

KAJIAN MENGENAI DAYA AERODINAMIK PADA SAYAP HADAPAN KERETA  
LUMBA MENGGUNAKAN KAEDAH SIMULASI CFD

MIRNI BINTI ABDUL GHANI

UNIVERSITI TEKNIKAL MALAYSIA MELAKA

MIRNI BINTI ABDUL GHANI

SARJANA MUDA KEJ.MEKANIKAL(TERMAL-BENDALIR)

2011 UTeM

‘Saya akui bahawa 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 (termal-bendalir)’

Tandatangan : .....

Nama Penyelia : EN. SHAMSUL BAHARI BIN AZRAAI

Tarikh : .....

‘Saya akui bahawa 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 (termal-bendalir)’

Tandatangan : .....

Nama Penyelia : EN. SHAMSUL BAHARI BIN AZRAAI

Tarikh : .....

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

Tandatangan : .....

Penulis : .....

Tarikh : .....

Untuk ayah dan bonda tersayang:

Abd Ghani bin Hasan dan Jamilah bt Mustafar

## **PENGHARGAAN**

## **PENGHARGAAN**

Jutaan terima kasih dan sekalung penghargaan diucapkan kepada penyelia projek saya, Encik Shamsul Bahari bin Azraai yang telah banyak memberi bimbingan, nasihat dan tunjuk ajar kepada saya bagi menyiapkan projek sarjana muda ini. Pelbagai ilmu yang dapat saya rungkai sepanjang menyiapkan projek ini. Ribuan terima kasih buat Dr. Mohd Yusoff bin Sulaiman dan Encik Mohd. Irwan yang telah menjadi panel penilai semasa seminar 1 dan 2 untuk PSM ini kerana banyak memberi idea-idea dan pandangan serta komen yang positif dan membina dimana ia amat berguna ketika dalam proses menyiapkan projek sarjana muda ini. Tidak lupa juga kepada seluruh ahli keluarga serta rakan-rakan seperjuangan yang banyak memberi sokongan, dorongan serta pandangan yang secara langsung atau tidak langsung dalam memberikan idea-idea dan cadangan. Segala tunjuk ajar, nasihat dan panduan tidak akan saya lupakan. Semoga kajian yang telah dijalankan ini mendapat keberkatan dari Allah S.W.T.

## ABSTRAK

Peranan utama aerodinamik dalam bidang automotif terutamanya bagi kereta lumba ialah untuk memberi lebih kestabilan dengan menghasilkan daya kebawah semaksimum yang boleh bagi membolehkan kereta tersebut mencengkam permukaan trek ketika melalui selekoh tajam dengan kelajuan yang tinggi tanpa sebarang kemalangan, meningkatkan prestasi kereta dan untuk keselamatan pemandu. Kajian ini ini adalah berkaitan dengan kajian mengenai sayap kereta lumba menggunakan kaedah dinamik bendalir berkomputer untuk simulasi. Kajian ini dijalankan bagi mengenal pasti sudut serang yang sesuai digunakan ketika perlumbaan, iaitu sudut serang yang dapat menghasilkan daya kebawah yang maksimum serta dapat mengurangkan daya seretan pada kereta yang menjadi halangan untuk memecut dengan kelajuan yang tinggi pada sudut serangan yang berbeza. Hasil simulasi tersebut akan dibandingkan dengan keputusan ujikaji terowong angin. Kajian ditumpukan kepada penyebaran tekanan pada permukaan aerofoil serta penyebaran halaju pada permukaan aerofoil. Simulasi ini adalah untuk melihat taburan halaju, taburan tekanan sekeliling aerofoil sayap kereta lumba, pekali daya seretan dan pekali daya kebawah yang dapat dihasilkan oleh sayap tersebut pada kelajuan dan sudut serang yang berbeza. Hasil simulasi jelas menunjukkan bahawa semakin besar sudut serangan, semakin tinggi daya ke bawah yang terhasil sekaligus meningkatkan daya seretan terhadap sayap kereta. Sudut serang  $12^\circ$  merupakan sudut serang yang paling sesuai digunakan ketika berlumba pada litar-litar yang banyak mempunyai banyak selekoh kerana ia menghasilkan daya kebawah yang paling tinggi. Kajian ini jelas menunjukkan bahawa kaedah simulasi CFD telah berjaya menentukan prestasi daya aerodinamik pada kereta lumba berdasarkan hasil simulasi yang telah berjaya diperolehi.



