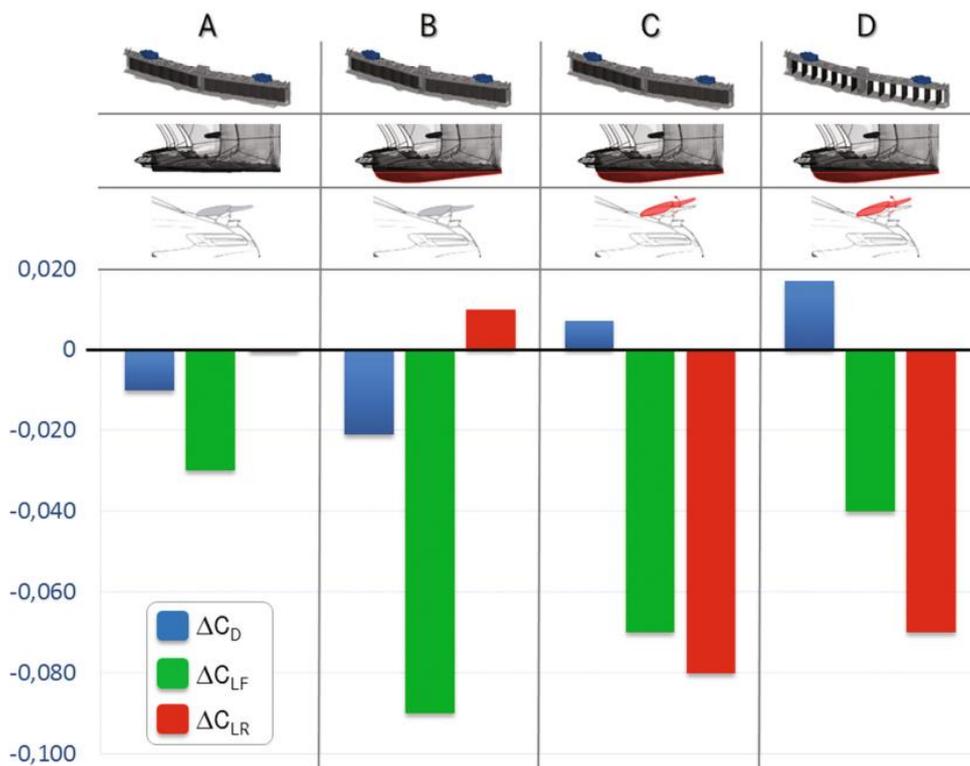
Bagian *rear spoiler* Mercedes-AMG GTR menggunakan *rear spoiler* yang dapat diubah sudutnya, menyesuaikan dengan kondisi jalan. Hal ini berguna untuk menambah atau mengurangi *downforce* pada bagian belakang kendaraan (Estrada, 2017).



Gambar 2.6 Mercedes-AMG GTR Rear Wing

Sumber : Gustavo, E. (2017) *Mercedes-AMG GTR: Aerodynamics for the record*, p.142

Dari desain bodi Mercedes-AMG GTR, dapat ditarik hasil kesimpulan berupa nilai aerodinamika (*Coefficient of lift* dan *Coefficient of drag*) sebagai berikut.



Gambar 2.7 Aerodynamics performance data Mercedes-AMG GTR

Sumber : Gustavo, E. (2017) *Mercedes-AMG GTR: Aerodynamics for the record*, p.143

## 2.2. Dasar Teori

### 2.2.1. Aerodynamic

Aerodinamika mobil merupakan salah satu faktor yang penting dalam desain mobil. Hal ini disebabkan karena aerodinamika berkaitan dengan efisiensi bahan bakar mobil. Ketika pengguna mobil berakselerasi, maka mobil akan melaju dengan menabrak aliran udara yang akan menghambat laju kendaraan. Semakin besar gaya hambatan yang harus dihadapi mobil, maka pengguna mobil harus menginjak pedal gas semakin dalam, yang akan menyebabkan pemborosan bahan bakar. Efisiensi bahan bakar akan terpengaruh sebanyak 50-60% (R. Hassan T. Islam, M. Ali, Q. Islam, 2013).

#### 2.2.1.1. Drag Force

*Drag Force* merupakan gaya yang terjadi dengan arah berlawanan dengan arah gerak objek (Seward, 208). Ketika mobil bergerak kedepan, maka ada gaya yang menarik kebelakang mobil tersebut. Hal ini disebabkan karena

adanya *stagnant point* pada bagian depan kendaraan. *Stagnant point* akan memecah tekanan dan kecepatan yang diterima oleh mobil menuju ke segala arah. Mengingat bahwa tekanan atau *Pressure* berbanding terbalik dengan kecepatan atau *Velocity*, maka, tekanan pada bagian depan mobil akan sangat tinggi dibandingkan dengan tekanan pada bagian belakang mobil.

