

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

PUSAT PENGAJIAN KEJURUTERAAN MEKANIKAL
KAMPUS CAWANGAN PERAK

KAJIAN TERHADAP BEBAN MAMPATAN
PAKSI KE ATAS TIUB YANG
MENGANDUNGI BUIH

DISEDIAKAN OLEH: *MOHD ROZAIMAN BIN AZIZ*

PENYELIA: *DR. ROSLAN BIN AHMAD*

Disertasi ini dikemukakan kepada

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat keperluan untuk ijazah

dengan kepujian

SARJANA MUDA KEJURUTERAAN

(KEJURUTERAAN MEKANIKAL)

JANUARI 2000

PENGHARGAAN

Bismillahir-Rahmanir-Rahim

Alhamdulillah, syukur ke hadrat Ilahi Yang Maha Esa kerana dengan kurniaNya dan rahmatNya dapat saya melaksanakan serta melengkapkan projek tahun akhir ini dengan sempurna.

Terlebih dahulu saya ingin mengucapkan jutaan terima kasih kepada pihak UNIVERSITI SAINS MALAYSIA- KAMPUS CAWANGAN PERAK kerana memberikan peluang kepada saya untuk menimba ilmu kejuruteraan disini.

Penghargaan yang tak terhingga diucapkan kepada penyelia projek, Dr. Roslan b. Ahmad di atas segala tunjuk ajar, nasihat, sumbangan idea serta sumber inspirasi dalam menjayakan projek ini.

Sanjungan juga diberikan kepada semua juruteknik Pusat Pengajian Kejuruteraan Mekanikal dan Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan dan Sumber Mineral di atas segala bantuan yang diberikan.

Tidak lupa juga, penghargaan ini ditujukan kepada kedua ibu bapa saya yang banyak memberi dorongan serta galakkan yang tidak pernah putus-putus.

Akhir sekali, terima kasih kepada semua rakan seperjuangan di atas persahabatan yang tidak ternilai.

Mohd. Rozaiman B. Aziz

ABSTRAK

Tiub nipis seperti tin Aluminium apabila dikenakan hentaman akan menyerap sebilangan jumlah tenaga hentaman tersebut. Hal ini dapat diterangkan dengan terperinci dengan melakukan beberapa eksperimen seperti ujian tegangan dan juga ujian mampatan. Jenis kegagalan yang berlaku pada spesimen semasa ujian tegangan dicatatkan. Sementara itu, kecacatan yang berlaku kepada tin yang dimampatkan turut diberi perhatian. Bentuk mod runtuhan tin Aluminium serta graf yang diperolehi dibandingkan dengan teori.

Selain dari itu, tenaga penyerapan spesifik apabila tin tersebut diisi dengan *polyurethane foam* juga diambil berat. Analisis dibuat dengan mengira nilai teori tenaga penyerapan spesifik dan nilai eksperimen. Perbandingan yang dibuat menunjukkan kepentingan *polyurethane foam* sebagai bahan penyerap tenaga.

KANDUNGAN

	MUKA SURAT
PENGHARGAAN	i
ABSTRAK	ii
ISI KANDUNGAN	iii
SENARAI JADUAL	vii
SENARAI RAJAH	viii
BAB 1: PENGENALAN	
1.1 Skop Projek	1
1.2 Polyurethane Foam	1
1.2.1 Sejarah	1
1.2.2 Proses Kimia	2
1.2.3 Kesan Penggunaan Polyurethane Foam	3
1.2.3.1 Kesan Kesihatan	3
1.2.3.2 Kesan Alam Sekitar	4
1.3 Fenomena Hentaman	4
1.3.1 Pendekatan Yang Digunakan	4
1.3.2 Tenaga Yang Diserap Oleh Tiub Metal	5
1.3.3 Ujian Perlanggaran	6
1.3.3.1 Penggunaan Alat Penyerap Tenaga Dalam Ujian Perlanggaran	7
BAB 2: KAJIAN PERSURATAN	
2.1 Mampatan Berpaksi Terhadap Tiub Berdinding Nipis	9
2.1.1 Mekanisme Asas	9

2.2 Mampatan Paksi Untuk Tiub Bulat	10
2.3 Analisis Alexander	11
2.4 Pengkelasan Runtuhan (Collapse) Tiub Bersilinder Dibawah Beban Hampir Statik	
2.4.1 Mod Runtuhan	13
2.4.2 Pengkelasan Carta	14
2.4.3 Beban Runtuh Purata dan Tenaga Penyerapan	14
2.5 Pengaruh Geometri dan Pembolehubah Bahan Dalam Penyerapan Tenaga	16
2.5.1 Prosedur Eksperimen	16
2.5.2 Penyerapan Tenaga Dalam Runtuhan Tiub Berpaksi	17
2.5.2.1 Kesan Geometri	17
2.5.2.2 Kesan Jenis Bahan	18
2.5.2.3 Model Analitik	18
2.6 Ujian Tegangan	20
2.6.1 Skop	20
2.6.2 Kepingan Ujian	21
2.6.2.1 Bentuk Dan Dimensi	21
2.6.2.1.1 Kepingan Ujian Yang Dimesin	22
2.6.2.1.2 Kepingan Ujian Yang Tidak Dimesin	22
2.6.3 Penentuan Luas Keratan Rentas, S_0	23
2.6.4 Menandakan Panjang Tolok Asal, L_0	23
2.6.5 Penentuan Pemanjangan Selepas Pecah (Fracture)	24

BAB 3: UJIKAJI DAN ANALISA

3.1 Objektif	25
3.2 Ujikaji	25
3.2.1 Bahan dan Radas	25
3.2.2 Ujian Tegangan	26
3.2.2.1 Design	26
3.2.2.2 Penyediaan Spesimen	27
3.2.2.3 Prosedur Ujikaji	27
3.2.2.4 Pemerhatian	27
3.2.3 Ujian Mampatan	27
3.2.3.1 Penyediaan Spesimen	27
3.2.3.2 Prosedur Ujikaji	29
3.2.3.3 Pemotongan	29
3.3 Analisa	29
3.3.1 Ujian Tegangan	29
3.3.1.1 Modulus Young	29
3.3.1.2 Proof Stress At 0.2% Strain, σ_o dan Purata Beban, P_{av}	30
3.3.1.3 E_c^s Menggunakan Teori	30
3.3.1.4 Peratus Pemanjangan	30
3.3.2 Ujian Mampatan	31
3.3.2.1 Tenaga Penyerapan Spesifik, E_c^s	31
3.3.2.2 Tegasan Runtuhan Untuk Mampatan, σ_n	32

