

THE STUDY OF MULTI-RECTANGULAR RING UNDER QUASI-STATIC
LOADING


MUHAMMAD FIRDAUS B. JAMAL

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

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

Tandatangan : 

Nama Penulis : MUHAMMAD FIRDAUS B. JAMAL

Tarikh : MEI 2007

PENGHARGAAN

Bersyukur saya kehadiran Allah S.W.T kerana limpah dan kudratNya dapat juga saya menyiapkan laporan Projek Sarjana Muda 11 ini dalam masa yang telah 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.

Tidak dilupakan kepada juruteknik-juruteknik Fakulti Kejuruteraan Mekanikal kerana memberikan komitmen mereka sepanjang pelaksanaan projek ini berjalan.

Akhirnya, ucapan terima kasih kepada rakan-rakan dan juga orang-orang yang terlibat secara langsung atau pun tidak dalam usaha menyiapkan kajian ini. Sekian, terima kasih.

PENGHARGAAN

Bersyukur saya kehadiran Allah S.W.T kerana limpah dan kudratNya dapat juga saya menyiapkan laporan Projek Sarjana Muda 11 ini dalam masa yang telah 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.

Tidak dilupakan kepada juruteknik-juruteknik Fakulti Kejuruteraan Mekanikal kerana memberikan komitmen mereka sepanjang pelaksanaan projek ini berjalan.

Akhirnya, ucapan terima kasih kepada rakan-rakan dan juga orang-orang yang terlibat secara langsung atau pun tidak dalam usaha menyiapkan kajian ini. Sekian, terima kasih.

ABSTRACT

A lot of research has been produced in terms of searching for an energy absorber. As we all know, energy absorption is very important in daily life especially in safety aspects. Therefore, my research involves forming multi-rectangular rings from a rectangular tube and applying force slowly using a UTM machine. After that, I learned about the effect of load displacement curves on single and multi-rectangular rings. The results are validated by FEA (finite element analysis) 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 cincin berbentuk segiempat tepat ini adalah hasil daripada pemotongan tiub segiempat tepat 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 cincin berbentuk segiempat tepat secara tunggal dan berbilang. Kesemua keputusan yang diperolehi hendaklah dinilai melalui Kaedah Unsur Terhingga (FEA) iaitu menggunakan perisian ABAQUS.

| BAB | ISI KANDUNGAN | MUKA SURAT |
|------------|---|-------------------|
| 1 | Pengenalan | 1 |
| | 1.1 Objektif | 1 |
| | 1.2 Skop Kerja | 2 |
| | 1.3 Carta Gantt | 2 |
| 2 | Kajian Ilmiah | 4 |
| | 2.1 Kajian secara umum mengenai penyerapan tenaga | 4 |
| | 2.2 Penyerapan tenaga hentakan | 6 |
| | 2.3 Alat penyerap tenaga | 7 |
| | 2.3.1 Faktor-faktor yang mempengaruhi penyerapan tenaga | 7 |
| | 2.4 Teori penyerapan tenaga | 8 |
| | 2.4.1 Beban kegagalan untuk cincin segiempat | 8 |
| 3 | Perkembangan Eksperimen | 14 |
| | 3.1 Bahan ujikaji | 14 |
| | 3.1.1 Segiempat tepat berbilang | 14 |
| | 3.1.2 Segiempat sama berbilang | 16 |
| | 3.2 Sifat bahan ujikaji | 18 |
| | 3.2.1 Ujian kekerasan | 18 |
| | 3.2.1.1 Spesifikasi mesin | 18 |
| | 3.2.1.2 Prosedur ujian kekerasan | 21 |
| | 3.3 Ujian mampatan | 22 |
| | 3.4 Ujian keterikan | 23 |

