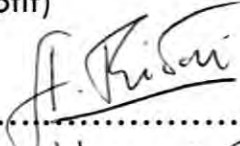


Saya akui bahawa saya telah membaca karya ini dan pada pandangan saya karya ini adalah memadai dari segi skop dan kualiti untuk tujuan penganugerahan Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal (Automotif)

Tandatangan	:..... 
Nama Penyelia	: .....Ahmad Rivai.....
Tarikh	: .....04/05/2007.....

**“Saya akui laporan ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali ringkasan dan petikan yang tiap-tiap satunya saya jelaskan sumbernya”**

**Tandatangan :** ..... *P. Ismail* .....

**Nama Penulis :** ..... *RAFIS SUZWAN B. ISMAIL* .....

**Tarikh** ..... *4 MEI 2007* .....

## PENGHARGAAN

Setinggi-tinggi ucapan terima kasih ditujukan kepada En. Ahmad rivai sebagai penyelia pertama dan En.mohd Ridhuan sebagai penyelia sampingan yang telah memberi panduan dan seliaan dalam menjalankan Projek Sarjana Muda ini. Pelbagai ilmu dapat dipelajari sepanjang seliaan beliau. Tidak lupa juga terima kasih diucapkan kepada En. kamal, yang memberi panduan dalam proses simulasi berbantu computer(CFD). Tidak lupa juga kepada En.Hambali yang membantu menyiapkan model Evo 6 menggunakan mesin rapid prototyping. Segala bantuan dan tunjuk ajar dalam menjalankan projek ini sangat dihargai.

Dikesempatan ini juga saya ingin merakamkan ucapan terima kasih kepada staf-staf Makmal Termal bendalir,makmal Automotif yang banyak memberi tunjuk ajar kepada saya dalam kajian ini. Juga kepada semua rakan-rakan yang banyak menyokong saya dalam susah dan senang, terutama kepada rakan-rakan 4BMCA .Tanpa bantuan mereka, projek ini mungkin tidak dapat dijalankan dengan sempurna.

Akhir sekali, saya juga ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan kerjasama yang baik sama ada secara langsung atau tidak langsung dalam usaha saya menyiapkan projek kajian ini.

## **ABSTRAK**

Laporan ini memaparkan proses dan kajian untuk kereta famili jenis evo6 mengikut aspek aerodinamik. Aspek aerodinamik dikaji menggunakan dinamik bendalir berkomputer (CFD) dan pengujian di terowong udara. Rekabentuk awal menggunakan CFD dijalankan untuk mengkaji kesan kepada pekali angkat, pekali seretan serta daya angkat (lift force) dan daya seret (drag force). Pengujian menggunakan terowong udara Universiti Teknikal Malaysia Melaka dijalankan untuk mengesahkan hasil CFD. Kedua-dua hasil dibandingkan untuk menentukan keputusan terbaik kenderaan mempertimbangkan heretan yang rendah dan daya angkat berkesan.

## **ABSTRACT**

An optimization process for the aerodynamic design of a family car evo6 is presented. Aerodynamic aspects were investigated using Computational fluid dynamics and wind tunnel testing. First design attempt procedure using CFD was conducted to study the effect to drag coefficient, lift coefficient and also lift force and drag force. Testing procedure using Universiti Teknikal Malaysia Melaka subsonic wind tunnel were conducted to verify the result .Both results were compared to determine the optimum vehicle with respect of low drag and effective lift.

## KANDUNGAN

	<b>Halaman</b>
<b>PENGAKUAN</b>	<b>i</b>
<b>PENGHARGAAN</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>iv</b>
<b>KANDUNGAN</b>	<b>v</b>
<b>SENARAI RAJAH</b>	<b>viii</b>
<b>SENARAI JADUAL</b>	<b>x</b>
<b>BAB 1: PENGENALAN</b>	
1.0    Pendahuluan	1
1.1    Objektif	3
1.2    Skop projek	3
1.3    Carta alir projek sarjana muda	4
<b>BAB 2: KAJIAN ILMIAH</b>	
2.1    Daya dan momen aerodinamik	5
2.1.1    Daya seret aerodinamik	6
2.1.2    Daya angkat	7
2.2    Kereta famili Evo 6	9
2.2.1    Aliran udara keatas Badan kereta	11
2.2.2    Kepentingan rekabentuk bahagian hadapan kereta	13
2.2.3    Kesan sudut condong cermin kereta	15
2.2.4    Kesan sudut bonet	17
2.3    Dinamik bendalir berbantu computer (CFD)	18
2.3.1    Persamaan pergerakan bendalir	18
2.4    Terowong udara	21