BAB 4: PERBINCANGAN, CADANGAN DAN KESIMPULAN	
4.1 Perbincangan	33
4.2 Cadangan	39
4.3 Kesimpulan	40
RUJUKAN	42
JADUAL	43
RAJAH	46
APENDIK A	x
APENDIK B	xv

SENARAI JADUAL

Jadual 2.1	Mod Runtuhan Concertina
Jadual 2.2	Mod Runtuhan Euler
Jadual 2.3	Mod Runtuhan Concertina Dengan Intan
Jadual 2.4	Pemalar Empirik Untuk Pelbagai Bahan
Jadual 3.1	Jadual Ujian Tegangan
Jadual 3.2	Jadual Ujian Mampatan Untuk Tin Kosong
Jadual 3.3	Jadual Ujian Mampatan Untuk Kelima-lima Tin

SENARAI RAJAH

- Rajah 2.1 Model Kertas Menunjukkan Mekanisme Asas Runtuhan 2-lob Untuk Tiub Silinder
- Rajah 2.2 Lakaran Bentuk Permukaan Melengkung Yang Terjadi Kepada Tiub
- Rajah 2.3 Model Yang Dicadangkan Oleh Pugsley Untuk Mekanisme Runtuhan Intan
- Rajah 2.4 Model Runtuhan Axisymmetric plastic Yang Dicadangkan Oleh Alexander
- Rajah 2.5 (a) Axisymmetric Deformation Mode Untuk tiub Bulat
(b) Keratan Membujur Bagi tiub Yang Mengalami Mampatan
- Rajah 2.6 Lengkung Beban Paksi Melawan Penggantian Paksi Dan Contoh Mod Runtuhan Concertina
- Rajah 2.7 Lengkung Beban Paksi Melawan Penggantian Paksi Dan Contoh Mod Runtuhan Euler
- Rajah 2.8 Lengkung Beban Paksi Melawan Penggantian Paksi Dan Contoh Mod Runtuhan Intan
- Rajah 2.9 Carta Pengkelasan Mod-mod Runtuhan Untuk Tiub Aloi Aluminium
- Rajah 2.10 Spesimen Tiub Aloi Aluminium 6061 Sebelum Dan Selepas Mampatan
- Rajah 2.11 Lengkung Beban Paksi Melawan Mampatan Untuk tiub Aloi Aluminium 6061-T4
- Rajah 2.12 E_c^s Bagi Tiub Aloi 6061 Dalam Rawatan Haba Yang Berlainan
- Rajah 2.13 Perbandingan E_c^s Untuk Aluminium 6061 Dengan Tiub Besi 1015 Sebagai Fungsi t/D
- Rajah 3.1 Spesimen Ujian Tegangan Yang Diapit Oleh Pemegang Instron
- Rajah 3.2 Spesimen Tegangan Selepas Ujian
- Rajah 3.3 Tin Yang dimampatkan Dengan Beban purata Diantara 1 KN Dan 2 Kn
- Rajah 3.4 Tin Kosong Dan Tin Yang Diisi Dengan Foam Yang telah Dimampatkan Serta Dipotong Kepada Dua Bahagian

- Rajah 3.5 Graf Ujian Tegangan
- Rajah 3.6 Graf Ujian Mampatan Untuk Tin Kosong
- Rajah 3.7 Graf Ujian Mampatan Untuk Kelima-lima Tin
- Rajah 4.1 Proses semasa Ujian Tegangan
- Rajah 4.2 Proses Semasa Ujian Mampatan
- Rajah 4.3 Mesin Instron
- Rajah 4.4 Mesin Milling

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Skop Projek

Objektif utama projek ini adalah menentukan kebolehpayaan *polyurethane foam* dalam meningkatkan tenaga penyerapan mampatan apabila diisi dalam tin Aluminium. Terlebih dahulu, ujian tegangan(*tensile*) dibuat untuk mencari nilai tenaga penyerapan spesifik, E_c^s secara teori berdasarkan graf tegasan lawan terikan. Eksperimen dijalankan dengan menggunakan mesin Instron dengan kapasiti 10 tan. Manakala spesimen ujian dibuat berdasarkan *British Standard*.

Daripada ujian mampatan pula, graf *load vs. displacement* diplotkan. Seperti ujian tegasan, mesin Instron digunakan. Luas dibawah graf tersebut adalah mewakili tenaga yang diserap oleh *polyurethane foam*.

Diharapkan projek ini dapat membantu penyelidikan dalam masa akan datang khususnya dalam hal yang berkaitan dengan penyerapan tenaga.

1.2 Buih Poliuretina/Polyurethane Foam

1.2.1 Sejarah

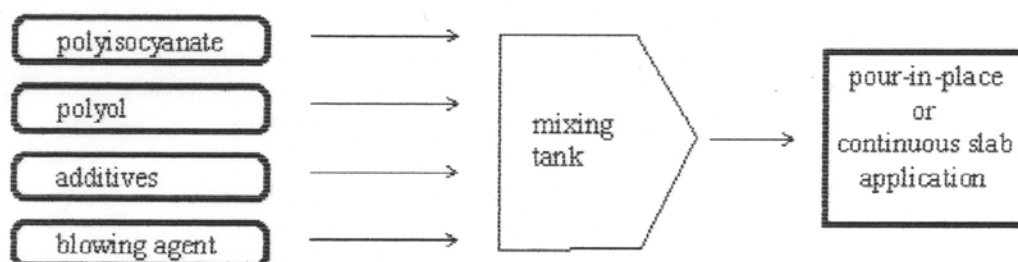
Dalam tahun 1957, *polyurethane foam* telah memasuki pasaran perabot. Dalam masa 40 tahun selepas itu, ia telah menjadi pilihan oleh pembuat perabot dan digunakan dalam pelbagai formula untuk kebanyakan barangan perabot. Ini adalah kerana terdapatnya beberapa kelebihan yang

terdapat pada *polyurethane foam*. Ini termasuklah bersifat kontur, *supportive*, ringan dan selesa. Ia telah menggantikan buih susu getah yang mana telah menjadi bahan utama selama lebih daripada 10 tahun. Malangnya, dengan penggunaan *polyurethane foam*, kos dapat diijimatkan.

