

PENGESANAN RETAK LESU DALAM ALOI TEMPATAN DENGAN MENGGUNAKAN  
TEKNIK PEMERIKSAAN VISUAL

MOHD KHAIRI BIN MAMAT

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 bahawa saya telah membaca karya ini dan pada pandangan saya karya ini memadai dari segi konsep dan kualiti untuk tujuan penganugerahan Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal (Struktur dan Bahan)”

Tandatangan



Nama Penyelia

: EN. WAN MOHD. FARID BIN  
WAN MOHAMAD

Tarikh

: 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 : MOHD KHAIRI BIN MAMAT

Tarikh : MEI 2007

Untuk ibu tersayang

Puan Zainab Binti Hussin

Abang-abang dan kakak-kakak Saya

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

## PENGHARGAAN

Syukur alhamdulillah dengan limpah kurnia-Nya saya berjaya menyiapkan kajian ini. Pertama sekali, jutaan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Penyelia Projek Sarjana Muda ini, En. Wan Mohd Farid Bin Wan Mohamad, Pensyarah di Fakulti Kejuruteraan Mekanikal, Universiti Teknikal Malaysia Melaka (utem), di atas tunjuk ajar dan sumbangan bermakna bagi membantu, menegur dan membinbing saya untuk menghasilkan kajian ini.

Pendekatan dan kaedah yang bersesuaian yang telah diberikan, berjaya berjaya diterjemahkan dengan sebaik mungkin bagi matlamat ini. Sesungguhnya pengalaman ini akan menjadi aset berpanjangan yang tak terhingga nilainya.

Penghargaan juga tidak seharusnya dilupakan untuk diberikan kepada ibu serta ahli keluarga, rakan-rakan serumah dan rakan-rakan seperjuangan yang telah banyak memberi dorongan dan bantuan secara langsung dan tidak langsung dalam menjayakan projek ini. Tidak dilupakan juga jutaan terima kasih kepada juruteknik yang berpengalaman iaitu Encik Rashdan dan Encik Raduan diatas pertolongan yang telah diberikan semasa kajian dilakukan. Tanpa pertolongan tersebut tidak mungkin saya dapat menyiapkan kajian ini.

Semoga penghasilan kajian ini mampu memberikan banyak manfaat dan dorongan kepada semua orang dan mencetus banyak idea untuk memperbaiki kajian ini.

## ABSTRAK

Kajian ini adalah untuk menghasilkan retak lesu pada dua jenis aloi yang berbeza iaitu aluminium 5083 dan aluminium 6063, kemudian retak yang terhasil diperiksa dengan menggunakan pemeriksaan visual. Setelah spesimen dihasilkan, ujian yang pertama dilakukan adalah ujian regangan. Ujian ini dilakukan adalah untuk mendapatkan nilai rujukan bagi tujuan ujian kelesuan. Setelah nilai rujukan diperolehi, maka ujian kelesuan dilakukan menggunakan mesin INSTRON 8802. Kemudian retak yang berlaku dalam spesimen yang dilakukan ujian kelesuan itu dapat dikesan dengan menggunakan teknik pemeriksaan visual iaitu menggunakan kanta dan mikroskop. Daripada ujian kelesuan ini, terdapat 33.33% daripada keseluruhan spesimen yang dilakukan ujian ini berjaya dikesan retak lesu yang terhasil.

## ABSTRACT

Fatigue is the progressive formation and propagation of cracks in a metal subjected to repeated or alternating stresses not exceeding the material's static yield strength limit. This study was to produce the fatigue crack in two different alloy, that is aluminium 5083 dan aluminium 6063. After that, the crack can be detect by using the visual inspection. After specimen was produced, the first step is tensile test to get the mean stress for fatigue test. Fatigue test was carried out used the INSTRON machine 8802. Tehnique visual inspection with using lens and microscope is used for detect the fatigue crack after experiment. After that, the crack get to measure with vernier caliper. Fatigue crack can be detect from this experiment is 33.33% .