2.4.1	Jenis-jenis terowong udara	21
2.4.1.1	Terowong udara jenis aliran tertutup	22
2.4.1.2	Terowong udara jenis aliran terbuka	23
2.4.2	Terowong udara berhalaju rendah KUTKM	23
2.4.3	Nombor Reynold	24

**BAB 3: KAEDAH SIMULASI KERETA UNTUK DINAMIK BENDALIR BERBANTU KOMPUTER(CFD)**

3.1	Kaedah jaringan menggunakan GAMBIT 2.2.30	25
3.1.1	Pemodelan kereta menggunakan solidwork 2005 dan kaedah jaringan menggunakan GAMBIT 2.2.30	26
3.1.2	Simulasi menggunakan FLUENT 6.2.16	30
3.2	Pemprosesan di dalam perisian FLUENT 6.2.16	31

**BAB 4 : PENGUJIAN TEROWONG ANGIN**

4.1	Pengenalan	36
4.2	Fabrikasi model dan persediaan model untuk pengujian terowong angina	38
4.3	Pengujian model dan contoh pengiraan	43
4.3.1	Kesamaan aliran udara	46
5.1	Keputusan dan perbincangan kritikal	48
5.2	Keputusan Simulasi berbantu komputer (CFD)	49
5.2.1	Halaju dan tekanan pada bahagian kereta	49
5.2.2	Daya seret	51
5.2.3	Daya angkat	53
5.3	Keputusan pengujian terowong angin	55
5.3.1	Pekali daya seret	56
5.3.2	Pekali angkat	57

5.4	Perbincangan keputusan	58
5.4.1	Perbandingan keputusan daya seret	58
5.4.2	Perbandingan keputusan daya angkat	59
5.5	Nombor Reynold	62
6.1	Kesimpulan	64
6.2	Cadangan kajian lanjutan	66

<b>RUJUKAN</b>	<b>67</b>
----------------	-----------

<b>LAMPIRAN A</b>	<b>68</b>
-------------------	-----------

<b>LAMPIRAN B (KEPUTUSAN UJIAN)</b>	<b>73</b>
-------------------------------------	-----------

<b>LAMPIRAN C (TEROWONG UDARA KUTKM)</b>	<b>74</b>
--	-----------



## SENARAI RAJAH

RAJAH	TAJUK	HALAMAN
1.1	Carta alir projek	4
2.1	Sistem paksi kenderaan	6
2.2	Bentuk asas kekotak kereta	9
2.3	Evo 6 (tiga kekotak)	10
2.4	Mercedes A class (kekotak tunggal)	10
2.5	Citroen C2 (dua kekotak)	11
2.6	Taburan tekanan pada kereta	12
2.7	Kedudukan sudut sudut yang dikaji	13
2.8	Kesan titik pegun kepada pekali heretan	15
2.9	Kesan sudut condong cermin kepada perubahan pekali heretan	16
2.10	Kesan sudut bonet kepada pekali seret	17
2.11	Dinamik bendalir berkomputer menggunakan FLUENT	20
2.12	Paparan perisian GAMBIT	20
2.13	Paparan perisian FLUENT	20
2.14	Terowong udara aliran semula tertutup	22
2.15	Terowong udara aliran semula terbuka	23
3.1	Menunjukkan model evo 6 yang telah siap dilukis 3D	25
3.2	Menunjukkan terowong angin dan. kereta yang sudah diberi arahan rongga 'cavity'	26
3.3	Menunjukkan proses jaringan pada garisan 'meshing lines'.	27
3.4	Menunjukkan proses jaringan 'meshing face'	27
3.5	Menunjukkan proses 'meshing Volume'	28
3.6	Menunjukkan kaedah mengklasifikasikan jenis-jenis sempadan	28

