

‘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 Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal (Struktur & Bahan)’

Tandatangan :
Nama Penyelia :
Tarikh :

** Potong yang tidak berkenaan*

**PENENTUAN JANGKAHAYAT KELESUAN
TERHADAP KELULI TAHAN KARAT
DI BAWAH PENGARUH SUHU YANG BERBEZA**

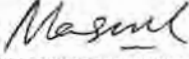
MOHD NASRUL BIN MUHAMMAD ADAM

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

**Fakulti Kejuruteraan Mekanikal
Universiti Teknikal Malaysia Melaka**

MAC 2008

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

Tandatangan : 

Nama Penulis : MOHD NASRUL MUHAMMAD ADAM

Tarikh : 27 MAC 2008

Untuk kedua ibu bapa tersayang

Encik Muhammad Adam bin Md Saud dan Puan Rohani binti Husain

Adik beradik saya

Mohd Nirman

Mohd Nazmi

Nurul Izzati

Pendidik yang banyak berjasa

Sanak saudara yang lain, kawan lelaki dan kawan perempuan.

PENGHARGAAN

Bersyukur ke hadrat Ilahi kerana dengan limpah dan kurnia-Nya dapatlah saya menyiapkan kajian saya ini dengan sempurna. Saya juga bersyukur kerana sepanjang saya menuntut ilmu di Universiti Teknikal Malaysia Melaka (UTeM) dipermudahkannya untuk menerima ilmu yang dipelajari.

Pada kesempatan ini saya ingin mengucapkan setinggi-tinggi ucapan terima kasih kepada penyelia, Encik 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 di bawah seliaan beliau. Ini kerana, tanpa ilmu yang dikongsi oleh beliau itu tidak mungkin saya dapat menyiapkan kajian ini dengan sempurna dalam tempoh yang ditetapkan.

Saya juga ingin mengucapkan berjuta-juta terima kasih kepada juruteknik yang berpengalaman iaitu Encik Rashdan, Encik Ridhuan dan Encik Mahader atas pertolongan yang telah diberikan semasa kajian dilakukan. Tanpa pertolongan tersebut tidak mungkin saya dapat menyiapkan kajian ini. Tidak lupa juga kepada kawan-kawan yang mana telah banyak memberi pertolongan dan dorongan dalam menyiapkan tesis ini. Tidak dilupai insan paling penting bagi menerima ucapan terima kasih yang tidak terhingga iaitu kedua ibu bapa tercinta kerana berkat doa mereka dapatlah tesis ini disiapkan. Terima kasih semua.

ABSTRAK

Kelesuan logam merupakan antara permasalahan yang melanda bidang kejuruteraan. Kelesuan adalah kelemahan yang berlaku pada logam. Terdapat pelbagai faktor yang menjurus kepada berlakunya fenomena kelesuan. Kelesuan menjelaskan bahawa setiap bahan mempunyai kriteria atau sifat tersendiri di mana faktor-faktor berikut menjadi penting dalam mengatasi masalah kelesuan. Kajian kelesuan adalah penting kerana melalui kajian ini dapatlah diketahui tahap kekuatan logam yang digunakan. Kelesuan logam pula boleh berlaku akibat oleh daya-daya seperti mampatan, tegangan dan juga daya tegangan mampatan. Salah satu faktor kegagalan disebabkan kelesuan adalah pengaruh suhu. Logam yang digunapakai bagi mengkaji pengaruh suhu terhadap kelesuan adalah keluli tahan karat dari jenis AISI 302. Spesimen dari logam ini dihasilkan. Bagi mengkaji faktor perbezaan suhu, spesimen akan diberi rawatan haba pada 3 suhu berlainan mengikut perbezaan fasa. Kemudian ujian ketegangan dilakukan pada setiap spesimen. Tujuan ujian tegangan ini dilakukan adalah untuk mendapatkan nilai kekuatan alah bahan sebagai nilai rujukan bagi ujian kelesuan. Dari ujian kelesuan ini, data yang diperolehi akan menghasilkan graf lengkung S-N. Kekuatan kelesuan logam pula bergantung kepada amplitud yang digunakan semasa ujian dilakukan.

