

‘saya / kami\* akui bahawa telah membaca  
karya ini dan pada pandangan saya / kami\* karya ini  
adalah memadai dari segi skop dan kualiti untuk tujuan penganugerahan  
Ijazah Sarjan Muda Kejuruteraan Mekanikal (Struktur dan Bahan)’

Tandatangan : .....  
Nama Penyelia : En.Kamarul Ariffin bin Zakaria  
Tarikh : .....

Potong yang tidak berkenaan

PENYERAPAN TENAGA OLEH KELULI LEMBUT DI BAWAH HENTAMAN  
KUASI-STATIK

AMIR ZAID BIN BAHARUDIN

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

Fakulti Kejuruteraan Mekanikal  
Universiti Teknikal Malaysia Melaka

APRIL 2009

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

Tandatangan : .....  
Nama Penulis : Amir Zaid bin Baharudin  
Tarikh : .....

Untuk kedua ibu bapa tersayang

Encik Baharudin bin Razali dan Puan Noorizah bte Mahad

Adik-beradik Saya

Serta

Sanak saudara yang lain, kawan lelaki dan kawan perempuan.

## **PENGHARGAAN**

Bersyukur kehadiran Ilahi kerana dengan limpah dan kurnia-Nya dapatlah saya menyiapkan kajian Projek Sarjana Muda saya ini dengan sempurna. Saya juga bersyukur kerana sepanjang saya menuntut ilmu di Universiti Teknikal Malaysia Melaka (UTeM) dipermudahkan oleh-Nya untuk menerima ilmu yang diajari.

Dikesempatan ini saya ingin mengucapkan setinggi-tinggi ucapan terima kasih kepada penyelia En. Kamarul Ariffin bin Zakaria kerana bantuan, sokongan dan juga kesabaran beliau dalam menyelia kajian saya ini. Dari itu saya berasa berbangga kerana menjadi salah seorang pelajar dibawah seliaan beliau. Terima ksaih juga diucapkan kepada pensyarah-pensyarah Fakulti Kejuruteraan Mekanikal. Ini kerana, tanpa ilmu yang beliau miliki itu tidak mungkin saya dapat menyiapkan kajian ini dengan sempurna.

Saya juga ingin mengucapkan jutaan terima kasih kepada juruteknik yang berpengalaman diatas pertolongan yang telah diberikan semasa kajian dilakukan. Dengan bantuan mereka, kajian ini dapat dijalankan dengan mudah serta tepat.

Tidak lupa juga kepada kawan-kawan yang mana telah banyak memberi pertolongan dan dorongan dalam menyiapkan tesis ini. Akhir sekali, ucapan terima kasih yang tidak terhingga saya ucapkan kepada kedua ibu bapa tercinta kerana berkat doa mereka dapatlah tesis ini disiapkan. Jutaan terima kasih kepada semua.

## **ABSTRAK**

Keluli lembut selalu digunakan sebagai penyerap tenaga dalam kejuruteraan struktur kerana sifatnya menyebabkan ia sangat sesuai bertindak sebagai penyerap hentakan. Dalam kajian ini, perilaku hentaman terhadap struktur tiub dalam pelbagai bentuk dikenalpasti dan kadar kemampuan penyerapan tenaga diukur. Parameter bersistem digunakan bertujuan mengkaji kesan sifat bahan dan bentuk termasuk kekuatan mulur dan kekuatan maksimum, panjang tiub dan kelajuan hentaman yang dikenakan ke atas spesimen serta kapasiti penyerapan tenaga oleh keluli lembut ini. Pertama sekali, model sebenar dibina bagi tujuan eksperimen. Kemudian ia akan dibuktikan dengan menggunakan perisian ABAQUS dan mencapai keputusan yang tepat dengan keadaan sebenar eksperimen. Tiub dalam pelbagai bentuk iaitu tiub silinder, tiub segiempat, dan tiub segitiga akan dikenakan daya kuasi-statik keatasnya