Gaya inilah yang disebut dengan *drag force*. *Skin-friction drag* merupakan *drag force* yang disebabkan dari kontak antara fluida dengan permukaan. Namun demikian, *skin-friction drag* dapat terbilang kecil jika dibandingkan dengan *form* atau *pressure drag*, yang dibentuk berdasarkan luas permukaan dari bentuk mobil yang akan didesain (Seward, 208).

Selain kecepatan dan luas permukaan, *Coefficient of drag* merupakan salah satu sumber dari munculnya sebuah *drag force*. Hal ini disebabkan karena rumus munculnya *drag force* adalah  $F_d = \frac{1}{2} \rho v^2 A C_d$ , dengan  $C_d =$  *Coefficient of drag*. Berdasarkan rumus tersebut, dapat diketahui bahwa semakin tinggi kecepatan objek, maka dengan luas permukaan dan *coefficient of drag* yang sama, *drag force* akan meningkat dengan cepat. Hal ini disebabkan karena kuadrasi pada kecepatan didalam rumus. Namun demikian, dengan kecepatan yang tinggi dan *coefficient of drag* yang rendah, maka *drag force* juga tidak akan tinggi. Dengan demikian, untuk mengurangi besarnya *drag force*, maka caranya adalah mengurangi besarnya *coefficient of drag* tanpa mengurangi kecepatan.

Pada persamaan Bernoulli, tekanan dinamis dapat dirumuskan menjadi  $\frac{1}{2} \rho v^2$ . Dengan  $\rho$  diidentifikasi sebagai massa jenis fluida, dan  $v$  kecepatan fluida. Ketika sebuah benda diletakkan pada suatu tempat yang dialiri aliran fluida, maka tekanan dinamis yang bekerja pada permukaan benda tersebut akan berubah menjadi tekanan statis, dan kecepatan fluida saat menabrak permukaan benda akan berubah dari  $v_1$  menjadi  $v_0 = 0$ . Pernyataan ini dapat dinyatakan dengan rumus:

$$F = P \cdot A \tag{2.1}$$

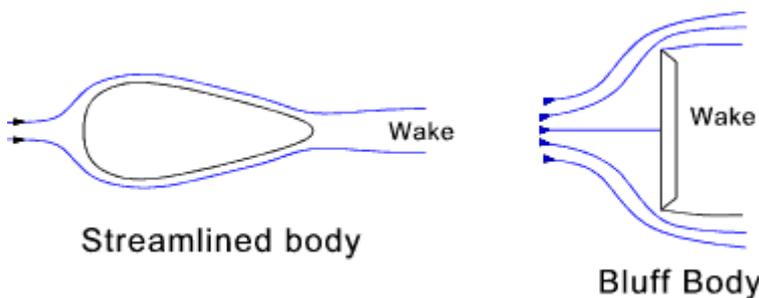
Dengan demikian, gaya statis yang terjadi pada permukaan benda tersebut adalah:

$$F = \frac{1}{2} \rho v^2 A \quad (2.2)$$

Vorteks turbulen juga akan dihasilkan pada ujung – ujung pinggir dari permukaan benda tersebut, dengan total gaya sebesar 20% (Seward, 209) dengan *Drag Force* sebagai berikut:

$$F_D = C_D \frac{1}{2} \rho v^2 A \quad (2.3)$$

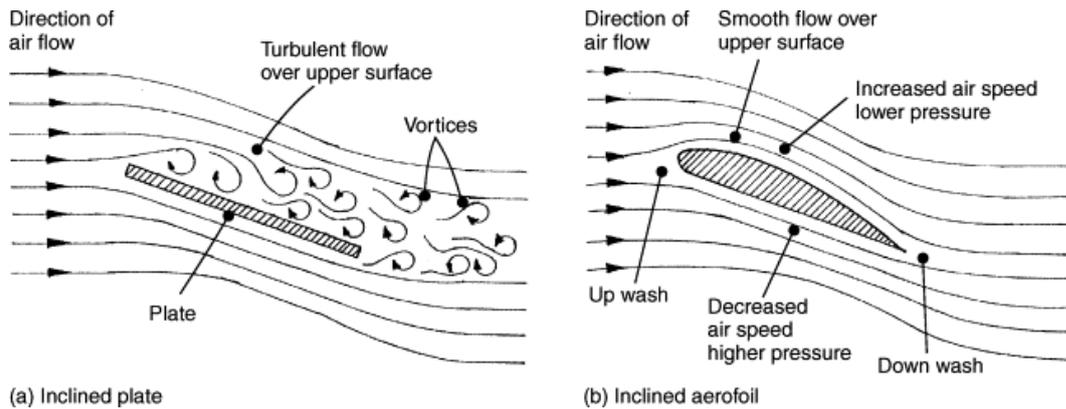
Total *drag* yang dihasilkan dari bentuk permukaan benda tersebut disebut dengan *form drag*, yang terbentuk dengan dihitung merupakan penjumlahan antara *skin-friction drag* dengan *pressure drag*. Ketika *drag coefficient* rendah, maka objek tersebut dapat dikatakan aerodinamis. Sebaliknya, ketika *drag coefficient* tinggi, maka objek tersebut memiliki efisiensi aerodinamis yang tidak bagus.