ABSTRACT

Metal fatigue is one of the problem that being involved in engineering. Fatigue is a defection that occurs on metal. There are many factors that influencing fatigue phenomena. Fatigue explains that each material has its own criteria or properties which these factors are important in avoiding fatigue. The study of fatigue is a necessary as from the information, the strength of each metal can be varied. Fatigue on metal can occur by various forces such as tension, compression and tensile compression. One of the factors which causing fatigue failure is the temperature. The metal that being used for investigating the temperature effect on metal fatigue is AISI 302 stainless steel. In order to examine the vary of temperature effect, specimens would be given heat treatment on 3 different temperatures based on phase diagram. Then the specimens would be applied with tensile test. The purpose of the test is to get the yield strength as mean stress for the fatigue testing. From that fatigue testing, the values are producing S-N curve. Fatigue limit is depending on amplitude that we used during testing.

KANDUNGAN

BAB	PERKARA	MUKA SURAT
	PENGAKUAN	ii
	DEDIKASI	iii
	PENGHARGAAN	iv
	ABSTRAK	v
	<i>ABSTRACT</i>	vi
	KANDUNGAN	vii
	SENARAI JADUAL	xi
	SENARAI RAJAH	xii
	SENARAI SIMBOL	xv
	SENARAI LAMPIRAN	xvii
1	Pengenalan	
	1.1 Pengenalan Kepada Kelesuan	1
	1.2 Objektif Kajian	2
	1.3 Skop Kajian	2
	1.4 Pernyataan Masalah	2
	1.5 Contoh Kes Kelesuan	3
	1.5.1 Jambatan Perak	3
	1.5.2 Bahan Binaan	4
	1.5.3 Rumusan Runtuhan	4

2	KAJIAN ILMIAH: KELESUAN	
2.1	Takrif Kelesuan	6
2.2	Kelesuan Logam	6
2.3	Bebanan Kelesuan	7
2.4	Kitar Kelesuan	9
	2.4.1 Kelesuan Kitar Rendah	9
	2.4.2 Kelesuan Kitar Tinggi	9
2.5	Ciri-ciri Kegagalan Kelesuan	10
2.6	Mekanisma Kelesuan Dalam Bahan Logam	11
	2.6.1 Pertumbuhan Keretakan Kelesuan	11
	2.6.2 Hayat Kelesuan dan Had Kelesuan	12
2.7	Faktor-faktor Mempengaruhi Kelesuan	13
	2.7.1 Faktor Kemasan Permukaan k_a	14
	2.7.2 Faktor Saiz k_b	15
	2.7.3 Faktor Keboleharapan k_c	15
	2.7.4 Faktor Suhu k_d	16
	2.7.5 Faktor Penumpuan Tegangan k_e	16
	2.7.6 Faktor Pelbagai k_f	16
2.8	Peringkat Kegagalan Kelesuan	17
	2.8.1 Permulaan Keretakan	17
	2.8.2 Perkembangan Keretakan	18
	2.8.3 Kepatahan	19
3	KAJIAN ILMIAH: KELULI TAHAN KARAT	
3.1	Pengenalan Keluli Tahan Karat	21
3.2	Keluli Tahan Karat Martensitik	22
3.3	Keluli Tahan Karat Ferritik	23
3.4	Keluli Tahan Karat Austenitik	24
3.5	Keluli Tahan Karat AISI 302	25

