



PUSAT PENGAJIAN KEJURUTERAAN MEKANIK
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA
KAMPUS CAWANGAN PERAK

**ANALISIS GETARAN
MENGUNAKAN PERISIAN UNSUR TERHINGGA:
“Analisis Kestabilan Brek Cakera”**

DISEDIAKAN OLEH:

MOHD SYARIFUDDIN BIN MOHD (46363)

PENYELIA :

DR. ZAIDI BIN MOHD RIPIN

Disertasi ini dikemukakan kepada

Universiti Sains Malaysia

Sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat keperluan untuk ijazah
dengan kepujian

SARJANA MUDA KEJURUTERAAN MEKANIK

Abstrak

Dalam mengkaji kestabilan brek cakera, satu model unsur terhingga untuk pad-cakera yang digabungkan dibina. Kemudian, analisi modal dijalankan untuk setiap komponen untuk memastikan kesamaan model dengan analisis yang dirujuk. Selepas model disahkan, analisis seterusnya (analisis kestabilan) dijalankan berdasarkan nilai eigen kompleks. Model tersebut didapati tidak stabil apabila parameter diubah iaitu kekakuan sentuhan. Oleh itu, analisis seterusnya dijalankan untuk cakera berpengudaraan untuk mengkaji kesan rekabentuk rotor kepada kestabilan.

Jadual Kandungan

Abstrak		i
Jadual Kandungan		ii
Senarai Rajah dan Jadual		iv
Penghargaan		vi
Objektif		vii
Bab 1	Pengenalan	1
Bab 2	Kajian Ilmiah	3
	2.1 Pengenalan	
	2.2 Definisi	
	2.3 Model Hingar	
	2.3.1 Kepelbagaian Geseran	
	2.3.2 <i>Stick-slip</i>	
Bab 3	Analisis Mod	8
	3.1 Pengenalan	
	3.2 Metodologi	
	3.3 Analisis Nilai Eigen Untuk Cakera	
	3.3.1 Pemodelan Cakera	
	3.3.2 Bentuk Mod	
	3.3.3 Keputusan	
	3.4 Analisis Nilai Eigen Untuk Pad	
	3.4.1 Pemodelan Pad	
	3.4.2 Bentuk Mod	
	3.4.3 Keputusan	
	3.5 Perbincangan	
Bab 4	Analisis Kestabilan	26
	4.1 Pengenalan	
	4.2 Kriteria Kestabilan	
	4.2.1 Routh-Hurwitz	
	4.2.2 Nilai Eigen Kompleks	
	4.3 Metodologi	
	4.3.1 Pemalar	
	4.3.2 Daya Teragih	
	4.3.3 Elemen Penggabungan	
	4.3.4 Matriks Kekakuan	
	4.3.5 Penyelesaian	
	4.4 Keputusan	
	4.5 Perbincangan	

Bab 5	Kesan Rekabentuk Rotor	38
	5.1 Pengenalan	
	5.2 Metodologi	
	5.3 Analisis Mod	
	5.3.1 Pemodelan Semula Unsur Terhingga	
	5.3.2 Bentuk Mod	
	5.3.3 Keputusan	
	5.4 Analisis Kestabilan	
	5.4.1 Parameter-parameter	
	5.4.2 Keputusan	
	5.5 Perbincangan	
Bab 6	Kesimpulan	43
	6.1 Kesimpulan	
	6.2 Cadangan Untuk Kerja Akan Datang	
Rujukan		viii
Lampiran 1		ix
Lampiran 2		xxviii

Senarai Rajah dan Jadual

- Rajah 2.1:** Model 1-DOF dengan kepelbagaian geseran.
- Rajah 2.2:** Perhubungan $\mu - v$ yang menunjukkan koefisien geseran berkurang dengan pertambahan halaju.
- Rajah 2.3:** Rajah badan bebas.
- Rajah 2.4:** Model *stick-slip* (1-DOF)
- Rajah 3.1:** Lukisan keratan rentas cakera dengan dimensi.
- Rajah 3.2:** Model unsur terhingga cakera.
- Rajah 3.3 (a):** Bentuk mod diametrikal kedua pada 1145 Hz.
- Rajah 3.3 (b):** Bentuk mod diametrikal ketiga pada 1961 Hz.
- Rajah 3.3 (c):** Bentuk mod diametrikal keempat pada 3137 Hz.
- Rajah 3.3 (d):** Bentuk mod diametrikal kelima pada 4658 Hz.
- Rajah 3.3 (e):** Bentuk mod diametrikal keenam pada 6517 Hz.
- Rajah 3.3 (f):** Bentuk mod diametrikal ketujuh pada 8704 Hz.
- Rajah 3.3 (g):** Bentuk mod diametrikal kelapan pada 11215 Hz.
- Rajah 3.4:** Lukisan pad dengan dimensi.
- Rajah 3.5:** Model unsur terhingga untuk pad.
- Rajah 3.6 (a):** Mod pertama pada 2850 Hz.
- Rajah 3.6 (b):** Mod kedua pada 4935 Hz.
- Rajah 3.6 (c):** Mod ketiga pada 6284 Hz.
- Rajah 3.6 (d):** Mod keempat pada 7763 Hz.
- Rajah 3.6 (e):** Mod kelima pada 8197 Hz.
- Rajah 3.6 (f):** Mod keenam pada 9935 Hz.
- Rajah 3.6 (g):** Mod ketujuh pada 11320 Hz.

- Rajah 3.6 (h):** Mod kelapan pada 12033 Hz.
- Rajah 3.6 (i):** Mod kesembilan pada 12174 Hz.
- Rajah 3.7 (a):** Perbezaan frekuensi untuk cakera.
- Rajah 3.7 (b):** Perbezaan frekuensi untuk pad.
- Rajah 4.1:** Model yang diaplikasikan dan perhubungan $\mu - v$.
- Rajah 4.2:** Anjakan melawan masa ($c > 0.2*N$).
- Rajah 4.3:** Model gabungan pad-cakera.
- Rajah 4.4:** Plot s-plane dengan $MU = 0.25$ dan $KTOT = 1.2E6$ N/m.
- Rajah 4.5:** Plot s-plane dengan $MU = 0.3$ dan $KTOT = 1.2E6$ N/m.
- Rajah 4.6:** Plot s-plane dengan $MU = 0.35$ dan $KTOT = 1.2E6$ N/m.
- Rajah 4.7:** Plot s-plane dengan $MU = 0.4$ dan $KTOT = 1.2E6$ N/m.
- Rajah 4.8:** Plot s-plane dengan $KTOT = 12E6$ N/m dan $MU = 0.3$.
- Rajah 4.9:** Plot s-plane dengan $KTOT = 120E6$ N/m dan $MU = 0.3$.
- Rajah 5.1:** Model unsur terhingga untuk cakera berpengudaraan.
- Rajah 5.2:** Model gabungan pad-cakera (cakera berpengudaraan).
- Rajah 5.3:** Plot s-plane untuk model gabungan pad-cakera (cakera berpengudaraan).
- Jadual 5.1:** Nilai eigen untuk cakera berpengudaraan.