## ABSTRACT

The purpose of aerodynamic in automotive field especially for racing car is for vehicle performance, safety and stability by creating the downforce as much as possible in order to make the car more grip at the track surface during the cornering even the car is at high speed. The study was conducted to identify angles of attack that can generate a maximum downward force and to reduce the drag on the car that became barriers to accelerate the speed using the computational fluid dynamic method and FLUENT software was used in this study. The simulation results will be compared with results of wind tunnel experiments. The focus of the study is to determine the pressure and velocity profiles at the front wing. This simulation is to observe the velocity distribution, pressure distribution around the racing car's front wing, drag coefficient and the downward force coefficient, which can be produced by the wing at the different speed and angle of attack. The simulation results clearly show that, the greater the angle of attack, the higher the resulting downward force and increase the drag force of the wing. However, the increased of the drag is very small, and can be overcome by the downforce that is produced, which allows the car accelerates without any restrictions. The angle of attack of  $12^\circ$  is the most suitable angle when racing on circuits that has a lot of cornering as it produces the most downforce that able to grip the car on the surface of the circuit so the car can accelerate at high speed with stability and secure. The CFD method has successfully to simulate the airflow around the racing car's front wing.

## KANDUNGAN

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>MUKA SURAT</b>
	<b>PENGESAHAN PENYELIA</b>	i
	<b>PENGESAHAN PELAJAR</b>	ii
	<b>DEDIKASI</b>	iii
	<b>PENGHARGAAN</b>	iv
	<b>ABSTRAK</b>	v
	<b><i>ABSTRACT</i></b>	vi
	<b>KANDUNGAN</b>	vii
	<b>SENARAI RAJAH</b>	xi
	<b>SENARAI JADUAL</b>	xiv
	<b>SENARAI SIMBOL</b>	xv
	<b>SENARAI RINGKASAN PERKATAAN</b>	xvi
	<b>SENARAI LAMPIRAN</b>	xvii
<b>BAB I</b>	<b>PENGENALAN</b>	
	1.1 Pengenalan	1
	1.2 Penyataan masalah	6
	1.3 Objektif kajian	6
	1.4 Skop kajian	7

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>MUKA SURAT</b>
<b>BAB 2</b>	<b>KAJIAN ILMIAH</b>	
2.1	Pengenalan	8
2.2	Kajian terdahulu	8
2.3	Teori aerodinamik	10
2.4	Daya seretan	11
2.5	Pekali seretan $C_D$ dan pekali angkatan $C_L$	13
2.6	Daya angkatan dan daya kebawah	14
2.7	Aliran lapisan sempadan	16
2.8	Prinsip Bernoulli	19
2.9	Nombor Reynolds	20
2.10	Kelikatan	22
2.11	Persamaan momentum	23
2.12	Persamaan Navier Stokes	23
2.13	Taburan tekanan sekeliling kereta	24
2.14	Aliran udara dan tekanan keatas aerofoil	24
	2.14.1Pengenalan kepada garis perentas dan Sudut serang	25
2.15	Dinamik bendalir berkomputer (CFD)	25
	2.15.1 Kaedah berdiskrit	26
	2.15.2 Model lamina	27
2.16	Terowong Angin	28
2.17	Solidworks	28

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>MUKA SURAT</b>
<b>BAB 3</b>	<b>KAEDAH KAJIAN</b>	
3.1	Kaedah kajian	30
3.2	Proses simulasi sayap kereta lumba	31
3.2.1	Menghasilkan geometri 2-D sayap kereta lumba	31
3.2.2	Import aerofoil 2-D kedalam Gambit	32
3.2.3	Menghasilkan domain aliran	33
3.2.4	Jejaring (meshing)	34
3.2.5	Simulasi aerofoil	34
3.2.6	Analisis data simulasi	35
<b>BAB 4</b>	<b>KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN</b>	
4.1	Keputusan Simulasi CFD-Fluent	36
4.1.1	Keputusan daya seretan dan daya ke bawah	39
4.1.2	Profil halaju dan tekanan	41
4.2	Perbandingan hasil simulasi CFD dengan hasil eksperimen terowong angin	45
4.2.1	Perbandingan pekali seretan	45
4.2.2	Perbandingan pekali angkatan (daya ke bawah)	46

<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN</b>	
	Kesimpulan dan cadangan	48
	<b>RUJUKAN</b>	<b>50</b>
	<b>LAMPIRAN</b>	<b>54</b>

