

"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 (Rekabentuk & Inovasi)"

Tandatangan:

Nama Penyelia: EN. Shamsul Anuar B Shamsudin

Tarikh: 11 APRIL 2007

**KAJIAN OPTIMISASI KE ATAS ENJIN 2 LEJANG JENIS GERAKAN
SENDENG**

SYOBIRIN B ABD KADIR

B 040310195

Laporan ini diserahkan kepada Fakulti Kejuruteraan Mekanikal sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat penganugerahan Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal (Rekabentuk & Inovasi)

**Fakulti Kejuruteraan Mekanikal
Universiti Teknikal Malaysia Melaka**

11 APRIL 2007

"Saya akui laporan ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali ringkasan dan petikan yang tiap-tiap satunya saya jelaskan sumbernya."

Tandatangan: 

Nama Penulis: SYOBIRIN B ABD KADIR

Tarikh: 11 APRIL 2007

PENGHARGAAN

Syukur ke hadrat ilahi dengan limpah kurnianya dan izinnya dapat saya menyiapkan laporan akhir projek sarjana muda iaitu kajian dan optimisasi terhadap enjin 2 lejang jenis gerakan sendeng mengikut masa yang ditetapkan.

Terima kasih yang tidak terhingga kepada penyelia projek En. Shamsul Anuar kerana telah memberi banyak dorongan dan tunjuk ajar secara teori dan amali dalam melaksanakan objektif dan skop projek. Tidak dilupakan juga kepada pensyarah-pensyarah dan jurutera pengajar fakulti kejuruteraan mekanikal Universiti Teknikal Malaysia Melaka yang banyak memberi tunjuk ajar dalam melaksanakan projek.

Di samping itu juga, terima kasih kepada keluarga dan rakan-rakan yang banyak membantu dan tidak jemu-jemu memberi sokongan moral sehingga saya Berjaya menyiapkan laporan akhir ini. Tanpa mereka semua, mungkin projek ini tidak dapat mencapai objektif dan diselesaikan pada masa yang ditetapkan.

ABSTRAK

Kajian ini bertujuan untuk memahami enjin 2 lejang jenis gerakan sendeng. Enjin 2 lejang jenis gerakan sendeng ini berpotensi untuk dibangunkan kerana mempunyai *output torque* yang lebih tinggi daripada enjin 2 lejang sedia ada. Kajian ini akan mengkaji keupayaan enjin disamping mencadangkan bahan untuk komponen enjin. Keupayaan enjin terpaksa dibuat secara manual akibat terdapat beberapa masalah teknikal untuk menggunakan perisian. Bahan untuk komponen dipilih setelah melakukan analisis menggunakan perisian COSMOS dengan mencuba pelbagai bahan kepada komponen dengan *load* yang ditetapkan. Diakhir sekali enjin ini Berjaya mendapat kuasa maksimum sebanyak 14.59 kW pada 7000 rpm dan torque maksimum sebanyak 20.36 Nm pada 6500 rpm. Kebanyakan bahan untuk komponen enjin adalah *Gray Cast Iron, Aluminum Alloy, Alloy Steel* dan *Ductile Iron*.

Isi Kandungan

	Muka Surat
Halaman Judul	i
Halaman Pengakuan	ii
Halaman Penghargaan	iii
Abstrak	iv
Isi Kandungan	v
Senarai Jadual	viii
Senarai Rajah	ix
Senarai Simbol	xi
1.0 PENDAHULUAN	1
1.1 Objektif	1
1.2 Skop	2
2.0 KAJIAN ILMIAH	3
2.1 Enjin lejang sedia ada	3
2.1.1 Asas pergerakan enjin 2 lejang	4
2.1.2 Sifat berbeza Omboh Dalam Enjin 2 Lejang	5
2.1.3 Masalah Enjin 2 lejang	6
2.1.4 Kelebihan Enjin 2 Lejang	6
2.1.5 Kelemahan Enjin 2 Lejang	6
2.2 Enjin berbentuk V	7
2.3 Sistem Pancitan Bahan Api (Fuel Injection)	7
2.3.1 Objektif penggunaan Sistem Pancitan Bahan Api	8
2.3.2 Asas Sistem Pancitan Bahan Api	8
2.3.3 Perbezaan Diantara sistem Pancitan Bahan Api Dengan Penggunaan Karburetor	9
2.3.4 Jenis-Jenis Sensor Dalam Sistem Pancitan Bahan Api	10
2.3.5 Kelebihan penggunaan Sistem Pancitan Bahan Api	10

