

‘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 (Struktur dan Bahan)’

Tandatangan :

Nama Penyelia : PN. RAINAH BT. ISMAIL

Tarikh : APRIL 09

EKSPERIMEN ANALISIS RAGAMAN TERHADAP KERETA PENUMPANG
KOMPAK YANG MENGGUNAKAN TANGKI NGV

MOHD AZROL HAIROMY BIN MOHD NORDIN

Laporan ini dikemukakan sebagai
memenuhi sebahagian daripada syarat penganugerahan
Ijazah Sarjana Muda Mekanikal (Struktur dan Bahan)

Fakulti Kejuruteraan Mekanikal
Universiti Teknikal Malaysia Melaka

April 2009

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

Tandatangan :

Nama penulis : MOHD AZROL HAIROMY BIN MOHD NORDIN

Tarikh : APRIL 09

DEDIKASI

Untuk bapa tercinta

Hj. Mohd Nordin B. Mohd Yunus

Serta

Adik-beradik, saudara-mara, pensyarah-pensyarah dan rakan-rakan
seperjuangan.....

PENGHARGAAN

Bersyukur kehadiran Ilahi kerana dengan limpah dan kurnia-Nya dapatlah saya menyiapkan kajian saya ini dengan sempurnanya. Saya juga bersyukur kerana sepanjang saya menuntut ilmu di Universiti Teknikal Malaysia Melaka (UTeM) dipermudahkan oleh-Nya untuk menerima ilmu yang diajari. Segala rintangan dan halangan yang dihadapi dapat dihadapi dengan tekun dan sabar.

Pertama sekali, saya ingin mengucapkan setinggi-tinggi ucapan terima kasih kepada Pn. Rainah bt Ismail dan En. Mohd Hanif selaku penyelia projek kerana dengan bantuan, sokongan dan juga kesabaran beliau dalam menyelia kajian saya ini selama lebih kurang 4 bulan ini. Saya berasa amat berbangga kerana menjadi salah seorang daripada pelajar dibawah penyeliaan beliau. Dengan pengetahuan yang beliau miliki, maka dapatlah saya menyiapkan kajian ini dengan sempurna.

Dikesempatan ini, ingin saya merakamkan ribuan terima kasih saya kepada Cik Siti Nurbayah dan pelajar-pelajar master yang banyak membantu saya dalam menyelesaikan beberapa masalah dan semasa melaksanakan eksperimen.

Akhir sekali, jutaan terima kasih saya kepada sesiapa jua individu yang membantu dan memberi pandangan-pandangan yang bernas kepada saya secara langsung ataupun tidak langsung sepanjang kajian ini dijalankan. Akhir kata, semoga laporan ini akan menjadi sumber rujukan kepada pelajar lain kelak.

ABSTRAK

Eksperimen ini dilakukan adalah untuk menghasilkan sifat dinamik seperti bentuk ragam dan nilai frekuensi diantara kereta yang menggunakan gas asli (NGV) dengan kereta yang tidak menggunakan gas asli (NGV) semasa kereta itu bergerak. Ini adalah kerana kereta yang menggunakan gas asli (NGV) terdapat tangki dibahagian belakang kenderaan tersebut berbanding dengan kereta yang tidak menggunakan gas asli (NGV). Daripada beban tangki yang dikenakan terdapat perbezaan frekuensi getaran yang dihasilkan pada kereta tersebut. Selain daripada itu, perbezaan bahan bakar kenderaan tersebut juga boleh menghasilkan frekuensi getaran yang berbeza. Experimen dan analisis akan dijalankan pada kedua-dua kereta tersebut untuk mengenalpasti frekuensi yang akan dihasilkan. Pada peringkat permulaan penyediaan kereta yang menggunakan gas asli (NGV) dengan kenderaan yang tidak menggunakan gas asli (NGV) perlu dilaksanakan. Seterusnya penyediaan kelengkapan experimen dan prosedur experimen perlu dikenalpasti sebelum menjalankan experimen. Data yang didapati daripada kedua-dua kereta tarsebut, dibandingkan bagi membuktikan kereta yang mana akan menghasilkan frekuensi getaran yang lebih tinggi apabila sesuatu kenderaan itu bergerak. Daripada perbincangan yang dilakukan, kekuatan casis kereta tersebut dapat ditentukan sama ada menggunakan gas asli (NGV) atau tidak menggunakan gas asli.