Gambar 2.8 Perbandingan antara *streamlined body* dengan *bluff body*.

Sumber: Seward, D. (2014), *Race car design*, Palgrave publishing, p. 209

Gambar diatas menunjukkan bentuk geometri yang *streamlined* dan *bluff*. Bentuk *body* yang *bluff* memiliki *drag coefficient* yang tinggi, sedangkan *streamlined body* menghasilkan *drag coefficient* yang rendah. Hal ini dapat diterapkan dalam desain bentuk mobil.



Gambar 2.9 Perbandingan antara *aerofoil* dengan plat

Sumber: Heisler, H. *Advanced vehicle technology*, Butterworth-Heinemann publishing, p.601

Pada gambar diatas, dapat dilihat bahwa bentuk plat akan menghasilkan *vortex* yang banyak, sehingga bentuk tersebut akan menghambat aliran fluida yang mengalir, karena terjadinya banyak aliran turbulen pada bagian belakang *body*. Sebaliknya, pada *aerofoil*, dapat dilihat bahwa tidak terlihat terbentuknya *vortex*, sehingga *drag coefficient* dapat terbilang rendah, dan efisiensi aerodinamis tinggi. Namun demikian, dengan bentuk *airfoil* seperti pada gambar diatas, maka akan menyebabkan tekanan kebawah, atau *downforce* menjadi rendah. Dengan demikian, maka bentuk tersebut tidak cocok untuk digunakan pada mobil, karena jika mobil terkena aliran fluida, maka gaya *lift* akan terbentuk dan mobil akan terangkat.

Shape	Drag coefficient $C_D$
Rectangular sheet	1.2
Racing car (open wheel) with no wings	0.6
Racing car with wings	0.7-1.2
Typical modern road car	0.35
Modern Eco-car	0.25
Aircraft	0.012
Dolphin	<0.01

Gambar 2.10 *Drag coefficient* dari berbagai macam bentuk.

Sumber: Seward, D. (2014), *Race car design*, Palgrave publishing, p. 209

### 2.2.1.2. Aerodynamic Lift

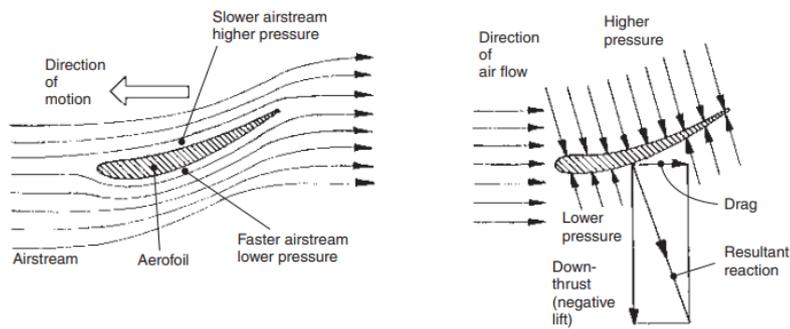
*Aerodynamics lift coefficient* merupakan perbedaan tekanan yang terjadi diatas dan dibawah *body* kendaraan, selama kendaraan berjalan di lingkungan. Resultan gaya keatas dan kebawah terbuat, dengan sangat memperhatikan bentuk geometri kendaraan. Gaya keatas disebut dengan *positive uplift*, yaitu mengangkat roda kendaraan dari tanah (Heinzler 598). Dengan menyebut gaya angkat keatas sebagai *positive lift*, maka, gaya yang menekan objek kebawah disebut dengan *downforce*. Pada mobil, karena tidak diperlukan untuk naik, maka tidak diperlukan gaya *aerodynamic lift*, melainkan *downforce* lebih dibutuhkan untuk menekan mobil supaya menempel di tanah dan daya cengkeram mobil/*car grip* akan meningkat seiring meningkatnya *downforce*.