2.4 <i>Finite element analysis</i>	10
2.4.1 Contoh Penggunaan <i>Finite Element Analysis</i> (FEA)	11
2.4.2 Pendimensian untuk <i>Finite Element</i>	12
2.5 Cosmos	13
2.6 Pengaliran Haba di Dalam Enjin (<i>Heat Transfer</i>)	15
2.6.1 Jenis pengaliran Haba di dalam Enjin	16
2.6.2 Mekanisme Pengaliran haba	16
2.6.3 Konduksi	16
2.6.4 Perolakan	17
2.6.5 Radiasi	19
3.0 METODOLOGI	21
Carta alir	21
3.1 Konsep Reka bentuk	22
3.2 Perbezaan Enjin 2 Lejang dan Enjin Gerakan Sendeng	22
3.2.1 Konsep Enjin 2 Lejang Sedia Ada	23
3.2.2 Konsep Enjin 2 Lejang Jenis Gerakan Sendeng	24
3.3 Komponen Bahan	25
3.3.1 Silinder	25
3.3.2 Kepala Silinder	25
3.3.3 Omboh	26
3.3.4 Ring Omboh (<i>Piston Ring</i>)	26
3.3.5 Rod Penyambung (<i>Connecting Rod</i>)	27
3.3.6 JENIS BAHAN	27
3.4 Kesan Termal	28
3.5 Kaedah Analisis Dan Optimisasi Yang Akan Dijalankan	28
3.5.1 Analisis Menggunakan Perisian COSMOS	28

4.0 ANALISIS KEUPAYAAN ENJIN	30
4.1 Keupayaan Enjin 2 Lejang Jenis Gerakan Sendeng	30
4.2 Analisis Pergerakan Enjin	31
4.3 Mekanisme Pergerakan Omboh Enjin Jenis Gerakan Sendeng	31
4.3.1 Rumusan Perbezaan Jarak (displacement) diantara 2 Enjin	36
4.4 Pengiraan <i>Break Mean Effective Pressure</i> , <i>Brake Power</i> , <i>Torque</i> dan <i>Power</i>	36
5.0 ANALISIS BAHAN KOMPONEN	43
5.1 Omboh (<i>Piston</i>)	43
5.2 Connecting Rod Penyambung	49
5.3 <i>Sleeve</i>	55
5.4 Blok Silinder	61
5.5 <i>Rotating Arm</i>	66
5.6 <i>HEAD</i>	71
5.7 Analisis <i>Assembly</i>	77
6.0 PENUTUP	80
Rujukan	81
Lampiran A	83-89
Lampiran B	90-91

Senarai Jadual

No	Tajuk	Muka Surat
1	<i>Convective Heat Transfer Coefficients</i>	18
2	<i>Important physical properties of materials</i>	27
3	<i>Typical values of major geometric ratios for two-stroke cycle engines</i>	31
4	Data pergerakan omboh untuk enjin sendeng dan enjin biasa	36
5	Target Spesifikasi	42
6	Rumusan keputusan penggunaan bahan pada omboh	49
7	Rumusan keputusan penggunaan bahan rod penyambung	55
8	Rumusan keputusan penggunaan bahan pada <i>sleeve</i>	61
9	Rumusan keputusan penggunaan bahan pada <i>main block</i>	65
10	Rumusan keputusan penggunaan bahan pada <i>rotating arm</i>	70
11	Rumusan keputusan penggunaan bahan pada <i>head</i>	75
12	Cadangan bahan untuk komponen	76
13	<i>Convective Heat Transfer Coefficients</i>	79

