

**KESAN DARIPADA LOKASI GETARAN BERFREKUENSI RENDAH UNTUK
MENGESAN RETAK DALAM KAEDAH VIBRO-AKUSTIK TAKLINEAR**

SAIFUL AIZAT BIN NAJAMHURI

UNIVERSITI TEKNIKAL MALAYSIA MELAKA

**KESAN DARIPADA LOKASI GETARAN BERFREKUENSI RENDAH UNTUK
MENGESAN RETAK DALAM KAEDAH VIBRO-AKUSTIK TAKLINEAR**

SAIFUL AIZAT BIN NAJAMHURI

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

Fakulti Kejuruteraan Mekanikal

UNIVERSITI TEKNIKAL MALAYSIA MELAKA

2017

PENGAKUAN

Saya akui laporan ini bertajuk “Kesan daripada Lokasi Getaran Berfrekuensi Rendah untuk Mengesan Retak dalam Kaedah Vibro-Akustik TakLinear” adalah hasil kerja saya sendiri kecuali yang dipetik daripada sumber rujukan.

Tandatangan :

Nama : SAIFUL AIZAT BIN NAJAMHURI

Tarikh :

PENGESAHAN PENYELIA

Saya akui bahawa saya telah membaca laporan ini dan pada pandangan saya laporan ini adalah memadai dari segi skop dan kualiti untuk tujuan penganugerahan Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal (Loji & Penyelenggaraan).

Tandatangan :

Nama Penyelia: DR. RUZTAMREEN BIN JENAL

Tarikh :

DEDIKASI

Khas buat

Ibu dan Ayah tersayang

ABSTRAK

Vibro-akustik taklinear adalah satu kaedah yang sangat dipercayai dan sensitif untuk mengesan kerosakan. Ia adalah satu kaedah berdasarkan kesan gelombang akustik berfrekuensi tinggi dalam struktur bahan yang kukuh dengan getaran berfrekuensi rendah. Interaksi gelombang akustik dengan bahan atau sifat perubahan geometri gelombang yang menyebabkan kesan herotan. Kesan ini dipanggil kesan akustik taklinear dengan pengujian berfrekuensi rendah. Didalam kajian ini, ujikaji ini bertujuan untuk mengkaji kesan mod getaran pada nod lokasi pengujian berfrekuensi rendah untuk mengesan retak lesu pada plat aluminium dengan menggunakan kaedah vibro-akustik taklinear. Selain itu, untuk mengetahui hubungan di antara keretakan bahan dengan nilai indek yang juga dikenali sebagai nilai R. Plat aluminium tersebut dikenakan getaran berfrekuensi rendah sebanyak sembilan lokasi dengan menggunakan penggoncang dimana frekuensi tersebut dihasilkan oleh penjana fungsi dan penguat kawalan. Keretakan diukur dengan menggunakan keamatan gelombang modulasi yang dipanggil sebagai indeks nilai R. Tiga mod getaran diperoleh daripada ujian modal dengan menggunakan osiloskop dan computer dengan perisian aturcara (LabVIEW). Plat tersebut dikenakan sebanyak sembilan lokasi berbeza getaran berfrekuensi rendah. Oleh itu, lokasi nod enam paling berkesan untuk mengesan retak lesu di dalam plat disebabkan oleh nilai R yang tinggi mengikut bentuk tiga mod terawal.

ABSTRACT

Nonlinear vibro-acoustic is a highly reliable and sensitive method for damage detection. It is a method based on propagation of high frequency acoustic waves in solid structures with low-frequency excitation. Interaction of the acoustic wave with material or geometry properties changes caused wave distortion effects. The causes called nonlinear acoustic effects are amplified with the low frequency excitation. In this study, this experiment to study the effects of vibration mode at low frequency excitation node locations to detect fatigue cracks in the aluminum plate by using nonlinear vibro-acoustic. In addition, to determine the relationship between cracking material with the value of index, also known as the R value. The aluminum plate subjected to low frequency vibration of nine locations using shakers which is generated by frequency generator and amplifier control functions. Cracks were measured using modulation wave intensity called as R value index. Three modes of vibration obtained from tests using an oscilloscope and a computer with a software program (LabVIEW). The plate was excited as nine different locations of low frequency excitation. Therefore, the most effective location to detect the fatigue crack is node number 6 in the plate due to high R value according to the earliest form of three modes.