Penghargaan

Pertama sekali, saya mengucapkan ribuan terima kasih kepada Dr. Zaidi Mohd Ripin kerana menolong dan memantau saya dalam menyiapkan Projek Tahun Akhir. Kemudian, terima kasih ditujukan kepada keluarga tersayang. Kepada para sahabat, terima kasih untuk segala memori.

Objektif

Tujuan utama projek ini adalah untuk menjalankan beberapa analisis kestabilan ke atas sistem brek cakera berdasarkan kepada eigenvalue kompleks. Berdasarkan kepada perkara ini, objektif projek adalah:

- Membina satu model unsur terhingga yang ringkas untuk mewakili sistem brek cakera.
- Menjalankan modal analisis untuk setiap komponen untuk pengesahan model.
- Menjalankan analisis kestabilan untuk sistem tersebut.
- Menjalankan analisis kestabilan untuk sistem dengan cakera berongga.

BAB 1: Pengenalan

Hari ini, hingar brek adalah satu daripada kriteria yang dipertimbangkan dalam merekabentuk sistem brek. Walaupun ia bukanlah kriteria utama, tetapi tujuan menghapuskan hingar tersebut adalah berkait rapat dengan keselesaan penumpang kereta. Untuk menjadikan perniagaan berdaya saing, pengeluar perlulah peka ke atas masalah ini.

Pada awalnya, hingar brek adalah tidak penting kerana taraf hingar yang tinggi oleh keseluruhan kereta tersebut. Ketika teknologi membangun, pengeluar telah mempertingkatkan rekabentuk kereta terutamanya enjin dan sistem penghantaran kuasa. Tambahan lagi, kereta tersebut direkabentuk dengan sifat aerodinamik yang bagus. Dengan ini, penumpang akan menjadi lebih sensitif terhadap hingar brek.

Secara amnya, terdapat dua jenis getaran dalam sistem brek cakera. Mereka ialah getaran berfrekuensi rendah dan getaran berfrekuensi sederhana-tinggi. Getaran berfrekuensi berlaku dalam julat 100 hingga 1000 Hz. ia dapat dirasakan oleh kaki atau tangan pemandu. Penyebab getaran ini ini ialah kepelbagaian dimensi komponen brek seperti kepelbagaian ketebalan rotor, kekurangan keselarian pada rotor atau pad dan *distortion* pada bolt atau cakera [8]. Penyebab lain ialah kepelbagaian dimensi seperti ketebalan rotor disebabkan oleh kesan haba atau perpindahan bahan geseran dalam kuantiti yang banyak ke permukaan rotor. Manakala, getaran berfrekuensi sederhana-tinggi berlaku dalam julat 1000 hingga 18000 Hz yang juga dikenali sebagai squeal. Mereka selalunya disertai dengan getaran diametrikal berterusan pada rotor dan

mungkin juga disebabkan oleh getaran gabungan pad-shoe dalam mod lenturan dan mod putaran.

BAB 2: Kajian Ilmiah

2.1 Pengenalan

Dalam kajian awal, hingar brek telah dikenalpasti mempunyai hubung kait dengan perhubungan $\mu - v$ [1], di mana nilai μ berubah dengan halaju gelongsuran bahan geseran. Selepas beberapa tahun, dapat dilihat hubungan tersebut tidak mencukupi untuk menerangkan fenomena hingar. Dalam kata lain, hingar masih berlaku apabila μ kekal malar. Oleh itu, kajian-kajian lain telah dijalankan dan adalah jelas bahawa perhubungan $\mu - v$ dan parameter struktur adalah penyumbang utama kepada penghasilan hingar.

2.2 Definisi

Secara amnya, getaran yang disebabkan oleh ketidakstabilan, boleh dikelaskan mengikut frekuensi mereka. Mereka adalah [6];

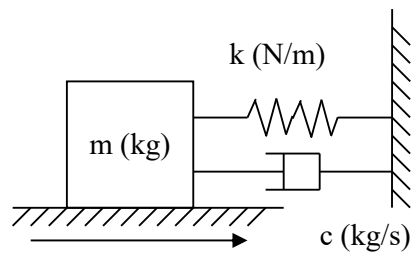
- (i) < 25 Hz. Getaran ini dikenali sebagai *judder* yang berlaku pada frekuensi yang rendah.
- (ii) $100 - 400$ Hz. Getaran ini dikenali sebagai *hum* di mana getaran sinusoidal ini adalah tak bergantung kepada halaju.
- (iii) $1300 - 2600$ Hz. Getaran ini dikenali sebagai hingar berfrekuensi rendah yang digambarkan oleh perbezaan amplitud getaran.
- (iv) $3000 - 15000$ Hz. Getaran ini dikenali sebagai *squeak* yang digambarkan oleh perbezaan amplitud getaran.

- (v) $> 20\,000$ Hz. Getaran ini dikenali sebagai *wire brush* dengan mod getaran yang kompleks.

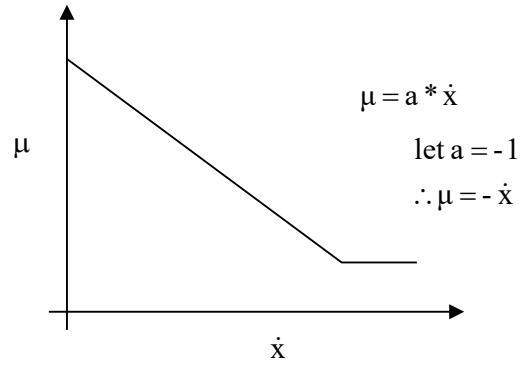
2.3 Model Hingar

2.3.1 Kepelbagaian Geseran

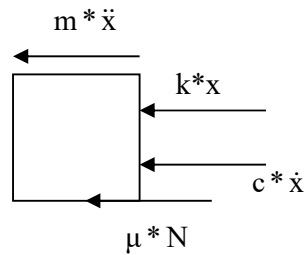
Untuk model ini, sistem 1-DOF digunakan seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.1. Tujuan menerangkan model ini adalah untuk menunjukkan perhubungan parameter-parameter (seperti m , k , c dan μ) dalam persamaan dinamik. Model ini memperkenalkan μ sebagai satu fungsi masa [9] kerana dalam dunia sebenar, ia berbeza mengikut masa. Perhubungan ini ditunjukkan dalam Rajah 2.2. Rajah 2.3 menunjukkan gambarajah badan bebas model tersebut dalam keadaan dinamik.