| | | |
|----------|--|----|
| 4 | ANALISIS UNSUR TERHINGGA (FEA) | 24 |
| | 4.0 Analisis Unsur Terhingga | 24 |
| | 4.1 Pengenalan kepada FEA | 24 |
| | 4.2 Prosedur Analisis Unsur Terhingga | 24 |
| | 4.2.1 FEA untuk cincin segiempat tepat berbilang | 24 |
| | 4.2.2 Fea untuk cincin segiempat sama berbilang | 35 |
| 5 | KEPUTUSAN EKSPERIMEN DAN FEA | 45 |
| | 5.1 Keputusan eksperimen | 45 |
| | 5.1.1 Eksperimen 1 | 45 |
| | 5.1.2 Eksperimen 2 | 50 |
| | 5.1.3 Eksperimen 3 | 55 |
| | 5.1.4 Eksperimen 4 | 60 |
| | 5.1.5 Eksperimen 5 | 65 |
| | 5.1.6 Eksperimen 6 | 70 |
| | 5.2 Keputusan Analisis Unsur Terhingga | 75 |
| | 5.2.1 Analisis Unsur Terhingga keatas cincin segiempat tepat berbilang | 75 |
| | 5.2.2 Analisis Unsur Terhingga keatas cincin segiempat sama berbilang | 76 |
| | 5.3 Perbandingan keputusan eksperimen | 77 |
| | 5.3.2 Perbandingan keputusan eksperimen dengan FEA | 81 |
| | 5.3.2.1 Perbandingan bagi cincin segiempat tepat berbilang | 81 |
| | 5.3.2.2 Perbandingan bagi cincin segiempat sama berbilang | 81 |

| | | |
|----------|----------------------|----|
| 6 | KESIMPULAN | 82 |
| | 6.0 Kesimpulan | 82 |
| 7 | RUJUKAN | 83 |
| | Rujukan | 83 |
| 8 | LAMPIRAN | 83 |
| | Lampiran | 83 |
| | ISI KANDUNGAN | |

SENARAI SIMBOL

SIMBOL

DEFINISI

| | |
|-------|-------------------------|
| E_p | Kekuatan kepatahan |
| M | Daya bengkokan (moment) |
| F | Daya (Force) |
| Hz | Frekuensi (volt) |
| A | Ampere |
| 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 |

1.2 SKOP KERJA

- Tiub yang berbentuk segiempat tepat dipotong untuk mendapatkan segiempat tepat yang berbentuk cincin, kemudiannya ditekan atau dimampatkan. Ujian ini dijalankan ke atas cincin segiempat tunggal dan juga cincin segiempat berbilang.
- Cincin segiempat tepat yang berbilang dihasilkan daripada penyusunan cincin segiempat tunggal.
- Bahan ujikaji tersebut diuji dengan Ujian Kekerasan dan Ujian Keterikan bagi mendapatkan dan mengetahui sifat bahan tersebut.
- Kadar kelajuan proses pemampatan adalah di antara 5-20 mm/min.
- Keputusan eksperimen hendaklah disahihkan berdasarkan Analisis Unsur Terhingga FEA.

1.3 CARTA GANTT

BAB 2

KAJIAN ILMIAH

2.1 KAJIAN SECARA UMUM MENGENAI PENYERAPAN TENAGA

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.

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.

Penyerapan 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. 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. 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.

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

2.2 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:

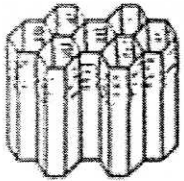
- Kemalangan kenderaan disebabkan oleh keadaan jalan yang berlubang dan tidak rata.
- Sangkar lif yang jatuh ke bawah disebabkan oleh kegagalan rod penyambung menahan brek pada lif.
- Benda yang jatuh dan menghempas seperti nuklear, barang yang dihantar melalui udara dan sebagainya

Terdapat cara untuk mengawal perlanggaran daripada berlaku, tetapi ianya tidak menjamin sepenuhnya untuk selamat. Cara yang paling sesuai adalah mengelak kemalangan daripada terjadi. Langkah mengelak perlanggaran yang tidak diingini membawa maksud kepada had keselamatan aktif manakala mengurangkan perlanggaran yang tidak diingini 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 meraka struktur yang mampu memberi keselamatan tambahan apabila perlanggaran berlaku. Had keselamatan pasif mengabaikan segala tenaga kinetik semasa perlanggaran dan mempunyai daya yang terhad pada struktur yang dibina.