Senarai Rajah

No	Tajuk	Muka Surat
1	Lejang Masukan	4
2	Lejang Mampatan	4
3	Lejang Kuasa	5
4	Lejang Ekzos	5
5	Enjin jenis V	7
6	Asas sistem Pancitan Bahan Api	8
7	Kesan pemindahan haba terhadap sayap kapal terbang berdasarkan FEA	11
8	Kesan kinemetik terhadap system berdasarkan FEA	11
9	Model perlanggaran kereta tidak simetri berdasarkan FEA	12
10	1-D Line Element	12
11	2-D Plane Element	13
12	3-D Solid Element	13
13	Energy Flow	15
14	Pengaliran Haba	15
15	Konduksi Pada Blok Silinder	17
16	Perolakan	17
17	<i>Convection Problem Diagram</i>	19
18	<i>Radiation through Piston Cylinder Wall</i>	20
19	Konsep Enjin 2 Lejang Sedia Ada	23
20	Konsep Enjin 2 Lejang Jenis Gerakan Sendeng	24
21	Geometri Enjin	31
22	Gambarajah <i>stress</i> kepada omboh	45
23	Gambarajah <i>minimum factor of safety</i> kepada omboh	45
24	Gambarajah <i>stress</i> kepada omboh	46
25	Gambarajah <i>minimum factor of safety</i> kepada omboh	47
26	Gambarajah <i>stress</i> kepada omboh	48
26	Gambarajah <i>minimum factor of safety</i> kepada omboh	48
27	Gambarajah <i>stress</i> kepada omboh	51

28	Gambarajah <i>minimum factor of safety</i> kepada omboh	51
29	Gambarajah <i>stress</i> kepada rod penyambung	52
30	Gambarajah <i>minimum factor of safety</i> kepada rod penyambung	53
31	Gambarajah <i>stress</i> kepada rod penyambung	54
32	Gambarajah <i>minimum factor of safety</i> kepada rod penyambung	54
33	Gambarajah <i>stress</i> kepada rod <i>sleeve</i>	57
34	Gambarajah <i>minimum factor of safety</i> kepada <i>sleeve</i>	57
35	Gambarajah <i>stress</i> kepada <i>sleeve</i>	58
36	Gambarajah <i>minimum factor of safety</i> kepada <i>sleeve</i>	59
37	Gambarajah <i>stress</i> kepada <i>sleeve</i>	60
38	Gambarajah <i>minimum factor of safety</i> kepada <i>sleeve</i>	60
39	Gambarajah <i>stress</i> kepada blok silinder	63
40	Gambarajah <i>minimum factor of safety</i> kepada blok silinder	63
41	Gambarajah <i>stress</i> kepada blok silinder	64
42	Gambarajah <i>minimum factor of safety</i> kepada blok silinder	65
43	Gambarajah <i>stress</i> kepada <i>rotarting arm</i>	68
43	Gambarajah <i>minimum factor of safety</i> kepada <i>rotarting arm</i>	69
44	Gambarajah <i>stress</i> kepada <i>rotarting arm</i>	70
45	Gambarajah <i>minimum factor of safety</i> kepada <i>rotarting arm</i>	73
46	Gambarajah <i>stress</i> kepada <i>head</i>	73
47	Gambarajah <i>minimum factor of safety</i> kepada <i>head</i>	74
48	Gambarajah <i>stress</i> kepada <i>head</i>	75
49	Gambarajah <i>minimum factor of safety</i> kepada <i>head</i>	75
50	Gambarajah <i>minimum factor of safety</i> kepada <i>assembly</i> blok silinder dan <i>sleeve</i>	78

Senarai Simbol

B	Diameter Omboh
BDC	<i>Bottom Dead Center</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
FEA	<i>Finite Element Analysis</i>
FEM	<i>Finite Element Method</i>
RPM	<i>Revolution Per Minute</i>
S	<i>Stroke Omboh</i>
TDC	<i>Top Dead Center</i>
1-D	<i>1 dimensional</i>
2-D	<i>2 dimensional</i>
3-D	<i>3 dimensional</i>

BAB 1

PENDAHULUAN

1.0 PENDAHULUAN

Tajuk projek ini adalah kajian terhadap enjin jenis gerakan sendeng yang diaplikasikan pada enjin 2 lejang. Kajian ini dijalankan untuk mengkaji keupayaan enjin gerakan sendeng dan membandingkannya dengan enjin 2 lejang sedia ada. Oleh itu saya perlu menghasilkan satu rekabentuk enjin gerakan sendeng menggunakan perisian lukisan 3 dimensi dan seterusnya mengkaji kekuatan komponen, kesan termal dan keupayaan enjin menggunakan perisian COSMOS. Saya juga perlu melakukan kajian latar belakang dan optimisasi pada enjin dan menghasilkan satu prosedur optimisasi dengan aplikasi kejuruteraan yang ada. Di akhir sekali, saya perlu mencadangkan satu rekabentuk untuk keperluan tertentu dan menepati piawaian semasa.