## SENARAI RAJAH

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>MUKA SURAT</b>
<b>BIL.</b>	<b>TAJUK</b>	
1.1	Litar F1 di Albert Park, Australia (Sumber: <a href="http://www.trackpedia.com">www.trackpedia.com</a> )	2
1.2	Litar F1 di Monza, Itali (Sumber: <a href="http://www.sandeepkram.blogspot.com">www.sandeepkram.blogspot.com</a> )	3
1.3	Kereta lumba Ferrari model F60 dan F2008 (sumber: <a href="http://www.sprinterdelacasa.blogspot.com">www.sprinterdelacasa.blogspot.com</a> )	3
1.4	Daya ke bawah prinsip Bernoulli (Sumber: <a href="http://www.racecarengineering.com">www.racecarengineering.com</a> )	4
1.5	Contoh sayap hadapan kereta lumba (Sumber : <a href="http://www.gtplanet.net">www.gtplanet.net</a> )	5
1.6	Contoh sayap belakang kereta lumba (Sumber : <a href="http://www.serpent.com">www.serpent.com</a> )	6
2.1	Perubahan $C_D$ dan $C_L$ sayap hadapan Pada sudut serang yang berbeza	9

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>MUKA SURAT</b>
2.2	Jenis cengkaman	11
2.3	Tekanan hadapan pada kereta (Sumber : <a href="http://www.gmecca.com/byorc/dtipsaerodynamics">www.gmecca.com/byorc/dtipsaerodynamics</a> )	12
2.4	Vakum belakang pada kereta (Sumber : <a href="http://www.gmecca.com/byorc/dtipsaerodynamics">www.gmecca.com/byorc/dtipsaerodynamics</a> )	13
2.5	Daya-daya pada badan kereta (Sumber: <a href="http://www.mne.psu.edu">www.mne.psu.edu</a> )	15
2.6	Daya kebawah (Sumber : <a href="http://www.gmecca.com">www.gmecca.com</a> )	16
2.7	Aliran sempadan pada plat rata (Sumber : <a href="http://www.engineeringskills.wikidot.com">www.engineeringskills.wikidot.com</a> )	17
2.8	Lapisan sempadan pada kereta (Sumber: <a href="http://www.clubsmartcar.com">www.clubsmartcar.com</a> )	18
2.9	Jenis Aliran (Sumber : <a href="http://www.engineeringskills.wikidot.com">www.engineeringskills.wikidot.com</a> )	18
2.10	Prinsip Bernoulli ( Rapid Racer 2009)	20
2.11	Aliran sempadan pada kereta berskala penuh dan model kereta (Sumber: Mohamed adib, A)	21
2.12	Aliran lamina dan bergelora (Sumber : <a href="http://www.blog.nialbarker.com">www.blog.nialbarker.com</a> )	22
2.13	Gambaran kelikatan bendalir (Sumber: <a href="http://www.answers.com">www.answers.com</a> )	22
3.1	Proses simulasi kajian	30
3.2	Geometri 2-D aerofoil (Sumber: <a href="http://www.mathworks.com">www.mathworks.com</a> )	31

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>MUKA SURAT</b>
3.3	Geometri 2-D sayap kereta lumba	32
3.4	Aliran domain (sumber : <a href="http://www.fluent.com">www.fluent.com</a> )	33
3.5	Aliran domain CFD (Sumber: <a href="http://www.fluent.com">www.fluent.com</a> )	33
3.6	Jejaring pada aerofoil (Sumber: <a href="http://www.fluent.com">www.fluent.com</a> )	34
3.7	Contoh simulasi aerofoil (Sumber : <a href="http://www.elsevier.com/locate/mcm">www.elsevier.com/locate/mcm</a> )	35
3.8	Contoh hasil simulasi (Sumber : <a href="http://www.elsevier.com/locate/mcm">www.elsevier.com/locate/mcm</a> )	35
4.1	Menunjukkan pada lelaran 327, penyelesaian telah mencapai had terima kriteria yang telah ditetapkan	37
4.2	Plot lelaran	38
4.3	Pekali geseran melawan sudut serang	39
4.4	Pekali aerodinamik melawan sudut serang ( $^{\circ}$ ) bagi halaju 30 m/s	40
4.5	Daya ke bawah melawan sudut serang ( $^{\circ}$ )	40
4.6	Kontur tekanan pada $\alpha = 16^{\circ}$ , halaju 30 m/s	42
4.7	Vektor halaju pada $\alpha = 16^{\circ}$ , halaju 30 m/s	43
4.8	Aliran udara pada bahagian muncung aerofoil $\alpha = 12^{\circ}$	43
4.9	Vorteks yang terhasil pada bahagian pinggir mengekor aerofoil pada $\alpha = 12^{\circ}$	44
4.10	Pekali seretan melawan sudut tindakan pada halaju 10 m/s	45
4.11	Pekali angkatan (daya ke bawah) pada halaju 10 m/s	47