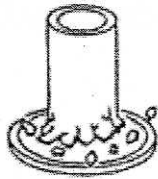
Sesetengah daripada elemen struktur yang terdapat pada struktur utama boleh mempunyai tujuan sekunder sebagai penyerap untuk perlanggaran yang lebih keras. Untuk menjadikan bahan yang dilanggar supaya boleh dikawal untuk berhenti, suatu beban yang kurang dari beban rekabentuk perlu dikenakan padanya 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.

2.3 ALAT PENYERAP TENAGA

Berdasarkan kajian yang telah dilakukan mengenai penyerapan tenaga, banyak alatan 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. Gambar-gambar dibawah adalah contoh alatan penyerapan tenaga.



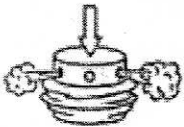
Honeycomb



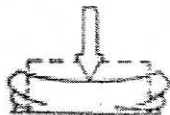
frangible tube



collapsible tube



Fluid-filled device



solid thermoplastic

2.3.1 FAKTOR MEMPENGARUHI 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

2.4 TEORI PENYERAPAN TENAGA

2.4.1 BEBAN KEGAGALAN (Collapse Load) UNTUK CINCIN SEGIEMPAT KOSONG

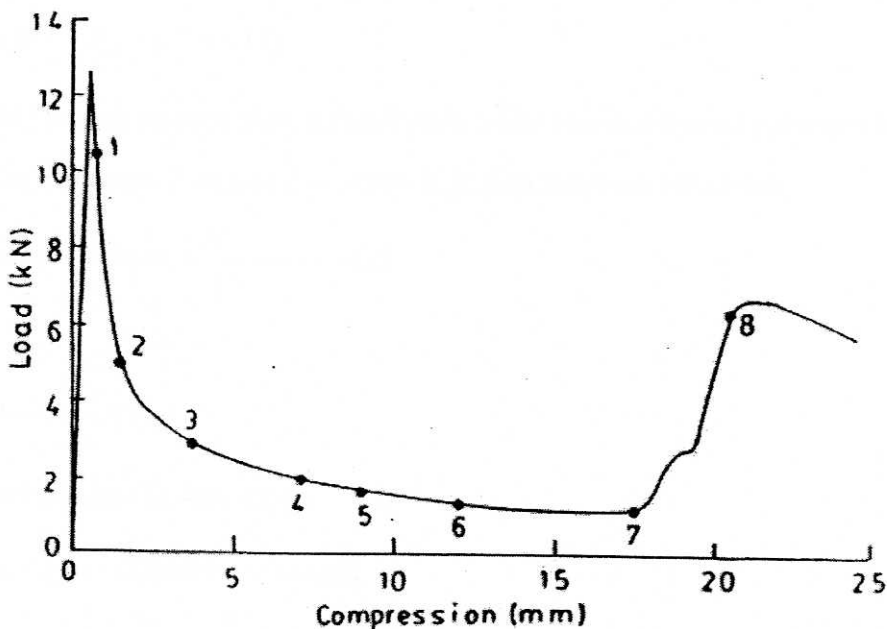


Figure 2(a) Quasi-static load-compression graph of a specimen (tube no. 14), numbers indicate stages at which deforming profiles are shown in Figure 2(b)