3.7	Menunjukkan ruang sekeliling yang telah diklasifikasikan sebagai udara	29
3.8	Pemilihan cara penyelesaian pada FLUENT	31
3.9	Jenis jenis model kelikatan	32
3.10	Tekanan diset pada tekanan atmosfera	32
3.11	Halaju ditetapkan pada 30m/s	33
3.12	Parameter tambahan pada kawalan penyelesaian Model.	34
3.13	Penyelesaian mencapai keadaan menumpu	35
3.14	Menunjukkan contoh keputusan daya angkat dan daya seret.	35
4.1	Perbezaan halaju pada permukaan jalan dan di terowong angin	37
4.2	Lukisan CAD model	38
4.3	Plastik ABS	38
4.4	Proses membuat model menggunakan mesin rapid prototyping	39
4.5	Mesin rapid prototyping	40
4.6	Model berskala 1:22	40
4.7	Pandangan sisi model	41
4.8	Membuat <i>mounting</i> bagi kedudukan <i>center of gravity</i>	41
4.9	Membuat <i>mounting center of gravity</i> bagi kedudukan kereta mendatar	42
4.10	Pengujian terowong angina	43
5.1	Kontur Halaju udara disekeliling kereta	49
5.2	Kontur tekanan pada bahagian-bahagian kereta	50
5.3	Graf pekali seretan pada kereta	51
5.4	Nilai daya seret pada kereta pada halaju 30 m/s	51
5.5	Graf pekali angkat	53
5.6	Keputusan nilai daya angkat	53

5.7	Perbandingan keputusan daya seret	58
5.8	Perbandingan keputusan daya angkat	59

### SENARAI JADUAL

JADUAL	TAJUK	HALAMAN
2.1	Daya dan momen yang bertindak pada kenderaan.	5
2.2	Sudut condong cermin dan sudut bonet bagi kereta famili.	14
5.1	Data pengujian terowong angina	55

## BAB 1

### PENDAHULUAN

Kereta famili jenis Evo 6 mewakili bilangan yang besar dalam jumlah kenderaan di Jepun . Bahkan di Malaysia dan singapura, pengguna-pengguna kereta mula menampakkan minat mereka terhadap kereta jenis ini . Ini adalah kerana prestasi kereta jenis ini amat memuaskan jika dibandingkan dengan kereta-kereta yang ada di Malaysia. Kereta famili jenis ini direkabentuk untuk kegunaan umum seperti membawa penumpang, barangan keperluan, bersiar siar dan bersosial . Terdapat pelbagai rekabentuk kereta famili . Kebanyakan rekabentuk tersebut hanya mengambil kira kepada daya tarikan pembeli dan untuk menyesuaikan dengan perubahan masa. Dalam tahun-tahun sebelum ini, kebanyakan pengeluar kereta hanya menjadikan rekabentuk kereta sebagai gimik untuk melariskan kereta tanpa mengambil kira kesan rekabentuk tersebut dari ciri aerodinamik. Pada era millennium ini , pengetahuan dan kesedaran pengguna terhadap aspek teknikal kereta semakin baik kerana perkembangan dan kemajuan teknologi maklumat. Ini menyebabkan pengguna semakin terdesak untuk memiliki kereta berprestasi tinggi. Ciri-ciri aerodinamik yang baik memberi kesan kepada prestasi kenderaan dari segi kelajuan maksimum, pecutan kereta dan penggunaan bahanapi.

