

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



Tandatangan :

Nama Penulis : MOHD YUSRY BIN MAHAMAD GHAUS

Tarikh : MEI 2007

THE ENERGY ABSORPTION OF CIRCULAR MULTIRINGS SUBJECTED TO
TRANSVERSE LOADING.

MOHD YUSRY BIN MAHAMAD GHAUS

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

Fakulti Kejuruteraan Mekanikal
Universiti Teknikal Malaysia Melaka

Mei 2007

Jutaan terima kasih disulami dengan susunan sepuluh jari memohon kemaafan saya tujukan khas kepada ibu dan bapa saya, Rusidah Bt Othman dan Mahamad Ghaus B Hamid serta tidak dilupakan kepada tunang tersayang, Norhidayah Bt Hashim dan juga adik beradik saya.

PENGHARGAAN

Bersyukur ke Hadrat Ilahi kerana dengan limpah kurniaNya dapat saya menyiapkan Projek Sarjana Muda saya ini pada masa yang sepatutnya. Pelbagai cabaran dan masalah telah saya lalui sepanjang proses penyiapan tesis ini. Namun semua itu hanyalah sebagai rintangan kecil bagi seorang mahasiswa yang bakal menempuh alam pekerjaan kelak.

Di kesempatan ini ingin saya menyusun sepuluh jari memohon kemaafan kepada semua yang terlibat dalam membantu saya menyiapkan tesis ini. Di sini juga saya ingin mengucapkan jutaan terima kasih kepada penyelia Projek Sarjana Muda saya iaitu Prof Mada Dr Radzai Bin Said selaku Dekan Fakulti Mekanikal Universiti Teknikal Malaysia Melaka di atas jasa baik dan masa yang telah diberikan bagi memberi tunjuk ajar dan bimbingan kepada saya untuk menjalankan kajian ini. Saya juga ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada kedua ibubapa saya yang memahani dan membantu masalah kewangan saya dalam mengharungi hari-hari terakhir seorang mahasiswa Universiti Teknikal Malaysia Melaka. Tidak dilupakan juga rakan taulan seperjuangan yang banyak memberikan semangat kepada saya. Tanpa semangat yang kental adalah mustahil bagi saya untuk menyiapkan tesis ini pada masa yang telah diperuntukan.

Akhir kata, bersamalah kita membina satu tamadun bangsa Malaysia sebagai mahasiswa mahasiswi Universiti Teknikal Malaysia Melaka dan menaburkan bakti kepada nusa, bangsa dan agama.

Sekian, terima kasih.

ABSTRACT

The thesis has covered about the study on the energy absorption of circular multi rings that subjected to transverse loading. The specimen was made by the mild steel 1040. The purpose of the study is continue the technologies used in engineering world in order to produce new components or improved components that can repair the absorption system used recently. There were three types of experiments have been done in the studies which are the hardness test, tensile test and compression test. The purpose of compression test is to know and study about the graph of compression load versus compression extension and also to determine the value of energy absorbed. The changes of the specimen are also been studied in order to know the best geometrical design to improve the components. Besides doing the experiments, the analysis also have been done by using Abaqus software.

ABSTRAK

Projek Sarjana Muda ini merangkumi kajian ke atas nilai tenaga serapan yang dapat diserap oleh cincin pelbagai bulatan yang diperbuat dari besi lembut 1040 dimana ianya dikenakan daya secara melintang. Tujuan utama kajian ini dilakukan adalah untuk mencari kesinambungan dalam dunia kejuruteraan bagi menghasilkan alat ataupun komponen baru yang dapat memperbaiki sistem penyerap hentakan yang telah pun wujud pada masa kini. Tiga jenis ujikaji terlibat di dalam kajian ini iaitu ujian kekerasan, ujian penarikan dan juga ujian mampatan. Kecenderungan graf yang dihasilkan daripada ujian mampatan telah dikaji bagi menentukan nilai tenaga serapan dan perubahan rupa bentuk spesimen yang digunakan diperhatikan. Daripada graf yang dihasilkan kita dapat mengkaji sifat elastic dan juga plastik bahan yang digunakan dimana ini adalah factor utama bagi mereka cipta suatu alat yang seringkali menjadikan nyawa sebagai pertaruhan. Selain daripada itu, perbandingan juga telah dilakukan antara cincin bulatan dan juga cincin pelbagai bulatan. Ini bertujuan untuk mencari kelebihan dan juga keburukan alat penyerapan tenaga yang diguna pakai pada masa kini. Melalui kajian terhadap penyerapan tenaga ini juga kita dapat melihat dan juga mempelajari kajian-kajian yang telah dilakukan oleh para pengkaji terdahulu dan secara langsung dapat meningkatkan daya pemikiran inovatif sebagai seorang mahasiswa yang bakal menjadi seorang jurutera di masa hadapan kelak. Selain daripada ujikaji, analisi menggunakan perisian ABAQUS juga telah digunakan dalam menjalankan kajian ini. Dengan menggunakan perisian ini kita dapat menentukan tahap mekanik bahan yang dikehendaki semasa melakukan perbandingan di antara keputusan yang diperolehi melalui ujikaji dan juga keputusan yang diperolehi secara teori.

