

# LOAD DISPLACEMENT ON MULTI-HEXAGONAL RINGS


MUHAMMAD ERWAN BIN MOHD KAMAL

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 ERWAN BIN MOHD KAMAL  
Tarikh : MEI 2007



PROFESOR MADYA DR. MOHD. RADZAI B. SAID  
*Dekan*  
Fakulti Kejuruteraan Mekanikal  
Universiti Teknikal Malaysia Melaka  
Karung Berkunci 1200, Ayer Keroh  
75450 Melaka

Untuk kedua ibu bapa tersayang

Encik Mohd Kamal bin Daud dan Puan Norhaine bte Adam

Adik beradik Saya

Erma

Mohd Ersham

Mohd Effandy

Sanak saudara yang lain, kawan lelaki dan kawan perempuan...

## PENGHARGAAN

Pertama sekali, saya ingin mengucapkan syukur kepada Allah S.W.T kerana mengizinkan saya menyiapkan kajian ini dengan jayanya. Untuk menyiapkan kajian ini, saya banyak berhubung dengan ramai orang, melakukan pelbagai penyelidikan, eksperimen dan juga proses pembelajaran. Kerjasama yang baik telah diberikan kepada saya dalam menyiapkan kajian ini berdasarkan pemahaman saya. Ucapan setinggi-tinggi terima kasih kepada penyelia kajian saya iaitu Prof. Madya Mohd Radzai bin Said yang telah banyak membimbing dan membantu saya untuk menyiapkan kajian saya ini. Ucapan terima kasih juga kepada rakan-rakan yang berkongsi pengalaman bersama sepanjang empat tahun di UTeM dan tidak dilupakan ibu-bapa saya Mohd Kamal bin Daud dan Norhaine bte Adam yang sering memberi sokongan yang tidak berbelah bagi kepada saya. Tanpa bantuan dan sokongan mereka semua, kajian ini tidak dapat disiapkan dan dipersembahkan disini. Terima kasih semua.

## ABSTRACT

A lot of research has been produced in terms of searching energy absorbers. In already we all know, energy absorption is very important in daily life especially in safety aspect. Therefore, my research involving form a hexagonal rings from hexagonal tube and given force slowly by using UTM machine. After that, I learned about to study the effect of load displacement curves on single and multi hexagonal rings. 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 cincin berbentuk enam segi ini adalah hasil daripada pemotongan tiub enam segi 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 enam segi dan juga kepelbagaian cincin berbentuk enam segi. Kesemua keputusan yang diperolehi hendaklah dinilai melalui Kaedah Unsur Terhingga (FEA) iaitu menggunakan perisian ABAQUS.

## ISI KANDUNGAN

TAJUK	M/S	
<b>1</b>	<b>Pengenalan</b>	1
1.1	Objektif	1
1.2	Skop	1
1.3	Carta alir Projek Sarjana Muda II	2
<b>2</b>	<b>Ulasan Kajian</b>	4
2.1	Kajian secara umum mengenai penyerapan tenaga	4-5
2.2	Penyerapan tenaga hentakan	7
2.2.1	Alatan penyerap tenaga	7
2.2.2	Faktor-faktor yang mempengaruhi keberkesanan penyerapan tenaga	8
2.3	Teori	9
<b>3</b>	<b>Perlaksanaan Ujikaji</b>	9
3.1	Bahan ujikaji	14-15
3.2	Sifat mekanik bahan	16
3.2.1	Ujian kekerasan	17
3.3.0	Ujian terikan	20
3.3.1	Ujian mampatan	21
<b>4</b>	<b>FEA</b>	25
4.1	Pengenalan mengenai Abaqus	25
4.2	Kaedah analisis	26