4	KAJIAN ILMIAH: RAWATAN HABA	
4.1	Besi dan Perubahannya	27
4.2	Diagram Fasa Besi-Karbon	30
4.3	Rawatan Haba Keluli	38
5	METADOLOGI	
5.1	Kaedah Kajian	41
5.2	Kajian Ilmiah	43
5.3	Penghasilan Spesimen	43
	5.3.1 Lakaran Spesimen	44
	5.3.2 Bahan Kajian	44
	5.3.3 Pemotongan Rod	45
	5.3.4 Membuat Lubang Pemegang	47
	5.3.5 Membuat Lurah	48
	5.3.6 Proses Melengkapkan Rod Spesimen	48
5.4	Rawatan Haba	50
5.5	Mengkaji Mikrostruktur Spesimen	50
	5.5.1 Proses Penambahan	51
	5.5.2 Proses Penggilapan	52
	5.5.3 Proses Penggoresan	53
	5.5.4 Melihat Mikrostruktur	54
5.6	Ujian Tegangan	54
5.7	Ujian Kelesuan	56
6	KEPUTUSAN	
6.1	Ujian Ketegangan	58
6.2	Ujian Kelesuan	61
	6.2.1 Hasil Ujian Kelesuan Bagi Suhu 27 °C	61
	6.2.2 Hasil Ujian Kelesuan Bagi Suhu 723 °C	63
	6.2.3 Hasil Ujian Kelesuan Bagi Suhu 893 °C	64
6.3	Pengkajian Mikrostruktur Bahan	68

	6.3.1	Mikrostruktur Spesimen 27° C	68
	6.3.2	Mikrostruktur Spesimen 723° C	69
	6.3.3	Mikrostruktur Spesimen 893° C	70
7		PERBINCANGAN	
	7.1	Ujian Ketegangan	71
		7.1.1 Titik Alah Keseimbangan	73
		7.1.2 Analisa Keputusan	74
	7.2	Ujian Kelesuan	76
		7.2.1 Analisa Keputusan	77
	7.3	Pengkajian Mikrostruktur Bahan	80
		7.3.1 Analisa Keputusan	80
8		KESIMPULAN	
	8.1	Penutup	82
	8.2	Cadangan	84
		8.2.1 Cadangan Metodologi	84
		8.2.2 Cadangan Kajian	84
		RUJUKAN	85
		BIBLIOGRAFI	86
		LAMPIRAN A	87
		LAMPIRAN B	88
		LAMPIRAN C	89
		LAMPIRAN D	90

SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK	MUKA SURAT
2.1	Faktor Keboleharapan	15
3.1	Komposisi kimia bagi keluli tahan karat AISI 302	26
5.1	Kaedah Perlaksanaan Kajian	42
5.2	Sifat Keluli Tahan Karat AISI 302 Dalam Kejuruteraan (Unit SI)	45
5.3	Spesifikasi Mesin Gergaji Lentur Scantool	46
5.4	Spesifikasi Mesin Larik CNC	49
5.5	Spesifikasi Mesin Penambahan Tekanan Automatik	51
5.6	Spesifikasi Mesin Penggilap	53
5.7	Carta Lengkap Kaedah Digunakan	57
6.1	Sifat Keluli Tahan Karat AISI 302 Dalam Kejuruteraan (Unit SI)	58
6.2	Perbandingan Nilai Teori dan Hasil Ujian Tegangan	60
6.3	Data Kegagalan Lesu Bagi Suhu 37 °C Untuk Setiap Amplitud	66
6.4	Data Kegagalan Lesu Bagi Suhu 723 °C Untuk Setiap Amplitud	66
6.5	Data Kegagalan Lesu Bagi Suhu 893 °C Untuk Setiap Amplitud	66
7.1	Perbandingan Nilai Teori dan Hasil Ujian Tegangan	71

SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
1.1	Runtuhan Jambatan Perak, Ohio 1967	3
1.2	Rantai Penyambung <i>Eyebar</i> Jambatan Perak, Ohio	4
1.3	Runtuhan Jambatan Perak, Ohio	5
2.1	Aplikasi Beban Keseluruhan Berbalik	8
2.2	Sampel Kepatahan Akibat Kelesuan	12
2.3	Contoh Lengkungan S-N	12
2.4	Peringkat I, II dan III Proses Kepatahan Kelesuan	17
2.5	Peringkat Perkembangan Keretakan	19
2.6	Peringkat Kepatahan	20
4.1	Kekisi Kristal Besi (Tengah Jasad Sistem Kubik)	28
4.2	Lengkungan Penyejukan Besi Tulen	29
4.3	Kekisi Kristal Besi (Tengah Permukaan Sistem Kubik)	28
4.4	Diagram Keseimbangan Termal Besi- Aloji Besi Karbaid	31
4.5	Pembahagian Besi Dalam Diagram Keseimbangan Besi-Karbon	32
4.6	Keterlarutan Karbon Dalam Besi <i>Alpha</i>	33
4.7	Perubahan Semasa Penyejukan Perlahan 0.4% Keluli	34
4.8	Mikrostruktur <i>Hypoeutectoid</i>	36
4.9	Diagram Mewakili Fenomena Perubahan Semasa Penyejukan besi-Karbon Dengan 1.2% Karbon	37
4.10	Mikrostruktur <i>Pearlite</i> dan <i>Cementite</i>	37
4.11	Proses Pengerasan Logam	39

5.1	Spesimen Untuk Ujian Tegangan	43
5.2	Lakaran Specimen Untuk Ujian Tegangan	44
5.3	Mesin Gergaji Lentur Scantool	46
5.4	(a) Bilah Rod 280 mm; (b) Kepingan Rod 6mm	46
5.5	Mesin Larik Manual	47
5.6	Penghasilan Lubang Pemegang	47
5.7	Penghasilan Lurah	48
5.8	Spesimen Yang Telah Lengkap	48
5.9	Mesin Larik CNC	49
5.10	Mesin Relau	50
5.11	Mesin Penambahan Tekanan Automatik	51
5.12	Hasil Proses Penambahan Kepingan Spesimen	52
5.13	Mesin Penggilap Manual	52
5.14	Mesin Penggilap	53
5.15	Proses Penggoresan	54
5.16	Mesin Ujian Tegangan Dan Hasilnya	55
6.1	Keputusan Ujian Ketegangan	59
6.2	Graf Tegasan Tegangan Lawan Terikan Tegangan	60
6.3	Hasil Ujian Kelesuan Bagi Amplitud 0.4 mm	61
6.4	Hasil Ujian Kelesuan Bagi Amplitud 0.5 mm	62
6.5	Hasil Ujian Kelesuan Bagi Amplitud 0.6 mm	62
6.6	Hasil Ujian Kelesuan Bagi Amplitud 0.4 mm	63
6.7	Hasil Ujian Kelesuan Bagi Amplitud 0.5 mm	63
6.8	Hasil Ujian Kelesuan Bagi Amplitud 0.6 mm	64
6.9	Hasil Ujian Kelesuan Bagi Amplitud 0.4 mm	64
6.10	Hasil Ujian Kelesuan Bagi Amplitud 0.5 mm	65
6.11	Hasil Ujian Kelesuan Bagi Amplitud 0.6 mm	65
6.12	Lengkungan Tegasan Lawan Kitaran Bagi Kegagalan Lesu Besi Tahan Karat AISI 302 di Bawah Pengaruh Suhu Berbeza	67

6.13	Mikrostruktur Keluli Tahan Karat AISI 302 Pada Suhu 27 °C	68
6.14	Mikrostruktur Keluli Tahan Karat AISI 302 Pada Suhu 723 °C	69
6.15	Mikrostruktur Keluli Tahan Karat AISI 302 Pada Suhu 893 °C	70
7.1	Graf Perbezaan Nilai Teori dan Hasil Ujian Ketegangan	72
7.2	Aplikasi Titik Alah Keseimbangan	73
7.3	Aplikasi Titik Alah Keseimbangan Dalam Graf Hasil Ujian Ketegangan	74
7.4	Rujukan Amplitud Dari Graf Kekuatan Alah	77
7.5	Titik Kegagalan Lesu Berdasarkan Amplitud	77
7.6	Lengkungan Tegasan-Kitaran Keluli Tahan Karat AISI 302 di Bawah Pengaruh Suhu Berbeza	78
7.7	Mikrostruktur Keluli Tahan Karat AISI 302 Pada Suhu 27 °C	80
7.8	Mikrostruktur Keluli Tahan Karat AISI 302 Pada Suhu 723 °C	81
7.7	Mikrostruktur Keluli Tahan Karat AISI 302 Pada Suhu 893 °C	81