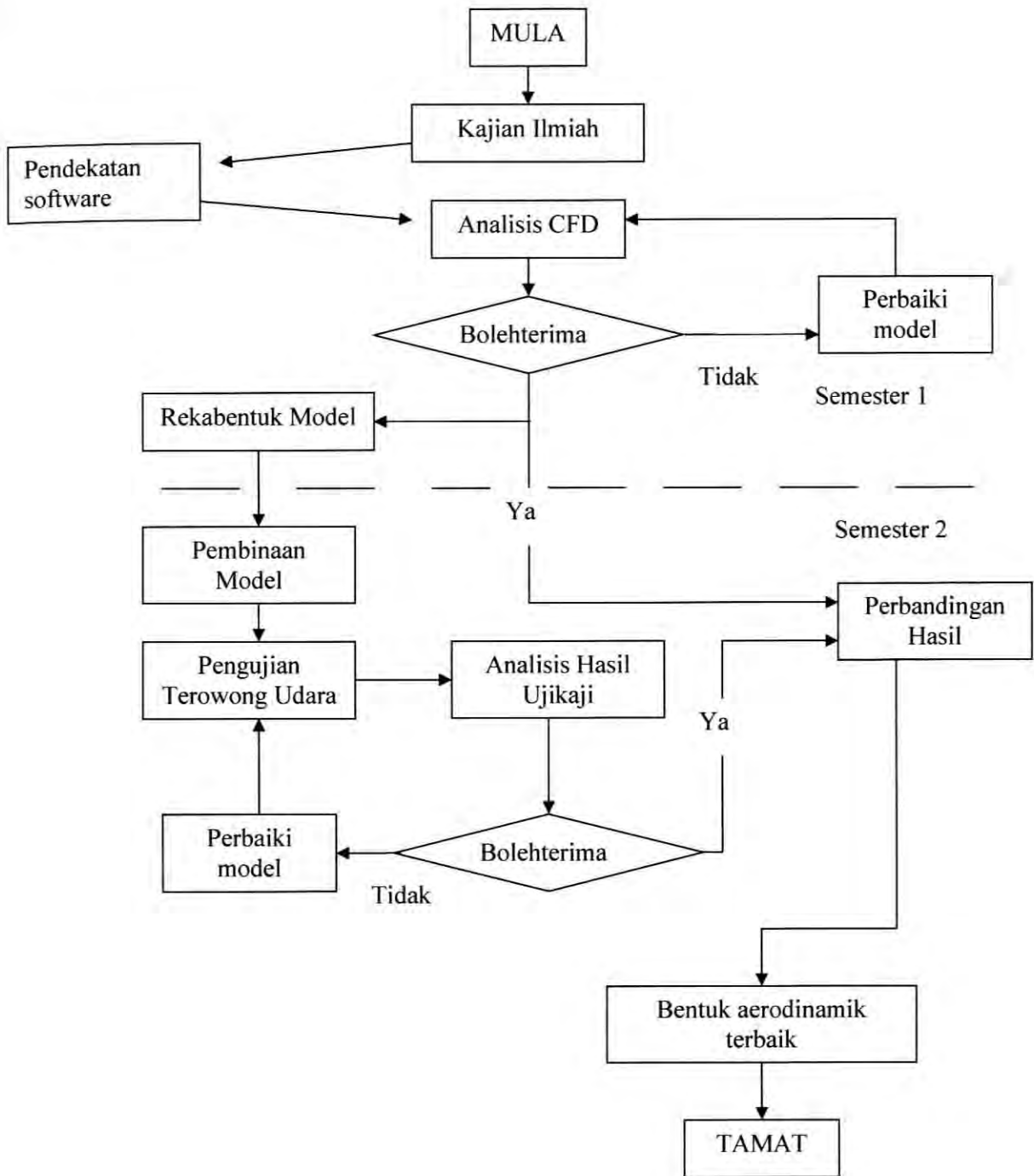
Selama ini, pengeluar kereta hanya menumpukan kepada bahagian belakang kereta. Mereka mengeluarkan pelbagai bentuk yang mengubah bahagian belakang seperti sedan, estate dan fastback. Kerana batas-batas tertentu, pengeluar kereta mula menumpukan kepada rekabentuk bahagian depan kereta. Pelbagai perubahan dan

## **1.1 Objektif**

Objektif kajian ini adalah untuk mengkaji rekabentuk bahagian-bahagian kereta evo 6 dari perspektif aerodinamik. Menilai prestasi aerodinamik kereta ini dari segi membuktikan daya seret dan daya angkat serta pekali-pekalinnya.

## **1.2 Skop Projek**

1. Pemodelan kereta iaitu untuk analisis secara simulasi berkomputer menggunakan software (FLUENT) dan pengujian terowong angin keatas kereta EVO 6.
2. Keputusan, perbandingan daya angkat dan daya seret kereta ini dan perbincangan yang kritikal.
3. Memberi cadangan untuk kajian lanjutan.