Rajah 2.1: Model 1-DOF dengan kepelbagaian geseran.



Rajah 2.2: Perhubungan $\mu - v$ yang menunjukkan koefisien geseran berkurang dengan pertambahan halaju.



Rajah 2.3: Rajah badan bebas.

Oleh itu, satu persamaan yang sesuai telah diterbitkan untuk menerangkan model ini;

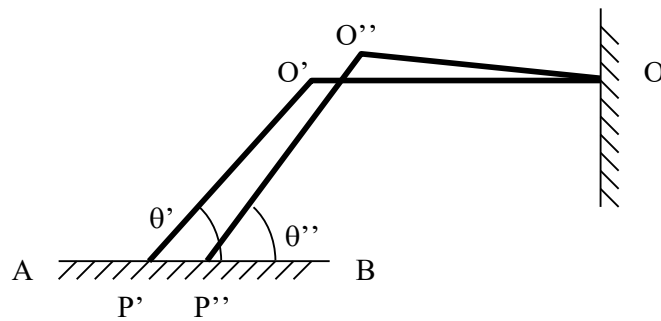
$$m * \ddot{x} + c * \dot{x} - \mu * N * \dot{x} + k * x = 0$$

$$\therefore m * \ddot{x} + (c - \mu * N) * \dot{x} + k * x = 0$$

Pers. 2.1

2.3.2 *Stick-slip*

Rajah 2.4 menunjukkan satu model penggelungsur *exciter* melawan permukaan rata. Tujuan pembinaan model ini adalah untuk menerangkan bagaimana ia menyumbang kepada penghasilan getaran.



Rajah 2.4: Model *stick-slip* (1-DOF)

Untuk model ini, satu persamaan yang bersesuaian telah diterbitkan untuk menerangkan model ini [6];

$$F = \frac{\mu * L}{1 - \mu * \tan \theta} \quad \text{Pers. 2.2}$$

di mana;

F = daya geseran

μ = koefisien geseran

L = beban yang dikenakan

Walaupun nilai F berkait rapat dengan nilai μ , tetapi masih terdapat satu lagi perhubungan yang disebabkan oleh kepelbagaian nilai θ . Dalam keadaan awal gerakan, sudut rangka tersebut ialah θ' . Ia bertambah apabila permukaan AB bergerak (ke arah kanan) yang bermaksud tiada gelungsuran berlaku. Selepas melentur, tenaga elastik dalam rangka tersebut menjadi cukup untuk menolak semula rangka tersebut ($O'' - P''$) ke keadaan asal, oleh itu gelungsuran berlaku. Fenomena ini berlaku lagi dan lagi menyebabkan getaran terhasil. Pada ketika $\mu = \cot \theta$, ketidakstabilan berlaku kerana nilai F menjadi infiniti.

BAB 3: Analisis Mod

3.1 Pengenalan

Dalam bab ini, langkah yang penting adalah membina dan mengesahkan model unsur terhingga untuk komponen-komponen brek iaitu cakera dan pad. Analisis mod dilakukan untuk mengetahui frekuensi asli mereka dalam keadaan bebas. Kemudian, keputusan dibandingkan dengan analisis rujukan. Terdapat beberapa andaian dan kekangan [7] untuk analisis ini iaitu:

- Struktur tersebut mempunyai kesan kekakuan dan jisim yang malar.
- Tidak terdapat redaman.
- Struktur tersebut tidak mempunyai daya, anjakan, tekanan atau suhu dalam fungsi masa (getaran bebas).

3.2 Metodologi

Untuk tujuan membina model unsur terhingga, ANSYS 5.4 digunakan. Dalam analisis tersebut, frekuensi asli dan bentuk mod diambil dan ditunjukkan dalam sub-seksyen masing-masing. Redaman diabaikan kerana sumbangannya adalah hanya 1 – 2 peratus daripada frekuensi asli dalam struktur logam [9]. Keputusan dibandingkan dengan analisis sedia ada yang hampir sama dengan analisis ini.

Analisis ini dijalankan secara berasingan dan digabungkan bersama untuk analisis seterusnya (dalam Bab 4). Model yang diringkaskan dipilih untuk menjimatkan masa kerana masa analisis mempunyai signifikan dan perlu diambil kira. Analisis ini

memperkenalkan kaedah substruktur untuk mengurangkan bilangan darjah kebebasan dan masa analisis [9].

3.3 Analisis Nilai Eigen Untuk Cakera

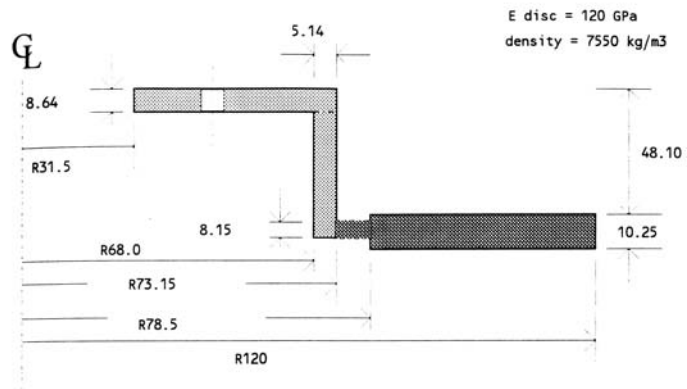
3.3.1 Pemodelan Cakera

Dimensi cakera ditunjukkan dalam Rajah 3.1. Oleh kerana model yang diringkaskan dipilih, hanya bahagian yang berlorek dipertimbangkan ke dalam pemodelan unsur terhingga.

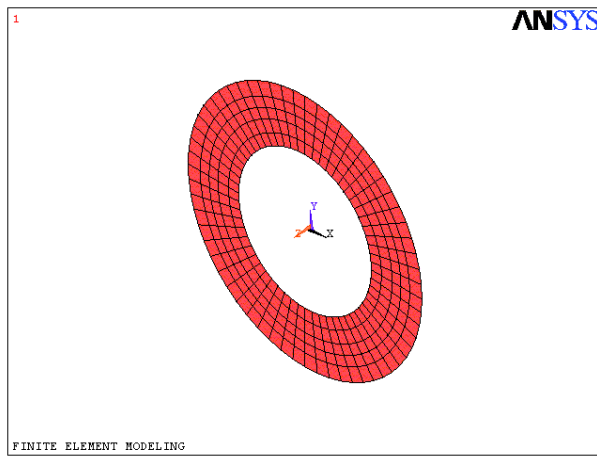
Untuk cakera ini, elemen 3-D dengan 4 nod digunakan dan dikenali sebagai SHELL63 dalam sistem penamaan ANSYS. Elemen ini sesuai untuk model yang diringkaskan berbanding dengan elemen bata dengan 8 nod. Tujuan pemilihan elemen ini adalah untuk mengurangkan masa pengiraan yang dikenalpasti mempunyai signifikan.

