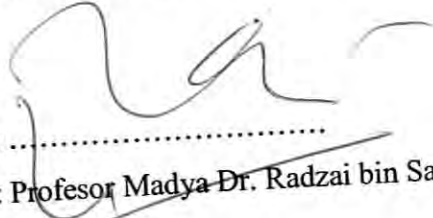


“Saya akui bahawa saya telah membaca karya ini dan pada pandangan saya karya ini adalah memadai dari segi skop dan kualiti untuk tujuan penganugerahan Ijazah sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal (Struktur-Bahan)”

Tandatangan

: 
.....

Nama Penyelia

: Profesor Madya Dr. Radzai bin Said

Tarikh

: 8 MEI 2007

THE STUDY OF ECCENTRICITY OF CIRCULAR TUBE UNDER QUASI-
STATIC LOADING

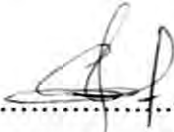
MOHD SALIHIN BIN ABD. RAHIM

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

8 Mei 2007

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

Tandatangan : 

Nama Penulis : MOH SALIHIN BIN ABD. RAHIM

No. Matrik : B040310114

Tarikh : 8 MEI 2007

“Didedikasikan kepada ibu dan ayah tersayang yang telah memberikan pengorbanan yang tidak terhingga”

HJ ABD RAHIM BIN HJ ABDUL RAHMAN

KHALIJAH BT ABDULLAH

Semoga Allah S.W.T memurahkan rezeki dan memanjangkan umur mereka. AMIN

PENGHARGAAN

Alhamdulillah, Bersyukur saya kehadiran Allah s.w.t kerana dengan limpah dan kurnianya memberi kekuatan kepada saya untuk membuat kajian dan menyiapkan laporan projek sarjana muda (PSM) yang bertajuk “Kajian Tentang Kesipian Terhadap Tiub Bulat Yang Dikenakan Beban Seragam Secara Perlahan-Lahan” dengan jayanya dalam masa yang ditetapkan.

Selain itu, saya juga ingin mengucapkan setinggi-tinggi penghargaan dan terima kasih kepada penyelia PSM 11 saya iaitu Prof. Madya Dr. Radzai bin Said. Dengan bantuan dan sokongan serta tunjuk ajar beliau kepada saya, dapat juga saya menyelesaikan kajian ini dengan jayanya. Saya juga ingin mengucapkan jutaan terima kasih kepada pihak Fakulti Kejuruteraan Mekanikal Kolej Universiti Teknikal Kebangsaan Malaysia (FKM-KUTKM), Petugas-petugas makmal kerana telah memberi sedikit ruang kepada saya untuk menimba ilmu dari hasil kajian saya ini.

Tidak lupa juga, terima kasih saya kepada ahli keluarga saya terutama ibubapa saya yang telah banyak memberi sokongan moral sepanjang saya bertungkus lumus dalam menyiapkan laporan kajian ini dan tidak lupa buat teman-teman seperjuangan yang telah banyak memberi maklumat serta sama-sama mencari jalan penyelesaian dalam menyelesaikan masalah yang dihadapi, Oleh itu saya harap agar hasil dari projek sarjana muda ini maka dapatlah saya mengetahui dengan lebih mendalam tentang Kejuruteraan terutama dalam bidang suktur serta memberi manfaat kepada saya dan berharap buku laporan ini memenuhi kehendak pihak universiti dan sekali lagi saya memohon maaf jika terdapat segala kesilapan dan kekurangan, segala jasa baik tuan puan akan dikenang.-Terima Kasih, Wasallam

ABSTRACT

Alot of research had been produced interms of searching an energy absorber. As we all know, energy absorbtion is very important in daily life especially in safety aspect. Therefore, my research involving form a circular tube from circular tube and given force slowly by using UTM machine. After that, I learned about the effect of load displacement curves on single. The result is validated by FEA (finite element analysis) and using Abaqus software.

