

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



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)**



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 :

اونیورسیتی تکنیکل مالسیا ملاک
UNIVERSITI TEKNIKAL MALAYSIA MELAKA

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

اوڤور سڤتي ٲكڤنڤك ملڤسڤا ملاك

Tarikh :

UNIVERSITI TEKNIKAL MALAYSIA MELAKA

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.

UNIVERSITI TEKNIKAL MALAYSIA MELAKA

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 PENEKUT LUBANG DAN PEMOTONG WAYAR	20
3-4	HASIL PENEKUTAN 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“



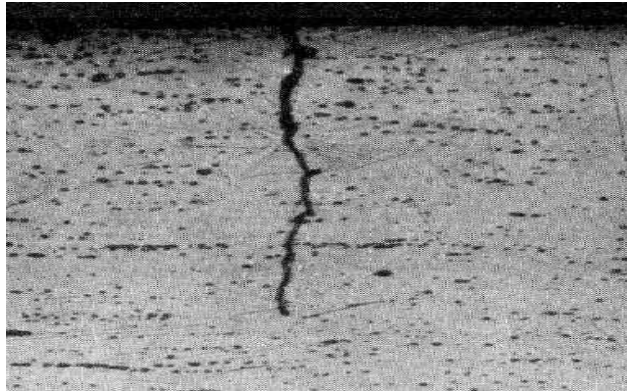
BAB 1

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, penjaralan, 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

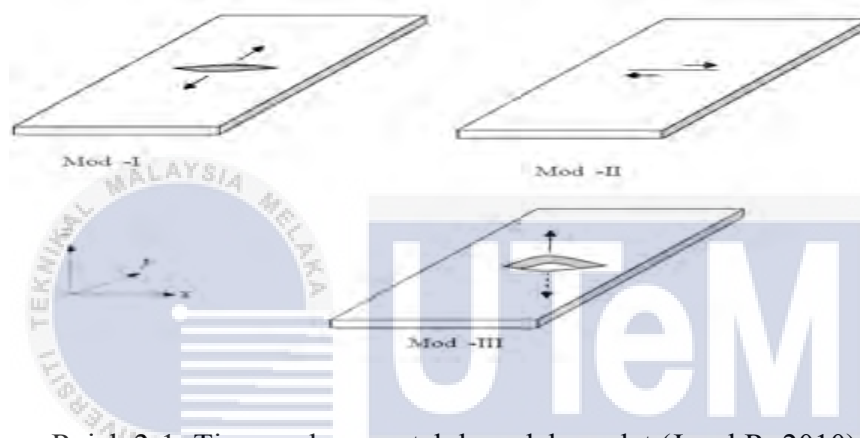
seorang penyelidik yang menggunakan tindak balas diantara gelombang pam dan frekuensi tinggi. Ini bertujuan untuk menunjukkan piawaian yang penting dalam akustik taklinear pada bahan pepejal. Selain itu, untuk mengesan retak lesu dalam logam, plastik atau komposit, Nagy (1998) salah seorang penyelidik 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

yang didefinisikan sebagai ciri-ciri retakan. Mod retak-I adalah mod buka dimana retakan bergerak secara langsung antara satu sama lain di permukaan dalam arah-y. Ini menunjukkan punca retak tersebut terjadi melalui buka dan tutup. Kemudian, mod retak-II yang menggelongsor di permukaan retak pada satu sama lain ke arah perpendikular ke hujung depan retakan. Mod retak-III adalah mod mengoyak dimana permukaan retak bergelongsor antara satu sama lain dan selari pada hujung depan retakan dalam arah-z.



Rajah 2-1: Tiga mod asas retak lesu dalam plat (Jenal R. 2010)

Selain itu, terdapat tiga peringkat kegagalan dimana retak lesu akan terhasil. Peringkat pertama adalah fasa permulaan retak lesu. Dimana retak kecil akan terhasil disebabkan oleh anjakan pada struktur bentuk dan berhampiran dengan tekanan pada permukaan spesimen. Jalur gelincir akan terhasil pada spesimen apabila bebanan kitar yang besar digunakan. Retak kecil ini dipanggil retakmikro. Pada peringkat kedua, penghasilan retak agak stabil. Retak kecil ini akan bersambung bersama-sama dan mula untuk merebak daripada retak kecil hingga menjadi retak yang lebih besar. Retak ini akan berterusan pada spesimen jika bebanan kitar berterusan sehingga spesimen tersebut tidak mampu untuk menampung bebanan tersebut. Pada peringkat ketiga, spesimen tersebut akan patah disebabkan oleh retakan pada spesimen terlalu panjang dan retakan yang sangat cepat. Selain daripada itu, terdapat beberapa

pembolehubah yang boleh dipertimbangkan apabila terjadinya retak. Pembolehubah tersebut adalah suhu, tekanan, struktur logam, hakisan dan kitaran bebanan yang terlebih. Pembolehubah ini boleh menjejaskan jangka hayat retak lesu.