Modulus Young untuk cakera ialah 120 GPa dan ketumpatannya ialah 7550 kg/m³.

Satu perkara yang perlu diberi perhatian dalam pemodelan ini ialah definisi sudut. Ia adalah saiz sudut untuk elemen tersebut dan ditetapkan kepada 6°. Terdapat sedikit perbezaan dalam keputusan untuk nilai sudut yang berlainan. Walaupun ia adalah kurang penting jika dibandingkan dengan masa pengiraan, tetapi apabila nilai sudut berkurang, ketepatan menjadi bertambah. Elemen jejarian ditetapkan kepada empat elemen seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3.2.



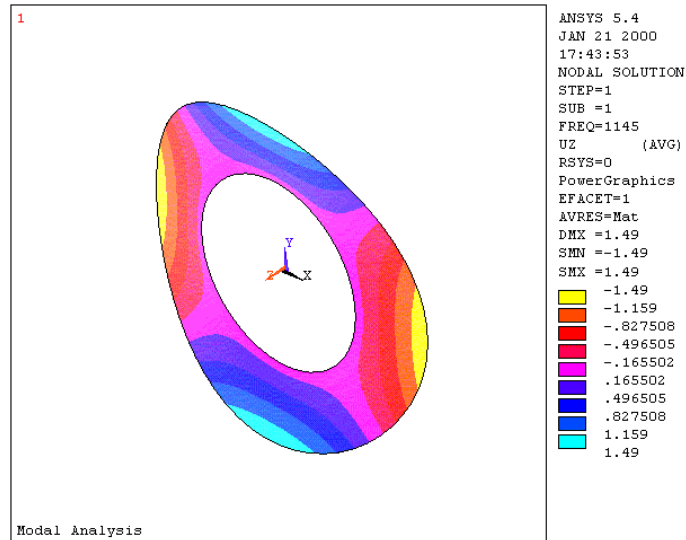
Rajah 3.1: Lukisan keratan rentas cakera dengan dimensi.



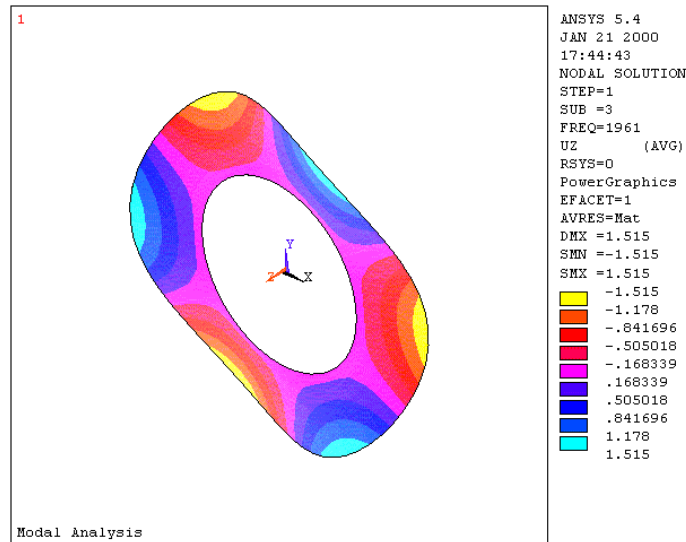
Rajah 3.2: Model unsur terHINGGA cakera.

3.3.2 Bentuk Mod

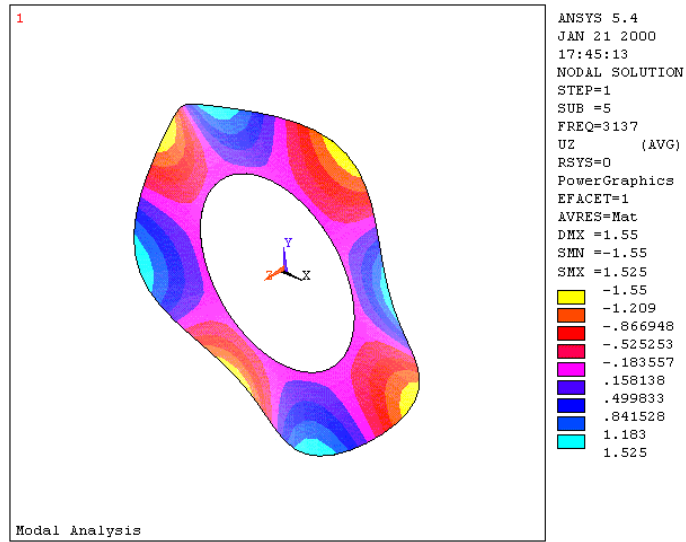
Rajah 3.3 (a) hingga Rajah 3.3 (g) menunjukkan bentuk-bentuk mod cakera.



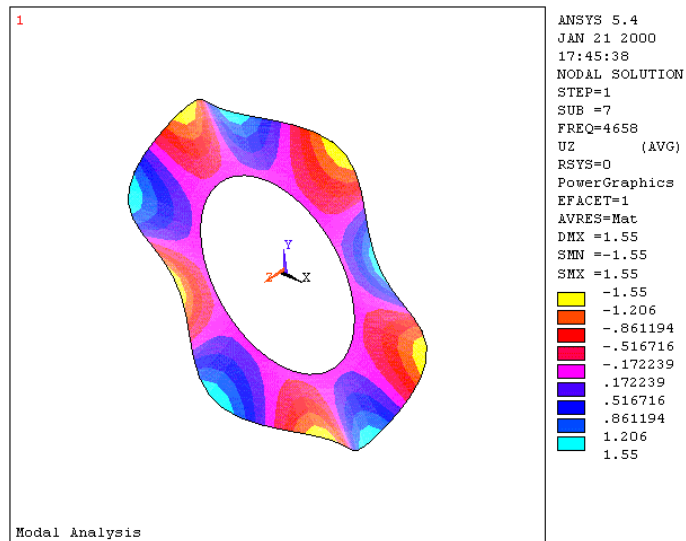
Rajah 3.3 (a): Bentuk mod diametrikal kedua pada 1145 Hz.



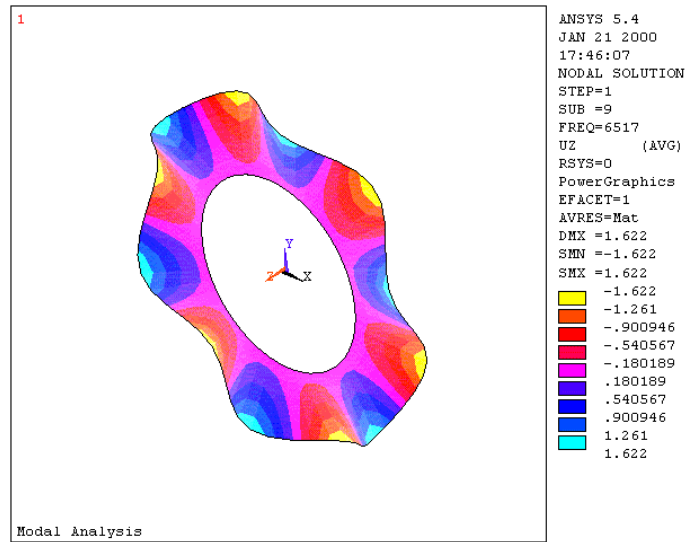
Rajah 3.3 (b): Bentuk mod diametrikal ketiga pada 1961 Hz.