ISI KANDUNGAN

TAJUK		M/S
1	Pengenalan	1
	1.1 Objektif	1
	1.2 Skop	1
	1.3 Carta Gantt	2
2	Ulasan Kajian	
	2.1 Penyerapan tenaga secara amnya.	3
	2.2 Penyerapan tenaga hentakan	5
	2.2.1 Alatan penyerap tenaga	6
	2.2.2 Kaedah analisis	8
	2.2.3 Faktor-faktor yang mempengaruhi persembahan penyerapan tenaga	9
	2.3 Teori	10
	2.4 Terbitan rumus	12
3	Perlaksanaan Ujikaji	
	3.1 Bahan ujikaji	16
	3.2 Sifat mekanik bahan	18
	3.2.1 Ujian kekerasan	18
	3.3 Eksperimen	22
4	Finite Element Analisis (FEA)	
	4.0 Analisis unsur terhingga (FEA)	24
	4.2 Prosedur Analisis Unsur Terhingga (FEA)	25

	4.2.1 FEA untuk cincin bulatan pelbagai	25
	4.2.2 FEA cunuk cincin bulatan	33
5	KEPUTUSAN	
	5.1 Amali	
		41
	5.1.1 ujian kekerasan	41
	5.1.2 Keputusan Ujian Mampatan	
		46
	5.2 <u>Pemerhatian berperingkat.</u>	42
	A) Mampatan pada kedalaman satu cincin (30 mm)	42
	B) Mampatan pada kedalaman separuh spesimen (60 mm).	48
	C) Mampatan pada kedalaman sepenuhnya(70 mm).	50
	5.2 Pemerhatian berperingkat Mampatan cincin bulatan pelbagai.	52
	1) Pada mampatan berkedalaman 30 mm.	52
	2) Mampatan pada kedalaman 60 mm	57
	3) Mampatan pada kedalaman sepenuhnya 70 mm	64
	4) Gabungan ketiga-tiga spesimen.	66
	5) Mampatan cincin bulatan	68
	6) Perbandingan cincin bulatan dan cincin bulatan pelbagai.	73
	5.3 Perbandingan nilai serapan tenaga.	74
6	KESIMPULAN	75
	LAMPIRAN	
	LAMPIRAN A	
	LAMPIRAN B	

BAB 1: PENGENALAN

1.1. OBJEKTIF

Mengkaji tajuk kajian melalui eksperimen dan juga secara teori. Kajian ini disahkan melalui penggunaan perisian Kaedah Unsur Terhingga. Ini merangkumi aspek-aspek berikut:

- i. Mengkaji melalui lengkungan Beban melawan anjakan jarak yang dihasilkan melalui eksperimen ke atas cincin berbentuk bulatan dan juga kepelbagaian cincin berbentuk bulatan.
- ii. Mengkaji aliran atau kecenderungan graf yang dilakarkan.
- iii. Mengkaji 'densification load'

1.2. SKOP

- i. Pembentukan cincin berbentuk bulatan ini adalah hasil daripada pemotongan tiub bulatan dan kemudiannya dikenakan penekanan secara perlahan menggunakan mesin UTM. Penekanan ini dilakukan ke atas cincin berbentuk bulatan dan juga kepelbagaian cincin berbentuk bulatan.
- ii. Kepelbagaian cincin berbentuk bulatan dihasilkan melalui cantuman beberapa cincin berbentuk bulatan di dalam satu cincin bulatan yang memuatkan semua cincin-cincin tersebut.
- iii. Sifat bahan yang digunakan perlu dikaji melalui proses ujian kekerasan dan ujian penarikan.
- iv. Proses penekan yang dilakukan adalah di dalam julat antara 5-20 mm / min
- v. Kesemua keputusan yang diperolehi hendaklah disahkan melalui Kaedah Unsur Terhingga

1.3.CARTA GANTT.

CARTA GANTT BAGI PROJEK SARJANA MUDA (PSM) II

TAJUK:PENYERAPAN TENAGA OLEH CINCIN BULATAN PELBAGAI BENTUK YANG DIKENAKAN DAYA SECARA MELINTANG.