## **ABSTRACT**

Mild steel is commonly used as an energy absorber in engineering structure because of its properties that make it suitable to form a barrier. In this study, the crushing behaviors of tubes in various shapes are characterized and the energy absorption capabilities are quantified. Systematic parametric studies were carried out to study the effect of material properties and the shape of tube including yield and ultimate strength of material, tube length and impact speed on the crushing behaviors and energy absorption capacity of mild steel tubes. First, a model is constructed for experiment purpose. It will be first proven that the ABAQUS software can produce sufficiently accurate results as an actual situation in the experiment. Tubes of various shapes which are cylindrical, triangle, and square tube, subject to quasi-static force were considered.

## KANDUNGAN

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>MUKA SURAT</b>
	<b>PENGAKUAN</b>	ii
	<b>DEDIKASI</b>	iii
	<b>PENGHARGAAN</b>	iv
	<b>ABSTRAK</b>	v
	<b><i>ABSTRACT</i></b>	vi
	<b>KANDUNGAN</b>	vii
	<b>SENARAI JADUAL</b>	x
	<b>SENARAI RAJAH</b>	xi
	<b>SENARAI SIMBOL</b>	xii
	<b>SENARAI LAMPIRAN</b>	xiv
<b>BAB I</b>	<b>Pengenalan</b>	
	1.1 Latar Belakang Projek	1
	1.2 Objektif Kajian	2
	1.3 Skop Projek	2
	1.4 Pernyataan Masalah	3
<b>BAB II</b>	<b>Kajian Ilmiah</b>	
	2.1 Pengenalan	4
	2.2 Alatan Penyerap Tenaga	6



2.3	Faktor-faktor yang mempengaruhi keberkesanan Penyerapan Tenaga Hentaman	7
2.4	Konsep Penyerapan Tenaga oleh Keluli Lembut	8
2.4.1	Keluli Lembut	8
2.4.1.1	Penggunaan Keluli lembut	9
2.4.2	Struktur Tiub	10
2.4.3	Hentaman	13
2.4.3.1	Hentaman Kuasi-Statik	14
2.5	Proses Penekanan	15
2.6	Kesan Proses Penekanan	18
2.6.1	Ledingan	18
2.6.2	Pembentukan Plastik	19
2.7	Kaedah Unsur Terhingga	21
2.8	Perisian FEA ABAQUS	23
2.8.1	Langkah Umum bagi Analisis Unsur Terhingga	23
2.8.2	Simulasi Kuasi-Statik menggunakan <i>Explicit Dynamics</i>	24

### **BAB III KAEDAH KAJIAN**

3.1	Pengenalan Kaedah Kajian	28
3.2	Bahan Spesimen	29
3.2.1	Komposisi Kimia	29
3.2.2	Ciri-ciri Mekanikal	30
3.3	Penyediaan Spesimen	31
3.3.1	Proses Pemotongan	31
3.3.2	Proses Kimpalan	33

3.3.3	Proses Canai	33
3.4	Penentuan Tenaga Serapan melalui kaedah Eksperimen	35
3.4.1	Spesifikasi mesin bagi ujian penekanan	36
3.4.2	Langkah pelaksanaan ujian penekanan	36
3.5	Penentuan Tenaga Serapan menggunakan perisian FEA ABAQUS	38
<b>BAB IV</b>	<b>ANALISIS DAN KEPUTUSAN</b>	
4.1	Ujian Penekanan	48
4.1.1	Keputusan Ujian Penekanan	48
4.1.2	Tenaga Penyerapan	50
4.2	Keputusan Analisis Perisian ABAQUS	51
<b>BAB V</b>	<b>PERBINCANGAN</b>	
5.1	Keputusan Ujian Penekanan	53
5.2	Keputusan Analisis Perisian	57
5.3	Perbandingan Keputusan	59
5.4	Masalah semasa menjalankan ujikaji	61
<b>BAB VI</b>	<b>KESIMPULAN DAN CADANGAN</b>	
6.1	Kesimpulan	63
6.2	Cadangan	64
	<b>RUJUKAN</b>	66
	<b>LAMPIRAN</b>	68