PENGHARGAAN

Pertama sekali, saya ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada penyelia saya, Dr. Ruztamreen Bin Jenal diatas bimbingan, nasihat dan keperihatinan beliau semasa perjalanan ujikaji ini. Pengetahuan dan pengalaman beliau adalah sangat penting bagi saya untuk menyiapkan projek ini. Dengan sokongan daripada beliau, projek saya dapat dilakukan dengan lancar. Seterusnya saya ingin mengucapkan terima kasih kepada Tino Hermanto diatas dorongan dan pertolongan semasa saya menjalankan ujikaji di makmal. Selain itu, saya ingin mengucapkan terima kasih kepada panel, Dr Roszaidi Bin Ramlan yang menilai projek ini. Cadangan yang diberikan dari beliau banyak membantu saya untuk meningkatkan kualiti laporan ini. Selain itu, terima kasih kepada semua kakitangan teknikal yang telah membantu saya dalam ujikaji ini dengan memberikan bimbingan dan cadangan kepada saya. Tidak lupa juga ribuan terima kasih kepada kedua ibu bapa saya, Puan Salbiah Hanin Binti Abdul Hamid dan Encik Najamhuri Bin Najamuddin yang sentiasa mendoakan saya dan menggalakkan saya untuk menyelesaikan kajian ini. Akhir sekali, saya mengucapkan terima kasih kepada rakan-rakan saya yang membantu saya dan berkongsi idea atau pendapat apabila saya menghadapi masalah.

ISI KANDUNGAN

MUKA SURAT

PENGAKUAN	
PENGESAHAN PENYELIA	
DEDIKASI	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
PENGHARGAAN	iii
ISI KANDUNGAN	iv
SENARAI JADUAL	vi
SENARAI GAMBARAJAH	vii
SENARAI SIMBOL	ix
SENARAI LAMPIRAN	x
SENARAI SINGKATAN	xii
BAB	
1. PENGENALAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 OBJEKTIF	4
1.3 MASALAH KAJIAN	4
1.4 SKOP	5
2. KAJIAN LITERATUR	6
2.1 PENGENALAN AKUSTIK TAKLINEAR	6
2.2 RETAK LESU	7
2.3 KESAN VIBRO-AKUSTIK TAKLINEAR	9
2.3.1 PERALIHAN RESONAN	9
2.3.2 JALURSISI DAN AMPLITUD	11
2.3.3 PRINSIP GENERASI HARMONIK	11
2.4 KAEDAH MENGESAN RETAK	12
2.4.1 KAEDAH UJIKAJI	12
2.4.2 ANALISIS MODAL	15
3. METODOLOGI	17
3.1 CARTA ALIR	17
3.2 PERSIAPAN SPESIMEN	18
3.3 UJIAN TEGANGAN	21
3.4 PENGHASILAN RETAK	23
3.5 ANALISIS MODAL	24
3.6 KAEDAH VIBRO-AKUSTIK	26
.4 KEPUTUSAN DAN ANALISIS	29
4.1 KEPUTUSAN UJIAN TEGANGAN	29
4.2 KEPUTUSAN UJIAN LESU	31
4.3 KEPUTUSAN ANALISIS MODAL	32

4.4	KEPUTUSAN VIBRO-AKUSTIK	34
4.5	RINGKASAN	40
5	KESIMPULAN DAN CADANGAN	41
5.1	KESIMPULAN	41
5.2	CADANGAN	42

SENARAI JADUAL

JADUAL	TAJUK	MUKA SURAT
3-1	SIFAT-SIFAT ALUMINIUM AL-2024	20
3-2	PEMBOLEHUBAH DARI SIFAT-SIFAT MEKANIKAL PLAT ALUMINIUM HASIL DARIPADA UJIAN TEGANGAN	22
3-3	PEMBOLEHUBAH MASUKAN UJIAN MODAL	26
4-1	KEPUTUSAN DIPEROLEHI DARIPADA UJIAN TEGANGAN	29
4-2	BILANGAN KITARAN, BEBAN DAN BEBAN FREKUENSI UNTUK MENGHASILKAN RETAK	31
4-3	NILAI R DISETIAP LOKASI DAN FREKUENSI	37