**ISI KANDUNGAN**

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>MUKA SURAT</b>
<b>1</b>	<b>PENDAHULUAN</b>	
	1.1 Latar belakang	1
	1.2 Objektif	4
	1.3 Skop projek	5
	1.4 Penyataan masalah	6
	1.5 Aplikasi kajian	7
<b>2</b>	<b>KAJIAN ILMIAH</b>	
	2.1 Penyediaan sampel	9
	2.2 Ujian regangan	11
	2.3.1 Lengkung Hayat Lesu	15
	2.3.2 Pertumbuhan retak-lesu	16
	2.3 Retak lesu	13
<b>3</b>	<b>METHODOLOGI</b>	
	3.1 Pengenalan	24
	3.2 Prosedur, Bahan, dan Peralatan	25
	3.3 Penyediaan Spesimen	25
	3.4 Ujian regangan	26



<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>MUKA SURAT</b>	
	3.5	Ujian kelesuan	27
	3.6	Pengesanan Retak	28
<b>4</b>	<b>KEPUTUSAN</b>		
	4.1	Pengenalan	29
	4.2	Ujian regangan	29
	4.3	Ujian kelesuan dan pengesanan retak	31
	4.4	Pengesanan retak	33
<b>5</b>	<b>PERBINCANGAN</b>		
	5.1	Pengenalan	34
	5.2	Ujian Kelesuan	34
	5.3	Perambatan Retak Melalui Pemeriksaan Visual	35
	5.4	Kesan Kitaran Terhadap Panjang Retak	36
	5.5	Kesan Masa Terhadap Panjang Retak	38
	5.6	Kesan Ujian Kelesuan Terhadap Perambatan Retak	40

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>MUKA SURAT</b>
<b>6</b>	<b>KESIMPULAN DAN CADANGAN PENAMBAHBAIKAN</b>	
6.1	Kesimpulan	41
6.2	Cadangan Penambahbaikan	42
	<b>RUJUKAN</b>	43
	<b>LAMPIRAN A</b>	44
	<b>LAMPIRAN B</b>	45
	<b>LAMPIRAN C</b>	47
	<b>LAMPIRAN D</b>	50
	<b>LAMPIRAN E</b>	52

**SENARAI JADUAL**

<b>NO JADUAL</b>	<b>TAJUK</b>	<b>MUKA SURAT</b>
1	Data ujian kelesuan.N.R.LOVRICH dan R.W.NEU( August 2005)	14
2	Ujian kelesuan sehingga spesimen patah untuk Al 5083	31
3	Ujian kelesuan sehingga spesimen patah untuk Al 6063	31
4	Keputusan ujian kelesuan untuk Al 5083	32
5	Keputusan ujian kelesuan untuk Al 6063	32

## SENARAI RAJAH

NO RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
1	Bentuk dan dimensi spesimen untuk ujian kelesuan oleh G. Meneghetti, Susmel dan r. Tovo (2006)	9
2	Dimensi bahan ujikaji A	10
3	Dimensi bahan ujikaji B	11
4	Contoh bahan ujikaji bagi ujian regangan oleh Javad Hashemi (2003)	12
5	Graf tekanan melawan terikan untuk 6061 T6 Aluminium	13
6	Bentuk dan saiz spesimen yang digunakan dalam ujian penggeselsuaian keletihan.	14
7	Imej subpermukaan Mikroskop optik dekat pinggir spesimen 2B	15
8	Lengkung Hayat Lesu	16
9	Kadar pertumbuhan Retak	17
10	Kadar pertumbuhan Retak-lesu dalam Ti6242 aloi di 520oC dengan pelbagai lamela mikrostruktur	18
11	(a) satu permukaan retakan yang dilihat pada spesimen (b) anak panah menunjukkan prisma menyatah gelincir	19