NO.	AKTIVITI/TUGAS	BULAN		JAN		FEB		MAC		APRIL								
		MINGGU		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Memahami objektif dan skop kerja di bawah tajuk yang dipilih. Memahami mengenai penyerapan tenaga akibat daripada hentakan/bebanan yang dikenakan Secara Seragam.																	
2	Mencari dan membuat tempahan barangan yang akan dijadikan sebagai spesimen dalam amali yang akan dijalankan iaitu cincin bulatan yang pelbagai saiz.																	
3	Menerima tempahan yang dibuat. Menyediakan spesimen dengan menggunakan mesin pemotong besi dan mesin larik serta membuat ujikaji dengan Universal Testing Machine(UTM)																	
4	Melaksanakan amali dan menyiasat data yang diperolehi.																	
5	Mengumpul segala data amali. Mengemaskini dan membuat persediaan untuk seminar/pembentangan PSM 2.																	

BAB 2 : ULASAN KAJIAN.

2.1. PENYERAPAN TENAGA SECARA AMNYA.

Penyerapan tenaga merupakan suatu sistem yang menukarkan tenaga kinetik kepada suatu bentuk lain, seperti tenaga tekanan didalam cecair yang termampat dan tenaga pada perubahan bahan dari keadaan elastik kepada plastik. Tenaga yang ditukarkan berkemungkinan boleh berpatah balik seperti tekanan yang terdapat didalam cecair yang termampat dan tenaga elastik pada bahan pejal. Selain itu, tenaga yang ditukarkan juga boleh tidak berpatah balik semula. Contohnya, bahan yang dilentur dan berada didalam fasa plastik, dimana bentuknya tidak akan berubah ke bentuk asal serta mudah patah. Proses penukaran didalam fasa plastik adalah bergantung kepada beberapa faktor seperti magnitud dan kaedah beban diaplikasikan, bentuk perubahan tenaga dan juga spesifikasi bahan. (1)

Tujuan utama aplikasi perubahan tenaga serapan ialah untuk mengkaji tahap keselamatan apabila berlaku sesuatu perlanggaran. Ia diaplikasikan pada sistem yang mempunyai persekitaran yang berisiko tinggi dan berpotensi mencederakan manusia dan memusnahkan harta benda. Oleh yang demikian, matlamat untuk mengurangkan risiko tersebut adalah dengan mengurangkan kadar hentakan semasa perlanggaran berlaku. Tujuan ini akan tercapai dengan kaedah memanjangkan atau melambatkan masa bagi pelepasan tenaga kinetik pada sistem untuk suatu masa yang terhad. Justeru itu, bahan seperti kusyen pada bampar kenderaan, sistem keselamatan pada lif dan tembok penghalang di jalan raya boleh mengurangkan kadar hentakan yang teruk apabila ianya berlaku.

Peyerapan tenaga adalah seperti proses penetapan semasa proses pemasangan sesebuah mesin bagi memberi suatu penyelesaian bagi mengurangkan asas gegaran pada komponen. Perkembangan bagi peralatan mekanikal pada masa kini banyak membantu pelepasan tenaga kinetik padaa kadar yang tepat dimana ianya telah dilaksanakan berdekad yang lalu (2). Dalam proses mereka atau membina sesuatu alat untuk penyerap tenaga, tujuan utamanya ialah menyerap kebanyakan tenaga kinetik perlanggaran.

Dalam pada itu, alat tersebut tidak memberi kesan berbalik pada manusia dan harta benda.

Ianya bertujuan untuk memastikan kecederaan pada manusia dan kemusnahan pada peralatan adalah minimum. Sistem penyerapan perlu menunjukkan ciri tenaga terbias dimana hasilnya dalah berada pada tahap atau had yang dibenarkan. Had ini mungkin boleh ditetapkan dengan tahap toleransi manusia atau daya maksimum untuk struktur tersebut boleh bertahan.

Kajian mengenai penyerapan tenaga telah lama dijalankan. Kajian tentang penyerapan tenaga bagi logam telah di dijalankan oleh Gupta dan Ray (3). Pada masa yang sama pelbagai alatan untuk menguji tenaga serapan telah direka dan diuji. Antara alatan yang sering digunakan ialah "honeycomb". Ia direka dengan penyambungan tiub bulat ataupun tiub enam segi. Ia berfungsi sebagai penyerap tenaga semasa berlakunya perlanggaran. Alatan ini kebanyakannya digunakan didalam industri automotif. Ianya diuji keberkesannya untuk diletakkan sebagai element pengganti pada bahagian penghadang kereta (*bumper*). Ia berfungsi sebagai penyerap tenaga apabila berlakunya suatu hentakan yang kuat pada bahagian tersebut (4).

Seterusnya, kajian mengenai kebolehan penyerapan tenaga untuk struktur metalik turut diuji. Kebanyakan alatan yang berunsur metalik mempunyai perubahan plastik dan kepatahan yang besar. Oleh itu, kadar penyerapan tenaga adalah lebih tinggi berbanding logam biasa. Corak perubahan bahan turut berbeza dimana anjakan bahan lebih lama atau lebih tepat lagi fasa plastiknya lebih besar (5). Selain itu, penyerapan tenaga turut diaplikasikan pada logam cincin yang mempunyai pelbagai bentuk. Cincin tersebut diuji dengan melakukan ujian tekanan secara menegak dengan daya yang ditetapkan. Perubahan yang berlaku pada cincin dikaji dan kadar serapan tenaga diperolehi untuk semua anjakan yang berlaku. Kebiasaannya ujikaji dijalankan pada cincin berbentuk bulat dan bersegi (6).