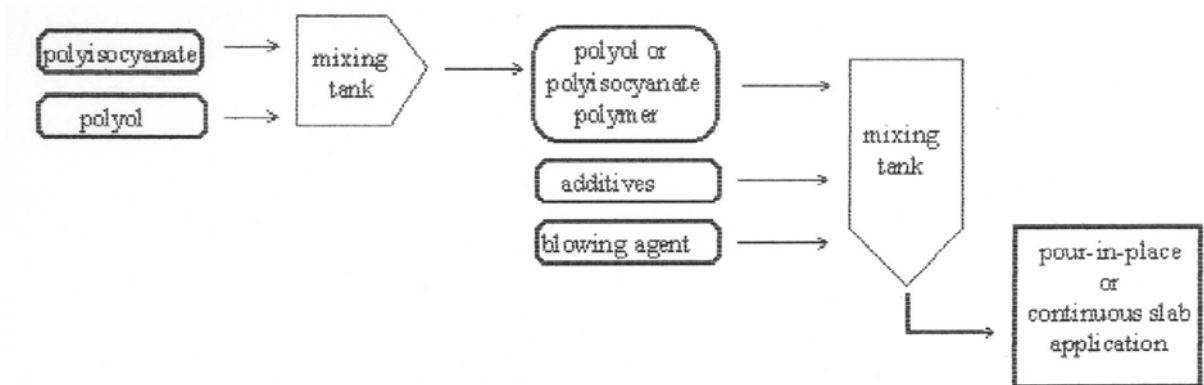
Bob Bush SR., Timbalan Presiden bahagian Jualan Hickory Springs Manufacturing Co. menyatakan adalah sukar menyakinkan orang ramai untuk menggunakan *polyurethane foam* pada awalnya, tetapi dengan penjimatan harga yang dapat begitu drastik, ia mula digunakan. Ini dapat dibuktikan dengan perbandingan harga untuk satu sofa pada tahun 1957-1958, harga yang terendah ialah diantara US\$2,000 dan US\$3,000. Kusyen yang dibuat dari susu getah pula berharga diantara US\$7 dan US\$8. Tetapi dengan menggunakan *polyurethane foam*, harganya menjadi US\$2 sahaja..

1.2.2 Proses Kimia

Polyurethane foam dibuat menggunakan dua cara samada proses *one-shot* ataupun proses prepolimer (*prepolymer*). Kos proses *one-shot* adalah lebih jimat berbanding dengan proses prepolimer. Ini menjadikannya lebih kerap digunakan. Dalam proses *one-shot*, *polyisocyanate*, *polyol*, *additives* dan *blowing agent* dicampurkan bersama-sama mengikut komposisi yang tertentu (rujuk gambarajah dibawah). Apabila bahan-bahan kimia ini telah bercampur, buih yang terbentuk dituangkan ke suatu tempat bagi proses yang melibatkan batch atau mengalami proses *rolling*. Tindakbalas yang berlaku adalah eksotermik, jadi ia menjanakan haba.



Manakala dalam proses prepolimer, ia dapat mengurangkan amaun haba yang terbentuk. Prosesnya bermula dengan pencampuran *polyisocyanates* dan *polyols* yang menghasilkan tindak balas rantai panjang. Kemudiannya, ia dicampurkan dengan bahan tambahan yang diperlukan atau *blowing agent* seperti rajah dibawah. Akhirnya, ia dituangkan ke suatu tempat seperti proses *one-shot*. Selepas pemangkin digunakan untuk mengurangkan kadar haba yang dijanakan, proses ini jarang digunakan.



1.2.3 Kesan Penggunaan Polyurethane Foam

1.2.3.1 Kesan Kesihatan

Kesan ini wujud terutamanya dalam proses pembuatan(Landrock,1969).Cara pembuatan dan cara pemrosesan yang digunakan dalam pengeluaran *polyurethane foam* menentukan jenis dan tahap bahaya. Ia disebabkan oleh jenis dan amaun bahan mentah

yang digunakan , cara pengendalian atau cara pemrosesan.Suhu bahan mentah dan suhu tempat pembuatan juga boleh mengakibatkan kesan ini seperti pembakaran.

Manakala bahaya yang disebabkan oleh bahan mentah adalah berpunca dari pendedahan pekerja kepada bahan-bahan tersebut.Ia boleh terjadi melalui sentuhan dengan kulit, mata dan *mucous membrane*.Bergantung kepada bahan tersebut, kecacatan yang dialami mungkin kekal atau sebaliknya.

1.2.3.2 Kesan Alam Sekitar

Ia disebabkan oleh *polyurethane foam* yang digunakan pada awal proses pembuatan. Ancaman terhadap alam sekitar berpunca dari pencemaran oleh bahan mentah terhadap tanah dan air.Bahan mentah menembusi tanah dan mencemari air melalui pembocoran yang berlaku semasa disimpan didalam kontainer, tertumpah semasa pengisian ke dalam tangki dan tertumpah semasa penghantaran (*Abele, 1985*).Walaupun *polyols* dan *isocyanates* tidak memerlukan masa yang khas selama mana ia patut disimpan, tetapi kebocoran memang berlaku.

1.3 Fenomena Hentaman

1.3.1 Pendekatan Yang Digunakan

Penyelesaian kepada masalah hentaman boleh diselesaikan dengan tiga cara. Cara yang pertama adalah dengan pendekatan tulen iaitu melalui cara empirik dimana data yang banyak diperolehi dari eksperimen yang dijalankan.Walaupun cara ini adalah cara yang sesuai untuk menyelesaikan masalah, tetapi ia sukar dan merbahaya dalam mendapatkan maklumat tentang bahan atau geometri ujian yang dibuat.

Manakala cara yang kedua adalah membuat dan menggunakan model sebagai simulasi kepada hentaman. Biasanya, model-model ini adalah berdasarkan gabungan formula dan anggapan yang dibuat dari pemerhatian yang dijalankan. Cara ini boleh digunakan dalam julat yang besar, dari model satu dimensi kepada model tiga dimensi. Kadangkala terdapat sedikit kesulitan di mana sukar untuk membezakan cara yang pertama dan kedua kerana terdapat pertindihan cara diantaranya.