<b>5</b>	<b>KEPUTUSAN</b>	<b>36</b>
5.1	Tekanan pada permukaan kepelbagaian cincin segi enam (1) (10mm/min)	42
5.1.1	Tekanan pada permukaan kepelbagaian cincin segi enam (2) (10mm/min)	46
5.1.2	Tekanan pada permukaan kepelbagaian cincin segi enam (1&2) (15mm/min)	50
5.1.3	Perbandingan graf	54
5.2	FEA-Perbincangan	56
<b>6</b>	<b>KESIMPULAN</b>	<b>58</b>
	<b>RUJUKAN</b>	<b>59</b>
	<b>CADANGAN UNTUK KAJIAN SELANJUTNYA</b>	<b>60</b>
	<b>LAMPIRAN</b>	<b>61</b>



## SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK	MUKA SURAT
1.0	Spesifikasi spesimen yang digunakan.	15
2.0	Spesifikasi Mesin ujian kekuatan	17
3.0	Keputusan ujian kekuatan	19
4.0	Jadual penukaran nilai ujian kekerasan	19
5.0	Spesifikasi Mesin Ujian Pelbagai	21
6.0	Maklumat tentang eksperimen Tekanan pada permukaan kepelbagaian cincin segi enam (1) (10mm/min)	36
7.0	Maklumat hasil daripada eksperimen	35
8.0	Maklumat tentang eksperimen Tekanan pada permukaan kepelbagaian cincin segi enam (2) (10mm/min)	38
9.0	Maklumat hasil daripada eksperimen	39
10.0	Maklumat tentang eksperimen Tekanan pada permukaan kepelbagaian cincin segi enam (1) (15mm/min)	40
11.0	Maklumat hasil daripada eksperimen	41
12.0	Luas dibawah graf (kamiran dari graf daripada sifar)	43
13.0	Luas dibawah graf (kamiran dari graf daripada sifar)	47
14.0	Keputusan untuk ujian tekanan pada cincin segi enam pada kadar yang berbeza	54
15.0	Gambaran keputusan teori yang boleh dilakukan perbandingan	57

## SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
1.0	Alatan penyerap tenaga	7
2.0	Mekanisma cincin enam segi apabila dikenakan daya pada permukaan	9
3.0	Mekanisma cincin enam segi apabila dikenakan daya pada pepenjuru	12
4.0	Sampel specimen cincin enam segi	15
5.0	Mesin penguji kekuatan	17
6.0a	Mata alat iaitu <i>diamond cone</i> 120 <sup>0</sup> berada diatas bahan ujikaji	18
6.0b	Mata alat yang telah ditetapkan daya menekan permukaan bahan ujikaji.	18
6.0c	Mata alat dialihkan dari permukaan bahan Ujikaji dan kesan berlubang kelihatan diatas permukaan.	18
7.0	Mata alat menekan permukaan bahan ujikaji pada sudut 90 <sup>0</sup>	18
7.0a	Spesimen dan rajah ujian tegangan	20
8.0	Mesin Ujian Pelbagai	21
9.0	Kepelbagaian cincin enam segi dikenakan daya pada permukaan	22
10.0 A,B,C	Tekanan pada permukaan kepelbagaian cincin segi enam pada specimen dan kadar yang berlainan.	24
11.0	Specimen cincin enam segi dibuka melalui <i>fail- open database</i> . Paparan cincin enam segi dapat dilihat pada templat tersebut	26

12.0	Gambarajah specimen (cincin segi enam) dilukis pada templat dan dinamakan <i>Model 1</i> sebelum proses analisis.	27
13.0	Bahagian menentukan sifat-sifat bahan ditentukan dapat dilihat pada tettingkap yang dipaparkan	28
14.0	Tettingkap <i>create step</i> bagi menentukan langkah-langkah yang perlu dilakukan.	29
15.0	Proses penetapan daya pada kepelbagaian cincin enam segi.	30
16.0	Keadaan daya dan persempadanan ditentukan pada kepelbagaian cincin enam segi.	31
17.0	Kepelbagaian cincin enam segi yang melalui proses mesh	32
18.0	Model kepelbagaian cincin enam segi dilabelakan sebagai Job-9	33
19.0	Paparan job yang telah dibina pada rajah diatas diletakkan.	33
20.0	Kepelbagaian cincin enam segi yang telah dianalisis	34
21.0	Keputusan setelah <i>full analysis-results</i> .	35
22.0	Graf daya tekanan melawan pemanjangan pada kadar 10mm/min	36
23.0	Graf daya tekanan melawan pemanjangan pada kadar 10mm/min	38
24.0	Graf daya tekanan melawan pemanjangan pada kadar 15mm/min	40
25.0	Graf beban(N) melawan anjakan (mm) bagi tekanan pada permukaan kepelbagaian cincin segi enam (1) (10mm/min)	42
26.0	Susunan gambarajah perubahan pada kepelbagaian cincin segi enam daya tekanan pada permukaan (10mm/min)	42