Tekanan pada bahagian sisi tiub besi bulat turut dikaji bagi mendapatkan penyerapan tenaga yang berlaku apabila tekanan dikenakan pada daya tertentu. Kajian ini turut menerangkan corak perubahan beban didalam pengancingan paksi (*axial buckling*), pemecahan paksi (*axial splitting*) dan penyongsangan tiub luaran dan dalaman dibawah daya seakan-akan statik (*quasi-static*) (7).

2.2. PENYERAPAN TENAGA HENTAKAN.

Penyerap tenaga hentakan adalah elemen struktur mekanikal yang boleh dikorbankan yang mana digunakan dalam pelanggaran yang tidak diingini. Ia bertindak sebagai fius mekanikal untuk membataskan beban yang boleh bertindak ke atas struktur utama dengan segera selepas berlaku sesuatu pelanggaran. Sesetengah daripada elemen struktur yang terdapat pada struktur utama boleh mempunyai tujuan sekunder sebagai penyerap untuk pelanggaran yang lebih keras.

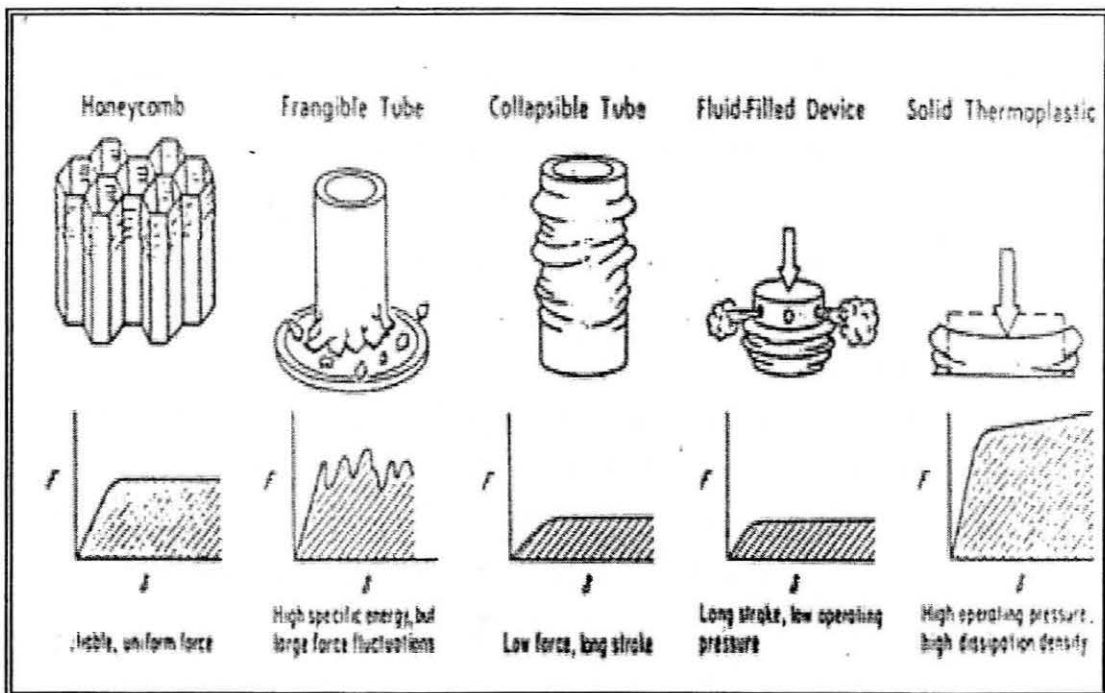
Untuk menjadikan bahan yang dilanggar supaya boleh dikawal untuk berhenti, suatu beban yang kurang dari beban reke bentuk perlu dikenakan padanya pada sesuatu masa. Beban ini dikenakan dengan masa yang mencukupi supaya tidak berlaku penyahpecutan yang terlalu tinggi atau mengejut. Dalam jangkamasa ini, bahan yang digunakan akan bergerak pada jarak yang tertentu. Luas di bawah graf yang diperolehi melalui graf beban melawan anjakan adalah tenaga yang telah diserap.