ABSTRAK

Banyak kajian telah dilakukan dalam usaha mencari kesan penyerapan tenaga. Seperti yang telah kita ketahui bahawa penyerapan tenaga amatlah penting dalam kegunaan seharian terutamanya dari segi aspek keselamatan. Oleh yang demikian, kajian saya melibatkan pembentukan lipatan tiub bulat ini adalah hasil daripada pemotongan tiub bulat dan kemudiannya dikenakan daya tekanan secara perlahan menggunakan mesin UTM. Setelah itu, saya mengkaji melalui lengkungan Beban melawan anjakan jarak yang dihasilkan melalui eksperimen ke atas tiub bulat secara tunggal. Kesemua keputusan yang diperolehi hendaklah dinilai melalui Kaedah Unsur Terhingga (FEA) iaitu menggunakan perisian ABAQUS.

ISI KANDUNGAN

BAB	PERKARA	MUKA SURAT
1	PENGENALAN	1
	1.1 Objektif	2
	1.2 Skop Kajian	2
2	KAJIAN ILMIAH	3
	2.1 Umum	3
	2.2 Kesan Penyerapan Tenaga hentakan	5
	2.2.1 Alatan Penyerap Tenaga	6
	2.2.2 Faktor-faktor Yang mempengaruhi Keberkesanan Penyerapan Tenaga	7
	2.3 Teori	8
3	AMALI	
	3.1 Bahan Ujikaji	20
	3.2 Ujian Kekerasan	22
	3.3 Ujian Keterikan	24
	3.4 Ujian Mampatan	25
	3.5 Penentuan Faktor Kesipian,e	27
4	ANALISIS UNSUR TERHINGGA (FEA)	
	4.1 Pengenalan Analisis Unsur Terhingga	28
	4.2 Kaedah Analisis	29

BAB	PERKARA	MUKA SURAT
5	KEPUTUSAN AMALI DAN ANALISIS	
	5.1 Amali	
	5.1.1 Ujian Kekerasan	37
	5.1.2 Ujian Keterikan	39
	5.1.3 Ujian Mampatan	
	5.1.3.1 Amali 1	40
	5.1.3.2 Amali 2	48
	5.1.3.3 Amali 3	56
	5.1.4 Perbandingan Keputusan Amali	65
	5.1.5 Kesan Perbezaan Kadar Mampatan	67
	5.1.6 Faktor Kesipian,e	68
	5.2 Keputusan Analisis Unsur Terhingga	
	5.2.1 Analisis Pada Kadar Mampatan yang Berbeza	69
	5.2.2 Perbandingan Keputusan Amali Dan Analisis	72
6	KESIMPULAN	74
	RUJUKAN	75

SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK	MUKASURAT
1	Spesifikasi jenis spesimen yang digunakan	20
2	Spesifikasi Alat Penguji Kekerasan	23
3	Spesifikasi Mesin Ujian Pelbagai (UTM)	26
4	Bacan-bacaan daripada ujian kekerasan	37
5	Jadual penukaran nilai ujian kekerasan	37
6	Keputusan daripada ujian keterikan	39
7	Data daripada ujian mampatan spesimen Pertama	41
8	Data daripada ujian mampatan spesimen kedua	49
9	Data daripada ujian mampatan spesimen ketiga	57
10	Menunjukkan perbandingan antara nilai eksperimen dan teori	64
11	Perbandingan antara nilai amali dengan Analisis	72