27.0	Graf beban (N) melawan anjakan (mm) bagi tekanan pada permukaan kepelbagaian cincin segi enam (2) (10mm/min)	46
28.0	Susunan gambarajah perubahan pada kepelbagaian cincin segi enam apabila dikenakan daya tekanan pada permukaan (10mm/min)	46
29.0	Graf tekanan pada permukaan kepelbagaian cincin segi enam pada kadar 10mm/min bagi kedua-dua sampel	50
30.0	Susunan gambarajah perubahan pada kepelbagaian cincin segi enam apabila dikenakan daya tekanan pada permukaan (10mm/min)	50
31.0	Graf tekanan pada permukaan kepelbagaian cincin segi enam pada kadar 10mm/min dan 15mm/min bagi ketiga-tiga sampel	52
32.0	Gambaran keputusan teori yang boleh dilakukan perbandingan	56

## SENARAI SIMBOL

<b>SIMBOL</b>	<b>DEFINISI</b>
Ep	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)

<b>HURUF GREEK</b>	<b>DEFINISI</b>
$\sigma_y$	Tegasan
$\epsilon$	Tegasan
$\delta$	Perubahan jarak

<b>SINGKATAN</b>	<b>DEFINISI</b>
AISI	American International Supply Inc.
ASTM	American Standard Test Material
HRA	Hardness Rockwell
FEA	Finite Element Analysis



## BAB 1.0: 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 (*mild steel*) telah di pilih untuk menentukan sejauh mana keberkesanannya dalam penyerapan tenaga dan keluli lembut ini dipilih dari plat besi yang dibentuk hingga menjadi kepelbagaian cincin enam segi yang berlaianan saiz. Ini adalah supaya kita dapat mengetahui serta mengenal pasti kesan daripada penyerapan tenaga yang dikenakan keatas kepelbagaian cincin segi enam ini apabila di kenakan tekanan secara statik.

Dalam bab ini penentuan kepada jenis atau saiz besi yang hendak digunakan adalah penting, Ianya merupakan objektif utama kajian ini dilakukan. Secara keseluruhan keluli lembut (*mild steel*) yang digunakan adalah berbentuk kepelbagaian cincin segi enam yang mana akan dijadikan rujukan serta panduan sepanjang kajian ini dijalankan. Selain itu, segala sifat-sifat bahan dikaji melalui ujikaji kekerasan (*hardness testing*) dan ujian penarikan (*tensile test*) Seterusnya, mesin ujian pelbagai [*universal testing machine (UTM)*] digunakan untuk memastikan kuasa statik yang dikenakan keatas spesimen ini di ukur dengan betul. 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 analisis dengan membandingkan data dari ujikaji dengan menggunakan perisian computer iaitu ABAQUS.

## 1.1. OBJEKTIF

Berdasarkan tajuk kajian yang diberikan, secara umumnya kajian ini dijalankan adalah untuk mengkaji kesan corak perubahan beban pada kepelbagaian cincin enam segi. Ia merangkumi aspek mengkaji tajuk kajian melalui eksperimen dan juga secara teori. Kajian ini dapat dilihat secara jelas melalui penggunaan perisian Kaedah Unsur Terhingga (FEA). Selain itu, kajian ini perlulah 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

Antara aspek-aspek yang perlu dilaksanakan bagi kajian ini adalah:

- i. Pembentukan cincin berbentuk enam segi ini adalah hasil daripada pemotongan tiub enam segi dan kemudiannya dikenakan daya tekanan secara perlahan menggunakan mesin UTM. Penekanan ini dilakukan ke atas cincin berbentuk enam segi dan juga kepelbagaian cincin berbentuk enam segi.
- ii. Kepelbagaian cincin berbentuk enam segi dihasilkan melalui cantuman beberapa cincin berbentuk enam segi di dalam satu cincin enam segi yang memuatkan semua cincin-cincin tersebut.
- iii. Ujian kekerasan dan ujian penarikan perlu dijalankan bagi mengetahui sifat bahan yang digunakan supaya ianya bersesuaian dengan kajian yang dilaksanakan.
- iv. Proses penekan (*compression test*) dilakukan adalah di dalam julat antara 5-20 mm / min.
- v. Kecenderungan lengkungan dikaji semasa proses penekanan dilakukan dan maklumat serta gambar di peroleh.
- vi. Kesemua keputusan yang diperolehi hendaklah dinilai melalui Kaedah Unsur Terhingga (FEA).



**CARTA ALIR PROJEK SARJANA MUDA 2**

CARTA GANTT BAGI PROJEK SARJANA MUDA (PSM) II																	
TAJUK: KAJIAN TENTANG BEBAN SERAGAM TERHADAP CINCIN BERBENTUK SEGIEMPAT TEPAT YANG PELBAGAI																	
NO.	AKTIVITI/TUGAS	JULAI			OGOS			SEPTEMBER			OKTOBER						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Mencari sumber rujukan ilmiah untuk objektif projek ini; rujukan dan teori	█	█	█													
2	Proses penyediaan spesimen sebelum melakukan ujikaji				█	█	█	█	█	█							
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 ujian/kajian dan menyiasat data yang diperolehi.												█	█	█		
5	Mengumpul segala data kajian. Mengemaskini dan membuat persediaan untuk seminar/pembentangan PSM 2.															█	█



## **BAB 2 : ULASAN KAJIAN.**

### **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. (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.

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 (2). Dalam proses mereka atau membina sesuatu alat untuk penyerap tenaga, tujuan utamanya ialah menyerap kebanyakan tenaga kinetik pelanggaran. 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 pelanggaran. 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 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 (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 diperoleh 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 penyonsangan tiub luaran dan dalaman dibawah daya seakan-akan statik (*quasi-static*) (7).



## 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:

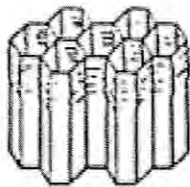
- Kemalangan kenderaan disebabkan oleh keadaan jalan yang berlubang dan tidak rata.
- Sangkar lif yang jatuh ke bawah disebabkan oleh kegagalan rod penyambung menahan brek pada lif.
- Benda yang jatuh dan menghempas seperti nuklear, barang yang dihantar melalui udara dan sebagainya

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 mereka 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.

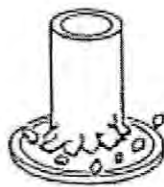
Setengah daripada elemen struktur yang terdapat pada struktur utama boleh mempunyai tujuan sekunder sebagai penyerap untuk perlanggaran yang lebih keras. Untuk menjadikan bahan yang dilanggar supaya boleh dikawal untuk berhenti, suatu beban yang kurang dari beban rekabentuk perlu dikenakan padanya pada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

### 2.2.1 ALATAN 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.



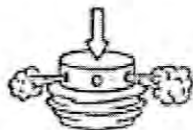
*Honeycomb*



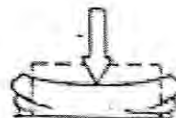
*frangible tube*



*collapsible tube*



*Fluid-filled device*



*solid thermoplastic*

**Rajah 1: Alatan penyerap tenaga**

## 2.2.2 FAKTOR –FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KEBERKESANAN PENYERAPAN TENAGA.

### 1) Sifat bahan

Sifat bahan yang terlibat semasa proses penyerapan tenaga hentakan adalah tegasan perolehan ( $\sigma_y$ ), 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.