Pada hari ini, tiada lagi penggunaan enjin 2 lejang yang menggunakan sistem jenis gerakan sendeng. Oleh itu, kajian ini penting untuk mencari alternatif untuk meningkatkan kuasa enjin 2 lejang.

1.1 Objektif

- a) Memahami enjin jenis gerakan sendeng (Swivel Motion Engine)
- b) Mencadangkan satu rekabentuk untuk keperluan tertentu dan menepati piawaian semasa.
- c) Melakukan analisis kekuatan komponen menggunakan perisian COSMOS

- d) Melakukan optimisasi untuk bahan untuk komponen yang murah dan menepati aplikasi

1.2 Skop

- a) Melakukan kajian latar belakang enjin dan optimisasi
- b) Memilih jenis analisis berkomputer yang melibatkan kekuatan komponen mesin dan kesan termal terhadapnya.
- c) Melakukan validasi dengan system enjin 2 lejang sedia ada.
- d) Menghasilkan satu prosedur optimisasi dengan aplikasi kejuruteraan yang ada.

BAB 2

KAJIAN ILMIAH

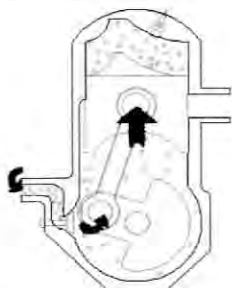
2.1 Enjin 2 Lejang Sedia Ada

Pada masa kini, penggunaan enjin 2 lejang tidak asing lagi dalam kejuruteraan. Antara contoh penggunaan enjin 2 lejang adalah dalam Kejuruteraan motosikal seperti Yamaha, Kejuruteraan mesin rumput. Kejuruteraan mesin gergaji rantai, kereta salji, dan banyak lagi..Enjin yang menggunakan konsep gas 2 lejang yang pertama dicipta oleh Etienne Lenoir pada tahun 1860. Enjin 2 lejang yang berasaskan Diesel pula dicipta oleh Dugald Clark pada tahun 1878. Enjin 2 lejang gasolin pula dicipta oleh Joseph day pada tahun 1889. Secara umumnya enjin 2 lejang mempunyai kuasa yang lebih tinggi daripada enjin 4 lejang pada saiz yang sama. Kitaran enjin 2 lejang masih mempunyai lejang masukan, lejang mampatan, lejang kuasa, dan lejang ekzos dan melakukan pembakaran dalaman (Internal Combustion engine). Disebabkan kitaran enjin 2 lejang lebih cepat berbanding kitaran enjin 4 lejang, maka kuasa enjin 2 lejang lebih tinggi dari enjin 4 lejang yang lebih lambat membuat satu kitaran Enjin 2 lejang membakar sekali setiap revolusi, manakala enjin empat lejang membakar selang sekali pada setiap revolusi. Ini memberi enjin dua lejang satu perangsang kuasa yang penting.

Enjin 2 lejang tidak mempunyai injap(valve) di kepala silinder (cylinder head) seperti dimiliki oleh enjin 4 lejang. Ini menyebabkan enjin 2 lejang lebih ringan dan pembinaannya lebih mudah berbanding enjin 4 lejang. Enjing dua lejang juga memerlukan pelincir dalam pergerakan omboh(piston). Satu enjin empat lejang yang standard mungkin mempunyai masalah minyak mengalir keluar. Piston pada

enjin 2 lejang pula hanya mempunyai 2 ring ombok (piston ring). Enjin 2 lejang boleh bekerja dalam mana-mana orientasi untuk menghidupkannya seperti satu gergaji rantai.