SENARAI GAMBARAJAH

RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
1-1	RETAK LESU DALAM PLAT LOGAM	2
2-1	TIGA MOD ASAS RETAK LESU DALAM PLAT	8
2-2	GRAF PENGAYUN HARMONIK	10
2-3	KAEDAH UJIAN VIBRO-AKUSTIK MENGGUNAKAN TUKUL IMPAK	13
2-4	ILUSTRASI GRAFIK MODULASI FREKUENSI DALAM KAEDAH VIBRO-AKUSTIK	14
2-5	NISBAH AMPLITUDE JALUR SISI YANG PERTAMA KEATAS FREKUENSI ASAS AMPLITUD, NILAI R TERHADAP FREKUENSI ULTRA BUNYI HASIL DARIPADA ANALISIS KAEDAH ELEMEN TERHAD DAN PURATA NILAI R TERHADAP SAIZ RETAKAN DENGAN PELBAGAI FAKTOR REDAMAN.	16
3-1	CARTA ALIR	18
3-2	GAMBARAJAH SKEMATIK PADA PLAT ALUMINIUM	19

3-3	MESIN PELEPASAN ELEKTRIK PENEKUK LUBANG DAN PEMOTONG WAYAR	20
3-4	HASIL PENEKUKAN LUBANG DAN GARIS KECIL	21
3-5	MESIN UJIAN UNIVERSAL INSTRON FAST TRACK	22
3-6	RAJAH SKEMATIK UJIAN LESU	24
3-7	RAJAH SKEMATIK UJIAN ANALISIS MODAL	25
3-8	SEMBILAN LOKASI GETARAN BERFREKUENSI RENDAH	28
3-9	RAJAH SKEMATIK UJIAN VIBRO-AKUSTIK	28
4-1	RETAK LESU	32
4-2	GRAF FUNGSI KEKERAPAN SAMBUTAN	33
4-3	FREKUENSI DAN 3 BENTUK MOD GETARAN	34
4-4	GRAF „FFT“	35
4-5	NILAI A YANG TERDAPAT PADA GRAF „FFT“	36
4-6	GRAF NILAI R MELAWAN LOKASI PENGUJIAN FREKUENSI RENDAH SELARI DENGAN GARIS RETAK PADA JARAK 160-mm SECARA MELINTANG	38
4-7	GRAF NILAI R MELAWAN LOKASI PENGUJIAN FREKUENSI RENDAH SELARI DENGAN GARIS RETAK PADA JARAK 50-mm SECARA MENEGAK	39
4-8	GRAF FREKUENSI PURATA NILAI R DI LOKASI PENGUJIAN FREKUENSI RENDAH	40

SENARAI SIMBOL

Hz = Hertz

mm = Millimeter

kN = Kilo Newton

Mpa = Mega pascal

kg = Kilogram

S = Sampel

s = Saat

SENARAI LAMPIRAN

LAMPIRAN	TAJUK	MUKA SURAT
A	RUJUKAN	43
B	CARTA GANTT PSM 1	48
C	CARTA GANTT PSM 2	49
D	BENTUK SPEKTRUM YANG TERJADI DI LOKASI 1	50
E	BENTUK SPEKTRUM YANG TERJADI DI LOKASI 2	51
F	BENTUK SPEKTRUM YANG TERJADI DI LOKASI 3	52
G	BENTUK SPEKTRUM YANG TERJADI DI LOKASI 4	53
H	BENTUK SPEKTRUM YANG TERJADI DI LOKASI 5	54
I	BENTUK SPEKTRUM YANG TERJADI DI LOKASI 6	55
J	BENTUK SPEKTRUM YANG TERJADI DI LOKASI 7	56
K	BENTUK SPEKTRUM YANG TERJADI DI LOKASI 8	57