NO RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
12	(a) Retak awalan dan perambatan reta (b) Bahagian yang mengalami retak	20
13	Peringkat retak yang berlaku ada spesimen	21
14	Perbezaan nilai tegasan dan kitaran menghasilkan panjang retak yang berbeza	21
15	Graf orientasi dan panjang retak pada peringkat satu	22
16	Perbezaan bentuk takuk	23
17	Retak yang terhasil selepas ujian kelesuan dikesan dengan SEM	23
18	Carta alir kaedah kajian	24
19	Bentuk dan dimensi spesimen	26
20	Graf ujian regangan aluminium 5083	30
21	Graf ujian regangan aluminium 6063	30
22	Retak yang terhasil	33
23	Graf kitaran melawan panjang retak untuk frekuensi 24hz	37
24	Graf kitaran melawan panjang retak untuk frekuensi 25hz	38
25	Graf kitaran melawan panjang retak untuk frekuensi 26hz	38
26	Graf masa melawan panjang retak untuk frekuensi 24hz	39
27	Graf masa melawan panjang retak untuk frekuensi 25hz	39
28	Graf masa melawan panjang retak untuk frekuensi 26hz	50

## SENARAI RINGKASAN

<b>SIMBOL</b>	<b>MAKSUD</b>
$\theta$	Sudut
Hz	Frekuensi
$\mu\text{m}$	Micrometer
Mpa	Megapaskal
$\sigma$	Tegasan
$\varepsilon$	Terikan
$\delta$	Perubahan jarak
T	Suhu (Temperature)
F	Daya (Force)
A	Luas (Area)
L	Panjang (Length)
N	Kitaran (cycle)

<b>SINGKATAN</b>	<b>MAKSUD</b>
NDT	Non Destructive Testing
ASTM	American Standard Test Material
UTM	Universal Testing Machine
SEM	Scanning Electron Microscope

## BAB 1

### Pengenalan

#### 1.1 Latar belakang

Pada tahun 1903, sejarah telah mencatatkan bahawa James Alfred Ewing merupakan individu pertama yang mendemonstrasikan tentang kegagalan kelesuan logam dalam keretakan mikroskopik. Kemudian pada tahun 2000, D.H.Ryu, T.W.Choi, Y.I.Kim dan S.H.Nahm telah melakukan ujikaji mengesan retak lesu dengan menggunakan pemrosesan imej. Dalam kajian ini, retak yang terhasil dikesan dengan menggunakan kamera CCD. Pada tahun 2005, giliran Hiroshi Tsuda, Jung-Ryul Lee dan Yisheng Guan untuk menjalankan kajian retak lesu. Mereka ini menjalankan kajian perambatan retak lesu keatas keluli tahan karat dengan menggunakan pengesan gelombang ultrasonik.

Di dalam sains bahan, definisi kepada kelesuan (fatigue) adalah suatu proses kerosakan struktur tetap yang berlaku ke atas suatu bahan logam apabila dikenakan daya berulang ataupun daya-daya lain seperti daya tegangan (tensile), daya mampatan (compress), daya tegangan mampatan (tensile compress) dan juga daya ubah-ubah (fluctuate). Hasil daripada itu akan menghasilkan daya tekanan (stress), daya tegangan terakhir (ultimate tensile stress) dan juga tegangan alah (yield stress) yang mana akan membawa kepada kegagalan.

Kelesuan sesuatu logam dikenali sebagai situasi yang menghampiri kepada kegagalan sesuatu bahan dan ia disebabkan oleh sejumlah daya besar yang pelbagai pada suatu titik. Kepatahan pada mulanya disebabkan oleh daya tegangan yang mana menghasilkan kecacatan yang kecil. Tetapi apabila ia mula mengalami keretakan maka pembiakan keretakan akan terus berlaku sehingga ia patah atau putus. Kegagalan kelesuan sebenarnya boleh berlaku pada semua bahan tetapi pada nilai yang berlainan.