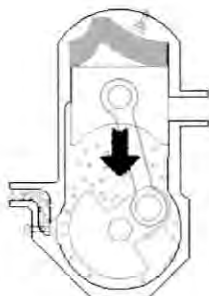
2.1.1 Asas Pergerakan Enjin 2 Lejang



Rajah 1

Lejang Masukan :

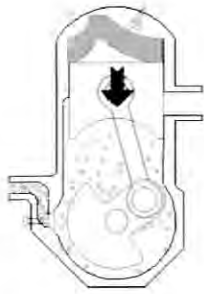
Pada masa ini, ombok akan bergerak keatas dan menghasilkan keadaan vakum dalam kotak engkol. Keadaan vakum ini akan membuka *reed valve* dan campuran bahan api dan udara akan masuk kedalam kotak engkol.



Rajah 2

Lejang Mampatan :

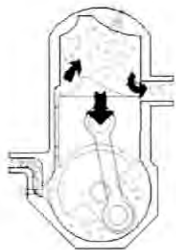
Lejang mampatan mempunyai 2 fasa. Pada fasa pertama, ombok akan bergerak ke bawah dan memampatkan campuran bahan api dan udara dan memaksa campuran bahan api dan udara tadi naik keatas ombok melalui *transfer port* di dalam silinder. Selepas itu ombok akan memampatkan campuran bahan api dan udara tadi ke atas kepala silinder (head cylinder) pada fasa kedua.



Rajah 3

Lejang Kuasa :

Apabila omboh berada di puncak lejang, campuran bahan api dan udara yang telah dimampatkan tadi akan dibakar oleh *spark plug* dan memberi kuasa kepada omboh untuk terus bergerak.



Rajah 4

Lejang Ekzos:

Selepas pembakaran dilakukan, omboh akan bergerak kebawah dan pada masa yang sama ekzos akan terbuka dan melepaskan asap ke luar.

2.1.2 Tiga Sifat berbeza Omboh Dalam Enjin 2 Lejang

1. Di permukaan omboh memampatkan campuran bahan api dan udara dan menjalankan aktiviti pembakaran
2. Di bawah permukaan omboh mencipta keadaan vakum untuk menarik campuran bahan api dan udara masuk ke kotak engkol
3. Pada sisi-sisi omboh berfungsi seperti injap dimana mengawal lubang ekzos dan menutupi dinding silinder serta mengawal lubang *transfer port*.

2.1.3 Masalah Enjin 2 lejang

Seperti yang diketahui, enjin dua lejang membuat kitaran yang lebih cepat berbanding enjin 4 lejang. Oleh itu terdapat masalah iaitu tidak semua minyak akan berjaya terbakar dan dikeluarkan ke ruang ekzos. Selain itu enjin 2 lejang menyebabkan lebih pencemaran berbanding enjin 4 lejang. Ini kerana enjin 2 lejang memerlukan minyak pelincir di dalam silinder dan dilepaskan ke luar. Disamping itu juga, enjin 2 lejang lebih cepat berlaku kerosakan atau kebocoran pada silinder atau omboh apabila digunakan dalam masa yang lama. Apabila aturan kemasukan minyak pelincir menghadapi kerosakan maka geseran omboh dan silinder akan menyebabkan kerosakan enjin dan menyebabkan enjin tidak dapat berfungsi.

2.1.4 Kelebihan Enjin 2 Lejang :

- Enjin 2 lejang tidak mempunyai injap yang memudahkan pembinaanya.
- Campuran bahan api dan udara akan dibakar setiap kali omboh naik keatas berbanding enjin 4 lejang yang hanya membakar selang sekali. Ini menyebabkan enjin 2 lejang mempunyai kuasa yang lebih tinggi daripada enjin 4 lejang pada saiz yang sama.
- Lebih ringan dan lebih murah untuk dihasilkan
- Mempunyai potensi untuk menghasilkan dua kali kuasa pada saiz yang sama

2.1.5 Kelemahan Enjin 2 Lejang :

- Menyebabkan lebih banyak pencemaran. Apabila minyak dibakar bersama bahan api, lebih banyak asap terhasil. Setiap kali campuran bahan api dimuatkan ke kebuk pembakaran, sebahagian bocor keluar melalui pangkal ekzos.
- Pembakaran bahan api yang tidak cekap
- Kos menggunakan enjin 2 lebih mahal kerana menggunakan minyak pelincir
- Aturan minyak, bahan api dan udara mesti diselia selalu

2.2 Enjin berbentuk V



Rajah 5

Enjin jenis V adalah satu enjin yang mempunyai dua silinder dan omboh. Maklumat tentang enjin jenis V ini juga penting untuk mengkaji tentang konsep enjin yang menggunakan dua omboh. Walaupun enjin jenis ini mempunyai dua silinder, tetapi hanya mempunyai satu *crankshaft*. Kedua-dua omboh diletakkan secara V pada *crankshaft*. Antara contoh penggunaan sistem enjin ini adalah pada motor berkuasa tinggi seperti *Virago* dan *Harley Davidson*. Kelebihan enjin ini adalah boleh menghasilkan kuasa yang lebih tinggi berbanding penggunaan enjin satu omboh.