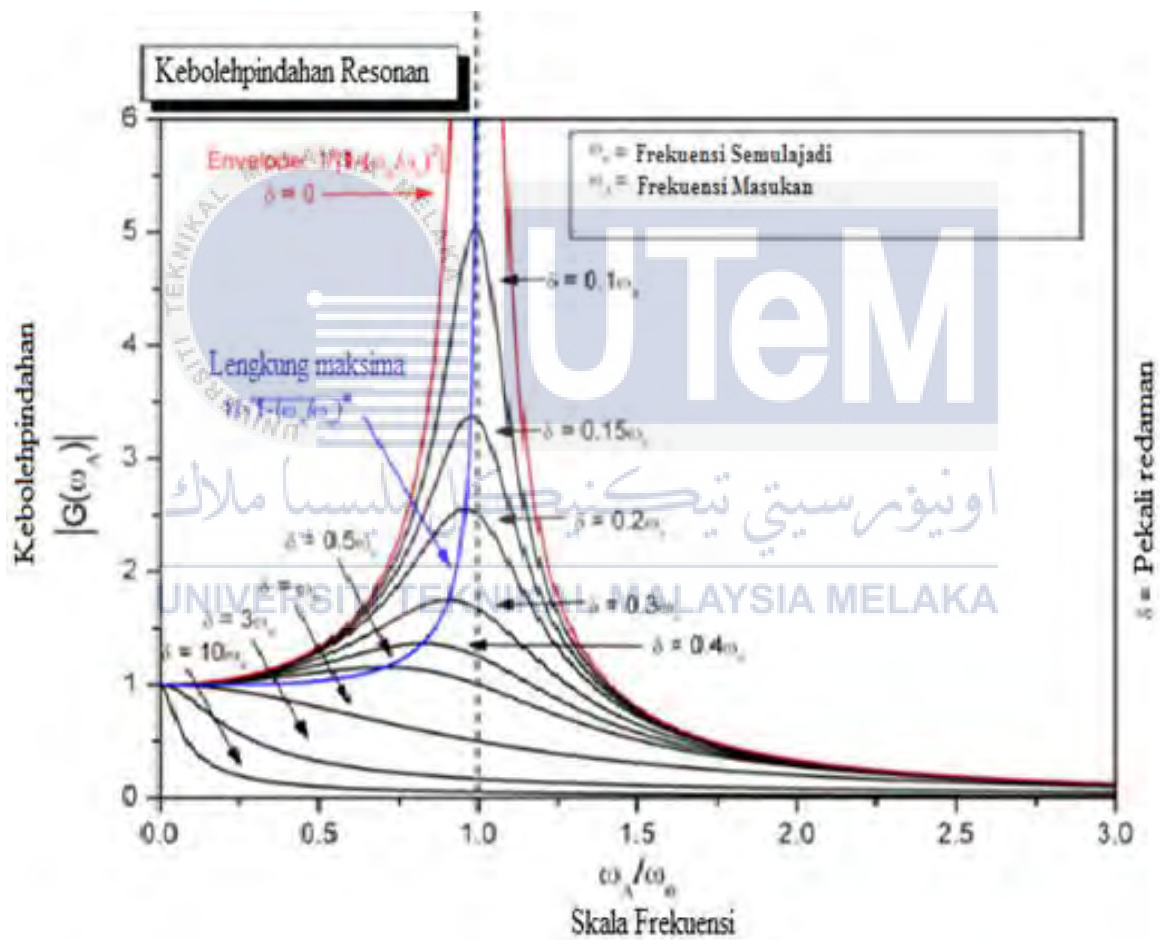
2.3 Kesan Vibro-akustik taklinear

Terdapat beberapa kesan daripada vibro-akustik taklinear yang boleh diperhatikan dan dianalisis dengan menganggar wujudnya kerosakan dalam struktur. Ramai penyelidik telah mengkaji kesan vibro-akustik taklinear. Kesan tersebut adalah peralihan resonan, jalur sisi dan amplitud dan generasi harmonik.