**Rajah 1.1:** Carta alir projek

## BAB 2

### KAJIAN ILMIAH

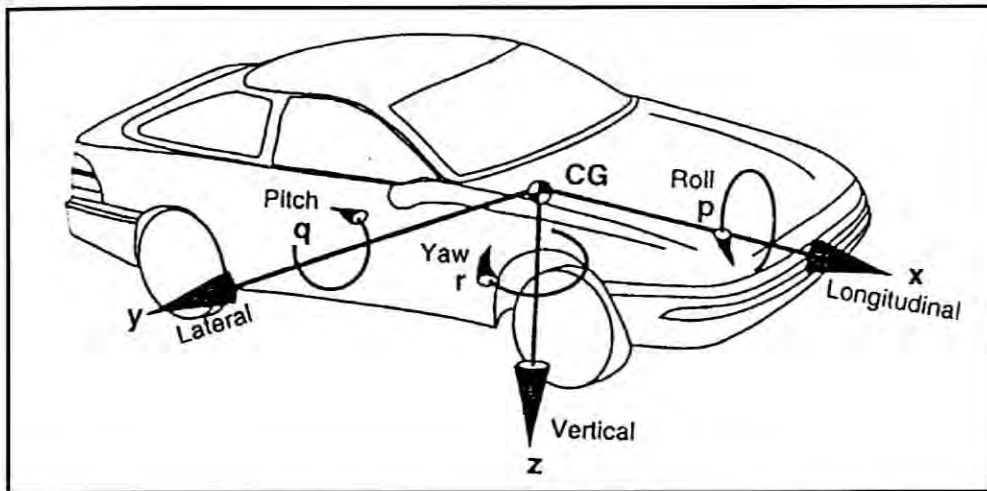
Dalam proses membuat projek ini, beberapa kajian dilakukan terhadap perkara yang berkaitan. Kajian dilakukan ke atas daya dan momen aerodinamik, kereta famili, kesan geometri hadapan kereta dan kaedah ujikaji yang berkaitan.

#### 2.1 Daya dan momen aerodinamik

Apabila aliran udara dihalang oleh satu objek seperti kereta, berlaku tindakbalas yang berlawanan dengan arah pergerakan kereta tersebut. Ini berdasarkan hukum Newton kedua dimana untuk setiap tindakan, terdapat daya tindakbalas yang bertindak berlawanan arah. Daya tindakbalas ini boleh ditakrifkan kepada tiga komponen daya dan momen yang bertindak pada paksi kereta. Paksi ini ditakrifkan mengikut sistem paksi kenderaan SAE.

**Jadual 2.1:** Daya dan momen yang bertindak pada kenderaan

No	Paksi	Daya	Momen
1.	Mengufuk (longitudinal)	Daya seret (drag force)	Momen guling (rolling moment)
2.	Sisi (lateral)	Daya sisi (side force)	Momen anggul (pitching moment)
3.	Menegak (vertical)	Daya angkat (lift force)	Momen rewang (yawing moment)



**Rajah 2.1** : Sistem paksi kenderaan

Pada setiap paksi kenderaan, terdapat momen yang bertindak pada tiga paksi kenderaan. Momen yang bertindak akan menyebabkan kereta cuba berputar terhadap paksinya. Momen ini diwakili oleh suatu pekali sebagaimana daya aerodinamik.

### 2.1.1 Daya seret aerodinamik (drag force)

Daya seret aerodinamik ialah daya yang bertindak menghalang pergerakan objek pepejal. Udara akan menghasilkan rintangan kepada objek yang melaluinya. Daya rintangan ini dipengaruhi oleh bentuk objek tersebut. Jika objek berbentuk mengikut aliran udara (streamline), kurang daya seret aerodinamik yang terhasil dan hanya sedikit tenaga yang diperlukan untuk mengatasi daya tersebut. Jika sesuatu objek mengganggu aliran udara dengan banyak, lebih banyak tenaga diperlukan untuk mengatasi daya seret aerodinamik. Inilah yang dinamakan daya seret ataupun (drag force).

Dalam rekabentuk kereta, daya seret yang rendah akan memberi pelbagai kelebihan. Penjimatan bahanapi dapat diperolehi jika sesebuah kereta itu mempunyai daya seret aerodinamik yang rendah. Daya aerodinamik mula memberi kesan yang



ketara pada kelajuan diantara 65–80 km/h. Kereta famili di Malaysia biasanya bergerak pada kelajuan maksimum 80km/h di jalan biasa dan 120km/h di lebuhraya. Kelajuan ini amat memberi kesan pada jumlah daya seret yang terhasil.