Terdapat pelbagai jenis aluminium yang dapat diambil untuk melakukan projek ini. Namun begitu pemilihan aluminium yang sesuai adalah amat penting untuk memastikan kelancaran projek ini. Untuk menjayakan projek ini, 2 jenis aloi tempatan yang berbeza telah dipilih iaitu aluminium 5083 dan aluminium 6063. Pemilihan aluminium ini adalah mengambil kira beberapa jenis faktor yang mustahak. Faktor tersebut adalah tempoh masa untuk aluminium tersebut semasa melakukan ujian kelesuan. Dua jenis aloi ini mengambil masa yang paling singkat berbanding dengan jenis yang bahan lain mengikut kepada teorinya. Selain itu, jenis aluminium ini juga senang diperolehi kerana ianya sering digunakan dalam idustri. Sebagai kesimpulannya, pemilihan aloi ini adalah bersesuaian dengan projek ini.

Aloi aluminium 6063 adalah aloi yang mempunyai kekuatan sederhana biasanya dirujuk sebagai aloi seni bina. Ia mempunyai satu kemasan permukaan yang baik, mempunyai rintangan tinggi untuk kakisan dan adalah sesuai untuk kimpalan. Kebiasaannya aloi jenis aluminium 6063 adalah digunakan dalam aplikasi senibina, membuat bingkai tingkap, membuat pintu, pengairan dalam sistem pembuluhan (tubing) dan sebagainya. Mengandungi unsur-unsur kimia seperti Si, Fe, Cu, Mn, Mg, Zn, Ti, Cr dan Al.

Aluminium 5083 adalah diketahui bahawa mempunyai prestasi luar biasa dalam persekitaran yang ekstrem. Aluminium jenis ini adalah amat tahan lasak untuk rintangan



air laut kerana ianya tahan karat dan tahan lasak pada persekitaran industri kimia. Aluminium 5083 juga mengekalkan kekuatan luar biasa selepas kimpalan. Namun kekuatan itu dapat diatasi sekiranya digunakan pada suhu yg berkelebihan 65°C. Kegunaan logam ini adalah lebih kurang dengan penggunaan aloi aluminium 6063 iaitu untuk kegunaan senibina, bingkai tingkap dan sebagainya. juga mengandungi unsur kimia yang sama seperti aluminium 6063 namun nilai peratusan komposisinya berbeza.

Pemilihan bentuk sampel untuk projek ini adalah berbentuk plat. Pada plat tersebut telah dilakukan takuk pada bahagian tengah-tengah spesimen. Tujuan dilakukan takuk tersebut adalah untuk memudahkan pengesanan retak awal. Secara tidak lansungnya perambatan retak pun tertumpu dibahagian tersebut. Manakala bentuknya pula adalah jenis yang bersegi (*square*). Dalam projek ini, pemilihan jenis yang bersegi adalah lebih baik daripada jenis yang bulat. Ini kerana, jenis yang bersegi memudahkan pengesanan retak dilakukan.

Teknik penyediaan spesimen untuk kajian ini adalah dengan hanya kaedah pemotongan bahan sahaja. Ini kerana bahan yang diterima adalah mempunyai persamaan tebal dan lebar dengan saiz spesimen yang dikehendaki. Cuma panjangnya sahaja perlu dipotong mengikut ukuran yang dikehendaki.

Untuk mengesan retak lesu terdapat berbagai kaedah dan cara. Kaedah tersebut adalah menggunakan kaedah ujian tanpa musnah (*non-destructive testing*). Di dalam ujian tanpa musnah terdapat pelbagai teknik untuk mengesan retak. Antaranya adalah dengan menggunakan kaedah *eddy-current*, *Visual Inspection*, *Liquid Penetrant*, *Magnetic Particle Testing*, *Ultrasonic Testing* dan *Radiography*. Namun untuk kajian ini, teknik pemeriksaan visual (*Visual Inspection*) telah digunakan untuk mengesan retak. Ini kerana kaedah ini sememangnya mempunyai banyak kelebihan berbanding teknik yang lain. Antara kebaikan teknik ini adalah senang dilakukan dan tidak

memerlukan kos yang mahal untuk menjalankan pemeriksaan. Disamping itu, hasil pemeriksaan dari teknik ini juga dapat diperolehi dengan serta merta.