### 2) 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.

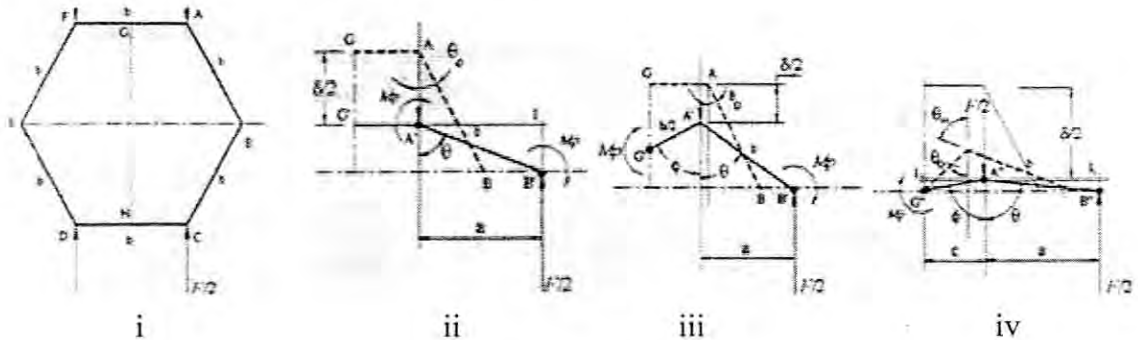
### 3) Pengaruh inersia

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

### 1. Tekanan pada permukaan cincin segi enam



Rajah 2: Mekanisma cincin enam segi apabila dikenakan daya pada permukaan

Anggapkan bucu pada cincin berada pada keseimbangan

$$F/2 a = 2M_p \quad [1]$$

$$\text{Dimana } a = b \sin \theta \text{ and } M_p = \frac{\sigma_y t^2 w}{4} \quad [2]$$

Kadaan ini terjadi apabila berlaku moment plastik,  $M_p$  dan  $\theta$  adalah sudut dan  $F$  adalah daya tekanan

$$\frac{\delta}{2} = b \cos \theta_0 - b \cos \theta$$

$$\begin{aligned} \text{Dimana } F/2 a &= 2M_p \\ F &= \frac{2M_p}{a} \quad (2) \\ F &= \frac{4 M_p}{b \sin \theta} \quad \delta = 2b (\cos \theta_0 - b \cos \theta) \quad [3] \end{aligned}$$

dengan menukarkan  $\sin \theta$  didalam sebutan  $\delta$  dan sudut asal  $\theta_0$

$$F = \frac{4M_p}{b\sqrt{1 - (\cos \theta_0 - \delta/2b)^2}} \quad [4]$$

Sudut  $\theta$  adalah berbeza dari  $30^\circ$  kepada  $90^\circ$  dan  $\theta_0$  adalah  $30^\circ$

Untuk mekanisma alternatif (2), pergerakan ia dapat dilihat dalam gambar C. Ia terdapat 2 fasa. Ia menunjukkan beban dan pengalihan silang (*crosshead displacement*) adalah berkaitan kepada sudut putaran pada titik B. Fasa ini berakhir apabila segment bersentuh (pada G' dan H') pada kawasan tengah permukaan.

Fasa 1, kaitan geometri adalah;

$$\frac{\delta}{2} = b \cos \theta_0 - b \cos \theta \quad \theta + \phi = 120^\circ \quad [5]$$

Pada akhir fasa 1 ( $\phi = \phi_0, \theta = \theta_{01}$ )

$$\frac{b}{2} = b \cos \theta_0 = b \cos \theta_{01} \quad \theta_{01} + \theta_0 = 120^\circ \quad [6]$$

$$\theta_{01} = 71^\circ \quad \phi_0 = 49^\circ \quad \text{dan } \delta/2 = 0.54b$$