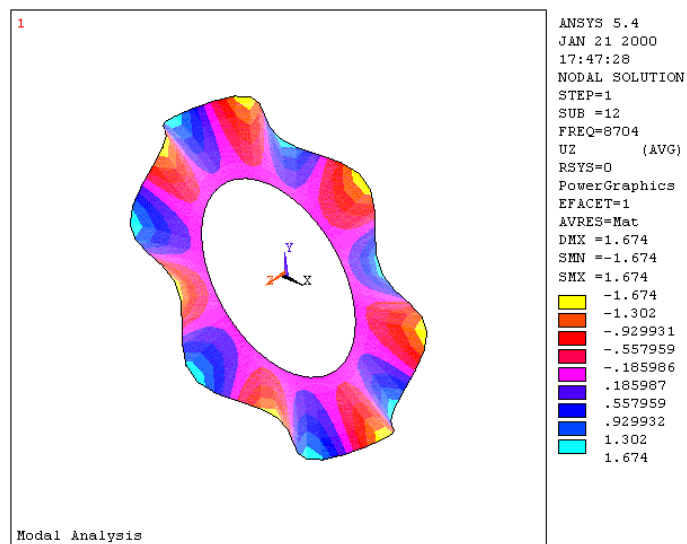
Rajah 3.3 (c): Bentuk mod diametrikal keempat pada 3137 Hz.



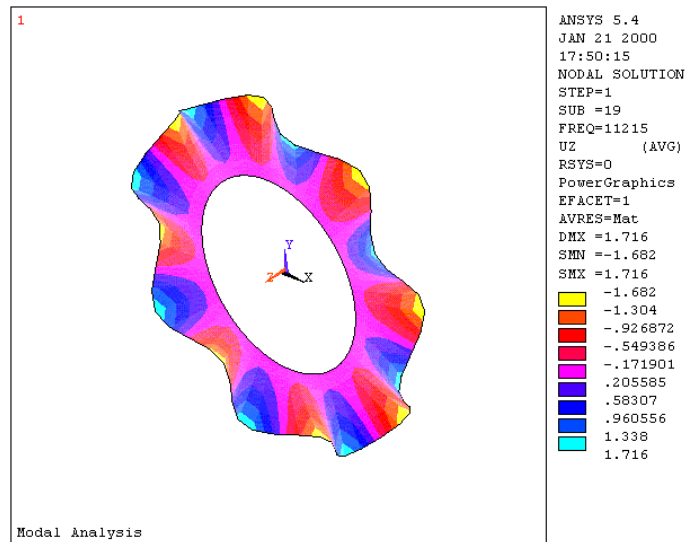
Rajah 3.3 (d): Bentuk mod diametrikal kelima pada 4658 Hz.



Rajah 3.3 (e): Bentuk mod diametrikal keenam pada 6517 Hz.



Rajah 3.3 (f): Bentuk mod diametrikal ketujuh pada 8704 Hz.



Rajah 3.3 (g): Bentuk mod diametrikal kelapan pada 11215 Hz.

3.3.3 Keputusan

Analisis mod untuk cakera memberi hasil banyak mod dalam julat 1000 hingga 14000 Hz. Walaubagaimanapun, terdapat hanya tujuh mod diametrikal. Rajah 3.3 (a) hingga Rajah 3.3 (g) menunjukkan bentuk mod dengan kontur. Kontur tersebut adalah anjakan dalam paksi-z.

Berdasarkan kepada analisis tersebut, mod pertama berlaku pada frekuensi 1145 Hz. Rajah 3.3 (a) menunjukkan anjakan dengan jelas. Terdapat 4 nod dan 4 anti-nod yang memberi bukti bahawa mod tersebut adalah mod diametrikal kedua.

Rajah 3.3 (b) menunjukkan anjakan mod kedua yang berlaku pada frekuensi 1961 Hz. Terdapat 6 nod dan 6 anti-nod yang menunjukkan ia adalah mod diametrikal ketiga.

Rajah 3.3 (c) menunjukkan kontur anjakan mod ketiga. Ia berlaku pada frekuensi 3137 Hz. Terdapat 8 nod dan 8 anti-nod yang menggambarkan dengan jelas bahawa ia adalah mod diametrikal keempat.

Mod keempat ditunjukkan dalam Rajah 3.3 (d) yang berlaku pada frekuensi 4658 Hz. Kontur menunjukkan dengan jelas bahawa ia adalah mod diametrikal kelima dengan 10 nod dan 10 anti-nod.

Mod kelima berlaku pada frekuensi 6517 Hz seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3.3 (e). Rajah tersebut menunjukkan terdapat 12 nod dan 12 anti-nod yang menggambarkan bahawa ia adalah mod diametrikal keenam.

Terdapat 14 nod dan 14 anti-nod seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3.3 (f) untuk mod keenam. Ia adalah jelas bahawa mod tersebut adalah mod diametrikal ketujuh yang berlaku pada frekuensi 8704 Hz.

Akhir sekali, mod ketujuh yang berlaku pada frekuensi 11215 Hz. Kontur anjakan ditunjukkan dalam Rajah 3.3 (g). Terdapat 16 nod dan 16 anti-nod yang menunjukkan bahawa ia adalah mod diametrikal kelapan.

Secara amnya, ciri mod diametrikal kekal dengan mempunyai jarak yang sama antara nod dan anti-nod.