ABSTRACT

These experiment are done obtain dynamic characteristic for example natural frequency, damping ratio and mode shapes of compact passenger car with NGV tank and without NGV during car be in motion. This is because compact passenger car as NGV have tank division stated behind the compact passenger car over compact passenger car without NGV. From the burden tank am being imposed frequency had been diversity tremor produce to stated vehicle. Other than that, the different fuel also can produce difference frequency. Experimental and analysis would be carried out to all the compact passenger car to identify tremor would be produced. In the initial stage vehicle preparation with NGV and without NGV should be done first. Further preparation laboratory and equipment experiment must provide before carry out experiment. From the data obtain to both compact passenger car, therefore comparison of data can do to prove compact passenger car which will be imposed tremor frequency that the higher. From the discussion, chassis strength on compact passenger car can be decided either use NGV or not use NGV.

KANDUNGAN

BAB	PERKARA	MUKA SURAT
	PENGAKUAN	iv
	DEDIKASI	v
	PENGHARGAAN	vi
	ABSTRAK	vii
	ABSTRACT	viii
	KANDUNGAN	ix
	SENARAI RAJAH	xiii
	SENARAI JADUAL	xvi
	SENARAI SIMBOL	xviii
1	Pengenalan	1
	1.1 Pendahuluan	1

BAB	PERKARA	MUKA SURAT
	1.2	Penyataan Masalah 4
	1.3	Objektif Eksperimen 5
	1.4	Skop Eksperimen 5
2	KAJIAN ILMIAH	6
	2.1	Pengenalan Kepada Getaran 6
	2.1.1	Konsep Asas Getaran 7
	2.1.2	Jenis-Jenis Beban Dinamik 8
	2.1.3	Persamaan Pergerakan 10
	2.1.4	Bentuk Ragam (mod getaran) 12
	2.1.5	Sumber-sumber Getaran 12
	2.2	Analisis Ragaman 14
	2.3	Ciri-ciri Tindakbalas Frekuensi 15
	2.4	Kereta Penumpang Kompak 17
	2.5	Sistem Gas Asli Pada Kereta 19
	2.6	Analisis Data Eksperimen 23
	2.6.1	Penggunaan 'MATLAB' Bagi Mengubah ' <i>Variable Amplitude</i> <i>Signals</i> ' kepada frekuensi ' <i>domain</i> '. 23

BAB	PERKARA	MUKA SURAT
3	METODOLOGI	27
	3.1 Pengenalan	27
	3.2 Huraian Alatan	29
	3.2.1 Alatan Sensor dan ' <i>Digital Signal Analyzer</i> '	29
	3.2.2 Perolehan Data Dan Alatan Memproses	30
	3.2.3 Alatan Penukar Arus	31
	3.2.4 Kabel Penyambung	32
	3.3 Penyediaan Benda Kerja	33
	3.4 Procedur Eksperimen	34
4	ANALISIS DAN KEPUTUSAN	38
	4.1 Pengenalan	38
	4.2 Hasil Daripada Analisis Dan Eksperimen	39
	4.2.1 Analisis Data Menggunakan Perisian ' <i>Matlab</i> ' .	41
	4.2.2 Graf Yang Dihasilkan Selepas Melakukan ' <i>Transform</i> ' Dengan Menggunakan Perisian ' <i>Matlab</i> '.	44
	4.3 Perubahan Pada Parameter-parameter Modal	54

BAB	PERKARA	MUKA SURAT
	4.4 Perbincangan	54
5	KESIMPULAN DAN CADANGAN	56
	5.1 Kesimpulan	56
	5.2 Cadangan	58
	RUJUKAN	59
	LAMPIRAN	61

SENARAI RAJAH

BIL	PERKARA	MUKA SURAT
2.1.2 (A)	Graf Pembebanan Harmonik	8
2.1.2 (B)	Graf Pembebanan Seketika	8
2.1.2 (C)	Graf Pembebanan Tiada Pergerakan Secara Rawak	9
2.1.2 (D)	Graf Pembebanan Pergerakan Secara Rawak	9
2.2	Graf Amplitud melawan Frekuensi	10
2.3	Contoh sistem darjah kebebasan tunggal (SDOF)	11
2.4	Getaran bebas yang wujud dalam struktur tiang	12
2.5	Frekuensi tindakbalas polar koordinat	15
2.6	Perodua Kancil 850	17
2.7	Sistem Gas Asli NGV (Natural Gas Vehicle)	20
2.8	Graf yang dihasilkan daripada contoh a(i)	24
2.9	Graf yang dihasilkan daripada contoh a(ii)	25
2.10	Graf yang dihasilkan dalam contoh b	2
3.1	Carta alir menunjukkan ringkasan daripada pelaksanaan projek	28