Jadi, untuk penyerapan tenaga yang sempurna:

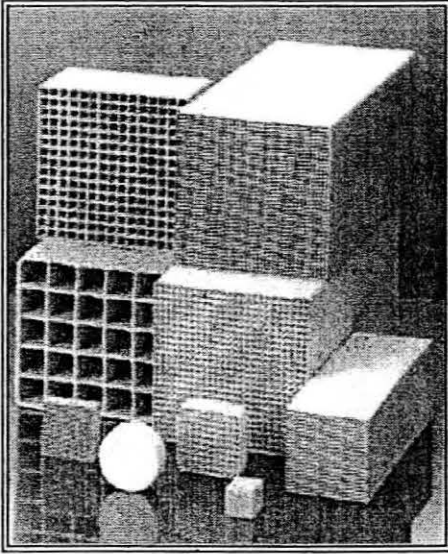
$$\frac{1}{2} M V_o^2 = \int P d\delta \dots\dots\dots(1)$$

2.2.1 ALATAN MENYERAP TENAGA

Ada pelbagai jenis alatan yang digunakan merangkumi alatan yang diperbuat daripada pasir dan cebisan kertas sehingga elemen struktur seperti alang (beam) dan kepingan (plate). Yang terkini adalah diperbuat daripada elemen berbentuk sarang lebah (honeycombs). Rajah 1 menunjukkan pelbagai jenis elemen dan juga ciri-cirinya.



Rajah 1: Pelbagai jenis elemen dan juga ciri-cirinya.



Rajah 2: Elemen berbentuk sarang lebah(honeycomb)

Honeycomb(Rajah 2) atau sarang lebah sudah menjadi sinonim dengan bidang kejuruteraan abad ini. Anugerah ciptaan tuhan ini telah menjadi sumber aspirasi kepada dunia teknologi ini bagi memantapkan lagi ilmu pengetahuan dan seterusnya memajukan bidang kejuruteraan.

Sarang lebah atau honeycomb adalah suatu modul dimana ia adalah hasil pembentukan atau susunan sel berbentuk heksagon prismatik yang menyumbang kepada pepejal selular dalam bentuk dua dimensi. Disini kita menggunakan perkataan “ sarang lebah“ dalam era dunia tanpa sempadan untuk menghuraikan susunan sebarang sel prismatik di mana bersatu membentuk memenuhi suatu pelan.

Sarang lebah yang diperbuat dari polimer buatan manusia, besi dan seramik sudah menjadi sesuatu yang sinonim. Ia diaplikasikan dalam pelbagai sektor. Polimer dan besi banyak digunakan sebagai alat menyerap tenaga. Misalnya, kapal angkasa Apollo 2 telah menggunakan sarang lebah yang disusun dari aluminium sebagai alat penyerap hentakan semasa mendarat. Selain besi, seramik pula telah digunakan dalam sektor yang menggunakan proses-proses bersuhu dan bertekanan tinggi seperti pemindah haba.

2.2.2. Kaedah analisis

Dibawah tajuk ini akan dapat diterangkan mengenai kaedah mudah yang dianalisis ke atas plastik dimana ia digunakan untuk mencari tenaga yang diserap oleh sesuatu komponen yang dikenakan beban.

A) Teknik Batas Atas (upperbound)

Secara teorinya, struktur atau benda kerja yang berubah bentuk (deforming) akan diandaikan bersifat sebagai mekanisma kinematik dengan sifat plastiknya diletakkan selepas aliran mekanisma dikenapasti. Gabungan ketegangan dan putaran adalah dikira dari pertimbangan geometrikalnya. Tenaga yang dihasilkan daripada bahagian plastic dapat diperolehi di mana σ_0 adalah aliran tekanan dalam suatu isipadu , dv , dibawah suatu ketegangan , e . Kaedah pengamiran digunakan ke atas isipadu perubahan sifat bahan dalam bahagian plastic. Dapat dirumuskan sebagai:

$$W_p = \int \sigma_0 \epsilon dv \dots \dots \dots (2)$$

$$W_p = \int N_0 \epsilon dA + \int M_0 \theta dl \dots \dots \dots (3)$$

B) Teknik Struktur Seimbang (EST)

Teknik ini adalah sesuai untuk penggunaan dua daya yang dikenakan pada struktur yang berubah bentuk dalam meleding (bending). Garis daya menyebabkan bahagian plastik dalam struktur berubah bentuk sebagai mekanisma. Rangka yang terhasil oleh garis-garis daya ini dipanggil sebagai Struktur Seimbang.

2.2.3 Faktor –faktor yang mempengaruhi persembahan penyerap tenaga.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi persembahan penyerap tenaga iaitu:

- Sifat bahan
- Pengaruh kadar ketegangan
- Pengaruh inersia

Sifat bahan.