## SENARAI JADUAL

<b>BIL</b>	<b>TAJUK</b>	<b>MUKA SURAT</b>
2.1	Perbandingan antara penekanan dan penerikan	
3.1	Unsur yang terkandung dalam keluli lembut	29
3.2	Ciri-ciri utama keluli lembut	30
4.1	Data Ujian Penekanan	48
4.2	Bacaan luas bawah graf bagi setiap spesimen	50
5.1	Perbandingan nilai Beban Maksimum dan Takat Alah bagi kaedah Eksperimen dan penilaian Perisian	59

## SENARAI RAJAH

<b>BIL.</b>	<b>TAJUK</b>	<b>MUKA SURAT</b>
2.1	Jenis-jenis penyerap hentaman	6
2.2	Struktur Keluli lembut dalam industri	9
2.3	Dimensi Struktur Tiub	10
2.4	Lipatan umumnya berlaku pada keluli lembut jenis konsertina berturutan	12
2.5	Lipatan pada badan spesimen selepas hentaman kuasi statik	14
2.6	Daya-daya yang bertindak pada rasuk	16
2.7	Tiub silinder dengan nisbah P/d 3:1	18
2.8	Graf Tegasan-Terikan	19
2.9	Perisian ABAQUS sesuai bagi modul analisis unsur terhingga	26
3.1	Carta Alir Perlaksanaan Projek	28
3.2	Dimensi spesimen berbentuk segiempat	31
3.3	Mesin Pemotong Bosh	32
3.4	Mesin Kimpalan	33
3.5	Kisaran pada badan spesimen	34
3.6	Spesimen bagi tujuan ujian	34
3.7	Mesin Elektronik Instron 5585	35
3.8	Perbezaan pada ketinggian spesimen sebelum dan selepas ujian penekanan	37
3.9	Spesimen silinder dihentam dengan halaju kuasi statik	38
3.10	Item membuat komponen	39

3.11	Garis bulatan silinder dengan diameter purata	40
3.12	Garis bulatan bagi penghentam	41
3.13	Spesimen silinder dijarakkan beberapa meter dari penghentam	43
3.14	Ciri-ciri bagi syarat sempadan	45
3.15	Spesimen silinder yang telah di sirat ( <i>mesh</i> )	46
4.1	Graf Beban lawan Pemendekan bagi tiub silinder	49
4.2	Graf Beban lawan Pemendekan bagi tiub segiempat	49
4.3	Graf Beban lawan Pemendekan bagi tiub segitiga	50
4.5	Graf Beban lawan Masa bagi tiub silinder	51
4.5	Graf Beban lawan Masa bagi tiub segiempat	52
4.7	Graf Beban lawan Masa bagi tiub segitiga	52
5.1	Graf Beban melawan Pemendekan bagi kesemua bentuk spesimen	53
5.2	Kesinambungan empat bucu meningkatkan daya tahan terhadap beban yang dikenakan	54
5.3	Lipatan yang berlaku pada spesimen selepas proses penekanan	56
5.4	Graf Beban lawan Masa melalui analisis perisian bagi setiap spesimen	57
5.5	Pergerakan Tiub Silinder semasa hentaman	58
5.6	Pergerakan Tiub Segiempat semasa hentaman	58
5.7	Pergerakan Tiub Segitiga semasa hentaman	59

## SENARAI SINGKATAN DAN SIMBOL

### HURUF

F	Daya , N
Pa	Pascal (Nm)
m	meter
A	Luas (Area)
m	Jisim, kg
a	Pecutan, m/s <sup>2</sup>