## 1.2 Objektif

Dalam menjalankan sesuatu projek, objektif adalah perkara penting yang harus ada. Untuk projek ini, objektifnya adalah untuk mengesan retak lesu dalam dua jenis aluminium yang berlainan. Pengesanan retak lesu tersebut adalah termasuk pengesanan terhadap retak awalan (*initial crack*) dan perambatan retak yang berlaku dalam spesimen. Untuk mengesan retak tersebut, teknik NDT (*non-destructive testing*) perlu digunakan. Kaedah dalam teknik NDT yang dicadangkan untuk mengesan retak tersebut adalah dengan menggunakan kaedah pemeriksaan visual (*visual inspection*).

Sementara itu, dalam projek ini juga dapat mengkaji retak awalan yang berlaku pada spesimen kajian. Ini secara tidak langsung dapat mengkaji perambatan retak yang berlaku dalam aluminium. Sementara itu, projek ini juga dapat mengetahui bagaimana untuk menentukan dan mengesan retak lesu dengan sah.

Antara objektif lainnya adalah untuk membuat perbandingan antara dua jenis aloi yang berbeza iaitu aluminium 5083 dan aluminium 6063. Masa dan panjang retak yang diperolehi dari ujian yang dilakukan adalah dapat menentukan hayat lesu bagi aluminium yang digunakan. Ini secara langsung dapat menentukan hayat spesimen yang dilakukan.

### 1.3 Skop projek

Skop utama dalam projek ini adalah melakukan ujian lesu keatas aluminium dengan frekuensi yang berbeza dengan menggunakan mesin *Universal testing machine*(UTM). Apabila ujian lesu telah dijalankan pengesanan perambatan retak secara lesu yang berlaku dalam spesimen akan dilakukan dengan menggunakan kaedah pemeriksaan visual. Dan seterusnya membuat analisis tentang perambatan retak lesu yang berlaku ke atas aluminium tersebut. Analisis tersebut adalah merangkumi retak yang bermula pada awalan dan perambatan retak yang berlaku terhadap spesimen. Daya atau beban yang akan digunakan juga perlu diambil kira dalam menjalankan ujian ini. Untuk menentukan daya tersebut, ujian regangan terlebih dahulu akan dilakukan terhadap spesimen.

Dalam menjalankan projek ini, skop yang diambil perhatian adalah mengenai pemilihan aloi yang sesuai untuk melakukan ujian retak-lesu. Untuk ujian ini dua jenis aloi yang berbeza iaitu aluminium 5083 dan aluminium 6063 telah digunakan untuk kajian ini. Pemilihan kedua-dua aluminium ini adalah kerana ianya sangat sesuai untuk projek ini. Aluminium ini adalah diperolehi dari syarikat tempatan yang menjalankan perniagaan menjual keluli-keluli dan aluminium.

Selain itu, skop yang seterusnya pula adalah untuk penyediaan spesimen. Ini kerana kedua-dua keluli yang dipesan adalah jenis plat yang bersaiz 6mmX 3mmX 25mm. Bentuk dan dimensi spesimen adalah diambil berdasarkan jurnal G. Meneghetti, L. Susmel, R. Tovo (Februari 2006).

Untuk menjalankan projek ini, bilangan spesimen yang diperlukan adalah sebanyak 26 spesimen. Dua dari bilangan spesimen tersebut iaitu satu untuk setiap jenis aluminium adalah digunakan untuk melakukan ujian regangan bagi mendapatkan beban

dalam julat elastik atau nilai rujukan. Manakala, 12 lagi spesimen adalah digunakan untuk melakukan ujian lesu terhadap aluminium 5083 dan 12 untuk spesimen aluminium 6063.

#### **1.4    Penyataan masalah**

Masalah yang diperolehi dalam projek ini adalah proses pemilihan logam yang sesuai dengan projek ini. Pemilihan logam untuk projek ini memerlukan kesesuaian dengan ciri-ciri yang tertentu. Perkara yang perlu diambil berat dalam pemilihan logam adalah tempoh waktu yang terpaksa diambil sewaktu melakukan proses lesu dengan menggunakan mesin UTM.