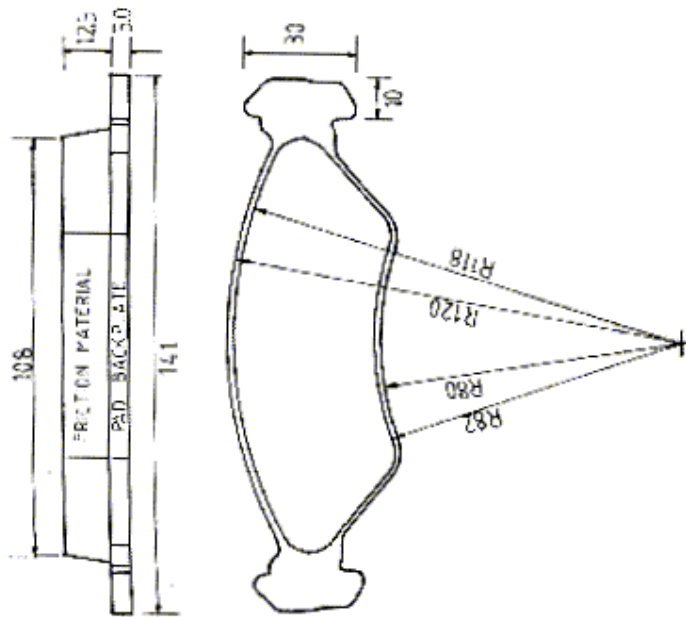
3.4 Analisis Nilai Eigen Untuk Pad

3.4.1 Pemodelan Pad

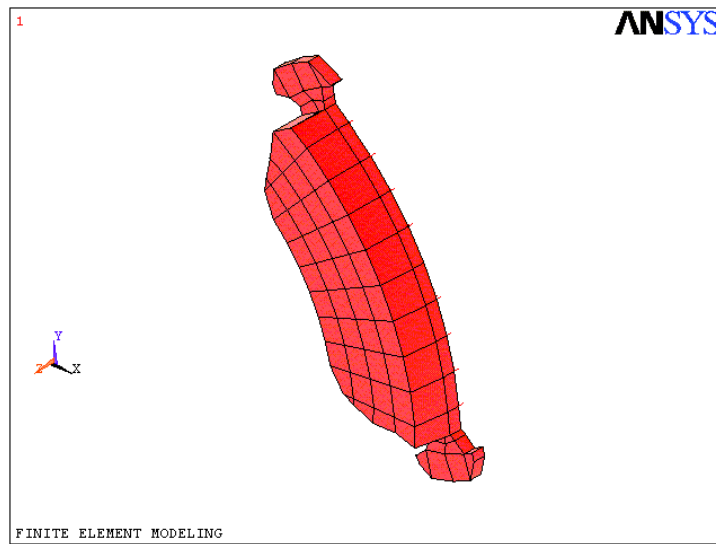
Lukisan pad ditunjukkan dalam Rajah 3.4 sebagaimana yang digunakan dalam analisis yang dirujuk.

Untuk pad ini, elemen bata dengan 8 nod digunakan kerana bentuk pad yang kompleks dan tidak dapat diringkaskan. Ia adalah juga kerana nisbah aspek yang rendah (lebar/tebal). Rajah 3.5 menunjukkan model unsur terhingga untuk pad (pad *inboard* dan pad *outboard* adalah sama). Untuk penggabungan seterusnya dalam Bab 4, geometri yang bersetentangan mestilah sama, iaitu saiz elemen untuk pad mestilah mempunyai definisi sudut yang sama (6°).

Backplate diperbuat daripada keluli lembut dengan Modulus Young bernilai 205 GPa dan ketumpatan bernilai 7750 kg/m^3 . Bahan geseran diperbuat daripada satu bahan dengan Modulus Young bernilai 8 GPa dan ketumpatan bernilai 2250 kg/m^3 .



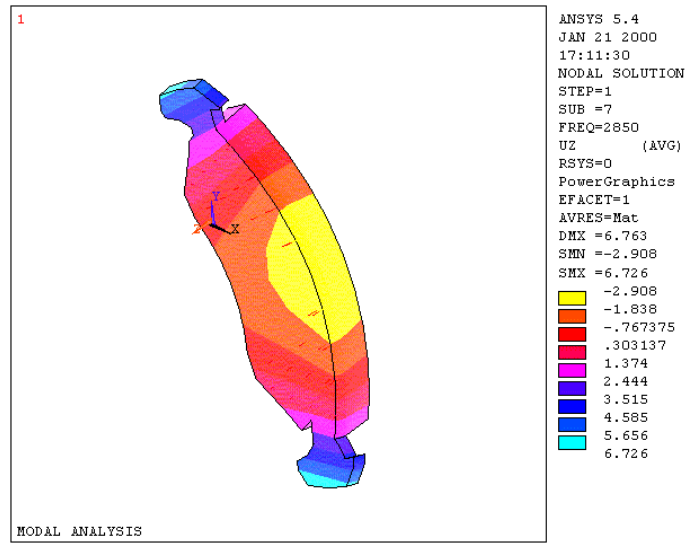
Rajah 3.4: Lukisan pad dengan dimensi.



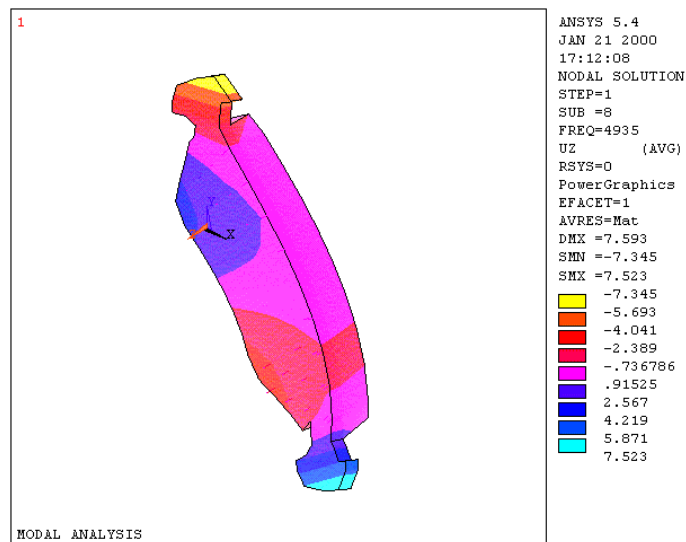
Rajah 3.5: Model unsur terhingga untuk pad.

3.4.2 Bentuk Mod

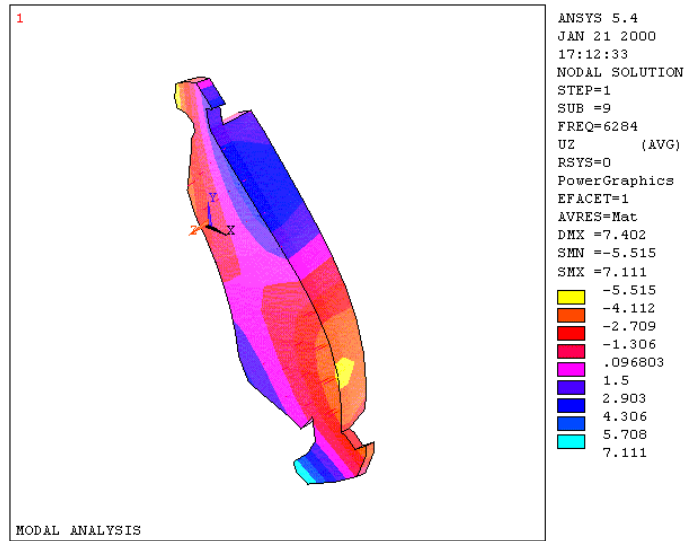
Rajah 3.6 (a) hingga Rajah 3.6 (i) menunjukkan bentuk-bentuk mod untuk pad dalam julat 1000 hingga 14000 Hz.