Sifat bahan yang terlibat semasa proses penyerapan tenaga hentakan adalah tegasan perolehan (σ_y), sifat pengerasan-tegangan, E_p , kekuatan kepatahan dan juga ketumpatan. Dalam masalah perubahan rupa bentuk plastik, selalunya sifat plastik yang tidak dapat diubah lagi diandaikan.

$$\sigma_y = \sigma_0 + \alpha \frac{\sigma_u - \sigma_0}{e_{max}}$$

α

dimana α adalah pemalar yang bernilai antara 10 dan 2 bergantung pada nilai maksimum ketegangan e_{max} yang dieksperimenkan di dalam struktur.

2.3 TEORI

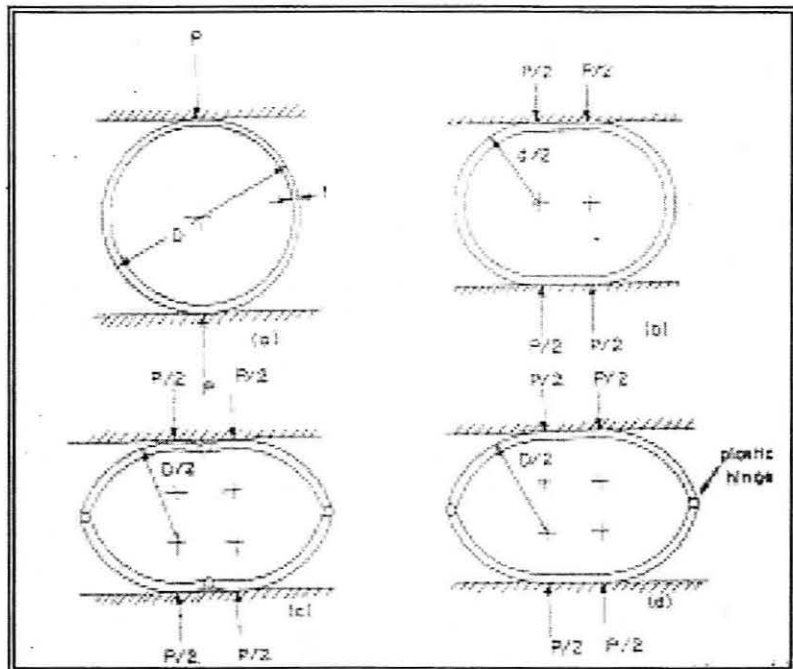
Konsep analisis terbatas mula diperkenalkan pada awal tahun 1920 dan digunakan untuk mengira beban gagal untuk kebanyakan struktur. Kegagalan cincin atau tiub dibawah beban yang bertindak secara perimeter mulai hilang di pandangan masyarakat sehinggalah kewujudan Hwang pada tahun 1953 yang membuat analisis mengenai cincin nipis. Beliau mengandaikan bahan yang elastik boleh berubah kepada plastik sepenuhnya dan menunjukkan bahagian plastik membentuk dalam empat titik. Pada asalnya, dua bahagian terjadi di bawah titik beban yang dikenakan dan kemudiannya dua titik lagi terjadi pada suku titik beban. Ungkapan untuk beban gagal, P_o , untuk cincin berbentuk bulatan ialah:

$$P_o = 4 M_p / R \dots\dots\dots(4)$$

Dimana $M_p = \sigma_o t^2 / 4$ iaitu dikenali sebagai momen leding yang bersifat plastic sepenuhnya.

Seorang lagi pengkaji yang dikenali sebagai Mutchler telah mencuba untuk mencari tenaga yang diserap oleh cincin yang dimampatkan secara sisi diantara dua kepingan. Beliau menggunakan teknik pengamiran berangka yang mengandaikan bahawa permukaan cincin yang terlibat dengan kepingan berkembang dari garis lurus kepada segi empat bujur dimana berlakunya pertambahan dalam kelebaran semasa proses perubahan berlaku. Bahagian yang berada di dalam antara permukaan rata diandaikan sebagai separuh bulatan di mana jejari bulatan tersebut menyusut nilainya semasa bertambahnya perubahan. (rujuk rajah 3 b).

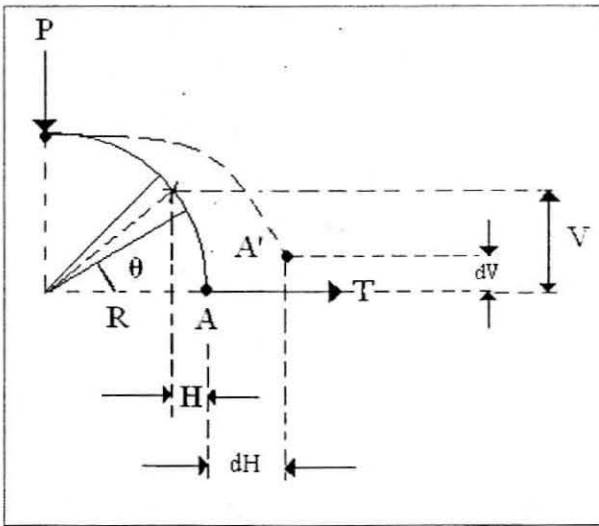
Analisis ini dibuat dengan nisbah anjakan / diameter pada kadar 0.5 dimana cincin aluminium yang digunakan telah merekah pada setengah jalan diantara dua kepingan tersebut. Persetujuan antara analisis dan ujikaji beliau adalah baik. De Runtz dan Hodge iaitu pengkaji lain juga mengkaji masalah yang sama dengan mengandaikan empat bahagian plastik terjadi apabila $P = P_0$ (seperti yang dikaji oleh Hwang), rujuk rajah 3 c.