Sementara itu, menentukan saiz dan ukuran piawai spesimen adalah merupakan masalah yang dihadapi dalam projek ini. Masalah ini timbul kerana saiz dan ukuran standard tiada dalam ukuran piawai astm. Selain itu, spesimen yang akan digunakan untuk projek ini adalah jenis plat, manakala yang selalu digunakan untuk ujikaji ini adalah jenis logam yang bulat. Maka, timbullah masalah untuk mencari saiz plat yang sesuai.

Selain itu, untuk mengesan retak lesu juga menjadi masalah dalam projek ini. Masalah ini adalah masalah yang berlaku untuk mengesan retak awal dan perambatan retak. Dalam penentuan retak awal, tidak diketahui berapa saiz retak yang dianggap sebagai retak awal. Dalam perambatan retak pula, bagaimana untuk menentukan julat masa terhadap kekuatan lesu adalah menjadi masalah dalam projek ini.

## 1.5 Aplikasi kajian

Aplikasi kajian ini adalah untuk digunakan dalam sektor penerbangan sebagai proses keselamatan dalam menentukan kadar hayat dan tempoh retak lesu logam yang biasa digunakan dalam sektor tersebut. Ini kerana dalam sektor ini, faktor keselamatan adalah faktor utama yang perlu diambil perhatian. Sekiranya struktur logam tidak diperiksa dan ditentukan tempoh retak lesu bagi logam yang digunakan adalah boleh mendatangkan bahaya kepada pengguna. Untuk menangani masalah ini, penentuan kadar hayat dan tempoh retak lesu logam adalah perlu dan kajian ini adalah memenuhi kehendak tersebut.

Selain itu, kajian ini juga boleh digunakan untuk menganggarkan tempoh hayat landasan keretapi untuk proses pembaikpulih atau penyelenggaraan landasan untuk memastikan keselamatan penumpang dalam keretapi terjamin.

Sementara itu, kajian ini juga boleh digunakan secara meluas dalam sektor pembinaan pengangkutan untuk proses pemilihan logam yang sesuai. Proses pemilihan logam ini adalah bergantung kepada kadar retak lesu yang sesuai dengan keadaan setempat dan cuaca. Aplikasi kajian ini juga untuk kegunaan dalam sektor pembinaan bagi mengesan keretakan dalam sektor ini. Kegunaan ini secara tidak langsung boleh menyelamatkan banyak nyawa.

Aplikasi pemeriksaan visual adalah digunakan dalam pelbagai industri antaranya membuat pesawat. Teknik ini digunakan untuk mengesan retak dalam operasi pesawat. Selain itu, teknik ini juga sering digunakan dalam mengesan kecacatan pada produk-produk industri. Disamping itu, teknik pemeriksaan visual juga digunakan untuk memeriksa talian paip untuk mencegah kebocoran. Ini secara tidak langsung dapat

mengelakkan pembaziran dan pencemaran kepada alam sekitar yang diakibatkan oleh kebocoran pada paip yang menyalurkan bahan yang bertoksik.

## BAB 2

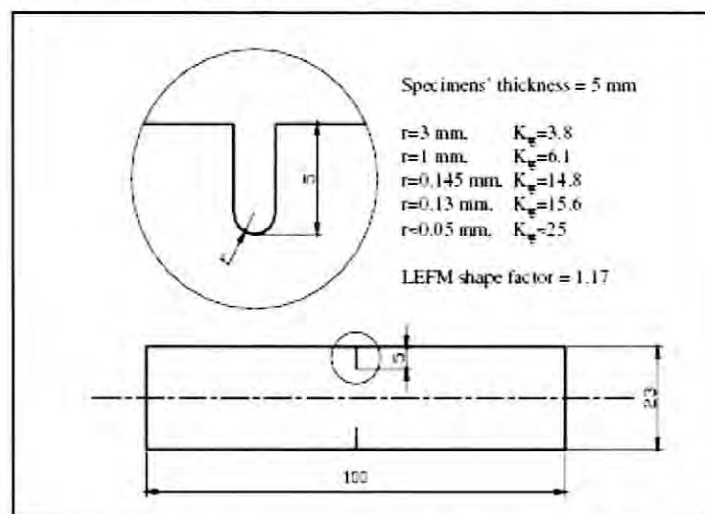
### KAJIAN ILMIAH

#### 2.1 Penyediaan sampel

G. Meneghetti, Susmel, r. Tovo (2006) telah menjalankan ujikaji retak-lesu kitaran tinggi keatas spesimen yang mempunyai penumpuan tegasan yang berbeza.