Daya seret aerodinamik terhasil dari pelbagai sumber. Sumber utama adalah dari seret geseran permukaan ( skin friction drag). Aliran udara cuba untuk menarik permukaan pada arah alirannya, seterusnya menyebabkan daya seret. Seret geseran permukaan ini menyumbang hampir 30% dari keseluruhan daya seret. Taburan tekanan disekeliling kenderaan akan menyebabkan daya seret tekanan (pressure drag). Tekanan di bahagian hadapan lebih tinggi daripada tekanan di bahagian belakang, seterusnya perbezaan tekanan ini akan menyebabkan kereta ditarik ke belakang.

Pekali seret mewakili kuantiti daya seret yang dihasilkan oleh sesuatu bentuk kereta. Ia bergantung kepada luas permukaan, halaju dan tekanan pada kereta tersebut. Perhubungan antara daya seret dengan faktor lain yang berkaitan diberikan oleh.

$$\text{Daya seret} = \frac{1}{2} \rho V^2 A C_D \quad (2.1)$$

### 2.1.2 Daya angkat

Daripada pandangan 2D, aliran udara yang melalui badan kereta akan terbahagi kepada dua komponen. Komponen pertama akan mengalir melalui bahagian bawah kenderaan manakala satu bahagian lagi akan mengalir melalui bahagian atas kenderaan. Aliran kedua-dua bahagian ini mempunyai halaju yang berbeza. Mengikut prinsip Bernoulli, halaju tinggi akan menghasilkan tekanan rendah dan sebaliknya. Ini akan menyebabkan perbezaan tekanan pada bahagian atas dan bahagian bawah kereta. Perbezaan tekanan ini akan menghasilkan daya angkat.

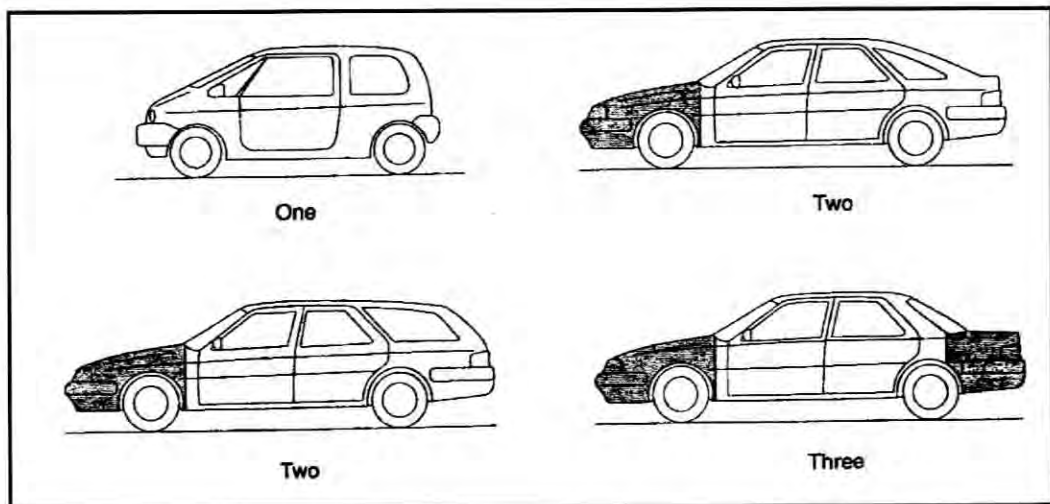
Secara amnya, kereta famili mempunyai daya angkat positif. Ini bermaksud daya angkat ke atas terhasil apabila aliran udara mengenai kereta. Daya angkat dapat mengurangkan kesan rintangan berat kereta yang perlu diatasi oleh enjin. Tetapi daya angkat yang berlebihan dapat mengurangkan kestabilan kereta pada halaju tinggi. Taburan daya angkat hadapan dan belakang juga memainkan peranan dalam menentukan ciri- ciri kestabilan kereta.