### DEFINISI

### SIMBOL

$\sigma_y$	Tegasan Maksimum
$\epsilon$	Tegasan
$\delta$	Perubahan jarak

### DEFINISI

### SINGKATAN

AISI	American International Supply Inc.
ASTM	American Standard Test Material
HRA	Hardness Rockwell
FEA	Finite Element Analysis
HSS	Hollow Structure Section

### DEFINISI

## SENARAI LAMPIRAN

<b>NO</b>	<b>TAJUK</b>	<b>MUKA SURAT</b>
A	Data perkomputeran simulasi ABAQUS	68
B	Data ujian penekanan pada pemendekan kurang dari 10 mm	72
C	ASTM (E9-89a)	73

# **BAB I**

## **PENGENALAN**

### **1.1 Latar Belakang Projek**

Penyerapan tenaga menerusi pembentukan bahan kesan daripada hentaman yang dikenakan telah lama dikaji secara meluas lebih dari 3 dekad lalu, khususnya dalam sistem berbentuk tiub. Ianya adalah sistem yang menukar secara menyeluruh atau separa tenaga kinetik yang diterima kepada bentuk tenaga yang lain. Dalam kes sistem tiub ini, tenaga hentaman yang dikenakan keatasnya akan diserap dalam bentuk pembentukan plastik, pembentukan tersebut adalah kekal dan tiub tersebut tidak akan kembali kepada bentuk asal.

Umumnya, objektif penyerap tenaga adalah untuk mengurai tenaga hentaman yang dikenakan ke atas sesuatu bahan ke arah mengurangkan jumlah tenaga yang diterimanya sedikit demi sedikit melalui pembentukan plastik pada objek tersebut maka apa yang terkandung dalam kawasan lindungan objek tersebut adalah selamat meskipun struktur objek tersebut hampir musnah sepenuhnya. Sistem berbentuk tiub dikaji dalam projek ini kerana ia terlalu umum di dalam kejuruteraan struktur dan penggunaannya sangat meluas di dalam pelbagai industri. Hentaman pula datangnya dari pelbagai sumber seperti pelanggaran dan gempa bumi. Oleh itu, pemahaman berkaitan perlakuan pelanggaran ke atas struktur tiub di bawah hentaman kuasi statik menjadi subjek utama bagi projek ini.



## **1.2 Objektif Kajian**

Objektif bagi kajian ini adalah untuk mengkaji keupayaan penyerapan tenaga oleh tiga struktur keluli lembut berbentuk tiub melalui kaedah eksperimen dan analisis perisian FEA ABAQUS. Dalam kajian ini tiga bentuk yang akan dikaji adalah keluli lembut berbentuk tiub silinder, tiub berbentuk segiempat sama, dan tiub berbentuk segitiga sama.

## **1.3 Skop**

Skop- skop dalam projek ini adalah :

1. Mengkaji penyerapan tenaga oleh struktur keluli lembut
2. Penyediaan sampel bagi tujuan ujian
3. Penentuan penyerapan tenaga oleh struktur keluli lembut melalui kaedah eksperimen
4. Penentuan penyerapan tenaga oleh struktur keluli lembut menggunakan perisian FEA ABAQUS
5. Analisis keputusan dan perbincangan

#### **1.4 Pernyataan Masalah**

Penggunaan keluli lembut di dalam industri adalah sangat meluas pada masa kini umumnya sebagai penyerap tenaga di dalam kejuruteraan struktur. Keupayaan tenaga penyerapan di dalam sesebuah komponen adalah sangat penting dalam menaik mutu pelanggaran wajar tanpa menaikkan berat komponen tersebut yang menjurus kepada berat kenderaan bertambah. Selain itu keluli lembut ini juga digunakan pada struktur bangunan dimana ia memainkan peranan penting dalam meminimumkan kemalangan dan kemusnahan apabila terjadinya bencana alam, dan penggunaannya juga sangat praktik di dalam system perpaipan gas dan minyak bertekanan tinggi. Tetapi masih lagi berlaku kemalangan yang meragut nyawa, runtuh bangunan dan letupan di pelantar kesan dari kebocoran gas dan minyak. Maka, kajian terhadap struktur keluli lembut berbentuk tiub ini dilakukan menerusi kaedah eksperimen dan penilaian dilakukan menggunakan perisian FEA ABAQUS.