BIL	PERKARA	MUKA SURAT
3.2	Kedudukan 'accelerometer' pada kereta	30
3.3	'Digital Signal Analyzer' (IMC)	30
3.4	Penganalisa Famos yang digunakan dalam ujikaji	31
3.5	Alatan penukar arus	32
3.6	Kabel (BNC)	32
3.7	Kereta yang menggunakan gas asli (NGV)	33
3.8	Graf 'acceleration' melawan masa,saat	36
3.9	Graf dalam bentuk dB melawan frekuensi	36
4.1	Graf yang dihasilkan daripada program	43
4.2	Graf ' <i>time history</i> ' dan ' <i>frequency spectrum, FFT</i> ' yang telah dianalisis	44
4.3	Graf ' <i>time history</i> ' dan ' <i>frequency spectrum, FFT</i> ' yang telah dianalisis	45
4.4	Graf ' <i>time history</i> ' dan ' <i>frequency spectrum, FFT</i> ' yang telah dianalisis	46
4.5	Graf ' <i>time history</i> ' dan ' <i>frequency spectrum, FFT</i> ' yang telah dianalisis	47
4.6	Graf ' <i>time history</i> ' dan ' <i>frequency spectrum, FFT</i> ' yang telah dianalisis	48

BIL	PERKARA	MUKA SURAT
4.7	Graf ' <i>time history</i> ' dan ' <i>frequency spectrum, FFT</i> ' yang telah dianalisis	49
4.8	Graf ' <i>time history</i> ' dan ' <i>frequency spectrum, FFT</i> ' yang telah dianalisis	50
4.9	Graf ' <i>time history</i> ' dan ' <i>frequency spectrum, FFT</i> ' yang telah dianalisis	51
4.10	Graf ' <i>time history</i> ' dan ' <i>frequency spectrum, FFT</i> ' yang telah dianalisis	52
4.11	Graf ' <i>time history</i> ' dan ' <i>frequency spectrum, FFT</i> ' yang telah dianalisis	53

SENARAI JADUAL

BIL	PERKARA	MUKA SURAT
2.1	Bentuk frekuensi tindakbalas yang berubah-ubah	15
2.2	Specifikasi Perodua Kancil 850	18
2.3	Kebaikkan penggunaan gas asli (NGV)	19
3.1	Halaju yang telah ditetapkan untuk mendapatkan frekuensi	34
3.2	Contoh bacaan amplitude pada Mod yang diambil	37
4.1	Perbandingan graf diantara kedua-dua kereta	39
4.2	Nilai-nilai puncak mod dan nilai frekuensi pada graf	44
4.3	Nilai-nilai puncak mod dan nilai frekuensi pada graf	45
4.4	Nilai-nilai puncak mod dan nilai frekuensi pada graf	46
4.5	Nilai-nilai puncak mod dan nilai frekuensi pada graf	47
4.6	Nilai-nilai puncak mod dan nilai frekuensi pada graf	48
4.7	Nilai-nilai puncak mod dan nilai frekuensi pada graf	49
4.8	Nilai-nilai puncak mod dan nilai frekuensi pada graf	50

BIL	PERKARA	MUKA SURAT
4.9	Nilai-nilai puncak mod dan nilai frekuensi pada graf	51
4.10	Nilai-nilai puncak mod dan nilai frekuensi pada graf	52
4.11	Nilai-nilai puncak mod dan nilai frekuensi pada graf	53

SENARAI SIMBOL

X	=	distance in x direction (m)
dx/dt	=	velocity in x direction (m/s)
d^2x/dt^2	=	acceleration in x direction (m/s ²)
$v = dx/dt$	=	velocity (m/s)
$f = d^2x/dt^2$	=	acceleration (m/s ²)
θ	=	angular rotation (radians)
$d\theta/dt$	=	angular velocity (radians /s)
$d^2\theta/dt^2$	=	angular acceleration (radians /s ²)
$\alpha = d^2\theta/dt^2$	=	angular acceleration (radians /s ²)
m	=	mass (kg)
I	=	Moment of Inertia (kg .m ²)
k	=	spring stiffness (N/m)
c	=	coefficient of viscous damping (N s /m)
c_c	=	critical damping coefficient.(N s /m)
ζ	=	Damping ratio = $c / (2 m \omega_n) = c / [2.m \sqrt{(k/m)}]$
π	=	pi
ω	=	angular velocity (radians /s)
ω_n	=	Natural frequency (radians /s)

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Pendahuluan

Bab ini akan menerangkan tentang eksperimen analisis ragaman terhadap kereta penumpang kompak yang menggunakan gas asli (NGV) sebagai bahan api. Antara pecahan tajuk yang terdapat dalam bab ini adalah pernyataan masalah, objektif dan skop.