Daya angkat ditakrifkan hampir sama dengan daya heretan. Ia ditakrifkan sebagai

$$\text{Daya angkat} = \frac{1}{2} \rho V^2 A C_L \quad (2.2)$$

## 2.2 Kereta Famili evo 6

Kereta famili ditakrifkan sebagai kereta yang mempunyai 4 pintu. Ia berfungsi untuk membawa penumpang atau keluarga dan boleh memuatkan sehingga empat atau lima orang dalam sesuatu masa. Ia terdiri dari pelbagai bentuk susunan seperti sedan, hatchback dan estate. Dari segi struktur badan kereta Evo 6, juga boleh ditakrifkan dari segi bentuk kekotak (Box). Kekotak mewakili segmen yang membentuk badan kereta. Untuk bentuk tiga kekotak, segmen pertama di hadapan biasanya untuk ruangan enjin. Ruangan tengah untuk penumpang manakala bahagian terakhir untuk muatan barang. Bentuk ini paling popular dan biasanya digunakan pada kereta sedan. Contoh kereta dari bentuk ini ialah Toyota Camry dan Proton Waja. Bentuk kekotak tunggal digunakan pada van atau kereta kompak (compact car) seperti Mercedes A class, sementara bentuk dua kekotak boleh didapati pada kereta hatchback seperti Citroen C2.



Rajah 2.2: Bentuk asas kekotak



**Rajah 2.3:** EVO 6 (tiga kekotak)



**Rajah 2.4:** Mercedes A class (kekotak tunggal)

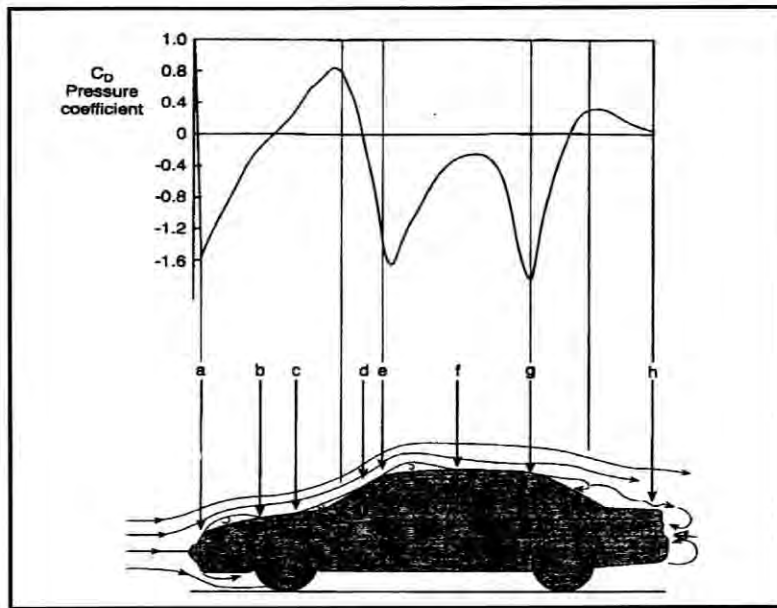


**Rajah 2.5:** Citroen C2 (dua kekotak)

Pada kereta famili, rekabentuk aerodinamik selalunya bertujuan untuk mengurangkan daya seret (drag force). Daya seret ini akan menambah beban atau rintangan yang perlu dilepasi oleh kereta untuk bergerak. Kestabilan kereta ketika dalam halaju tinggi juga perlu diambil kira. Kesan daya angkat dan daya sisi yang kritikal boleh menyebabkan kereta hilang kestabilan ketika pemanduan di selekoh atau jalan lurus. Rekabentuk aerodinamik kereta yang baik dapat mengurangkan kuasa yang diperlukan untuk mengatasi rintangan seterusnya memberi penjimatan penggunaan bahanapi.

### **2.2.1 Aliran udara keatas badan kereta.**

Untuk memahami kesan aliran udara ke atas badan kereta, sifat aliran udara perlu diperhatikan terlebih dahulu. Merujuk Rajah 2.6, dengan mempertimbangkan aliran udara ke sebuah model 2D, aliran udara akan terbahagi kepada dua komponen. Satu bahagian mengalir ke bawah manakala satu bahagian lagi mengalir melepasi kereta melalui bahagian atas. Ini terjadi kerana sifat partikel bendalir yang akan mengalir melepasi badan pejal.