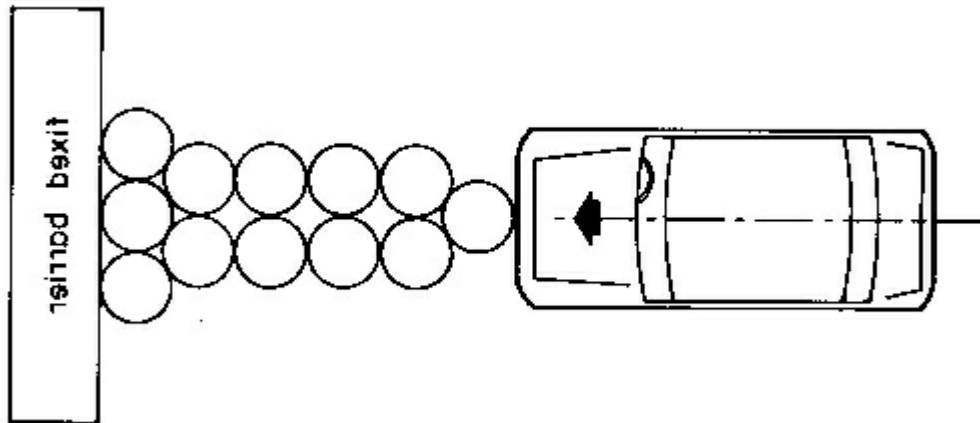
Cara yang terakhir adalah dengan memecahkan struktur hentaman kepada elemen-elemen yang kecil dan seterusnya hukum fizik diaplikasikan terhadap semua elemen. Walaupun teknik yang betul digunakan dan penyelesaian yang tepat dibuat kepada masalah melalui cara *finite-element*, cara ini adalah terhad kepada masalah yang tersebut sahaja (tidak fleksibel).

1.3.2 Tenaga Yang Diserap oleh Tiub Metal

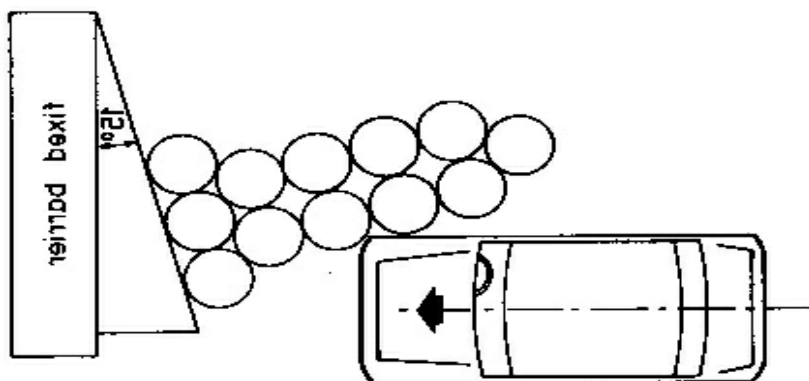
Alat penyerapan tenaga telah dibuat sejak 30 tahun yang lampau untuk mengelakkan kerosakan kepada manusia, kargo dan mesin-mesin. Di USA, kusyen perlanggaran motor digunakan untuk mengurangkan kadar kematian. Komponen yang menggunakan penyisipan (*dissipation*) tenaga mengandungi *steel drum*, cecair yang diisi sel plastik, *vermiculite concrete with voids* dan sel *honeycomb* yang diisi dengan *polyurethane foam*.

1.3.3 Ujian Perlanggaran

Dalam ujian ini, setiap tiub adalah 920 mm panjang, berdiameter 1.22 m dan ketebalan 6.4 mm. Kenderaan dipandu pada halaju 27.3 m/s. Hasil dari perlanggaran tersebut, kereta masih lagi dalam keadaan yang baik .



Manakala apabila kereta berlanggar dengan tiub tersebut dengan sudut 15° sepertimana rajah dibawah, kereta mengalami kerosakan yang teruk dibumbungnya. Tetapi masalah ini boleh diatasi dengan memasukkan bahan penyerap tenaga seperti *polyurethane foam*.



1.3.3.1 Penggunaan Alat Penyerap Tenaga Dalam Ujian Perlanggaran

Tenaga kinetik terbesar yang hendak dihilangkan ialah dari motor dengan berat yang melebihi 3,000 paun dan ditahan dengan kelajuan 30 m/h. Untuk mengelakkan kerosakkan pada komponen elektrik, penyahpecutan tidak boleh lebih dari 5-g. Telah diputuskan bahawa tali nilon digunakan untuk tujuan tersebut. Bagaimanapun cara lain yang digunakan ialah menggunakan *tear webbing* yang digunakan untuk menyerap tenaga pada kadar yang rendah menyebabkan sistem penampannya harus mempunyai dimensi yang besar walau untuk jarak 10 kaki. Ini bermakna untuk jarak yang lebih besar, cara ini agak sukar untuk dilaksanakan.

Brek hidraulik diletakkan secara linear dengan motor yang bertindak ke atas landasan. Bagaimanapun berat keseluruhan sistem ini mengakitkannya tidak boleh digunakan. Untuk mengelakkannya dari memantul balik (*bouncing back*) apabila dipukul (*struck*) oleh motor, brek diletakkan secara tetap. Tetapi walaupun alat seperti unit *suspension* Aeon diletakkan diantara troli brek dan motor, cara memperlambatkan motor secara cepat ini masih boleh diterima. Penghentian (*stopping*) yang kedua perlu jika tali nilon gagal berfungsi, jadi *honeycomb* Aeroweb Aluminium digunakan. *Honeycomb* adalah mahal, tapi ia adalah perlu untuk tujuan kecemasan. Juga untuk merendahkan penyahpecutan, bentuk *honeycomb* yang kaku (*awkward*) adalah perlu tetapi oleh kerana tenaga kinetik tinggi, penyahpecutan 5-g boleh menggunakan alat ini.

Aplikasi lain alat penyerap tenaga adalah menahan peralatan troli kabel. Tenaga kinetik yang terlibat adalah rendah dan penyahpecutan yang diperlukan ialah 10-g. *Tear webbing* digunakan untuk tujuan ini. Ianya senang dipasang kepada pelekap (*clamp*) dan pengiraan panjang awal tidak diperlukan. Bagaimanapun sistem *deformation* ini biasanya tidak berguna dan mungkin ujian

dibuat kerana bahan yang digunakan tidak diperlukan. Jadi, penggunaan silinder pneumatik dipertimbangkan yang mana mengandungi tiub besi dengan piston rudinen diletakkan pada kabel yang bergerak. Silinder pneumatik mempunyai kelebihan berbanding silinder hidraulik kerana toleransi piston yang terlalu dekat tidak diperlukan dan bendalir bekerja(*working*) mempunyai inersia yang rendah. Bagaimanapun dengan toleransi yang longgar, silinder pneumatik memerlukan *stroke* yang panjang untuk menghasilkan tekanan bekerja, jadi tekanan awal silinder dipertimbangkan. Ini bermakna toleransi piston kepada *bore* haruslah dekat dan injap ditutup apabila tekanan bekerja telah diperolehi.