**SENARAI JADUAL**

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>MUKA SURAT</b>
<b>BIL.</b>	<b>TAJUK</b>	
2.1	Perbandingan antara aerofoil tanpa kesan bumi dan aerofoil dengan kesan bumi	9
2.2	Parameter keserupaan	20
2.3	Nilai pekali tekanan $C_p$	24

**SENARAI SIMBOL**

$A$	=	Luas Permukaan, $m^2$
$B$	=	Pemalar Kepada Kawasan Luas
$C_D$	=	Pekali Seretan
$C_L$	=	Pekali Tekanan
$F$	=	Daya Pada Titik Tertentu
$F_d$	=	Daya Seretan
$H$	=	Entalpi
$L$	=	Panjang sesuatu kawasan
$P$	=	Kuasa
$Q$	=	Kadar Aliran
$\tau$	=	Tekanan Pada Kawasan Tertentu
$x$	=	Jarak Sesuatu Kawasan
$\mu$	=	Kelikatan Dinamik, $kg/ms$
$\rho$	=	Ketumpatan, $kg/m^3$
$v$	=	Kelajuan, $m/s$
$\delta$	=	Lapisan Nipis Boundari
$P_\infty$	=	Tekanan statik jejurus bebas
$V_\infty$	=	Halaju jejurus bebas

**SENARAI RINGKASAN PERKATAAN**

CFD	=	Dinamik bendalir berkomputer
F1	=	Formula satu
Re	=	Nombor Reynolds
2D	=	2-dimensi

**SENARAI LAMPIRAN**

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>MUKA SURAT</b>
<b>BIL.</b>	<b>TAJUK</b>	
A	Data simulasi	54
B	Hasil simulasi	56

## **BAB 1**

### **PENGENALAN**

#### **1.1 Aerodinamik**

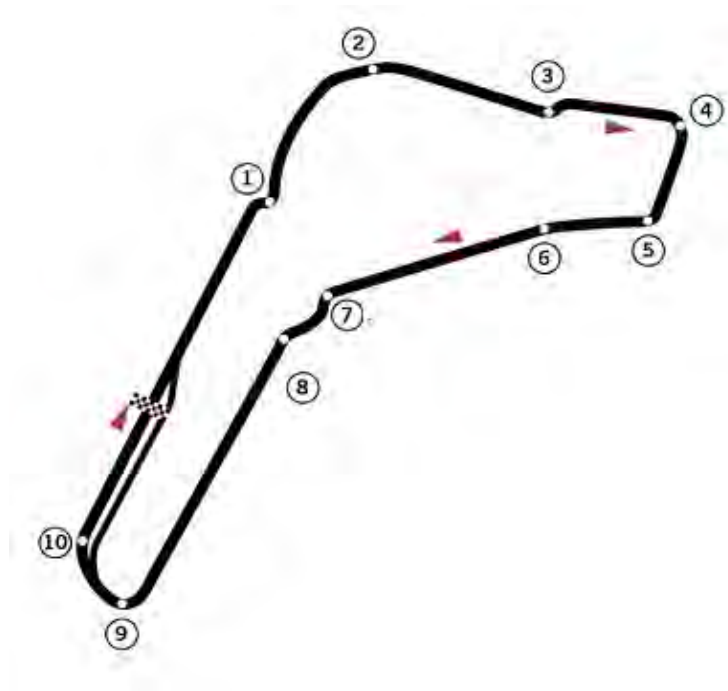
Aerodinamik ialah salah satu bidang dinamik bendalir yang lebih menekankan kajian tentang daya serta aliran udara. Penyelesaian kepada masalah aerodinamik biasanya melibatkan pengiraan beberapa ciri-ciri seperti halaju, tekanan, ketumpatan dan suhu sebagai fungsi ruang dan masa. Apabila memahami pola sesuatu aliran, ia akan dapat membantu untuk menentukan daya dan momen dalam aliran yang bertindak pada sesuatu jasad. Tujuan utama aerodinamik pada kereta lumba adalah dari segi kestabilan, keselamatan dan yang paling utama adalah untuk meningkatkan prestasi sesebuah kereta lumba tersebut. Aspek ini biasanya dipengaruhi oleh daya seretan yang dikenakan pada kereta dimana daya seretan ini dipengaruhi oleh pekali seretan, halaju serta luas permukaan hadapan sesebuah kereta lumba.