Rajah 3: a) sebelum perubahan ; b) model Mutchler ; c) model De Runtz dan Hodge ; d) model Burtaon dan Craig

2.4 TERBITAN RUMUS

Kajian berdasarkan kajian pengkaji-pengkaji yang terdahulu telah dibuat bagi menerbitkan rumus untuk mencari tenaga terikan dan juga penyimpangan yang berlaku secara melintang atau menegak. Penggunaan teori Castligiano menjadi suatu inspirasi dimana melalui teori ini kita dapat menerbitkan rumus untuk mencari nilai tenaga terikan, biasan menegak dan juga biasan melintang.



Rajah 3: Gambarajah badan bebas (FBD)

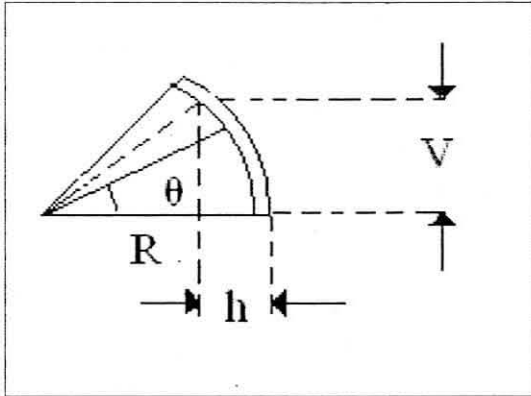
Dengan menggunakan teori Castligiano,

$$\text{Tenaga terikan} = U = \int \frac{M^2}{2EI} \delta x \dots \dots \dots (5)$$

$$\text{Biasan menegak} = \delta_{v \theta - \pi/2} = \int \frac{M}{EI} \frac{\delta M}{\delta P} \delta x \dots \dots \dots (6)$$

$$\text{Biasan melintang} = \delta_{H \theta - \pi/2} = \int \frac{M}{EI} \frac{\delta M}{\delta T} \delta x \dots \dots \dots (7)$$

- $\delta x = R \delta \theta$



Rajah 4: Gambarajah potongan untuk terbitan rumus

$$h = R - R \sin \theta$$

$$v = R \sin \theta$$

tetapkan $T = 0$ sebagai beban samaran.

Jadi momen lentur pada titik X,

andaikan arah ikut jam adalah positif

$$\begin{aligned} M_x &= -P(R - h) - Tv \\ &= -PR + Ph - Tv \\ &= P(h - R) - Tv \\ &= P(R - R \cos \theta - R) - T(R \sin \theta) \\ &= -PR \cos \theta - TR \sin \theta \end{aligned}$$

Jadi ,

$$\frac{\delta M}{\delta P} = -R \cos \theta$$

$$\frac{\delta M}{\delta T} = -R \sin \theta$$

beban menegak:

$$\begin{aligned}
 \delta_{v \theta = \pi/2} &= \int \frac{M \delta M}{EI \delta P} \delta x \\
 &= \int \frac{(-PR \cos \theta - TR \sin \theta) (-R \sin \theta) R \delta \theta}{EI} \\
 &= \frac{1}{EI} \int PR^3 \cos^2 \theta \delta \theta \\
 &= \frac{PR^3}{EI} \int \cos^2 \theta \delta \theta \\
 &= \frac{PR^3}{EI} \int \frac{1 - \sin 2\theta}{2} \delta \theta \\
 &= \frac{PR^3}{2EI} \int 1 - \sin 2\theta \delta \theta \\
 &= \frac{PR^3}{2EI} \left[\theta + \frac{\cos 2\theta}{2} \right] \\
 &= \frac{PR^3}{2EI} \left[\frac{\pi}{2} + \frac{\cos \pi}{2} - \frac{\cos 0}{2} \right] \\
 &= \frac{PR^3}{2EI} \left[\frac{\pi}{2} - 0 - \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \right] \\
 &= \frac{1.14 PR^3}{4 EI}
 \end{aligned}$$

Jadi ,

Hasil terbitan ini akan dibahagikan kepada dua untuk mendapatkan terbitan separuh bulatan.