## **BAB II**

### **KAJIAN ILMIAH**

#### **2.1 Pengenalan**

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 hentaman 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, bahan seperti kusyen pada bampar kenderaan, sistem keselamatan pada lif dan tembok penghalang di jalan raya boleh mengurangkan kadar hentaman 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 . 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 adalah berada pada tahap atau had

yang dibenarkan. Had ini mungkin boleh ditetapkan dengan tahap toleransi manusia atau daya maksimum untuk struktur tersebut boleh bertahan. (Carney & Villette, 1984)

Penyerapan tenaga oleh Keluli lembut apabila dikenakan satu daya ke atasnya dipengaruhi oleh pelbagai kesan iaitu struktur spesimen, jenis bahan spesimen serta jenis dan kadar hentaman yang dikenakan pada spesimen. Apabila kesemua ini diambil kira, maka berlakulah proses dimana ia disebut sebagai proses penekanan. Melalui proses ini spesimen akan berubah bentuk sebagai tindak balas menyerap daya hentaman tersebut. Perubahan tersebut mungkin seketika sahaja jika objek yang dihentam cukup mulur menahan daya hentaman dan kembali seperti sedia kala. Tetapi keluli lembut tidak dikategorikan sebagai besi mulur atau rapuh. Maka keputusan bagi ujian hentaman tentulah berbeza kerana hasil hentaman ini dipengaruhi oleh pelbagai aspek.

Oleh itu kajian dari sudut analisis unsur tidak terhingga dijalankan bagi menganalisis bagaimana konsep penyerapan tenaga oleh logam ini apabila dikenakan satu daya keatasnya. analisis ini mampu menganalisis daya dalam keadaan statik dan dinamik. Maka ia sangat bersesuaian dengan kajian ini dimana hentaman yang dikenakan adalah berkadar kuasi-statik dimana ia tergolong dalam beban dinamik. Satu perisian yang boleh menganalisis kes ini iaitu perisian FEA ABAQUS digunakan, objek maya dibina didalam perisian ini dan kemudian dianalisis mengikut apa yang dirancangkan sebagaimana eksperimen dijalankan didalam situasi sebenar. Eksperimen dilakukan bagi mengenal pasti dan mengesahkan setiap kes yang berbeza dijalankan bagi tujuan membanding beza dan mencapai ketepatan sebagaimana yang dianalisis di dalam perisian FEA ABAQUS.

## 2.2 Alatan Penyerap Tenaga

Berdasarkan kajian yang telah dilakukan mengenai penyerapan tenaga, banyak alatan (lihat rajah 2.1) 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 logam 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. (Gupta & Ray,P, 2008).



Struktur Sarang Lebah



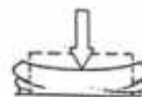
Tiub Boleh Lentur



Tiub Mudah Musnah



Sistem Bendalir Dalaman



Pepejal Termoplastik

Rajah 2.1: Jenis-jenis penyerap hentaman

(Sumber: Gupta & Ray,P, 2008)

### **2.3 Faktor-faktor yang mempengaruhi keberkesanan Penyerapan Tenaga Hentaman**

- **Sifat bahan (jenis bahan)**

Sifat bahan yang terlibat semasa proses penyerapan tenaga hentaman 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. (Gupta & Ray, P, 2008)

- **Pengaruh kadar ketegangan (struktur)**

Semakin tinggi kadar perubahan plastik, kelajuan perubahan akan meningkat. Justeru, 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. (Gupta & Ray, P, 2008)

- **Pengaruh inersia (kadar hentaman)**

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 hentaman (impact) dimana inersia menjadi subjektif. (Gupta & Ray, P, 2008)

## **2.4 Konsep Penyerapan Tenaga oleh Keluli Lembut**

Apabila daya hentaman dikenakan keatas satu spesimen ia akan menghasilkan lipatan dan juga perubahan bentuk pada spesimen sebagai tindak balas menyerap hentaman kesan dari proses penekanan yang dikenakan. Hasil hentaman ini dibincangkan dari sudut; jenis bahan, struktur bahan dan kadar hentaman.