Alat penyerap tenaga turut diperlukan untuk hentaman *sled*. Ia dijalankan terhadap *barrier* dengan spesimen diletakkan di atasnya dan bukan sahaja purata penyahpecutan penting tetapi juga denyut(*pulse*) penyahpecutan. *Invertube* dibina untuk membolehkan denyut penyahpecutan segiempat disampaikan kepada *sled* dan spesimennya serta menjadikan fungsinya memadai pada nilai penyahpecutan yang berbeza. Ini dicapai dengan mempunyai 5 tiub dihadapan troli, jadi dengan meminda panjang, tolok dan bilangan *invertube* yang terbentuk, julat denyut yang baik boleh diperolehi yang mana menghasilkan denyut segiempat yang kuat kepada *crumpling* tiub. Bagaimanapun, bentuk denyut selain dari segiempat adalah susah diperolehi dengan menggunakan tiub dan *invertube* (walaupun trapezoidal dan segitiga adalah mungkin) dan *honeycomb* Aluminium boleh digunakan untuk pelbagai denyut dengan mempelbagaikan keratan rentas yang digunakan. Tetapi cara ini adalah mahal. Penukar tenaga digunakan untuk aplikasi ini, tapi ianya adalah kompleks untuk dibuat dan mahal untuk dibeli. Alat tersebut berprinsipkan Olio-pneumatik yang mana aliran bendalir adalah tetap pada pelbagai meter.

BAB 2

KAJIAN PERSURATAN

2.1 Mampatan Berpaksi Terhadap Tiub Berdinding Nipis

Kajian perlanggaran memberikan perhatian yang banyak kepada sifat tiub dinding nipis yang dikenakan beban dinamik seperti alat penyerap tenaga. *Tube buckling* dibawah beban paksi telah menjadi masalah struktur statik yang utama. Tujuannya adalah untuk mengira beban untuk *buckling* terjadi pada peringkat awal. Bagaimanapun adalah penting untuk menganggar keupayaan penyerapan tenaga tiub. Justeru itu, perhatian difokuskan kepada sifat pembengkokkan (*deflection*) tiub. Tiub bersilinder menjadi sama ada lingkaran simetri berpaksi dengan dinding tiub menokok ataupun menjadi mod permata bagi dinding tiub yang lebih nipis.

2.1.1 Mekanisme Asas

Pertimbangkan mampatan terhadap tiub yang nipis dan bulat dengan nisbah lilitan kepada tinggi, $C/h_0 = 4$ seperti *rajah 2.1*. Bentuk permukaan lengkung yang terjadi kepada tiub adalah seperti *rajah 2.2*. Terdapat empat lengkung segitiga pada mulanya iaitu $AB^{\wedge}C$, BCD^{\wedge} , $CD^{\wedge}A$ dan $D^{\wedge}AB^{\wedge}$ yang membentuk permukaan silinder. Selepas mampatan, ia menjadi segitiga yang mempunyai dua belah yang sama yang dipisahkan oleh garisan $AB^{\wedge}CD^{\wedge}A$ disepanjang sendi wujud. Disini, garisan AB^{\wedge} , $B^{\wedge}C$, CD^{\wedge} dan $D^{\wedge}A$ adalah bergabung dan membentuk sudut 45° diantara satu sama lain. Garisan-garisan ini

dianggap sebagai sendi plastik yang mula menghampiri sesama mereka dan keadaan ini tidak berubah walaupun mampatan diteruskan.

2.2 Mampatan Paksi Untuk Tiub Bulat

Dua teori telah dibuat berdasarkan jenis *buckling* untuk meramalkan rintangan runtuh plastik tiub. *Pugsley* dan *Macauley(1960)* mempertimbangkan bentuk intan dan mencipta formula empirik berdasarkan sifat kekakuan plastik bahan. Kerja dalam yang mengembang didalam runtuh pembentuk intan dari bentuk segiempat pada awalnya kepada bentuk akhir rhomboid ditunjukkan di *rajah 2.3*. Mereka telah mencadangkan ;

i. Untuk tiub yang runtuh dengan mod intan 3-lob

$$P_{av}/P_o = 3.2(t/D) + 0.12$$

$$P_o = \pi Dt\sigma_o$$

σ_o – *Yield stress of material*

ii. Untuk runtuh dengan mod intan 4 atau lebih banyak mod

$$P_{av}/P_o = 4.29(t/D) + 0.15$$

Tiub besi yang dibuat dari aloi Aluminium dengan mempertimbangkan kapasiti kekerasan terikan 1 dan nisbah $\sigma_o/E_{elastik}$ lebih kurang 0.004 telah dikaji oleh *Lee(1962)* dan *Batterman(1965)*. Kedua-dua kajian yang dibuat menunjukkan mod *axisymmetric* diperolehi untuk nisbah D/t yang kecil dan mod intan jika sebaliknya.

Eksperimen juga menunjukkan beban hentaman purata meningkat dengan peningkatan nisbah t/D . Keputusan yang diperolehi oleh *Mamalis* dan *Johnson (1983)* ke atas *crumpling* tiub aloi Aluminium di bawah mampatan statik memenuhi persamaan;

$$P_{av}/P_y = 7(t/D) + 0.07$$

$$P_y = \pi t \sigma_o (D-t)$$

2.3 Analisis Alexander

Alexander(1960) adalah yang pertama yang memperkenalkan penyelesaian matematik mudah untuk daya hentaman paksi purata yang diperlukan untuk pembentukkan palstik bagi tiub bulat dalam mod *axisymmetric concertina*. Model cadangannya untuk runtuh progresif dengan satu *fold* terbentuk pada suatu masa seperti di *rajah 2.4*. anggapan yang dibuat ialah;

- (a).bahan bersifat plastik rigid sepenuhnya
- (b).pembentukkan *bending* pada tiub iaitu putaran pada *fold hinges* berterusan dibawah keadaan terikan *plane* yang kuat
- (c).kerja dalam yang dilakukan semasa runtuh ialah jumlah kerja berlaku dalam *bending* pada *fold hinges* dan ini diperlukan diantara *hoop extension* dan *hinges* tersebut