Analisis ragaman merupakan satu kajian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat dinamik sesuatu struktur seperti nilai frekuensi tabii dan nilai puncak pada setiap mod. Eksperimen analisis ragaman atau ujian ragaman juga merupakan salah satu ujian tidak musnah yang dilakukan pada sesuatu struktur bagi mengetahui tindakbalas getaran yang dihasilkan. Eksperimen ini akan dijalankan terhadap kereta yang menggunakan gas asli (NGV) dan kereta yang tidak menggunakan gas asli (NGV) iaitu yang menggunakan petrol sebagai bahan api. Eksperimen ini akan dilakukan semasa kereta itu bergerak, bacaan frekuensi akan diambil mengikut parameter yang telah ditetapkan. Untuk mengelakkan gangguan getaran luar atau getaran yang tidak terlibat dalam eksperimen ini, berbagai-bagai aspek telah dititik beratkan terutamanya eksperimen ini dilakukan di atas jalan yang mempunyai permukaan yang rata. Jenis kereta yang sama juga digunakan bertujuan mengelakkan perbezaan getaran asal kenderaan tersebut.

Di Malaysia, secara keseluruhannya kebanyakan struktur yang direkabentuk dan dibina hanya mampu untuk memenuhi keperluan beban statik sahaja dimana pertimbangan terhadap aspek dinamik struktur tersebut kurang diberi perhatian. Ini kadang kala menimbulkan masalah kepada struktur tersebut kerana tidak semua beban yang di tanggung betul-betul statik terutama sekali struktur pada kenderaan. Oleh itu analisis ragaman perkara utama yang akan dibincangkan dalam kajian ini, perlulah difahami secara mendalam oleh jurutera mekanikal sebagai langkah memahami ciri-ciri dinamik sesuatu struktur dan mengetahui pengaruh ciri-ciri dinamik terhadap sesuatu struktur. Analisis ragaman sangat berkait rapat dengan getaran dan ianya merupakan suatu kajian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat dinamik sesuatu struktur seperti frekuensi tabii, bentuk ragam dan nisbah redaman. (Agilent Technologies, USA, 2000).

Sebenarnya, analisis ragaman telah lama dipraktikkan di dalam bidang kejuruteraan terutamanya di dalam kejuruteraan mekanikal kerana pada dasarnya, kajian yang dilakukan dalam kejuruteraan mekanikal banyak melibatkan getaran dinamik sesuatu struktur. Perbezaan yang ketara antara kedua-dua bidang kejuruteraan mekanikal dan kejuruteraan awam dalam mengaplikasikan analisis ragaman dalam kejuruteraan mekanikal analisis ragaman dilakukan terhadap struktur yang telah siap dibina dan tidak pada model struktur prototaip terlebih dahulu seperti yang dipraktikkan dalam kejuruteraan mekanikal.

Semasa peringkat rekabentuk, jurutera mekanikal akan menyediakan satu prototaip model struktur yang akan dibina dan diuji secara bersiri dengan ujian-ujian dinamik sebelum pembinaan struktur sebenar dilakukan. Oleh sebab itu kebanyakan struktur yang diuji di dalam kejuruteraan awam mempunyai frekuensi tabii yang lebih rendah berbanding dengan struktur yang diuji di dalam kejuruteraan mekanikal.

Frekuensi yang terhasil adalah disebabkan oleh getaran. Frekuensi adalah jumlah putaran lengkap terhasil dalam masa satu saat dan diukur dalam unit *Hertz* (Hz). Getaran pula sebenarnya boleh didefinisikan sebagai hayunan atau boleh dikaitkan

dengan pergerakan sesuatu zarah seperti zarah-zarah dalam udara dimana pusat keseimbangannya telah terganggu. Ianya merupakan gerakan dalam satu arah tetapi pergerakannya adalah secara berulang-alik atau rawak. Getaran yang menghasilkan kesan dinamik pada struktur amatlah digeruni kerana impaknya terhadap struktur akan menyebabkan struktur itu rosak jika terdapat beban yang berlebihan dikenakan.