L	BENTUK SPEKTRUM YANG TERJADI DI LOKASI 9	58
M	CARTA ALIR PROSES PERISIAN PENGESAN VL	59
N	KOD PERISIAN MATLAB UJIAN MODAL	60
O	KOD PERISIAN MATLAB UNTUK MENDAPATKAN GRAF DOMAIN MASA	63

SENARAI SINGKATAN

PSK	Pemantauan Struktur Kesihatan
MPE	Mesin Pelepasan Elektrik
MUU	Mesin Ujian Universal
FFT	„Fast Fourier Transform“

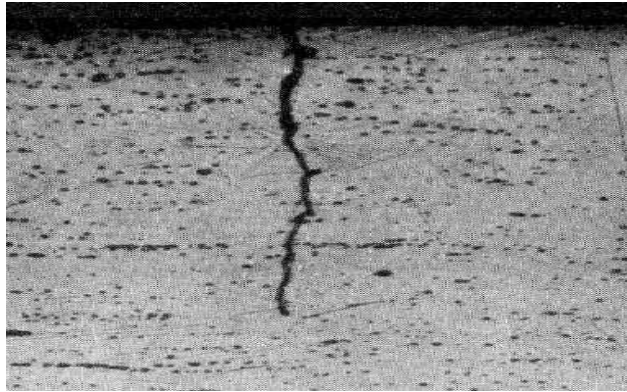
BAB 1

PENGENALAN

1.1 Pemantauan Struktur Kesihatan

Pemantauan Struktur Kesihatan (PSK) ialah satu bidang yang melakukan proses mengesan kerosakan dan ciri-ciri kerosakan pada sesuatu bahan atau mesin untuk strategi penyelenggaraan. Jenis kerosakan umum yang dapat di kesan melalui kaedah ini adalah kewujudan retak lesu yang boleh menyebabkan kerosakan pada hubungan struktur bahan tersebut (Jenal R. 2010).

Kerosakan didefinisikan sebagai perubahan sifat atau ciri-ciri geometri struktur bahan yang boleh mengakibatkan kehilangan prestasi. Kaedah-kaedah PSK masa kini termasuk kaedah akustik dan ultrasonic, kaedah medan magnet, kaedah radiograf, kaedah arus pusar dan kaedah lapangan haba. Di dalam bahan pepejal seperti logam, salah seorang penyelidik iaitu Jean Lemaitre telah mendefinisikan kerosakan sebagai penciptaan dan pertumbuhan mikroretak atau mikrorekahan yang mewujudkan ketidakseimbangan di dalam bahan seragam (Jean Lemaitre et al., 2005). Kerosakan yang paling biasa di dalam struktur, terutamanya struktur logam adalah retak lesu dan kakisan. Rajah 1-1 menunjukkan contoh retak lesu yang terjadi pada plat logam.



Rajah 1-1: Retak lesu dalam plat logam

Kerosakan dalam bahan boleh terjadi akibat dari pelbagai mekanisma seperti tekanan yang dikenakan terhadap bahan tersebut melebihi daripada tekanan ricih. Oleh sebab itu, sifat-sifat bahan tersebut akan berubah (Jenal R. 2010). Bahan tersebut akan berubah bentuk, menjadi kerosakan kekal dan rosak keseluruhannya. Bahan tersebut juga boleh rosak jika dibebankan oleh tekanan kitar yang mempunyai tekanan maksimum yang agak rendah berbanding tekanan ricih (Jenal R. 2010). Ini dipanggil kerosakan lesu dan antara punca utama kegagalan bahan tersebut. Kerosakan lesu ialah kegagalan bahan hasil daripada bebanan kitar. Tekanan maksimum terjadi dalam struktur bahan mungkin kurang daripada tekanan ricih struktur bahan tersebut (Farrar C. R. et al., 2006). Oleh itu, kejadian ini boleh menyebabkan retakan dalam struktur bahan. Ini disebabkan oleh ketahanan tekanan masa yang mengakibatkan retak lesu terjadi.