SENARAI RAJAH

NO.RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
1	Alatan Penyerap Tenaga	6
2	Lipatan Umum	12
3	Pembentukan dan perubahan pertama Lipatan Luar	13
4	Pembentukan dan perubahan pertama lipatan kedalam	14
5	Peralihan antara lipatan arah dalam yang pertama dan urutan lipatan keluar fasa kedua	14
6	Jenis pemotong besi dan cara penggunaannya	21
7	Jenis mesin larik dan penggunaannya	22
8	Alat penguji kekerasan dan penggunaannya	23
9	Ukuran spesimen	24
10	Mesin Ujian Pelbagai atau Universal Tensile Machine (UTM)	26
11	Bentuk lipatan konsertina	27
12-25	Prosedur ABAQUS	29-36
26	Perubahan spesimen selepas ujian keterikan	39
27	Graf ujian keterikan	39
28-29	Graf ujian mampatan spesimen pertama	40-41
30	perubahan bentuk pada setiap anjakan seragam spesimen pertama	42-44
34-35	Graf ujian mampatan spesimen kedua	48-50
36	perubahan bentuk pada setiap anjakan seragam spesimen kedua	50-52
40-41	Graf ujian mampatan spesimen ketiga	56-58

NO.RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
42	perubahan bentuk pada setiap anjakan Seragam spesimen ketiga	58-60
46	Perbandingan bentuk graf bagi spesimen berbeza	64
51	Keputusan FEA spesimen pertama	68
52	Keputusan FEA spesimen kedua	69
53	Keputusan FEA spesimen ketiga	70

SENARAI SIMBOL

SIMBOL	DEFINISI
E_p	Kekuatan kepatahan
M	Daya bengkokan (moment)
F	Daya (Force)
P	Power
Pa	Pascal (Nm)
V	Voltage (volt)
m	meter
mm	millimeter
A	Luas (Area)
HURUF GREEK	DEFINISI
σ_y	Tegasan
ε	Tegasan
δ	Perubahan jarak
SINGKATAN	DEFINISI
AISI	American International Supply Inc.
ASTM	American Standard Test Material
HRA	Hardness Rockwell
FEA	Finite Element Analysis

BAB1

PENGENALAN

1.1 PENGENALAN

Banyak kajian telah dilakukan dalam usaha mencari kesan penyerapan tenaga. Seperti yang telah kita ketahui bahawa penyerapan tenaga amatlah penting dalam kegunaan seharian terutamanya dari segi aspek keselamatan. Banyak bahan yang boleh di guna pakai dalam penyerapan tenaga ini, antaranya seperti plastik, alumanium, faiber dan air yang di isi dalam bekas juga boleh digunakan untuk menyerap tenaga. Di dalam Kajian ini, keluli lembut telah di pilih untuk menentukan sejauh mana keberkesanannya dalam penyerapan tenaga dan keluli lembut ini dipilih dari jenis tiub bulat dan mempunyai saiz yang tertentu supaya kita dapat mengetahui serta mengenal pasti kesan daripada penyerapan tenaga yang dikenakan keatas tiub bulat ini yang mana tiub besi ini di kenakan tekanan secara setatik.

Dalam bab ini penentuan kepada jenis atau saiz besi yang hendak digunakan adalah penting, Ianya merupakan objektif utama kajian ini dilakukan. Secara keseluruhan kelulu lembut (*mild steel*) yang digunakan adalah jenis tiub bulat yang bersaiz 200mm panjang, 1.6mm tebal dan diameter 50.8mm mana akan dijadikan rujukan serta panduan sepanjang kajian ini dilakukan dimana mesin ujian pelbagai atau lebih dikenali *universal testing machine (UTM)* digunakan untuk memastikan kuasa statik yang dikenakan keatas tiub bulat ini di ukur dengan betul dan keputusan ujikaji yang diperolehi daripada kajian ini adalah keputusan yang melibatkan

penghancuran melipat pembentukan secara sertamerta. Dalam kertas kajian ini juga, hasil dari data ujikaji yang mana keluli lembut di kenakan tekanan mampatan secara perlahan-lahan boleh juga di buat analisis dengan membandingkan data dari ujikaji dengan menggunakan perisian computer iaitu ABAQUS.