Beliau telah mencadangkan;

$$P_{av}/\sigma_o = \pi t^2/(3)^{1/2} * (\pi D/2H + 1) + \pi H t \dots\dots\dots(1)$$

σ_o – *proof stress at 0.2% strain from quasi-static tensile test*

$2H$ – *fold length*

$$H = K(Dt)^{0.5} \dots\dots\dots(2)$$

$$K = (\pi/2\sqrt{3})^{0.5}$$

Jadi, persamaan 1 dan 2 digabungkan menjadi;

$$P_{av.}/\sigma_o = (\pi^2/2\sqrt{3}K + \pi K) * t^{1.5} * D^{0.5} + \pi t^2/\sqrt{3} \dots\dots\dots(3)$$

Persamaan 3 adalah untuk *folding* luaran sepenuhnya. Dengan menganggap mod alternatif untuk runtuhannya iaitu *folding* dalaman sepenuhnya pula diberikan oleh;

$$P_{av.}/\sigma_o = (\pi^2/2\sqrt{3}K + \pi K) * t^{1.5} * D^{0.5} - \pi t^2/\sqrt{3} \dots\dots\dots(4)$$

Daripada kes dalaman dan luaran itu, Alexander memberikan nilai purata;

$$P_{av.}/\sigma_o = (\pi^2/2\sqrt{3}K + \pi K) * t^{1.5} * D^{0.5} \dots\dots\dots(5)$$

Atau

$$P_{av.}/M_o = 20.73(D/t)^{0.5}$$

$$M_o = (2\sigma_o/\sqrt{3}) * (t^2/4)$$

M_o – fully plastic bending moment

Penyelesaian terakhir yang diocadangkan ialah;

$$P_{av.} = C \sigma_o t^{1.5} D^{0.5}$$

C diambil sebagai 6.08

Rajah 2.5 dari eksperimen menunjukkan secara jelas dinding tiub yang *deflects* keluar dan ke dalam semasa *deformation*.

2.4 Pengkelasan Runtuhan (Collapse) Oleh Tiub Bersilinder Dibawah Beban

Hampir Statik.

Dalam usaha untuk menyerap tenaga yang tinggi yang dilepaskan oleh alat seperti *vessel* tekanan, pengukur penyerap tenaga yang diletakkan di dalam alat yang berkenaan. Ia haruslah murah, ringan, senang dibuat dan mempunyai ketumpatan menyerap tenaga yang tinggi dengan *collapse* oleh beban yang malar. Tiub yang diletakkan untuk mengalami hentaman secara berpaksi mestilah memenuhi tiga ciri yang pertama. Secara terperinci, kesan diameter silinder, tebal dinding dan mod *crushing* haruslah diambil dikira.

2.4.1 Mod Runtuhan

- a) *Concertina* –simetri paksi dan *folding* bermula pada satu hujung. Rujuk *rajah 2.6* dan *jadual 2.1*.
- b) Intan (Diamond)-tidak bersimetri paksi tapi *folding* menyebabkan perubahan tiub.
- c) Tiub-Euler mengalami *bending* seperti sangga. Rujuk *rajah 2.7* dan *jadual 2.2*.
- d) *Concertina* dan 2/3 Lob Intan-pada awalnya ialah mod *concertina* dan kemudiannya menjadi mod intan, 2 lob-bentuk keratan rentas segiempat, 3 lob- bentuk keratan rentas heksagon. Rujuk *rajah 2.8* dan *jadual 2.3*.
- e) *Axisymmetric /Concertina*-sepanjang tiub runtuh serentak, berpaksi simetri tunggal atau *barrelling* yang pelbagai.

- f) Intan 2 Lob-sepanjang tiub runtuh serentak dalam mod intan 2 lob.
- g) Paksi Tiub Senget-Tiub mengalami *shearing* di permukaan *platen* dalam bentuk *tranverse displacement* pada satu hujung.

2.4.2 Pengelasan Carta

Banyak spesimen harus dimalarkan nisbah tebal/diameter dan dipelbagaikan nisbah panjang/diameter. Mod runtuh itu kemudiannya ditandakan sebagai titik dalam graf t/D vs L/D sepertimana dalam rajah 2.9. Pengelasan carta ini menandakan kawasan yang jelas mod runtuh yang akan berlaku dan kesan panjang tiub ke atas mod runtuh. Jadi, mod runtuh untuk tiub bersilinder bagi bahan mulur tidak dipengaruhi oleh saiz sebenar tapi dipengaruhi oleh perkadaran awal.

Perubahan dari mod *concertina* kepada mod intan wujud pada tiub yang lebih panjang selepas beberapa *fold* terbentuk. Apabila t/D menurun, bilangan lob dalam *folding* intan meningkat. Untuk tiub berdinding nipis dengan nisbah t/D lebih kecil daripada 0.016, adalah dipercayai bahawa seluruh spektrum bahan mod runtuh untuk intan tulen bertembung. *Johnson, Pugsley* dan *Macauley* serta *Allan* telah menunjukkan dalam kes ini, pengurangan t/D akan mengakibatkan peningkatan bilangan lob intan per *fold*. Ujian untuk silinder aloi silinder dengan $t/D = 0.009$ memberikan bentuk intan 4 lob.

2.4.3 Beban Runtuh Purata Dan Tenaga Penyerapan

Tenaga yang diserap ditakrifkan sebagai tenaga yang untuk membolehkan mod runtuh diperhatikan. Tenaga ini pada awalnya ditukar kepada tenaga terikan elastik dalam tiub

yang mengalami perubahan dan selebihnya disisipkan ke dalam perubahan plastik semasa runtuh. Beban runtuh purata, P_{av} , adalah nilai purata beban yang mengalami *fluctuation* untuk lengkung *load-displacement* bagi mod *concertina* atau intan. Ia diperolehi dengan mengkamirkan luas dibawah graf dan dibahagikan dengan pemendekkan tiub. Pada umumnya, nilai P_{av} adalah rendah untuk *folding* intan berbanding dengan *folding concertina*.