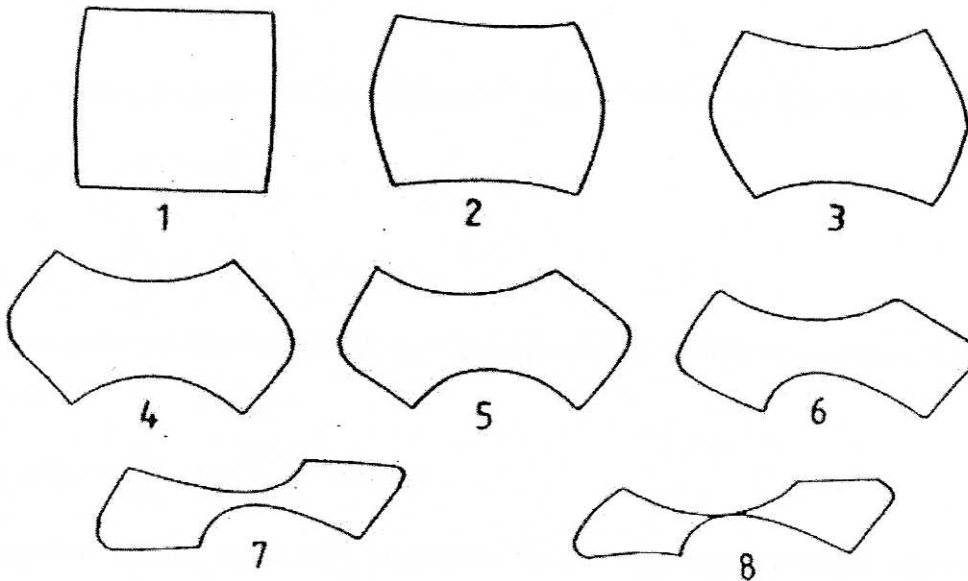


Figure 2(b) Sequence of deforming profiles of a specimen at stages marked in Figure 2(a)

Anggapkan lengan menegak AD dibawah pengaruh beban yang diberikan seperti dalam gambar rajah 4(a), persamaan pembezaannya adalah.

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = M_o - P_y \text{ -----(1)}$$

Dimana M_o adalah momen yang terhasil pada sudut akibat daripada pusingan keanjalan pada lengan mendatar. Penyelesaian umum kepada persamaan (1) adalah,

$$y = C_1 \cos kx + C_2 \sin kx + \frac{M_o}{P} \text{ -----(2)}$$

Dimana,

$$k = \sqrt{\frac{P}{EI}} \text{ -----(3)}$$

Bezakan persamaan (2), kita dapati,

$$\frac{dy}{dx} = -C_1 k \sin kx + C_2 k \cos kx \text{ -----(4)}$$

Keadaan sempadan adalah seperti berikut, $y=0$, pada $x=0$ -----(5)

$$\frac{dy}{dx} = 0, x = \frac{H}{2} \text{ -----(6)}$$

Menggunakan persamaan (5) dimasukkan ke dalam persamaan (2) kita dapati,

$$C_1 = -\frac{M_o}{P} \text{-----(7)}$$

Menggunakan persamaan (6) dimasukkan ke dalam persamaan (4) kita dapati,

$$-C_1 k \sin \frac{kH}{2} + C_2 k \cos \frac{kH}{2} = 0$$

$$\text{Atau, } C_2 = -\frac{M_o}{P} \tan \frac{kH}{2} \text{-----(8)}$$

Pusingan pada sudut di tentukan dengan menggunakan $x=0$ dalam persamaan (4), seperti dibawah,

$$\frac{dy}{dx}(x=0) = -\frac{M_o}{P} k \tan \frac{kH}{2} \text{-----(9)}$$

Berdasarkan gambar rajah 4(b) anggapkan lengan mendatar bertindak seperti tiang dengan hujung berpasang, pembezaan persamaan adalah,

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = Ty - M_o \text{-----(10)}$$