SENARAI SIMBOL

SIMBOL	DEFINISI
T	Suhu, °C
N	Kitaran
t	Masa, saat
mm	milimeter
C	Karbon
Si	Silika
Mn	Mangan
P	Fosfur
Cr	Kromium
Mo	Molibdenum
Ni	Nikel
Fe	Ferum
E	Modulus Young
A	Luas Permukaan, m ²
MPa	Mega Paskal (x 10 ⁶ Paskal)
°C	Darjah Celcius
γ	Gamma
α	Alpha
δ	Delta
σ	Tegasan
σ_y	Kekuatan Alah
ϵ	Terikan

SINGKATAN**DEFINISI**

AISI

American International Supply Inc.

ASTM

American Society for Testing and Materials

SENARAI LAMPIRAN

BIL.	TAJUK	MUKA SURAT
A	Carta Gantt Pelaksanaan PSM 1 dan PSM 2	87
B	Senarai Larutan Gores	88
C	Lampiran Salinan Keputusan Ujian Ketegangan	89
D	Graf Hasil Ujian Ketegangan	90

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Pengenalan Kepada Kelesuan

Menurut Dr. K. Kurtis (2001), kelesuan adalah merujuk kepada proses percambahan, pemusatan dan kegagalan kekal pada struktur yang berlaku apabila suatu bahan dikenakan daya terikan yang berulang dan berkala pada tegasan biasa yang mana nilai maksimumnya kurang berbanding kekuatan alah pegun bahan tersebut. Tegasan yang terhasil bernilai kurang daripada tegasan regangan, dan mungkin kurang juga berbanding tegasan alah bahan, turut menyebabkan kegagalan struktur.

J. F. Shackelford (2000) menyatakan bahawa secara amnya, setiap bahan mempunyai ketahanan terhadap kerosakan atau kegagalan. Dalam julat ini, bahan adalah dalam keadaan terkawal. Begitu juga bagi keluli tahan karat yang mana turut mempunyai kekuatan atau ketegaran terhadap kegagalan. Dalam kajian ini, kegagalan yang dirujuk adalah dari aspek kelesuan. Kajian terhadap kelesuan memastikan jangka hayat suatu bahan kekal lebih lama atas pelbagai faktor, terutama keselamatan.

Apa yang paling penting kelesuan selalunya bermula dengan keretakan kecil yang tidak kelihatan dengan mata kasar dan agak sukar juga untuk dilihat menggunakan pancaran-x. Keretakan selalunya bermula pada bahagian yang lemah seperti pada

lubang, alur kunci dan juga pada bahagian yang terdapat pertukaran saiz seperti alur, takuk dan kambi (pada bahagian seperti ini terdapat tumpuan tegasan yang tinggi).

1.2 Objektif Kajian

Objektif utama adalah untuk mengkaji jangkahayat kelesuan terhadap bahan keluli tahan karat di bawah pengaruh suhu berbeza.

1.3 Skop Kajian

Skop kajian ini adalah melibatkan:

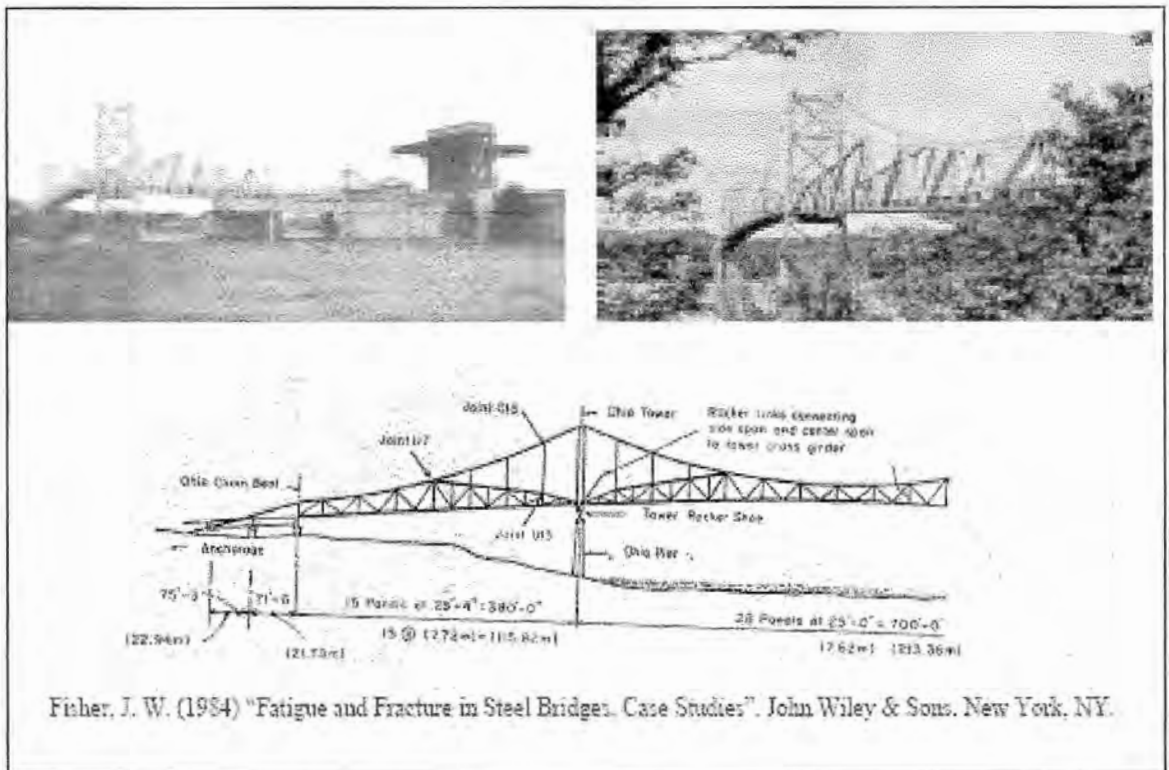
- i. Penyediaan sampel ujikaji dan rawatan haba
- ii. Pengajian mikrostruktur spesimen
- iii. Mengenalpasti ketegangan maksima spesimen (Ujian ketegangan)
- iv. Mengenalpasti pusingan kegagalan kelesuan (Ujian kelesuan)
- v. Mengkaji sifat-sifat mekanikal keluli tahan karat
- vi. Analisis keputusan dan kesimpulan

1.4 Pernyataan Masalah

Sejak dahulu lagi para saintis dan jurutera mengkaji perihai laku dan sifat bahan terutamanya besi dan keluli bagi memahami kesan dan faktor bagi setiap situasi yang mungkin terjadi. Salah satu fenomena yang terjadi adalah kegagalan lesu. Kelesuan boleh terjadi pada setiap komponen kejuruteraan jika sebarang faktor keselamatan dan

kajian terperinci diabaikan. Kesannya adalah kemalangan yang membabitkan kos dan keselamatan awam. Kelesuan adalah umpama musuh dalam selimut dan ditakuti oleh semua jurutera.