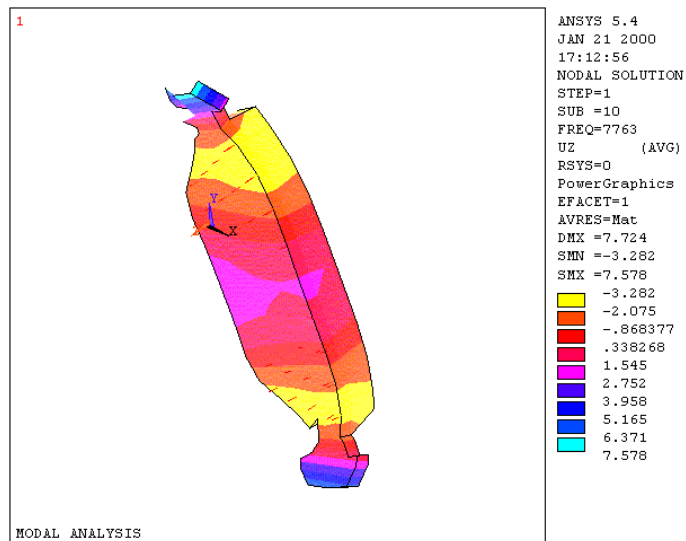
Rajah 3.6 (a): Mod pertama pada 2850 Hz.



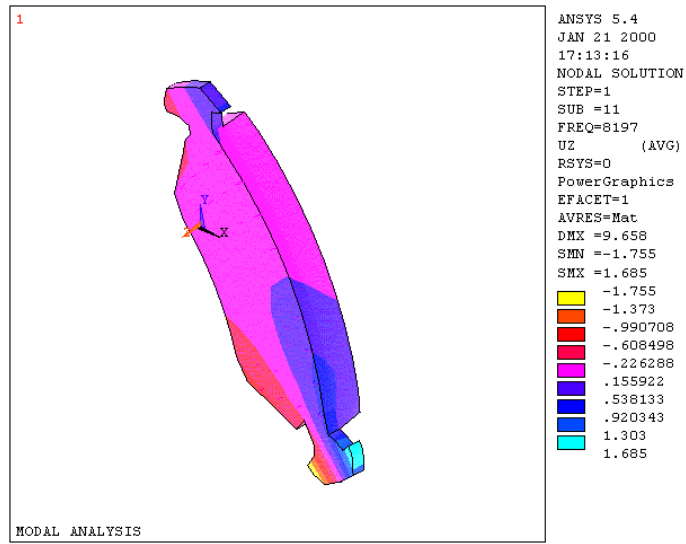
Rajah 3.6 (b): Mod kedua pada 4935 Hz.



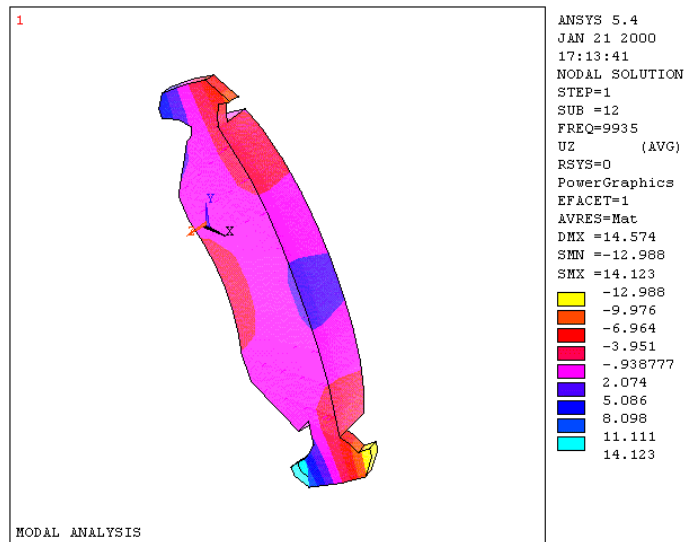
Rajah 3.6 (c): Mod ketiga pada 6284 Hz.



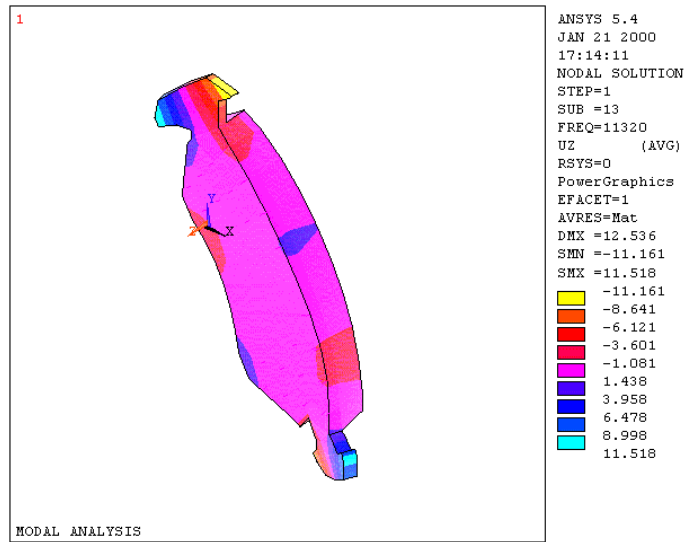
Rajah 3.6 (d): Mod keempat pada 7763 Hz.



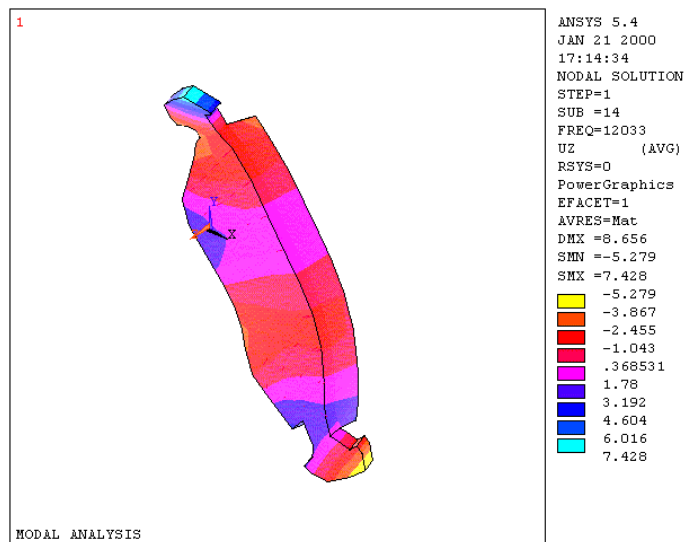
Rajah 3.6 (e): Mod kelima pada 8197 Hz.