### 2.2.2. Car design

Dengan memperhatikan *lift*, dan *drag force*, maka bagian yang dapat di desain untuk memaksimalkan performa *body* adalah pada bagian *wing* dan *underbody* kendaraan. Bagian *wing* dapat ditambahkan, dengan menggunakan *spoiler*, sedangkan pada *underbody* dapat didesain bersamaan dengan *body* mobil.

#### 2.2.2.1. Wing

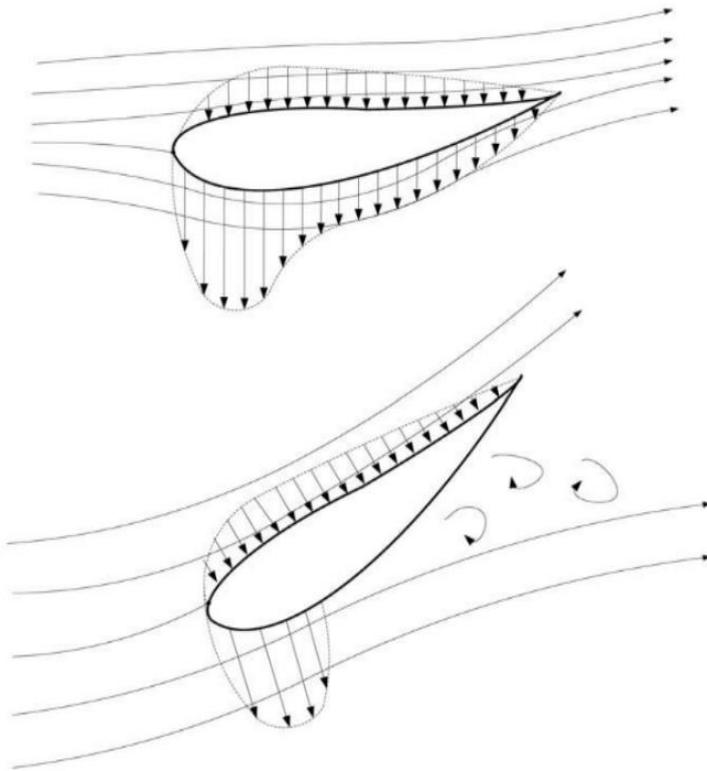
*Wing* pertama kali dibuat digunakan untuk dipasang pada pesawat terbang. Artinya, pada dasarnya, *wing* berguna untuk menciptakan *lift force*. Namun demikian, pada mobil, *lift* tidak diperlukan. Maka dari itu, diciptakanlah *wing* dengan profil terbalik, sehingga gaya angkat yang disebabkan dari bentuk *airfoil* menjadi gaya tekan yang disebut dengan *downforce*.



Gambar 2.11 Profil wing yang dapat dipasangkan pada mobil.

Sumber: Heisler, H. *Advanced vehicle technology*, Butterworth-Heinemann publishing, p.613

Dengan memiliki bentuk *airfoil*, maka, *drag coefficient* akan semakin rendah. Maka dari itu, desain *wing* dengan perhitungan bentuk geometri yang tepat akan meningkatkan efisiensi aerodinamis dengan pesat. Dalam desain *wing*, ada *single-element wing* dan *multiple element wing*. *Single-element wing* adalah bentuk *airfoil* yang hanya terdiri dari satu lapis saja, sedangkan pada *multiple-element wing* terdiri dari banyak lapis. Pada *aerofoil*, terdapat tekanan positif dan negatif pada permukaan atas dan bawahnya. Kedua permukaan berkontribusi besar dalam pembentukan *downforce*. Tekanan negatif pada bagian bawah *aerofoil* memiliki efek lebih besar kepada *downforce* jika dibandingkan dengan permukaan atasnya. Tekanan terbesar pada permukaan bawah *airfoil* terletak pada lekukannya (Seward, 213). Pernyataan tersebut akan diperjelas pada gambar dibawah.



Gambar 2.12 *Downforce* yang bekerja pada *airfoil*.

Sumber: Seward, D. (2014), *Race car design*, Palgrave publishing, p. 213

Dari gambar diatas, dapat dilihat bahwa *downforce* banyak terdapat pada lekukan airfoil, dan pada bagian ujung akhir dari *airfoil*, aliran fluida terlihat banyak *vortex*.