$$\delta_{v \theta = \pi/2} = \frac{1.14 PR^3}{8 EI} \dots \dots \dots (8)$$

Beban melintang:

$$\begin{aligned}
 \delta_{H0-\pi/2} &= \int \frac{M}{EI} \frac{\delta M}{\delta T} \delta x \\
 &= \frac{1}{EI} \int (-PR^3 \cos \theta - TR \sin \theta) (-R \sin \theta) R d\theta \\
 &= \frac{1}{EI} \int (PR^3 \cos \theta \sin \theta) d\theta \\
 &= \frac{PR^3}{EI} \int (\cos \theta \sin \theta) d\theta \\
 &= \frac{PR^3}{EI} \int \frac{\sin 2\theta}{2} d\theta \\
 &= \frac{PR^3}{EI} \left[-\frac{\cos 2\theta}{4} \right] \\
 &= \frac{PR^3}{4EI} [-\cos \pi + \cos 0] \\
 &= \frac{PR^3}{4EI} [1 + 1] \\
 &= \frac{2PR^3}{4EI} \\
 &= \frac{PR^3}{2EI}
 \end{aligned}$$

Jadi ,

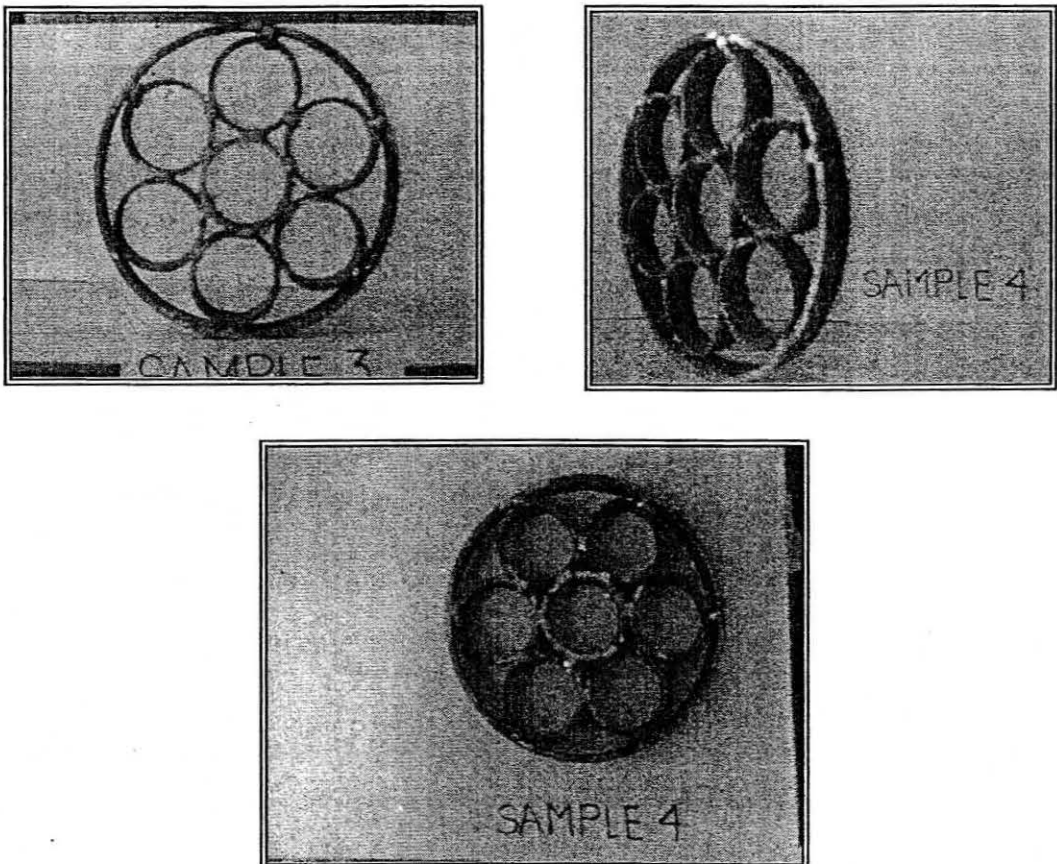
Hasil terbitan ini akan dibahagikan kepada dua untuk mendapatkan terbitan separuh bulatan

$$\delta_{H0-\pi/2} = \frac{PR^3}{4EI} \dots\dots\dots(9)$$

BAB 3 : PERLAKSANAAN UJIKAJI.

3.1 BAHAN UJIKAJI

Bagi menjalankan eksperimen ini, penggunaan bahan mentah dari bengkel Universiti Teknikal Malaysia Melaka telah digunakan. Antar bahan yang digunakan adalah tiub berbentuk bulatan dan dipotong menggunakan pemotong elektrik mengikut spesifikasi yang telah ditetapkan. Bahan ini adalah untuk digunakan dalam ujian mampatan (penekanan). Rajah 5 menunjukkan beberapa sudut pandangan spesimen.



Rajah 5: Contoh spesimen dari pelbagai sudut lensa kamera.