Perkara utama yang perlu dititikberatkan dalam menganalisis dan menentukan kesan getaran dan kesan dinamik terhadap struktur kejuruteraan adalah dengan mengkaji sifat struktur tersebut semasa resonan berlaku. Ini kerana frekuensi tabii getaran sesuatu struktur adalah berkait rapat dengan frekuensi resonan struktur tersebut. Sekiranya sesuatu struktur itu didedahkan kepada getaran pada frekuensi tabiinya, maka anjakan atau sesaran akan berlaku pada struktur itu. Oleh itu, daya yang wujud pada kerangka dan sambungan struktur akan semakin bertambah disebabkan oleh sesaran yang berlaku.

Melalui analisis ragaman, dengan menggunakan kaedah-kaedah seperti kaedah getaran paksa dan kaedah getaran sekitar, kesan akibat daripada getaran dapat memberikan tiga perkara paling penting dalam kajian sesuatu struktur iaitu frekuensi tabii, bentuk ragam dan nisbah redaman. Ketiga-tiga perkara ini adalah ciri-ciri dinamik yang saling berkait rapat antara satu sama lain. Untuk setiap bentuk ragam, sesuatu struktur itu akan bergetar dengan bentuk ragam yang tersendiri. Selepas itu, kesan getaran akan hilang secara beransur-ansur disebabkan oleh nisbah redaman atau faktor kelembapan yang mengurangkan tenaga yang dihasilkan oleh getaran tersebut secara beransur-ansur.

Analisis ragaman sebenarnya adalah sebahagian daripada intipati pemantauan kekuatan struktur yang merupakan perkara yang paling penting dalam sesuatu kajian pada masa kini dan semakin mendapat tempat dikalangan para pengkaji dan agensi-agensi kerajaan di seluruh dunia. Ianya menitikberatkan kepada soal keselamatan infrastruktur-infrastruktur kejuruteraan mekanikal seperti kenderaan penumpang, jambatan, angkasa lepas, industri penerbangan dan industri pembuatan yang melibatkan

kejuruteraan mekanikal. Pemantauan kekuatan sesuatu struktur sebenarnya telah berkembang daripada pemantauan kepada sesuatu yang lebih ke hadapan seperti pengumpulan data unsur-unsur kritikal dalam sesuatu struktur. (Brownjohn, 2004).

1.2 Penyataan Masalah

Kenaikan harga minyak telah memberikan kesan terhadap rakyat Malaysia terutamanya yang menggunakan kenderaan sendiri untuk urusan harian. Dengan itu, penggunaan bahan api gas asli (NGV) telah mendapat sambutan oleh pengguna kereta di Malaysia. Dengan kadar jualan yang murah, penukaran kepada bahan api ini semakin meningkat dari semasa ke semasa. Disebalik kebaikannya terdapat juga masalah yang dihadapi oleh pengguna yang menggunakan bahan api ini, iaitu tangki NGV yang terdapat dibahagian belakang kenderaan tersebut. Ini adalah kerana beban yang besar pada tangki tersebut mengakibatkan kesan getaran yang tinggi. Selain itu ruang yang digunakan untuk pemasangan tangki telah menghadkan penggunaan sebenar pada ruang belakang kereta tersebut. Di dalam eksperimen ini perkara utama yang akan diberi perhatian adalah mengenai casis kereta terhadap tindakbalas getaran yang dialaminya. Dalam pemantauan kekuatan struktur, analisis ragam sebenarnya diaplikasikan untuk menentukan kerosakan yang akan berlaku terhadap sesuatu struktur akibat daripada sumber-sumber beban statik atau dinamik. Di dalam analisis ragam ini, beban statik telah dikenakan terhadap casis kereta. Ini kerana, pada masa kini pemantauan terhadap tahap keselamatan struktur kejuruteraan mekanikal kurang diberi perhatian. Perhatian yang serius biasanya hanya dilakukan selepas struktur itu rosak, bukan sebelum kerosakan itu berlaku. Oleh sebab penggunaan bahan api ini adalah baru dipasaran kerosakkan pada casis kereta yang disebabkan oleh beban tangki NGV ini masih belum didapati tetapi terdapat keluhan daripada penggunaanya terhadap tindakbalas getaran yang dihasilkan. Selain daripada beban tangki kecekapan pembakaran bahan api ini juga adalah salah satu sebab tindakbalas getaran yang tinggi dihasilkan pada kereta yang menggunakannya. Oleh itu, dalam kajian ini, permasalahan tersebut akan dikupas dengan

lebih mendalam lagi dengan cara melakukan eksperimen dan analisis ragam terhadap casis kereta tersebut. Pengkajian terhadap sifat-sifat dinamik casis kereta tersebut akan didedahkan kepada umum sebagai langkah untuk memberi pemahaman mengenai perubahan yang berlaku terhadap kereta yang menggunakan sistem bahan api NGV.