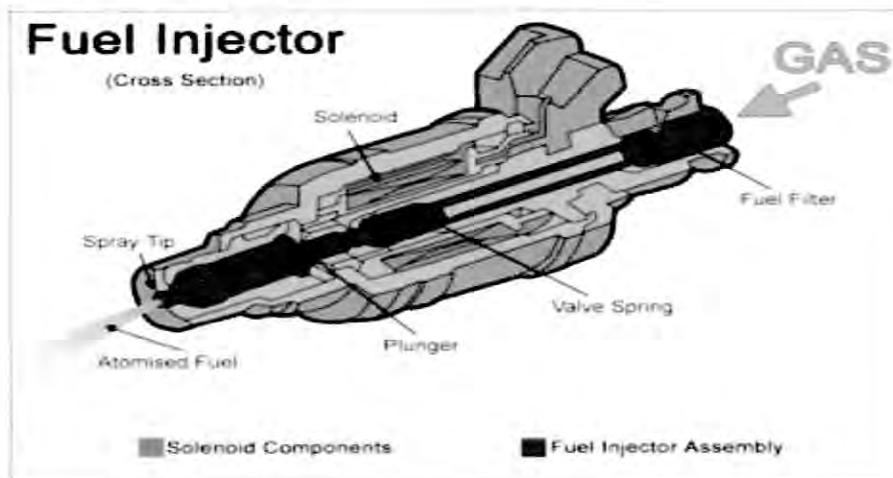
2.3 Sistem Pancitan Bahan Api (Fuel Injection)

Reka bentuk enjin 2 lejang gerakan sendeng ini akan menggunakan sistem Pancitan Bahan Api. Ini adalah untuk menggantikan penggunaan karburetor. Penggunaan sistem ini adalah untuk memudahkan pengubahsuaian kepada reka bentuk enjin sedia ada. Disebabkan perubahan pada pergerakan omboh, maka perjalanan karburetor juga akan berubah seperti keadaan vakum pada kotak engkol. Oleh itu, satu alternatif untuk mengatasi masalah ini adalah dengan menggunakan sistem Pancitan Bahan Api. Selain itu, sistem Pancitan Bahan Api memberi banyak kelebihan kepada enjin berbanding menggunakan karburetor.

2.3.1 Objektif penggunaan Sistem Pancitan Bahan Api

- 1) Memudahkan kemasukan campuran bahan api ke kawasan pembakaran
- 2) Memudahkan proses mampatan pada kitaran
- 3) Mendapat campuran bahan api dan udara yang optimum

2.3.2 Asas Sistem Pancitan Bahan Api.



Rajah 6

Pancitan Bahan Api merupakan satu kaedah permeteran bahan api ke dalam satu enjin pembakaran dalam (Internal Combustion Engine) di mana bahan api dibakar di dalam udara untuk membebaskan tenaga dalam bentuk haba dan kemudiannya bertukar kepada kerja mekanikal berdasarkan hukum gas. Proses menentukan jumlah bahan api, dan penghantarannya ke dalam enjin, dikenali sebagai permeteran bahan api. Sistem Pancitan Bahan Api yang moden menggunakan sistem yang hampir semua secara elektronik dan menggunakan satu solenoid yang elektronik (penyuntik) untuk menyuntik bahan api. Satu Pengendalian Jentera Elektronik atau ECU (Engine Control Unit) digunakan untuk menentukan jumlah bahan api untuk dipercikan oleh penyuntik (Fuel Injector) ke dalam enjin untuk dibakar. Penyuntik akan menyuntik cecair bahan bakar secara langsung ke dalam arus udara enjin. Dalam kebanyakan penggunaan sistem Pancitan Bahan Api, ia memerlukan pam luar (External Pump). Penyuntik dan Pam Luar akan saling bertindak dalam satu sistem Pancitan Bahan Api yang lengkap. Berbeza dengan penggunaan karburetor, satu karburetor mengarahkan udara induksi melalui satu

venturi, yang menghasilkan beberapa ketika perbezaan dalam tekanan udara. Sistem Pancitan Bahan Api juga menggunakan banyak sensor dalam operasinya.