Spesimen yang digunakan adalah bersaiz 23mm lebar, panjang 100mm dan tebal 5mm.

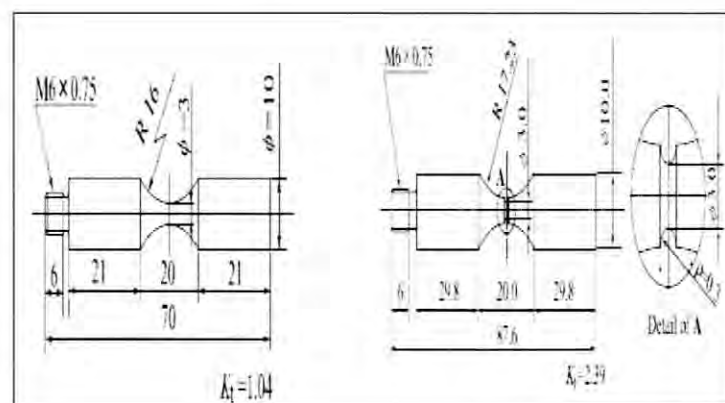
Terdapat dua takuk dilakukan pada spesimen. Takuk yang dihasilkan adalah untuk kegunaan ujian-ujian ketegangan dan ujian kelesuan dengan tujuan untuk memastikan bahawa kegagalan ataupun keretakan berlaku dan tertumpu di bahagian tersebut. Rajah 1 menunjukkan bentuk dan dimensi spesimen yang digunakan.



Rajah 1 : Bentuk dan dimensi spesimen untuk ujian kelesuan oleh G. Meneghetti, Susmel dan r. Tovo (2006)

Yoshiaki Akiniwa, Nobuyuki Miyamoto, Hirotaka Tsuru, Keisuke Tanaka [2006]; Dalam kajian mereka berempat iaitu mengenai pengaruh takuk keatas kekuatan kelesuan logam. Kajian ini dilakukan dengan membandingkan dua bahan ujikaji yang berbeza iaitu permukaannya licin dan bahan ujikaji yang permukaan mempunyai takuk yang mana dinamakan sebagai SUJ2-A dan SUJ2-B. Lihat Rajah 2 dan Rajah 3 untuk dimensi bagi setiap spesimen. Lengkung S-N yang diperolehi dari bahan ujikaji yang permukaan licin adalah berbeza dengan bahan ujikaji yang mempunyai takuk tetapi perbezaannya tidak berapa jelas. Perbezaan diantara SUJ2-A dan SUJ2-B hanya datang dari penyebaran percantuman saiz.

Kajian ini juga mengatakan bahawa kitar kelesuan terbahagi kepada tiga iaitu yang pertamanya ialah peringkat A. Pada peringkat ini berlakunya penyebaran retak dari percantuman kepada permukaan berbutir-butir. Kemudian peringkat B iaitu penyebaran retak dari berbutir kepada mata ikan dan yang ketiga iaitu peringkat C dimana pada peringkat ini berlakunya kepatahan. Kesemua mekanisme penyebaran retak sehingga kepada kepatahan akan digunakan untuk pengiraan kelesuan logam. Faktor keamanan tekanan pada peringkat A adalah malar pada sekitar  $4\text{MPm}^{1/2}$ . Untuk kes takuk berbentuk bulat, kelesuan bermula dari permukaan dan pembentukan gelinciran berlaku pada kitar tinggi. Manakala kekuatan kelesuan bagi bahan yang bertakuk adalah lebih rendah berbanding yang permukaan tinggi.



Rajah 2 : Dimensi bahan ujikaji A