#### 2.2.2.2. Underbody

*Underbody* yang dimaksud adalah bagian lantai kendaraan. *Underbody* pada kendaraan berperan penting pada aerodinamika kendaraan. *Underbody* juga merupakan tempat terletaknya jalur *exhaust system*, jalur *drive shaft*, dan juga *differential/gardan* pada kebanyakan mobil, termasuk Mercedes Benz E320 W124 Masterpiece.



Gambar 2.13 *Underbody Mercedes Benz E320 W124*

Menurut Zhiquan Yuan dan Yiping Wang (2017), kalkulasi efek aerodinamika pada *flat underbody* dan *underbody* standar dari kendaraan biasa, ditemukan efek yang jauh berbeda. Pada *underbody* standar, *aerodynamic drag* meningkat sebanyak 23.4% pada *underbody* standar. Dengan desain *wheel spoiler* dan *underbody spoiler*, *drag coefficient* dapat menurun sebesar 4.86% dan 7.05% dengan desain yang tepat. Hal ini disebabkan karena pada *underbody* standar, terdapat permukaan yang kompleks, yang merupakan sumber dari *boundary layer*, yang merupakan sumber dari perubahan aliran. Dari bentuk *underbody* yang kompleks terlihat banyak *vortex* yang sangat berpengaruh pada performa aerodinamika kendaraan.



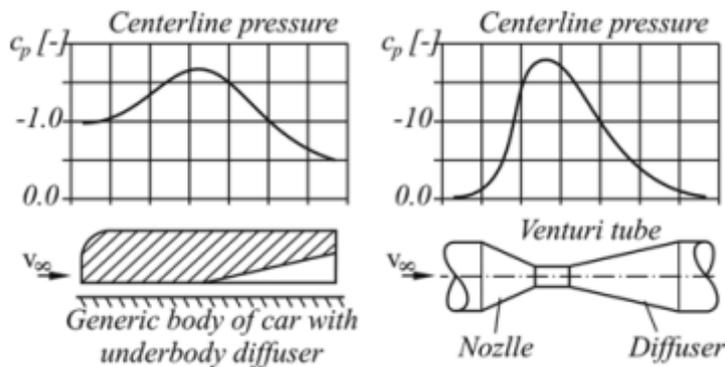
Gambar 2.14 *Flat Underbody vs Real/complex Underbody*

Sumber: Yuan, Z, Wang, Y. (2017). *Effect of underbody structure on aerodynamic drag and optimization*, Wuhan University of Technology, p. 196

### 2.2.2.3. Diffuser

*Diffuser* merupakan sebuah perangkat yang dapat disematkan pada desain mobil. *Diffuser* biasa ditemukan pada mobil balap. *Diffuser* dapat berfungsi untuk menambah *downforce* dan juga mengurangi *drag force* pada sebuah kendaraan. Pada studi yang telah diterbitkan oleh Cederlund dan Lasse

Christoffersen, struktur bangun udara pada bagian roda belakang dan juga *rear wing* terpengaruh secara signifikan tergantung dengan *air flow* pada *diffuser*.



Gambar 2.15 Grafik *centerline Pressure* pada *venturi tube* dan *bodi* dengan *diffuser*

Sumber: Huminic A., Huminic G., *Aerodynamic study of a generic car model with wheels*, International Journal of Automotive Technology, p. 397

Pada gambar 2.15, dapat dilihat bahwa *centerline pressure* pada *bodi* dengan *diffuser* lebih rendah dibandingkan pada *venturi tube*. Selain itu, menurut Xingjun et. al (2017), penambahan *diffuser* dapat mengurangi *Coefficient of Drag* sebesar – besarnya 12.47%.

#### 2.2.2.4. Front Bumper

*Bumper* memiliki peran yang cukup besar dalam aerodinamika. Hal ini dikarenakan, *bumper* depan merupakan titik pertama udara melakukan kontak dengan permukaan mobil, yang membentuk *stagnant point*. Dari sini, aliran udara akan dipecah sesuai dengan bentuk dari *bumper* depan. Beberapa desain *bumper* mobil memecah aliran udara dari *bumper* depan menuju ke sisi mobil. Hal ini dapat mengurangi turbulensi udara dan juga drag. Contoh dari desain *bumper* depan adalah seperti pada Mercedes-AMG GTR, dengan desain *frontal louvres* yang dapat dikontrol secara elektronik, sehingga dapat memecah aliran fluida menuju inlet samping atau menuju ke mesin, untuk mendinginkan mesin atau untuk meningkatkan *aerodynamic efficiency* (Estrada, 2017).



Gambar 2.16 *Front-end* atau *front bumper* Mercedes AMG GTR

Sumber : Gustavo, E. (2017) *Mercedes-AMG GTR: Aerodynamics for the record*, p.137