2.3.3 Perbezaan Diantara sistem Pancitan Bahan Api Dengan Penggunaan Karburetor

Karburetor	Pancitan Bahan Api
Karburetor bergantung kepada ruang vakum yang dihasilkan dengan kemasukan udara untuk menambah bahan bakar ke arus udara	Bahan bakar disuntik terus ke ruang pembakaran melalui penyuntik selepas mendapat kuantiti yang diperlukan dari ECU
Aturan pada karburetor iaitu kuantiti bahan bakar dan udara perlu diselenggara selalu.	ECU mengawal sepenuhnya kuantiti bahan bakar dan udara.
Tidak menggunakan sensor dalam operasinya	Menggunakan banyak sensor dalam menjalankan operasinya

2.3.4 Jenis-Jenis Sensor Dalam Sistem Pancitan Bahan Api

Di dalam sistem Pancitan Bahan Api, terdapat banyak sensor yang diperlukan untuk menjalankan operasi. ECU (Engine Control Unit) akan mengawal kesemua sensor-sensor ini. Antara sensor-sensor di dalam sistem Pancitan Bahan Api adalah seperti berikut:

- Sensor Kemasukan Udara** : Mengesan dan memberitahu ECU jumlah kemasukan udara yang perlu ke dalam enjin
- Sensor Oksigen** : Mengesan jumlah oksigen dalam ekzos dan memberitahu kepada ECU supaya ECU dapat membuat pelarasan kepada campuran bahan api.

- Sensor Kedudukan Pendikit** : Mengawal injap kedudukan pendikit (menentukan perubahan udara masuk ke dalam enjin) dan memberitahu ECU untuk membuat penyelarasan bahan api bergantung pada jumlah udara masuk.
- Sensor Penyejuk Suhu** : Membenarkan ECU untuk menentukan enjin membuat pengendalian suhu kepada enjin
- Sensor Panca Rongga** : Mengawal tekanan udara dalam ruang kemasukan panca rongga.
- Sensor Kelajuan Enjin** : Mengesan kelajuan enjin.

2.3.5 Kelebihan penggunaan Sistem Pancitan Bahan Api

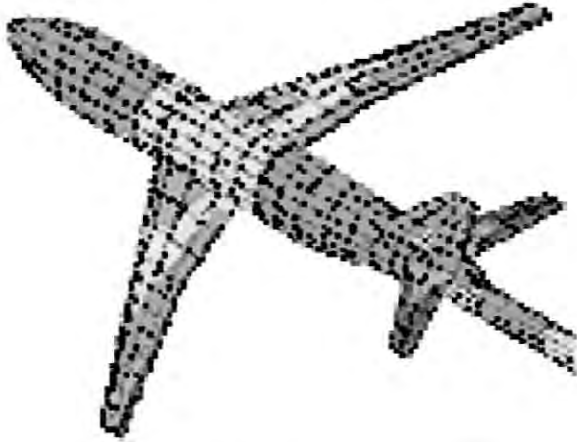
- 1) Cepat mengesan perubahan pada kedudukan Pendikit.
- 2) Sentiasa memberi campuran bahan api yang optimum
- 3) Tidak perlu selalu membuat aturan kemasukan campuran bahan api kerana semuanya dikawal oleh ECU