Automotif aerodinamik pula ialah kajian tentang aliran udara pada jasad sesebuah kereta lumba yang sedang bergerak serta bagaimana aliran udara tersebut mempengaruhi pergerakan kereta tersebut. Salah satu aspek yang mempengaruhi aerodinamik sesebuah kereta lumba ialah daya kebawah. Daya kebawah berlaku di kawasan yang bertekanan rendah pada jasad kereta, iaitu dikawasan yang mengalami halaju yang tinggi.

Fokus utama aerodinamik pada kereta lumba adalah untuk menghasilkan daya kebawah semaksimum yang boleh serta mencegah daya angkatan yang tidak diperlukan pada kelajuan tinggi dimana ia boleh mengakibatkan kereta terbalik atau terbang. Akan tetapi daya kebawah yang maksimum hanya diperlukan ketika beraksi di litar-itar yang mempunyai banyak selekoh-selekoh tajam contohnya di litar Albert Park, Australia. Manakala ketika berlumba di litar-itar yang mempunyai banyak jalan yang lurus hanya memerlukan daya kebawah yang minimum. Rajah 1.1 dan rajah 1.2, masing-masing menunjukkan litar di Albert Park dan di Monza Itali.



Rajah 1.1: Litar F1 di Albert Park, Australia (Sumber: [www.trackpedia.com](http://www.trackpedia.com))



Rajah 1.2: Litar F1 di Monza Itali (Sumber: [www. sandeepkram.blogspot.com](http://www.sandeepkram.blogspot.com))

Sesebuah kereta lumba boleh mencapai kelajuan maksimum 360 kilometer sejam. Pemandu kereta lumba boleh mengambil selekoh pada kelajuan 160 kilometer sejam. Kelajuan ini mampu untuk membolehkan sebuah pesawat berlepas. Untuk membolehkan sebuah kereta lumba yang berjisim 800 kilogram terus mencengkam di permukaan trek pada kelajuan yang tinggi, ia memerlukan kestabilan.



Rajah 1.3: Kereta lumba Ferrari model F60 dan F2008  
(sumber: [www.sprinterdelacasa.blogspot.com](http://www.sprinterdelacasa.blogspot.com))

Untuk memastikan kereta ini stabil pada kelajuan tersebut ia memerlukan sistem aerodinamik yang cukup sempurna supaya aliran udara yang melalui badan dan sayap pada kelajuan tinggi tidak akan menjejaskan pergerakan. Fungsi aerodinamik yang dihasilkan melalui sayap dihadapan dan belakang kereta memastikan kereta itu sentiasa ditekan kebawah apabila melanggar angin dan seterusnya memastikan kestabilan kereta.

Prinsip bernoulli mengatakan bahawa jika terdapat aliran udara di sekeliling objek pada kelajuan berbeza, udara yang bergerak perlahan akan mempunyai tekanan yang lebih tinggi berbanding udara yang bergerak pantas. Oleh itu udara yang maksimum perlu melalui bahagian bawah kereta bagi menghasilkan daya kebawah yang maksimum. Semakin laju kereta dipandu, semakin banyak daya kebawah dapat dihasilkan dan menjadikan kereta bertambah stabil seterusnya semakin kuat cengkaman dapat diberikan pada permukaan trek semasa kereta sedang melalui selekoh-selekoh tajam pada kelajuan tinggi. Salah satu cara untuk melihat bagaimana aliran udara mempengaruhi pergerakan kereta ialah dengan melihat taburan tekanan yang berlaku disekeliling kereta tersebut. Kawasan yang mengalami tekanan tinggi ataupun rendah pada jasad kereta akan menunjukkan samada ia mengalami aliran bergelora, aliran laminar ataupun mengalami pemisahan. Ia juga dapat menunjukkan kawasan yang mengalami seretan dan daya kebawah pada jasad kereta. Pemerhatian taburan tekanan boleh dikaitkan dengan pemerhatian kelakuan aliran udara pada sekeliling kereta. Terdapat beberapa kaedah yang diguna pakai untuk melihat kelakuan udara antaranya menggunakan kaedah terowong angin dan dinamik bendalir berkomputer (CFD).



Rajah 1.4 : Daya kebawah, prinsip Bernoulli  
(Sumber: [www. racecarengineering.com](http://www.racecarengineering.com))