Penyelesaian umum persamaan (10) adalah,

$$y = C_1 e^{px} + C_2 e^{-px} + \frac{M_o}{T} \text{-----(11)}$$

Dimana,

$$p = \sqrt{\frac{T}{EI}} \text{-----(12)}$$

Keadaan sempadan adalah,

$$y=0, \text{ pada } x=0 \text{-----(13)}$$

$$y=0, \text{ pada } x=H \text{-----(14)}$$

Menggunakan keadaan sempadan (13) di masukkan kedalam persamaan (11) kita dapati,

$$C_1 + C_2 + \frac{M_o}{T} = 0 \text{-----(15)}$$

Menggunakan keadaan sempadan (14) kita dapati daripada persamaan (11),

$$C_1 e^{pH} + C_2 e^{-pH} + \frac{M_o}{T} = 0 \text{-----(16)}$$

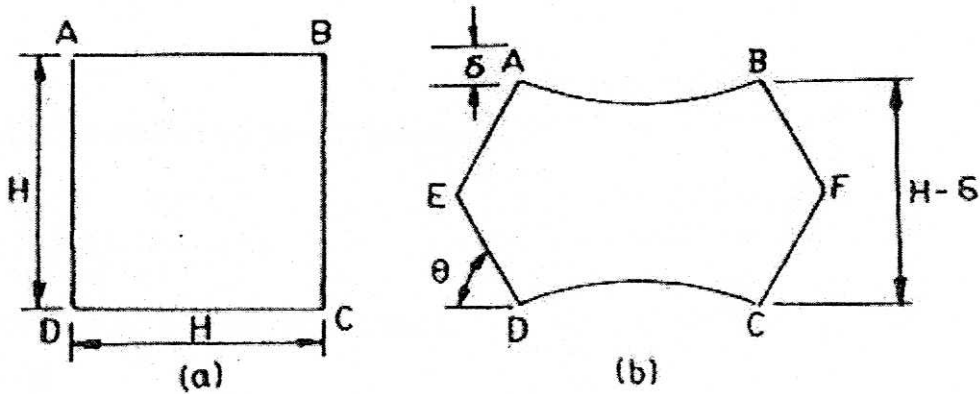


Figure 3(a) Undeformed and (b) deformed shape of the tube cross section

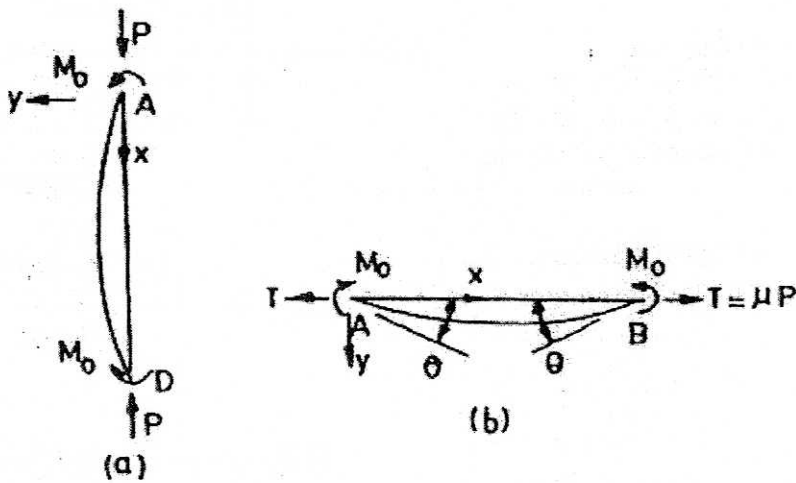


Figure 4 Showing deformed shape of (a) vertical arm, (b) horizontal arm at collapse stage