2.4 *Finite element analysis*

Analisis unsur Terhingga (FEA) adalah satu perisian komputer yang boleh melakukan simulasi yang digunakan dalam bidang kejuruteraan. Ia menggunakan kaedah berangka yang dipanggil Kaedah Unsur Terhingga (FEM) (*Finite Element Method*). Perisian ini juga lebih dikenali sebagai Nastran. Ianya dibangunkan oleh Richard Akhbar pada tahun 1943. Kemudian pada tahun 1956, definisi tentang analisis berangka diperluaskan lagi oleh M J Turner, R. W. Clough, H. C. Martin, dan L J Topp. Pembangunan kaedah unsur terhingga adalah berdasarkan prinsip tenaga. FEA boleh digunakan untuk mengkaji kesan pemindahan haba, dinamik bendalir dan keelektromagnetan sesuatu sistem. Oleh itu perisian ini penting untuk menjalankan analisis kepada rekabentuk enjin sendeng. Sebelum menggunakan perisian ini, satu reka bentuk yang lengkap dengan dimensi dan cantuman (assembly) perlulah disediakan. Antara contoh perisian lukisan yang boleh diaplikasikan ialah

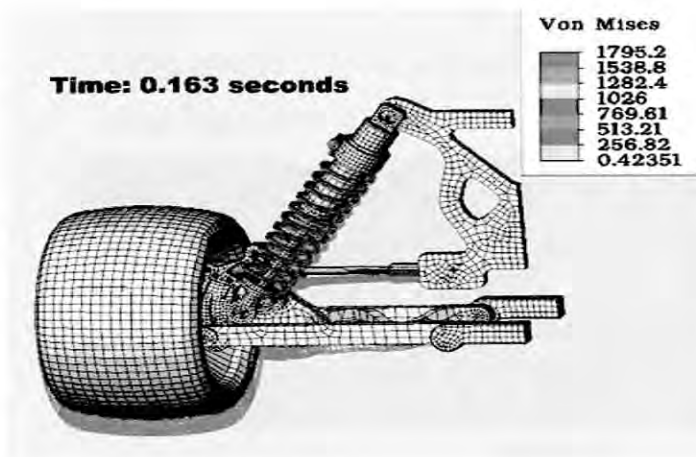
Catia dan *Solid work*. Reka bentuk ini kemudian akan di analisis menggunakan perisian FEA.

2.4.1 Contoh Penggunaan *Finite Element Analysis* (FEA)



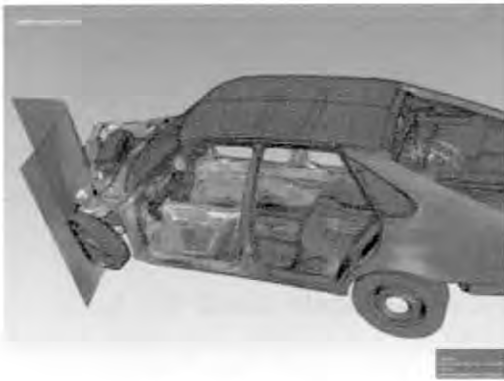
Rajah 7

Model kapal terbang di atas digunakan untuk mengkaji kesan pemindahan haba ke atas sayap.



Rajah 8

Model di atas menunjukkan juretera mengkaji kesan kinematik terhadap sistem.



Rajah 9

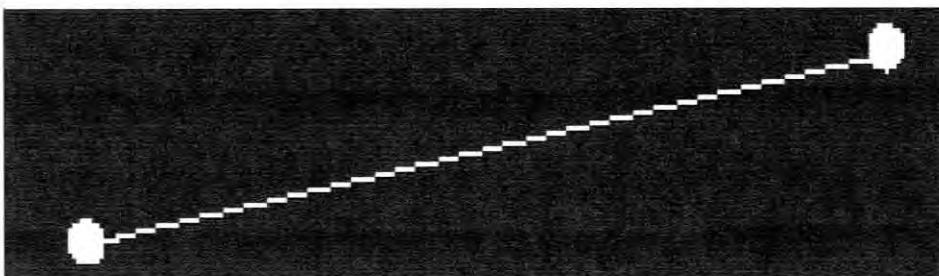
Model di atas menunjukkan perlanggaran kereta secara tidak simetri menggunakan FEA

2.4.2 Pendimensionian untuk *Finite Element*

Di dalam penggunaan *finite element analysis*, pendimensionian *finite element* terbahagi kepada tiga iaitu:

a) *1-D Line element*

Kebiasaannya *1-D line elements* digunakan untuk menunjukkan spring, *truss*, *beam* dan *pipe*.



Rajah 10

b) *2-D Plane element*

Kebiasaannya *2-D plane element* digunakan untuk menunjukkan *membrane*, *plate* dan *shell* di dalam struktur analisis