Tenaga spesifik penyerapan, E_s^c parameter untuk penyerapan tenaga ialah tenaga di serap per unit berat spesimen;

$$E_s^c = \frac{P_{av} \cdot \delta}{A \cdot \rho \cdot L} \approx \frac{P_{av}}{A \cdot \rho}$$

Dimana δ : pemendekkan tiub

A: luas bersih

ρ : berat per unit isipadu

L: panjang sebenar tiub

Thornton dan *Magee* mencadangkan hubungan untuk tenaga penyerapan spesifik dengan *folding* intan ialah;

$$E_s^c = c \left(\frac{t}{D} \right)^m$$

Dimana D : diameter luar tiub

m : pemalar untuk bahan

Dengan ujian aloi pula,

- (i) mod *concertina* : $E_s^c = 10^{7.38} (t/D)^{0.69}$ KN mm/mm
- (ii) mod intan dengan 2 & 3 lob: $E_s^c = 10^{7.16} (t/D)^{0.59}$ KN mm/mm

Mod *concertina* menunjukkan tenaga penyerapan yang lebih tinggi dari mod intan. Ini disebabkan oleh mod *concertina* lebih tinggi dan *work hardening* semulajadi aloi. Kuantiti E_s^c tidak berkaitan dengan magnitud tenaga yang diserap kepada saiz sebenar tiub.

2.5 Pengaruh Geometri Dan Pembolehubah Bahan Dalam Penyerapan Tenaga

Tenaga spesifik yang diserap semasa pemampatan paksi bagi tiub bersilinder dengan tebal dinding yang pelbagai dan diameter diukur untuk aloi Aluminium 6061 dalam keadaan empat jenis rawatan haba. Tenaga diserap/unit berat, E_s^c adalah fungsi nisbah tebal kepada diameter dan hasil yang terkini menunjukkan bahawa untuk $0.02 < t/D < 0.1$, rumusnya adalah ;

$$E_s^c = A (t/D)^m$$

Di mana m mempunyai nilai diantara 0.5 dan 1.0, bergantung kepada jenis bahan. Nilai A dan m boleh diperolehi melalui *jadual 2.4*.

2.5.1 Prosedur Eksperimen

Tiub dengan diameter luar 12.7 mm, 19.1 mm dan 25.4 mm, ketebalan dinding dalam julat 0.51 mm kepada 1.27 mm, di buat dari 6061 aloi Aluminium. Sampel diberi

rawatan haba untuk 15 minit pada suhu 530°C dalam *salt bath* dan dituakan (*ageing*) pada suhu bilik selama 1 minggu (keadaan T4) atau diletakkan pada suhu 160°C selama 18 jam yang diletakkan dalam udara relau (keadaan T6).Ujian kemudiannya dibuat dengan menggunakan mesin Instron. Semua ujian dibuat pada 5.1 mm/min. Tenaga yang diserap melalui luas dibawah lengkung *load-deflection* atau dengan mengukur secara tepat menggunakan planimeter atau dengan memproses data.

2.5.2 Penyerapan Tenaga Dalam Runtuhan Tiub Berpaksi

2.5.2.1 Kesan Geometri

Contoh aloi Aluminium 6061 yang dimampatkan adalah seperti dalam *rajah 2.10* dan *2.11*. Jumlah mampatan bergantung kepada nisbah tebal diniding, t kepada diameter luar, D dan nilai 65% dan 80% diperhatikan.Tenaga yang diserap ditentukan melalui luas dibawah lengkung beban-mampatan, diambil dari 75% panjang spesimen.Bagi membandingkan keputusan dari geometri tiub yang menunujukkkan runtuhan keseluruhan yang berbeza, tenaga yang diserap per unit berat ditandakan sebagai E_s^c , tenaga spesifik yang diserap.Ini diperolehi dengan membahagi tenaga yang diserap dengan jarak mampatan, mamberikan tenaga runtuhan purata, P_{av} . dan kemudiannya dengan berat seunit tiub.

Kajian yang terdahulu menghubungkan tenaga yang diserap dan tegasan runtuhan nominal dalam menilai penyerap tenaga.Tenaga runtuhan nominal untuk mampatan, σ_n mewakili tahap daya yang mana ditakrifkan sebagai;

$$\sigma_n = 4P_{av} / \pi D^2$$

Di mana P_{av} : beban runtuh purata

D : diameter luar tiub

Rajah 2.12 menunjukkan E_s^c yang bergantung kepada σ_n dalam keadaan 2 rawatan haba. Perkadaran terhadap geometri berguna jika tenaga spesifik diplotkan sebagai fungsi parameter t/D . Rajah 2.13 menunjukkan hubungan ini. Pada nisbah yang lebih *solidity* iaitu lebih tinggi nilai t/D , kapasiti penyerapan tenaga untuk bahan tertentu meningkat dengan faktor 3 atau melebihi julat dimensi tiub yang diperiksa.

2.5.2.2 Kesan Jenis Bahan

Bahan dengan kadar *work-hardening* yang tinggi tidak akan menyerap tenaga yang lebih dalam ciri geometri walaupun sifat bahan adalah kelebihan dalam penyerapan tenaga terikan. Contohnya 6061 aloi Aluminium dalam keadaan T4 mempunyai tenaga penyerapan terikan yang lebih tinggi kerana *work-hardening* yang tinggi tetapi aloi dalam keadaan T6 mempunyai tenaga penyerapan spesifik yang lebih tinggi kerana kekuatan yang lebih tinggi.

2.5.2.3 Model Analitik

Tenaga spesifik, E_s^c dihubungkan dengan beban runtuh purata, P_{av} oleh;

$$E_s^c = \frac{P_{av}}{\pi * D * t * \rho}$$

di mana ρ : ketumpatan berat

t : tebal

Dalam mempertimbangkan kesan ketidaksempurnaan semasa beban runtuh awal, *Allan* mencadangkan beban sokongan maksimum diberikan oleh ;

$$P_{\max} = C * \left(\frac{dr}{\Delta} \right) * E * t^2 * D^{0.5}$$

dimana C :bergantung kepada keadaan akhir dan boleh diambil =7

Δ : *buckle amplitude*

dr:perubahan kecil jejari

E :Modulus Young

Jika hubungan yang sama menyebabkan beban yang lebih kecil untuk menghasilkan runtuh yang berterusan kepada beban runtuh awal, jadi;

$$E_s^c = C * \left(\frac{dr}{\Delta} \right) \frac{E * t}{\pi * D^{0.5}}$$

Hanya dengan 2 percubaan yang dilakukan dalam menghadkan teknik analisis, kita dapat meramalkan skala besar beban runtuh bagi tiub yang dikenakan mampatan berpaksi. *Pugsley* dan *Macauley* dengan model *buckling* bentuk intan mencadangkan beban runtuh purata diberikan oleh ;

$$P_m = P_o * (10t/D + 0.13)$$

Dimana P_o adalah beban alah bagi beban yang dihasilkan dari aliran tegasan dan luas keratan rentas tiub.