1.2 OBJEKTIF KAJIAN

Antara objektif kajian ialah:

- 1.2.1 Mengetahuai sifat-sifat keluli lembut yang akan digunakan sebagai bahan penyerapan tenaga dengan menjalankan ujikaji keterikan dan kekerasan.
- 1.2.2 Menentukan jumlah tenaga serapan, U , mengetahui nilai P_{min} , mengetahui dan jenis lipatan yang terbentuk dengan menjalankan ujian mampatan statik dengan menggunakan mesin ujian pelbagai (UTM).
- 1.2.3 Menentukan faktor eccentricity (e), sudut kritikal α dan β .
- 1.2.4 Dapat membuat perbandingan antara keadah ujikaji dengan membuat simulasi menggunakan keadah elemen terhingga (*FEM-finite element method*) ABAQUS.

1.3 SKOP KAJIAN

- a) Menjalankan kerja-kerja amali dimakmal terhadap tiub besi ASTM 1050 (besi karbon) dengan menggunakan Mesin Rockwell untuk ujian kekerasan dan Mesin UTM untuk ujian mampatan.
- b) Ujian mampatan dijalankan dengan menggunakan kadar mampatan yang berbeza.
- c) Menganalisis graf-graf yang diperolehi dan membuat perbandingan dengan kaedah simulasi (ABAQUS)

BAB2

KAJIAN ILMIAH

2.1 UMUM

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 pelanggaran. 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 pelanggaran 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 pada 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 dalam 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 keberkesanannya 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 metallic turut diuji. Kebanyakan alatan yang berunsur metallic 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 . 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 diperoleh untuk semua anjakan yang berlaku. Kebiasaannya ujikaji dijalankan pada cincin berbentuk bulat dan bersegi .

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 penyonsangan tiub luaran dan dalaman dibawah daya seakan-akan statik (quasi-static).

2.2 KESAN PENYERAPAN TENAGA HENTAKAN

Penyerap tenaga hentakan atau IEA ialah suatu alat yang bertindak sebagai fius mekanikal bagi mengelak atau menghalang perlanggaran yang tidak diingini berlaku. Selain itu, ia bertindak sebagai suatu rangka komponen (*vice-versa*). Kemalangan atau perlanggaran merupakan sesuatu perkara yang tidak diingini. Walaubagaimanapun, ia tetap terjadi di dalam kehidupan seharian. Perlanggaran yang tidak dirancang adalah suatu perkara yang tidak boleh dielakkan. Contohnya seperti:

- Kemalangan kenderaan disebabkan oleh keadaan jalan yang berlubang dan tidak rata.
- Sangkar lif yang jatuh ke bawah disebabkan oleh kegagalan rod penyambung menahan brek pada lif.
- Benda yang jatuh dan menghempas seperti nuklear, barang yang dihatar melalui udara dan sebagainya.

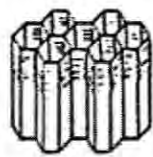
Terdapat cara untuk mengawal pelanggaran daripada berlaku, tetapi ianya tidak menjamin sepenuhnya untuk selamat. Cara yang paling sesuai adalah mengelak kemalangan daripada terjadi. Langkah mengelak pelanggaran yang tidak diinginkan membawa maksud kepada had keselamatan aktif manakala mengurangkan pelanggaran yang tidak diinginkan adalah had keselamatan pasif. Had keselamatan aktif tercapai apabila sesuatu benda atau struktur direka dapat meningkatkan tahap keselamatan. Contohnya; memperbaiki jarak penglihatan pada kereta, keadaan jalan raya dan sebagainya. Had keselamatan pasif pula mereka struktur yang mampu memberi keselamatan tambahan apabila pelanggaran berlaku. Had keselamatan pasif mengabaikan segala tenaga kinetik semasa pelanggaran dan mempunyai daya yang terhad pada struktur yang dibina.

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 rekabentuk 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.