Gantikan nilai C_2 dengan C_1 daripada persamaan (15), dan masukkan kedalam persamaan (16) kita dapati,

$$C_1 e^{pH} + \left(-C_1 - \frac{M_o}{T} \right) e^{-pH} + \frac{M_o}{T} = 0$$

$$\text{Atau, } C_1 (e^{pH} - e^{-pH}) = \frac{M_o}{T} (e^{-pH} - 1)$$

$$\text{Atau, } C_1 = \frac{-M_o}{e^{pH} + 1} \text{-----(17)}$$

Daripada persamaan (16) dan (17) kita dapati,

$$C_2 = \frac{-M_o}{e^{-pH} + 1} \text{-----(18)}$$

Penyelesaian umum boleh ditulis sebagai,

$$y = \frac{-M_o}{e^{pH} + 1} e^{px} - \frac{-M_o}{e^{-pH} + 1} e^{-px} + \frac{M_o}{T} \text{-----(19)}$$

$$\text{Atau, } y = \frac{M_o}{T} \left(1 - \frac{e^{px}}{e^{pH} + 1} - \frac{e^{-px}}{e^{-pH} + 1} \right) \text{-----(20)}$$

$$\text{Atau, } y = \frac{M_o}{T} \left(1 - \frac{\text{kosh} p \left(\frac{H}{2} - x \right)}{\text{kosh} \left(\frac{pH}{2} \right)} \right) \text{-----(21)}$$

Bezakan persamaan (21),

$$\frac{dy}{dx} = \frac{M_o}{T} p \left(\frac{\sinh p \left(\frac{H}{2} - x \right)}{\text{kosh} \frac{pH}{2}} \right) \text{-----(22)}$$

$$\frac{dy}{dx} (x = 0) = \frac{M_o}{T} p \tanh \frac{pH}{2} \text{-----(23)}$$

Berdasarkan perbandingan, kecerunan lengan menegak dan mendatar mestilah pada sudut yang sama. Perbandingan persamaan (9) dan (23) kita mendapati,

$$\frac{-M_o}{P} k \tan \frac{kH}{2} = \frac{M_o}{T} p \tanh \frac{pH}{2} \text{-----(24)}$$

Gantikan nilai p dalam persamaan (24) kita dapati,

$$-\frac{M_o}{P} k \tan \frac{kH}{2} = \frac{M_o}{\mu P} \sqrt{\frac{\mu P}{EI}} \tanh \frac{H}{2} \sqrt{\frac{\mu P}{EI}} \text{-----(25)}$$

Permudahkan persamaan (25) kita dapati,

$$\tan \frac{kH}{2} + \frac{1}{\sqrt{\mu}} \tanh \frac{kH}{2} \sqrt{\mu} = 0 \text{-----(26)}$$

Sebagai contoh kita gantikan $\mu = 0.5$, kita mendapat $\frac{kH}{2} = 2.227$ dan kita akan mendapati beban kritikal untuk dinding menegak.

$$P_{cr} = 19.84 \frac{EI}{H^2} \text{-----(27)}$$

Oleh itu, Beban Kegagalan adalah,

$$P_{max} = 2P_{cr} = 3.307 \left(\frac{ELt^3}{H^2} \right) \text{-----(28)}$$

BAB 3

PERKEMBANGAN EKSPERIMEN

3.1 BAHAN UJIKAJI

3.1.1 SEGIEMPAT TEPAT YANG BERBILANG

Cincin segiempat tepat dari keluli lembut di pilih untuk dijadikan bahan ujikaji dalam menentukan dan mengetahui kesan penyerapan tenaga. Spesifikasi cincin berbentuk segiempat tepat yang dipilih adalah seperti yang ditunjukkan dalam gambar rajah di bawah. Pada asalnya cincin ini terdiri daripada cincin segiempat tunggal dan ianya telah dicantumkan dengan menggunakan teknik kimpalan arca. Bahan ujikaji ini di potong mengikut saiz yang telah di tetapkan dan permukaannya diratakan menggunakan kikir supaya ujian mampatan dapat dilakukan dengan baik dan tidak memberi kesan pada bacaan yang di ambil. Rajah dibawah menunjukkan spesifikasi spesimen yang di guna pakai.