2.6 Ujian Tegangan

Piawai Eropah telah mengkelaskan cara untuk ujian tegangan dalam menentukan sifat-sifat bahan yang boleh dicari pada suhu yang tertentu. Untuk sesetengah aplikasi, ujian tegangan boleh menjadi piawai spesifik atau subjek kepada keperluan yang diperlukan. Dalam eksperimen yang dijalankan, piawai yang menjadi rujukan adalah **BSEN 10002-5: 1992, 'Tensile Testing of Metallic Materials'**.

2.6.1 Skop

Piawai Eropah mendefinisikan ;

(a) Panjang Tolok, L

-panjang kepingan ujian yang mana pemanjangan diukur semasa ujian pengukuran dibuat di antara :

- i. Panjang tolak asal, L_0 – panjang tolak sebelum daya dikenakan.
- ii. Panjang tolak akhir, L_u – panjang tolak selepas kepingan pecah (*fracture*)

(b) Pemanjangan

- peningkatan nilai L_0 pada akhir ujian

(c) Peratus Pemanjangan

- pemanjangan yang diungkapkan sebagai peratus asal L_0

- i. Peratus pemanjangan tetap – peningkatan nilai dalam panjang tolak asal selepas tekanan dialihkan

- ii. Peratus pemanjangan selepas pecah – pemanjangan tetap panjang tolok selepas pecah ($L_u - L_0$) yang dinyatakan sebagai peratus kepada panjang tolok asal.

(d) Daya Maksimum, F_m

-Daya yang mana kepingan ujian boleh bertahan apabila titik *Yield* telah dilampaui

(e) Panjang Selari, L_c

-Bahagian kepingan ujian yang mana panjangnya boleh dikurangkan.

(f) Tegasan

-Daya pada mana-mana tempat apabila dibahagikan dengan luas keratan rentas asal, S_0

2.6.2 Kepingan Ujian

2.6.2.1 Bentuk dan Dimensi

Bentuk dan dimensi kepingan ujian bergantung kepada sifat-sifat mekanikal bahan metalik yang mana akan ditentukan. Kepingan ujian biasanya diperolehi melalui pemesinan spesimen produk atau melalui proses *casting*. Bagaimanapun produk dengan luas keratan rentas yang malar seperti bar dan wayar serta kepingan ujian *cast* seperti *cast irons* dan aloi bukan ferus boleh dikenakan ujian tanpa dimesin terlebih dahulu. Keratan rentas ujian mungkin bulat, segiempat sama, segiempat tepat atau *annular*. Panjang tolok asal dihubungkan kepada luas keratan asal oleh persamaan ,

$$L_0 = K^*(S_0)^{1/2}$$

Ini adalah untuk kepingan ujian yang berkadaran. Nilai K biasanya 5.65 .Panjang tolok asal tidak boleh kurang dari 20 mm. Apabila luas keratan rentas kepingan ujian terlalu

kecil, nilai K diambil sebagai 11.3 atau kepingan ujian yang tidak berkadar digunakan. Dalam kes kepingan ujian yang tidak berkadar, panjang asal tolok, L_0 diambil tanpa mengambil kira luas keratan asal, S_0 .

2.6.2.1.1 Kepingan Ujian yang Dimesin

Kepingan ujian yang dimesin hendaklah dimasukkan diantara hujung pemegang dan panjang yang selari jika terdapat perbezaan dimensi. Dimensi untuk jejari adalah penting dan dicadangkan nilainya dirujuk kepada spesifikasi bahan jika tidak terdapat dalam piawai. Hujung pemegang boleh dibuat dalam mana-mana bentuk asalkan sesuai dengan pemegang mesin ujian.

2.6.2.1.2 Kepingan Ujian yang Tidak Dimesin

Jika kepingan ujian mengandungi panjang produk yang tidak dimesin, panjang bebas diantara pemegang hendaklah memenuhi/sesuai untuk tanda tolok pada jarak yang munasabah dari pemegang.

2.6.3 Penentuan Luas Keratan Rentas, S_0

Luas keratan rentas asal hendaklah dikira dari pengukuran dimensi. Ketepatan pengiraan bergantung kepada sifat dan jenis bahan ujian. Ini ditandakan dalam *annexes A* sehingga D seperti dibawah;

Dimensi Kepingan Ujian				
Semua dimensi dalam mm				
Jenis kepingan ujian	Lebar, b	Panjang asal tolok, L_0	Panjang selari, L_c	Panjang bebas minima diantara pemegang untuk kepingan ujian selari bersebelahan
1	12.5 ± 1	50	75	87.5
2	20 ± 1	80	120	140

2.6.4 Menandakan Panjang Tolok Asal, L_0

Setiap hujung panjang tolok harus ditandakan dengan tanda yang elok, contengan garisan atau dengan *fine collar* tetapi tidak dengan takuk yang boleh membawa kesan kepada *fracture*. Untuk kepingan ujian yang berkadaran, nilai panjang tolok yang asal yang dikira dibulatkan kepada 5mm menjadikan perbezaan diantara nilai panjang tolok asal dikira dan ditandakan kurang dari 10% L_0 . Panjang tolok asal adalah ditandai dengan ketepatan $\pm 1\%$.

2.6.5 Penentuan Pemanjangan Selepas Pecah(Fracture)

Untuk tujuan ini, 2 kepingan yang patah dicantumkan kembali supaya berada dalam satu garisan yang lurus. Perhatian harus ditumpukan agar cantuman yang baik diperolehi semasa pengukuran panjang tolok terakhir dibuat. Ini adalah penting khususnya bagi kepingan ujian yang mempunyai keratan rentas kecil dan nilai pemanjangan yang rendah. Pemanjangan selepas *fracture* ditentukan dengan penghampiran kepada 0.25mm dengan alat yang mempunyai ketepatan sehingga 0.1mm. Jika peratus pemanjangan minima kurang dari 5%, adalah dicadangkan agar langkah yang khusus diambil semasa menentukan pemanjangan. Pengukuran ini adalah betul jika jarak diantara *fracture* dan tanda tolok yang terdekat tidak kurang daripada $\frac{1}{3}$ panjang tolok asal.