1.3 Objektif Eksperimen

Objektif projek ini adalah untuk memperolehi sifat-sifat dinamik sesuatu struktur seperti frekuensi tabii, bentuk ragam dan nisbah redaman terhadap kereta penumpang kompak yang menggunakan tangki gas asli (NGV) dan yang tidak menggunakan gas asli (NGV) dengan menggunakan eksperimen analisis ragam.

1.4 Skop Eksperimen

- a. Mengkaji dan mempelajari kesan getaran yang disebabkan oleh tangki gas asli (NGV) terhadap kereta penumpang kompak.
- b. Memperolehi sifat-sifat dinamik yang terdapat pada kereta yang menggunakan NGV dengan kereta yang tidak menggunakan NGV.
- c. Menganalisis iaitu melakukan perbandingan terhadap keputusan dari kedua-dua kereta tersebut.

BAB 2

KAJIAN ILMIAH

Kajian ilmiah adalah terdiri daripada berbagai-bagai aspek mengenai eksperimen analisis ragam terhadap kereta penumpang kompak yang menggunakan tangki gas asli (NGV) dengan kereta yang tidak menggunakan tangki NGV.

2.1 Pengenalan Kepada Getaran

Getaran sebenarnya bukanlah sesuatu perkara yang asing dalam kehidupan seharian kita. Dari segi teori, ianya merupakan pergerakan atau putaran suatu sistem mekanikal yang berpusat pada satu titik rujukan. Sejak dari dahulu lagi, ramai ahli sains seperti Aristotle mencari hubungan yang dapat dibuat melalui hukum fizik sehinggalah muncul Hukum Newton yang dapat menyatakan hubungan yang dapat dihasilkan daripada pergerakan atau dinamik yang dipanggil Hukum Asas Newton. Sebenarnya, kajian mengenai sifat-sifat atau ciri-ciri dinamik di dalam sesuatu sistem fizik adalah penting dalam dunia kejuruteraan kita yang semakin moden. Dalam kejuruteraan mekanikal, kajian-kajian seperti ini menjadi semakin penting dan semakin pesat dibangunkan semenjak Hukum Hooke yang menerangkan tentang keanjalan telah diperkenalkan oleh Robert Hooke (1676). Beliau telah menghubungkaitkan antara frekuensi dan kelangsingan. Begitu juga dengan Euler (1744) dan Bernoulli (1751) di

mana kedua-duanya telah memperkenalkan hukum keseimbangan tenaga sebagai perkara asas di dalam pengiraan mereka. Muncul juga ahli matematik seperti G.R Kirchoff (1824 –1887) dan SID Poisson (1781–1840) di mana mereka telah melakukan beberapa kajian terhadap struktur besi.

2.1.1 Konsep Asas Getaran

Getaran juga boleh didefinisikan sebagai ayunan yang dapat menggambarkan sifat-sifat dinamik. Apabila sesuatu sistem dikenakan daya samada dari dalam atau luar, yang disebabkan oleh sifat keanjalan atau tarikan graviti, maka sistem tersebut akan berayun dalam mod arah pergi dan balik. Akan tetapi, sistem ini masih lagi cuba untuk mengekalkan kedudukan keseimbangannya di dalam paksinya yang tersendiri. Ini juga boleh diungkapkan sebagai pengumpulan bahagian-bahagian daya yang tertentu untuk bertindak secara menyeluruh.

Pada ketika ini, sistem tersebut yang cuba untuk mengekalkan keadaan keseimbangan pada paksinya, akan menghasilkan magnitud getaran yang berbeza-beza dengan darjah getaran yang pelbagai dari satu titik ke satu titik. Keadaan ini sebenarnya berlaku dalam struktur kejuruteraan awam dimana akibat daripada proses keseimbangan ini, ianya akan membawa kepada berlakunya keadaan yang paling digeruni oleh kebanyakan jurutera awam iaitu '*resonans*'. '*Resonans*' berlaku disebabkan oleh frekuensi yang terhasil akibat daripada daya yang dikenakan berada pada tahap yang lebih rendah berbanding dengan frekuensi getaran struktur tersebut (R.E.D Bishop, 1979).