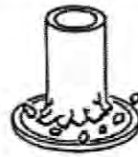
2.2.1 ALATAN PENYERAP TENAGA

Berdasarkan kajian yang telah dilakukan mengenai penyerapan tenaga, banyak alatan (lihat rajah 1) telah digunakan untuk melakukan ujikaji. Ia bertujuan untuk mendapatkan maklumat yang lebih terperinci perihal penyerapan tenaga melalui pelbagai bentuk alatan untuk diuji. Terdapat pelbagai jenis alatan yang digunakan untuk diuji dimana ianya merangkumi alatan yang diperbuat daripada pasir dan cebisan kertas sehingga elemen struktur seperti alang (*beam*) dan kepingan (*plate*). Alatan yang sering kali atau biasa digunakan ialah elemen yang berbentuk seperti sarang lebah (*honeycombs*). Kebanyakan alatan yang berunsur metallic mempunyai

perubahan plastik dan kepatahan yang besar dimana ia cenderung kepada proses pemotongan logam. Tenaga serapan bagi alatan ini menempuh perubahan plastik yang besar. Justeru itu, jumlah kerja pada perubahan plastik boleh dihitung dan ciri perubahan beban boleh dikenalpasti.



Honeycomb



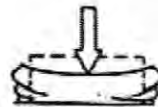
frangible tube



collapsible tube



Fluid-filled device



solid thermoplastic

Rajah 1: Alatan penyerap tenaga

2.2.2 FAKTOR –FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KEBERKESANAN PENYERAPAN TENAGA.

- **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.

- **Pengaruh kadar ketegangan**

Semakin tinggi kadar perubahan plastik, kelajuan perubahan akan meningkat. Justeru itu, tegangan akan menjadi lebih lebih besar. Keadaan ini adalah mungkin disebabkan oleh inersia pada perubahan pada bahan yang diuji. Selain itu, ia turut berkemungkinan mempunyai halangan semasa berlakunya perubahan pada struktur bahan yang diuji pada kelajuan yang tinggi.

- **Pengaruh inersia**

Untuk keadaan dibawah pengaruh inersia, adalah lebih sukar untuk mengambil kira dan menentukan daya asal jika ingin menentukan masa pecutan semasa perubahan pada struktur. Daya asal boleh merubah corak perubahan pada bahan yang diuji tetapi daya asal adalah bergantung kepada jisim dan juga kelajuan semasa hentakan (impact) dimana inersi menjadi subjektif.

2.3 TEORI

Persoalan tentang selinder dan tiub yang dikenakan daya mampatan bersih telah menarik perhatian dalam bidang teknologi seperti bidang rekabentuk elemen penyerapan tenaga hentakan . pelbagai kertas kajian telah di terbitkan berkaitan aspek yang melibatkan masalah ini. Satu kajian yang terperinci tentang sifat kehancuran plastik keatas tiub telah diterbitkan oleh John (1989) apabila satu tiub yang pendek di mampat secara menegek melebihi julat elastic (*Mallock,1908 ; Copa,1962; Horton Et Al.,1966; Allan 1968; Johnson, 1972; Johnson Rt Al.,1977;Sobel And Newman,1980;Andrews Et Al.,1983*) dimana ia akan melipat secara progresif kepada bentuk axisymmetrix dan concertina, seterusnya lipatan atau bentuk berlainan bergantung kepada nisbah $[D/t]$, secara relatif tiub yang lebih tebal berubah kepada axisymetrik dan tiub yang lebih nipis menghasilkan lipatan jenis concertina. Sesetengah tiub mengalami lipatan axisymatrik tetapi berubah kepada jenis berlainan, apabila proses tersebut dibiarkan berterusan. Keterbalikan fenomena ini belum dikaji oleh mana-mana penyelidik.