Mekanisma yang boleh menyebabkan kerosakan bentuk kekal semasa lesu ialah mikroretak, tekanan yang mendorong untuk perubahan bentuk, penjalaran, gelongsoran di antara permukaan bahan dan pembentukan yang tidak betul. Kejadian dan punca terjadinya kerosakan lesu dapat diterangkan dalam beberapa peringkat seperti yang di tulis dibawah :

- I. Perkembangan penukleusan disebabkan oleh perubahan mikrostruktur
- II. Penyebaran retak yang ketara kepada retak asal
- III. Ketidakstabilan struktur dan kegagalan bahan
- IV. Terciptanya rekahan kecil dan pertumbuhan retakan kecil untuk membentuk retakan.
Retakan tersebut mula merebak secara berperingkat

Kaedah yang digunakan untuk mengesan kerosakan ialah kaedah vibro-akustik taklinear. Menurut Staszewski (2008) gelombang yang bercirikan teknologi pengesan pintar telah digunakan secara meluas untuk mengesan kerosakan dalam plat. Modulasi gelombang vibro-akustik taklinear sering digunakan untuk mengesan retakan melalui struktur logam dan kesan kerosakan struktur komposit (Pieczonka L. et al., 2012). Vibro-akustik adalah satu kaedah berdasarkan gelombang akustik berfrekuensi tinggi dalam struktur yang kukuh dengan getaran berfrekuensi rendah. Keputusan dari kesan modulasi dalam plat menunjukkan tindakbalas frekuensi rendah dan frekuensi tinggi dengan kerosakan. Modulasi yang dihasilkan oleh tindakbalas gelombang taklinear disebabkan oleh kewujudan retakan (Jenal R. 2010). Disebalik mekanisma ini, kesan ini masih sukar untuk difahami oleh penyelidik terdahulu. Kebiasaannya, kaedah vibro-akustik diukur dalam frekuensi domain. Tambahan pula, ia menunjukkan jalur sisi sekitar puncak gelombang ultrasonik pada frekuensi sama dengan jumlah frekuensi getaran (Jenal R. 2010). Frekuensi jalur sisi adalah sama dengan gelombang frekuensi rendah.

Applikasi isyarat getaran berfrekuensi rendah berkala membolehkan untuk ujian mod dilaksanakan, dimana frekuensi semula jadi struktur boleh dianggarkan (Jenal R. 2010). Selama empat puluh tahun yang lalu, beberapa kaedah yang berbeza telah diperkenalkan untuk mengesan kerosakan dalam struktur komposit. Pendekatan kaedah vibro-akustik berdasarkan

fenomena taklinear khususnya untuk aplikasi PSK kerana kaedah ini sangat sensitif pada apa juga kerosakan walaupun kerosakan kecil. Kesan vibro-akustik taklinear boleh dianalisis dan diperhatikan untuk menganggarkan kewujudan kerosakan dalam struktur sama ada kualitatif atau kuantitatif.

1.2 Objektif

Objektif utama projek ini ialah:

- a) Untuk menentukan kesan modulasi gelombang pada retakan di pelbagai lokasi getaran berfrekuensi rendah
- b) Untuk menentukan lokasi yang paling berkesan untuk getaran berfrekuensi rendah bagi mengesan retakan dalam kaedah vibro-akustik taklinear.

1.3 Masalah kajian

Vibro-akustik taklinear adalah satu kaedah yang berkesan digunakan untuk mengesan permulaan retak dalam struktur pepejal seperti retak lesu, nyahikatan, kakisan, pelekangan dan lain-lain. Kesan akustik taklinear boleh dianalisis dan diperhatikan untuk menganggar kehadiran retak dalam struktur dan frekuensi semula jadi struktur tersebut. Lokasi getaran berfrekuensi rendah memberi kesan kepada gelombang modulasi sebagaimana wujudnya retakan pada spesimen. Bagaimanapun, keputusan pengukuran vibro-akustik taklinear untuk mengesan retakan masih tidak banyak dilakukan oleh penyelidik terdahulu. Oleh itu, ujikaji ini

akan dijalankan untuk mengesan retak dan mencari lokasi yang paling sesuai untuk getaran berfrekuensi rendah.

1.4 Skop

Skop projek ini adalah:

Skop pertama ialah membuat retak lesu sepanjang 20-mm sepertimana yang ditetapkan bermula dari slot retak ditengah-tengah plat aluminium. Ukuran plat aluminium tersebut ialah 400-mm panjang, 150-mm lebar dan 2-mm tebal(400-mm x 150-mm x 2-mm).