1.5 Contoh Kes Kelesuan



Rajah 1.1: Runtuhan Jambatan Perak, Ohio 1967

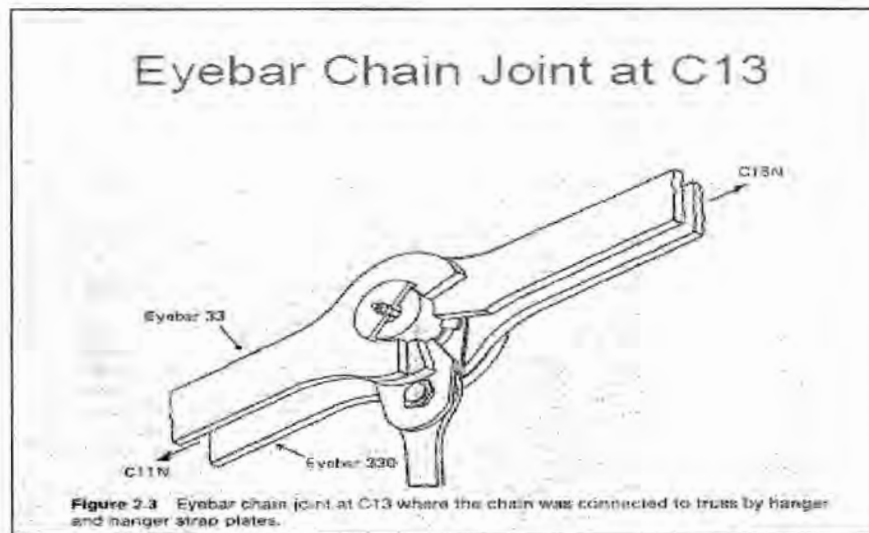
(Sumber: Dr. K. Kurtis (2001))

1.5.1 Jambatan Perak

- i. Pembinaan selesai pada bulan Mei 1928 dan setinggi 1750 kaki.
- ii. Merentangi Sungai Ohio antara Point Pleasant, WV dan Kanauga, OH.
- iii. Dikenali Jambatan "Perak" kerana dicat dengan cat aluminium.

1.5.2 Bahan Binaan

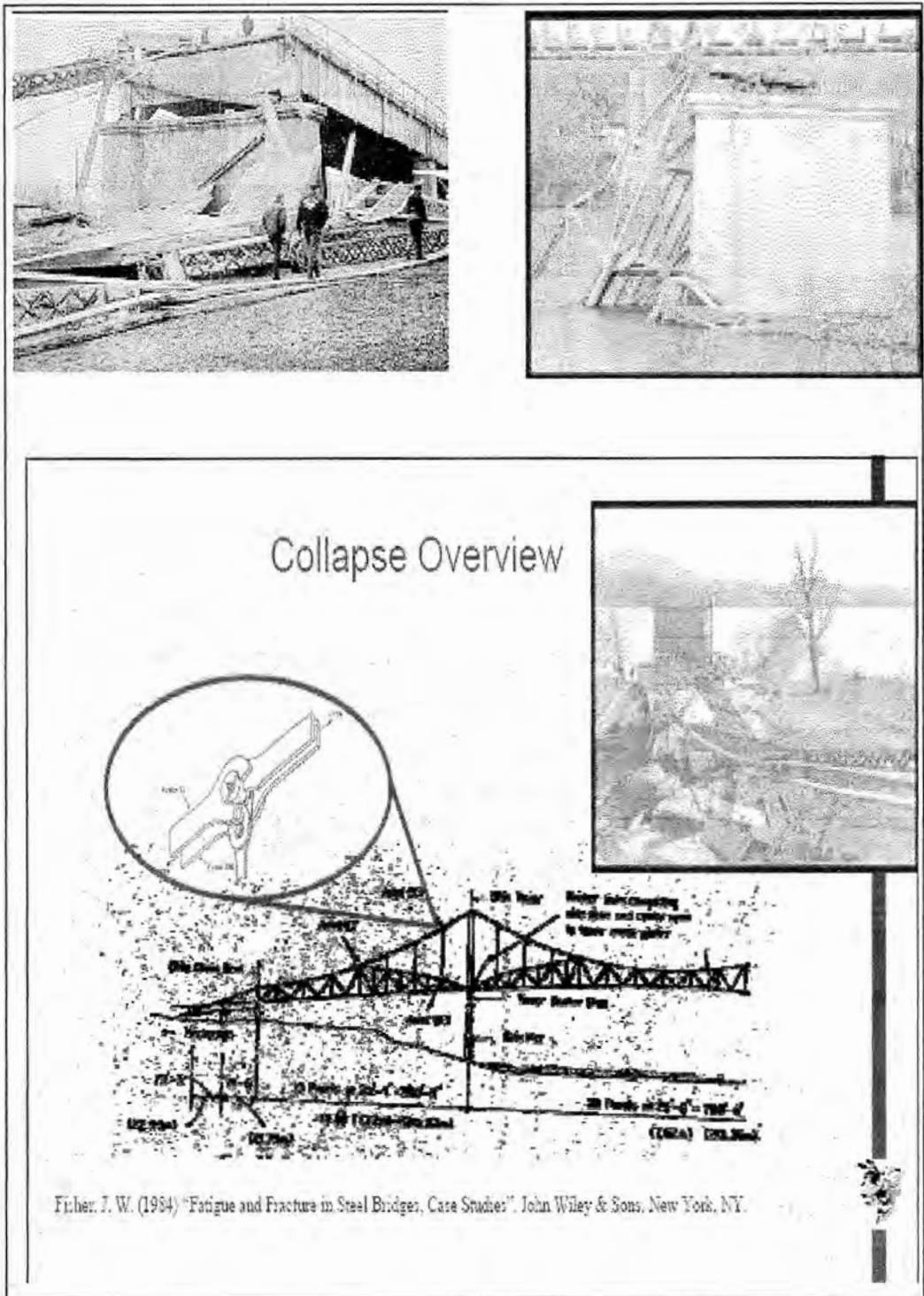
- i. Dek sokongan asal dari batang kayu telah digantikan dengan keluli.
- ii. Kekisinya dikuatkan dengan konkrit (3 inci) pada 1941.
- iii. Penggantian dek menyebabkan peningkatan beban yang tidak penting.
- iv. *Eyebar* dibina dari batang keluli karbon 1060 gulingan rawatan haba.
- v. *Eyebar* direka untuk patah pada batang-batang pada beban terakhir.