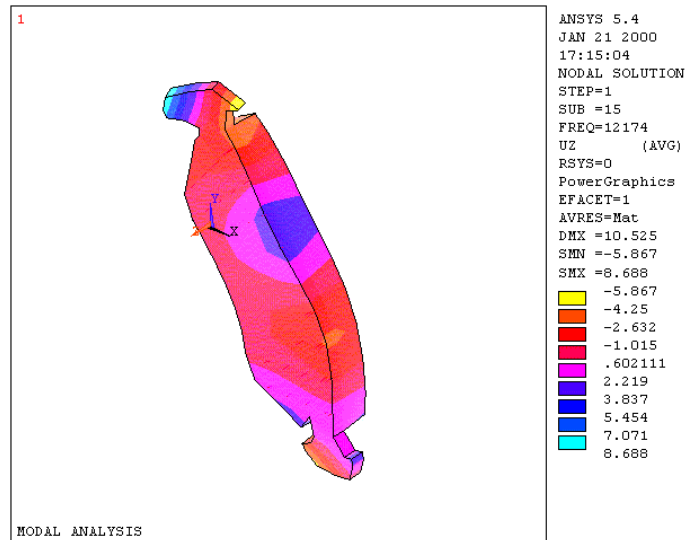
Rajah 3.6 (f): Mod keenam pada 9935 Hz.



Rajah 3.6 (g): Mod ketujuh pada 11320 Hz.



Rajah 3.6 (h): Mod kelapan pada 12033 Hz.



Rajah 3.6 (i): Mod kesembilan pada 12174 Hz.

3.4.3 Keputusan

Analisis mod ke atas pad menghasilkan beberapa mod dalam julat 1000 hingga 14000 Hz. Hanya sembilan mod dipertimbangkan untuk berlaku. Mereka ditunjukkan dalam Rajah 3.6 (a) hingga Rajah 3.6 (i).

Mod pertama berlaku pada frekuensi 2850 Hz. Rajah 3.6 (a) menunjukkan kontur anjakan dengan jelas. Mod ini dikenali sebagai mod lenturan pertama.

Mod kedua berlaku pada frekuensi 4935 Hz seperti ditunjukkan dalam Rajah 3.6 (b). Mod ini dikenali sebagai mod putaran pertama.

Rajah 3.6 (c) menunjukkan mod ketiga. Ia berlaku pada frekuensi 6284 Hz dan dikenali sebagai mod putaran kedua.

Mod keempat ditunjukkan dalam Rajah 3.6 (d) yang berlaku pada frekuensi 7763 Hz.

Mod ini dikenali sebagai mod lenturan kedua.

Mod kelima berlaku pada frekuensi 8197 Hz. Ia ditunjukkan dalam Rajah 3.6 (e) dan dikenali sebagai mod putaran ketiga.

Mod keenam berlaku pada frekuensi 9935 Hz. Rajah 3.6 (f) menunjukkan kontur anjakan untuk mod tersebut. Ia dikenali sebagai mod putaran keempat.

Rajah 3.6 (g) menunjukkan kontur anjakan mod ketujuh. Ia berlaku pada frekuensi 11320 Hz. Mod tersebut dikenali sebagai mod putaran kelima.

Mod kelapan ditunjukkan dalam Rajah 3.6 (h). Ia berlaku pada frekuensi 12033 Hz.

Mod tersebut dikenali sebagai mod lenturan ketiga.

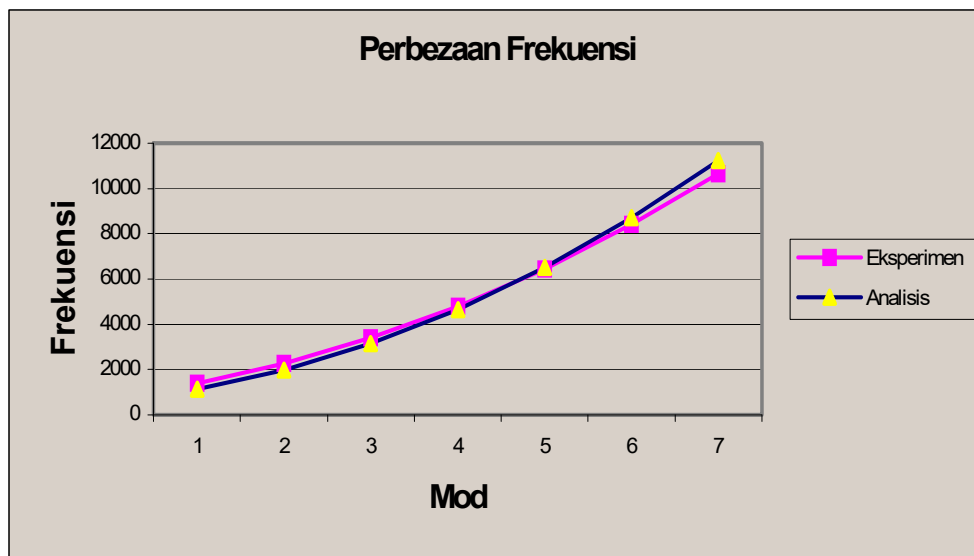
Akhir sekali, mod kesembilan yang berlaku pada frekuensi 12174 Hz. Ia ditunjukkan dalam Rajah 3.6 (i) dan dikenali sebagai mod putaran keenam.

Daripada analisis tersebut, adalah menjadi suatu perkara yang sukar untuk mengagak ciri-ciri umum bagi mod-mod tersebut.

3.5 Perbincangan

Untuk cakera, mod yang terhasil daripada analisis mod dianggap terlibat dalam penghasilan hingar, seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3.3 (a) hingga Rajah 3.3 (g). Walaubagaimanapun, analisis tersebut menghasilkan lebih banyak daripada itu iaitu termasuk pada frekuensi yang tinggi. Rajah 3.7 (a) dan Rajah 3.7 (b) menunjukkan plot frekuensi daripada analisis mod dan eksperimen rujukan. Daripada analisis tersebut, hanya terdapat dua mod yang melebihi 10% perbezaan. Oleh itu, model cakera tersebut boleh digunakan untuk analisis selanjutnya iaitu analisis kestabilan.

Untuk pad, hanya sembilan mod dipertimbangkan untuk terlibat dalam penghasilan hingar seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3.6 (a) hingga Rajah 3.6 (i). Hanya terdapat dua mod yang melebihi 10% perbezaan. Oleh itu, model pad tersebut boleh digunakan untuk analisis selanjutnya.



Rajah 3.7 (a): Perbezaan frekuensi untuk cakera.