Skop kedua ialah ujian analisis modal untuk menentukan frekuensi mod dan bentuk mod pada plat retak.

Skop ketiga ialah meletakkan getaran frekuensi rendah di sembilan lokasi getaran.

Skop keempat ialah menganalisis data yang melibatkan kesan gelombang modulasi di lokasi getaran berfrekuensi rendah yang berbeza.

BAB 2

KAJIAN LITERATUR

2.1 Pengenalan Akustik Taklinear

Akustik taklinear telah digunakan secara meluas untuk mengkaji kerosakan struktur. Kaedah ini telah mula mendapat perhatian ramai kerana kemampuannya dapat mengesan kerosakan kecil dalam struktur dan mudah untuk mengesan retak dalam struktur berbanding dengan penggunaan linear. Untuk mengkaji pelbagai jenis kerosakan dan pelbagai jenis bahan, kaedah ini boleh digunakan. Penyelidik sebelum ini menggunakan kaedah akustik taklinear didalam paip keluli untuk mengesan retakan dan nyahikatan. Di samping itu, Ruztamreen Jenal (2008) menyatakan kaedah ini boleh mengkaji isyarat gelombang yang tidak berkaitan dengan menggunakan isyarat input. Kesan daripada taklinear telah digunakan dalam struktur untuk mengesan dan diagnostik retakan awal (Zaitsev V. et al., 2006).

Taklinear boleh dikaitkan bukan sahaja dari sifat bahan, sendi struktur, isyarat geometri tetapi boleh juga dikaitkan kepada kerosakan struktur. Retak lesu yang buka dan tutup dibawah bebanan dinamik boleh menyebabkan frekuensi semula jadi berubah. Sebagai contoh fenomena getaran taklinear dalam analisis modal (Donskoy et al., 1999). Kesan daripada kaedah ini adalah tidak sensitif untuk mengesan kerosakan kecil. Ramai penyelidik telah melakukan kaedah akustik taklinear untuk mengesan kerosakan. Zaitsev (2006) salah

seorang penyelidik yang menggunakan tindak balas diantara gelombang pam dan frekuensi tinggi. Ini bertujuan untuk menunjukkan piawaian yang penting dalam akustik taklinear pada bahan pepejal. Selain itu, untuk mengesan retak lesu dalam logam, plastik atau komposit, Nagy (1998) salah seorang penyelidik yang menggunakan ciri-ciri ultrasonik taklinear. Van Den Abeele (2000) seorang lagi penyelidik yang menunjukkan generasi harmonik dan jalur sisi berdasarkan ciri-ciri kerosakan pada batu pasir dan gelas plexi. Tindak balas antara getaran berfrekuensi rendah dan gelombang akustik menyebabkan terhasilnya modulasi gelombang taklinear. Tahap kerosakan dalam bahan juga boleh dinilai dari banyak kajian dengan menggunakan pembolehubah ini. Terdapat beberapa kaedah yang boleh digunakan untuk mengukur pembolehubah. Salah satu kaedah adalah dengan menggunakan ultrasonik graf resonan untuk mengenal pasti retakan kecil.

2.2 Retak lesu

Retak lesu adalah kerosakan yang paling biasa dalam struktur komponen. Apabila nilai bebanan kitar berada dibawah nilai tekanan ricih dan tekanan maksimum pada sesuatu spesimen, retak lesu akan terjadi. Retak lesu ini terjadi disebabkan oleh spesimen gagal mencapai kekuatan nominal. Retak lesu sangat berbahaya kerana tanda retak sukar untuk dilihat dan kekuatan rekabentuk tidak mencapai kekuatan semulajadi spesimen tersebut (Jenal R. 2010). Bilangan bebanan kitar mempengaruhi jangka hayat bagi sesuatu spesimen. Bebanan kitar diperlukan untuk menentukan retak lesu dan menganggar panjang retak.

Terdapat beberapa jenis mod yang terkandung dalam retak lesu iaitu mod retak-I, mod retak-II dan mod retak III. Rajah 2-1 menunjukkan tiga mod asas retakan pada permukaan