Rajah 1.2: Rantai Penyambung *Eyebar* Jambatan Perak, Ohio
(Sumber: Dr. K. Kurtis (2001))

1.5.3 Rumusan Runtuhan

- i. Runtuhan berlaku tanpa diduga pada 15 Disember 1967, 5petang.
- ii. Kesemua tiga-tiga bahagian yang tertunda runtuh dalam tempoh 60 saat.
- iii. Berdasarkan keterangan saksi, runtuhan berlaku dengan pantas selepas bunyi rekahan yang kuat.
- iv. Suhu pada masa kejadian adalah 30°F.
- v. 46 orang terbunuh, 9 cedera dan 37 kenderaan jatuh bersama runtuhan.



Rajah 1.3: Runtuhan Jambatan Perak, Ohio
(Sumber: Dr. K. Kurtis (2001))

BAB II

KAJIAN ILMIAH : KELESUAN

2.1 Takrif Kelesuan

Menurut Dr. K. Kurtis (2001), dalam sains bahan, kelesuan ialah proses percambahan, pemusatan dan kegagalan kekal pada struktur yang berlaku apabila suatu bahan dikenakan daya terikan yang berulang dan berkala pada tegasan biasa yang mana nilai maksimumnya kurang berbanding kekuatan alah statik bahan tersebut. Tegasan yang terhasil bernilai kurang daripada tegasan regangan, dan mungkin kurang juga berbanding tegasan alah bahan, turut menyebabkan kegagalan struktur.

2.2 Kelesuan Logam

Shackelford, J. F. (2000) mencatatkan bahawa pada tempoh masa yang lepas, jurutera mengenalpasti bahawa jika suatu bahagian logam dikenakan secara berulang dan dialihkan tegasan biasa (dikenali sebagai beban siklik), bahagian tersebut akan patah selepas beberapa ketika pusingan beban-tanpa beban, walaupun paras tegasan siklik yang dikenakan tersebut jauh lebih rendah berbanding kekuatan alah unggul, dan secara faktanya, jauh lebih rendah berbanding tegasan alah. Hubungkait ini mula diterbitkan oleh A. Z. Wöhler pada 1858.