Bentuk daripada nilai-nilai penyerapan tenaga mampatan ini telah dijadikan tajuk utama dalam penyelidikan sejak dari dahulu lagi. Tujuan bentuk yang terhasil adalah bertujuan untuk membantu menghilangkan tenaga pergerakan yang terhasil daripada sistem semasa berlakunya mampatan. Tenaga pergerakan ini akan melalui bentuk yang terhasil pada tiub silinder tersebut. Kebiasannya, unsur penyerapan yang aktif daripada sistem penyerapan tenaga

boleh di dalam berlainan bentuk termasuk tiub bulat ,tiub segiempat sama , tiub banyak segi , dan lain-lain lagi..Pemilihan Axisymmetric dan bentuk-bentuk bulat memberikan kemungkinan dengan julat yang lebar daripada semua pilihan yang lain,ianya digunakan sebagai unsur penyerap tenaga kerana apabila berada dalam keadaan berdaya ianya akan menunjuk sifat sifat plastik, oleh itu secara lazimnya ia akan bertindak sebagai unsur-unsur struktur. Dalam fakta tiub bulat dibawah daya mampatan adalah dilaporkan bahan paling banyak digunakan dalam sistem penyerap tenaga kerana tiub bulat memberikan daya tetap yang munasabah .Selain itu,tiub bulat juga mempunyai kandungan tenaga penyerap yang tinggi dengan cara memperbandingkannya dengan menggunakan jenis tiub yang berlainan, dan merupakan imbalan gerakan panjangnya seunit jisim. Dalam perbandingan antara mampatan sisi dengan mampatan menegak, bentuk ledingan mempunyai kandungan tenaga penyerap khas, demikian adalah 10 kali dalam perbandingan bagi tiub yang sama apabila mengalami mampatan sisi antara 2 kepingan besi berpermukaan rata.. Ini adalah disebabkan, semasa beban paksi dikenakan semua bahan dinding dalam satu tiub boleh ikut serta dalam penyerapan tenaga oleh kerja plastik.Dinding nipis adalah bahan-bahan penyerap yang mempunyai seksyen-seksyen semetri bersilang mungkin seperti dalam bentuk konsertina, berlian atau campuran mod apabila dikenakan beban berpaksi. Fakta, telah melaporkan mengenai kemusnahan tiub silinder dibawah beban statik boleh dikelaskan kepada 7 ketegori yang berbeza,berdasarkan pemerhatian eksperimen iaitu (a) konsertina berturutan; (b) berlian berturutan; (c) Euler; (d) konsertina dan berlian; (e) konsertina serentak; (f) berlian serentak; dan(g) membengkokkan paksi tiub.

Perumusan Teori untuk mengira beban runtuh untuk setiap perubahan tiub-tiub dalam mod kosetina adalah yang pertama diberi dalam rujukan[2]. model ringkas Ini dianggap pembentukan plastik berlekuk , dan panjang kejatuhan tiub terdiri daripada dua garisan lurus antara lekukan.peningkatan model telah dicadangkan dalm rujukan[19] dengan memperkenalkan kelengkungan di perubahan panjang lipatnya..Kemudiannya satu kaedah telah ditunjukkan untuk menentukan beban jatuh antara puncak dan minimum dalam setiap perubahan beban jatuh melalui graf mampatan beban.Lipatan dalaman di dalam analisis juga telah diambil kira kebelakangan ini, satu model dicadangkan

untuk mengambilkira bahagian dalam dan luar lipatan, dan persamaan diterbitkan untuk menentukan purata beban runtuh P_{min} serta beban dalam setiap pergerakan melalui graf mampatan beban

Kegagalan sifat tiub-tiub bulat mod berlian tak simetri dipelajari dan satu persamaan adalah dicadangkan untuk mencari purata beban yang dikenakan keatas tiub bulat tersebut. Kebelakangan ini, lengkokan axisymmetric dari elastik-plastik bekas silinder di bawah kesan paksi dipelajari dengan menggunakan analisis unsur terhingga. kajian Ini mendedahkan mengenai bekas silinder bahawa tertakluk kepada kesan paksi iaitu kedua-dua halaju dan sensitif pada berat, seperti bekas silinder itu boleh menyerap lebih besar tenaga semasa halaju tinggi berbanding dikenakan dengan berat yang lebih kecil. Dalam kertas ini, beberapa hasil percubaan dilaporkan untuk mampatan perlahan secara statik mampatan paksi tiub-tiub bulat keluli lembut dalam keadaan menerima. Tiub-tiub adalah dari berbeza diameter dan panjang ℓ . Kebiasaannya kecacatan pada tiub tunggal dan selari, sepadan lengkungan mampatan oleh beban akan ditunjukkan. Cara tiub-tiub meruntuh adalah dibandingkan melalui keputusan yang diperolehi dari kajian analisis unsur terhingga Untuk tujuan ini, 2-dimensional axisymmetric serta elemen terhad 3-dimensional model-model diambilkira.