**Rajah 2.6:** Taburan tekanan pada kereta

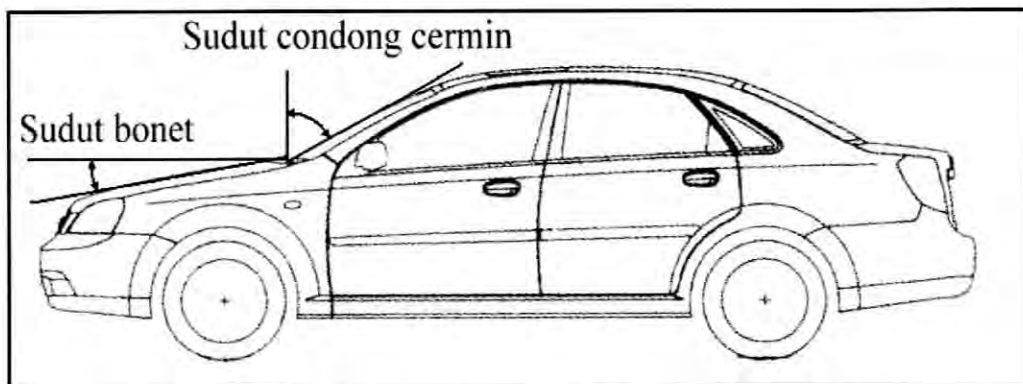
Pekali tekanan mempunyai nilai positif dan negatif kerana dibandingkan dengan tekanan persekitaran yang diukur jauh dari kereta. Daripada rajah 2.6, aliran udara mula terpisah dari badan kereta apabila menghampiri bahagian atas grill radiator. Pemisahan ini boleh berlaku apabila tekanan udara meningkat pada arah aliran udara.

Menurut Gillespie, pemisahan yang berlaku di bahagian hadapan kereta boleh melambatkan aliran lapisan sempadan, seterusnya menghasilkan heretan pada bahagian tersebut.

Pada titik permulaan cermin hadapan, aliran udara dipaksa naik mengikut bentuk kecondongan cermin. Ini menyebabkan berlaku tekanan tinggi pada bahagian ini kerana halaju udara berkurangan. Di bahagian belakang kereta, tekanan udara meningkat disebabkan halaju aliran udara yang perlahan.

## 2.2.2 Kepentingan rekabentuk bahagian hadapan kereta.

Bahagian hadapan kereta memainkan peranan penting dalam merekabentuk kereta famili dari segi aerodinamik. Untuk mencapai daya seret yang minimum, pelbagai bentuk boleh dikaji dan digunakan. Bentuk yang digunakan mestilah praktikal dan dapat disesuaikan dengan ruang enjin, penumpang serta rekabentuk asas kereta famili.



**Rajah 2.7:** Kedudukan sudut sudut yang dikaji

Jadual 2.2 menunjukkan nilai-nilai sudut condong cermin,  $\alpha$  dan sudut bonet,  $\beta$ . Sudut-sudut ini diukur dari kereta famili yang terdapat di pasaran. Sudut yang diukur dapat menentukan nilai sudut yang biasa digunakan pada kereta famili. Ini kerana nilai sudut yang terlalu ekstrim akan mengganggu sistem-sistem yang berkaitan dengan kereta itu sendiri seperti had ruang enjin, sifat kebolehubatan, dan nilai estetika.

**Jadual 2.2** : Sudut condong cermin dan sudut bonet bagi kereta famili

No	Model kereta	Sudut condong cermin, $\alpha$	Sudut bonnet, $\beta$
1	Proton Waja	60	10
2	Toyota Camry	60	10
3	Mitsubishi EVO	60	10
4	Mazda 6	62	10
5	Chevrolet Optra	63	10
6	Audi TT	60	9
7	Chevrolet Aveo	61	12
8	Ferrari 612	65	9
9	Ferrari 360 Modena	65	10
10	Ford GT	65	9

Barnard [1] menyatakan bahawa perekabentuk mesti merekabentuk bahagian hadapan kereta supaya bentuk yang dihasilkan menyebabkan penurunan tekanan yang seragam sehingga ke atas cermin hadapan (sebelum memasuki bahagian bumbung). Ini bukan sahaja menghalang aliran udara dari terpisah dari permukaan kereta tetapi menghasilkan kawasan berheretan rendah.