### **2.4.1 Keluli Lembut**

Keluli lembut boleh dikategorikan kepada keluli karbon rendah. Keluli karbon rendah ini biasanya direka dengan empat-digit kod AISE-SAE. Dua digit dihadapan berangka 10 menunjukkan bahawa ia adalah keluli karbon rendah dan menunjukkan kadar kandungan karbon nominal dalam sesuatu keluli dalam bentuk peratusan. Sebagai contoh, sesuatu keluli mempunyai kod AISI-SAE sama dengan 1030. Ini menunjukkan keluli ini mengandungi 0.30 peratusan karbon nominal. Kesemua keluli karbon rendah mengandungi manganis dan unsur-unsur aloi untuk meningkatkan kekuatannya. Kandungan mangan dalam kebanyakan keluli karbon rendah ini adalah berkadaran 0.30 – 0.95 peratus. Keluli ini juga mengandungi bahan sampingan seperti sulfur, fosforus, silikon dan beberapa unsur lain (Smith & Hashemi, 2006).

Beberapa sifat mekanikal AISI-SAE dari jenis keluli karbon rendah ini ditunjukkan pada jadual 3.2. Semakin rendah kandungan karbon dalam keluli karbon rendah ini, semakin mulurlah ia. Penggunaan keluli yang mengandungi kandungan karbon rendah ini adalah sangat meluas dan diaplikasikan dalam kenderaan masa kini bagi menyerap hentaman apabila berlaku pelanggaran. Oleh itu, jika kandungan karbon didalam keluli karbon sederhana ini tinggi, maka ia menjadi sangat keras tetapi ia menjadi rapuh dan ia lebih sesuai digunakan sebagai alat pemotong seperti pisau, spring, dan acuan blok. Terdapat juga keluli yang mengandungi kandungan karbon sederhana dan selalunya ia ber kod (1020-1040) dan ia kerap diaplikasikan dalam gear kenderaan. (Smith & Hashemi, 2006).

Keluli lembut terkandung didalam kelas keluli karbon sederhana dimana kandungan karbon bagi keluli lembut adalah kurang dari 30 peratus dan kod AISI-SEA bagi keluli lembut adalah bermula 1030 dan kebawah. Ketumpatannya adalah  $7861.093\text{kg}/\text{m}^3$  ( $0.284\text{lb}/\text{in}^3$ ) dan mempunyai modulus young sebanyak 210 GPa. (Sumber Internet, 01/08/2008)

#### 2.4.1.1 Penggunaan Keluli lembut

Dalam kajian Smith & Hashemi (2006), penggunaan keluli lembut boleh menjadi sangat sesuai jika kekuatan dan piawaian kejuruteraan tidak terlalu ketat. Keluli ini agak murah dari segi kos tetapi terdapat beberapa batasan bagi keluli lembut ini.

1. Keluli lembut tidak boleh ditegangkan melebihi 72,500 psi (500 Mpa) tanpa kehilangan cukup banyak kemuluran dan penentangan hentaman.
2. Keluli lembut ini mempunyai kadar kekaratan dan pengoksidaan yang tinggi.
3. Keluli lembut ini mempunyai kadar tentangan yang rendah terhadap hentaman pada suhu yang rendah.
4. Mudah didapati dalam dua jenis bentuk sahaja iaitu silinder dan segiempat seperti rajah di bawah.



Rajah 2.2 : Struktur Keluli lembut dalam industri

(Sumber: Internet, 01/08/2008)