2.3.1 Analisis bentuk-bentuk tiub dibawah daya mampatan.

Kebiasaan untuk mod konsertina, daya mampatan yang dikenakan akan mencacatkan tiub-tiub dengan membentuk mod multi cuping atau mod berlian. Apabila daya dikenakan terhadap tiub tersebut, ia akan menyebabkan sebahagian mod cuping yang terbentuk akan terhasil diluar tiub dan sebahagian akan terhasil didalam tiub. Sebahagian daripada panjang yang terlipat dikenali sebagai faktor kesipian (eccentricity factor) di dalam kedua-dua konsertina dan mod multi cuping. Selain daripada itu, ujikaji yang dijalankan adalah untuk memeriksa beban jatuh pada tiub untuk mengetahui nilai daya yang dikenakan bagi menghasilkan bentuk mod multi cuping tersebut. Analisis ini menghasilkan ungkapan nilai bagi factor eccentricity,

demikian memudahkan untuk mengetahui purata beban jatuh, di mana ianya adalah hasil fungsi daripada tiub geometry dan jumlah cuping .

Dengan berlakunya perubahan bentuk pada hujung tiub tersebut, maka ciri tiub dari jenis keluli lembut dan aloi aluminium dapat dipelajari melalui perbandingan nisbah D/t tiub tersebut dan keputusan yang diperolehi semasa berlakunya mampatan keatas tiub tersebut. Penggabungan hujung sekatan pada tiub tersebut dihasilkan oleh sebelah atau kedua-dua jejarian sekatan melengkung ke luar, ke dalam atau kedua-dua arah tersebut. Bahagian hujung tiub jenis keluli lembut dan aloi aluminium semasa dikenakan mampatan static dapat diketahui jenis lipatan yang terbentuk samaada berbentuk concertina sepenuhnya atau berbentuk diamond sepenuhnya. Bentuk-bentuk ini bergantung kepada nisbah D/t dan ciri-ciri bahan yang digunakan. Terhasilnya jejarian sekatan pada kedua-dua hujung tiub tersebut, secara umumnya boleh menghasilkan campuran bentuk concertina-diamond. Jejarian diluar sahaja tidak dapat menunjukkan dengan jelas ciri-ciri perubahan disebabkan tenaga mampatan dan jenis lipatan yang akan terbentuk. Bagaimanapun, sekatan jejarian yang melengkung akan menghasilkan bentuk yang berbeza hasil dari pemerhatian dibawah sekatan arah luar, arah dalam atau penggabungan kedua-dua arah tersebut. Bentuk-bentuk baru yang terlihat dapat diperhatikan hasil dari penggabungan yang berbeza dari sekatan arah luar dan arah dalam pada kedua-dua hujung sekatan. Sekatan sepenuhnya arah jejarian tiub dapat diperhatikan daripada permindahan pada permulaan ia melampaui had dalam lengkungan perubahan beban, dimana adalah bertanggungjawab untuk menaksir purata kemusnahan beban dan kandungan tenaga serapan daripada unsure-unsur besi bertiub .

Lipatan yang pertama hampir gulunganya terjadi pada satu hujung tiub dan dibantu oleh suatu radial keluar dimana magnitudnya ialah fungsi jarak daripada penghujung tiub. Zon plastik terjadi pada sesuatu jarak daripada penghujung tiub. Jarak ini ditentukan oleh geometri bentuk tiub dan selalunya ditentukan oleh \sqrt{Rt} dimana R ialah tiub dalam keadaan had yang