Pada fasa ke 2, terdapat pertambahan sisi besi pada G'' dan B''. sisi besi pada A'' membentuk suku bulatan. Tenaga seimbang pada keadaan ini memberi persamaan;

$$\begin{aligned} \frac{F}{2} \left( \frac{\dot{\delta}}{2} \right) &= M_p \dot{\theta}_B + M_p \dot{\theta} + M_p \dot{\theta}_G \\ &= M_p \dot{\theta} + (M_p \dot{\theta} + M_p \dot{\phi}) + M_p \dot{\phi} = 2M_p \dot{\theta} + 2M_p \dot{\phi} \end{aligned} \quad [7]$$

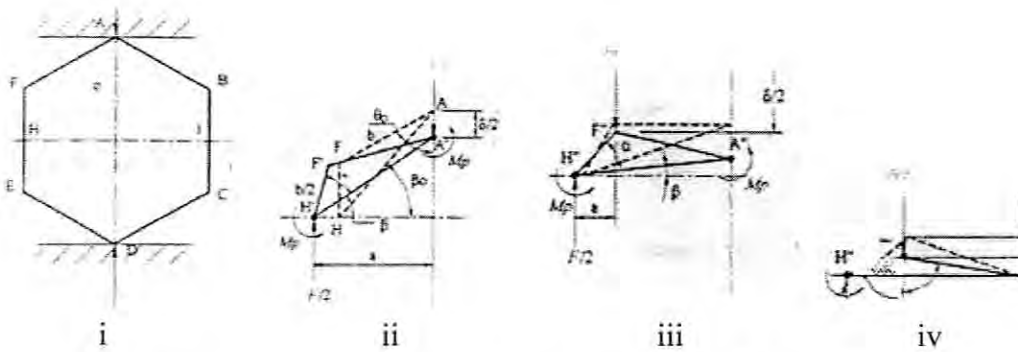
$$I_2 A'' \dot{\phi} = I_1 A'' \dot{\theta} \quad (\text{geometri yang bersesuaian})$$

$$G'' A'' \sin \phi \dot{\phi} = B'' A'' \sin \theta \dot{\theta} \quad [8]$$

$$\dot{\phi} = \frac{2 \sin \theta}{\sqrt{1 - 4 \cos^2 \theta}} \dot{\theta} \quad \text{sebagai } G'' A'' \cos \phi \dot{\phi} = B'' A'' \cos \theta \dot{\theta} \quad [9]$$

$$\therefore F = \frac{4M_p}{b \sin \theta} \left( 1 + \frac{2 \sin \theta}{\sqrt{1 - 4 \cos^2 \theta}} \right) \quad \text{as } \frac{\delta}{2} = b \sin \theta \dot{\theta} \quad [10]$$

## 2. Tekanan pada pepenjuru cincin segi enam



Rajah 3: Mekanisma cincin enam segi apabila dikenakan daya pada pepenjuru

### Fasa 1

Sudut  $\beta$  pada kecondongan  $H'A'$  diambil sebagai perubahan asas. Momen pada lengan  $a = H'A' \cos \beta$  dimana  $H'A' = HA$ . Ia boleh ditentukan daripada segitiga  $HFA$ ;  $HF = b/2$ ,  $FA = b$   $F = 120^\circ$  dan  $\alpha = 40.9^\circ$ . kecondongan asal  $HA$  pada keadaan mendatar adalah  $\beta_0 = 49.1^\circ$

Keseimbangan momen disebabkan daya pada rajah

$$F/2 a = 2M_p \quad [13]$$

$$F = \frac{8M_p}{b\sqrt{7} \cos \beta} \quad \text{sebagai } a = A'H' \cos \beta \text{ dan } A'H' = \sqrt{7} b/2 \quad [14]$$

Geometri memberikan perubahan (*deformation*) sebagai  $\frac{\delta}{2} = HF + FA \cos \theta_0 - H'A' \sin \beta$

$$\text{atau } \frac{\delta}{2} = b \left( 1 - \frac{\sqrt{7}}{2} \sin \beta \right) \quad \text{sebagai } \theta_0 = 60^\circ \quad [15]$$

pada akhir fasa 1 apabila sisi  $FA$  mendatar, sudut  $\beta = 19.1^\circ$ . Oleh itu,  $\delta = 1.13b$  berdasarkan persamaan diatas.