2.3.1 Peralihan resonan

Sistem lain yang boleh berayun dengan amplitud yang lebih tinggi pada frekuensi tertentu apabila terdapat beberapa faktor-faktor luaran dan wujudnya sistem getaran. Kesan ini dipanggil peralihan resonan berbanding dengan frekuensi lain. Fenomena ini terjadi disebabkan oleh getaran pada sistem. Apabila sistem boleh menyimpan dan memindahkan tenaga antara tenaga kinetik dan tenaga keupayaan dalam bandul, sistem resonan akan berlaku. Rendaman ini akan berlaku jika terdapat kehilangan tenaga dari satu kitaran ke kitaran yang lain. Apabila terdapat rendaman yang kecil, frekuensi tersebut akan bergema dengan frekuensi semula jadi. Sistem akan bergema apabila frekuensi semula jadi terjadi terlalu banyak dalam gelombang atau frekuensi. Kesan daripada fenomena ini akan melibatkan elektromagnet resonan, elektron putaran resonan, magnetik nuklear resonan dan fungsi jumlah yang bergema dan getaran

mekanikal resonan. Selain daripada itu, untuk mewujudkan getaran pada frekuensi yang diyakini, sistem resonan boleh digunakan. Tambahan pula, Galileo Galilie (1604), salah seorang penyelidik telah menjalankan ujikaji bandul pada awal tahun 1604. Beliau telah memperkenalkan sistem resonan. Penurunan redaman dan akses frekuensi resonan memberi kesan kepada peningkatan amplitud yang ditunjukkan pada rajah 2-2.



Rajah 2-2: Graf Pengayun harmonik (Zaitsev, V.Y. et al., 1999).

2.3.2 Jalursisi dan Amplitud

Jalursisi adalah kumpulan frekuensi yang lebih tinggi daripada pembawa frekuensi yang terdapat daripada mekanisma modulasi amplitud. Salah satu ciri-ciri jalur sisi adalah terlalu sensitif dengan prestasi laluan penyebaran gelombang. Tindak balas daripada jalur sisi ini mampu mendedahkan retakmikro dan retak yang berpotensi dimana tidak dapat dikesan dengan menggunakan kaedah linear. Modulasi adalah kesan daripada isyarat berfrekuensi rendah berbanding pengubahsuaian amplitud isyarat yang membawa frekuensi tinggi (Jenal R. 2010). Isyarat modulasi akan wujud dalam bentuk jalur sisi dengan gangguan diantara jalur sisi kepada isyarat berfrekuensi rendah. Selain itu, ia boleh mengesan pelbagai kerosakan sebagai contoh retak lesu, rekahan atau hakisan bahan (Duffour P. et al., 2005). Penyelidik tedahulu yang bernama Donskoy (2001) telah menjalankan ujikaji yang telah dipelajari dan dibangunkan untuk mengesan kerosakan dalam spesimen. Ujikaji ini mempunyai keupayaan mengesan modulasi untuk mendedahkan kerosakan (Sheppard K. A. 2007).



2.3.3 Prinsip Generasi Harmonik

Terdapat beberapa teknik yang boleh digunakan untuk menilai generasi harmonik. Teknik tersebut adalah teknik gelombang modulasi spektroskopi taklinear. Teknik ini boleh digunakan untuk mengkaji kesan generasi harmonic (Donskoy et al., 2001). Mengikut pada bahan yang taklinear, penyebaran gelombang menjadi tidak tepat. Gangguan gelombang akan menghasilkan harmonik tambahan yang dikenali sebagai pendaraban frekuensi gelombang asas (Solodov et al., 1993). Tahap amplitud harmonik boleh digunakan untuk menganggar tahap kerosakan kualitatif dan mekanisma taklinear. Terdapat pelbagai kajian yang telah diatur

untuk memeriksa kesan akustik taklinear pada bahan (Zaitsev V. et al., 2006). Panjang retak boleh dikesan dengan menggunakan nisbah harmonik ke-2. Kawashima, Okada dan Solodov (2001) telah membuktikan dengan menggunakan kaedah element terhad dimana amplitud harmonik ke-2 bergantung pada amplitude gelombang.

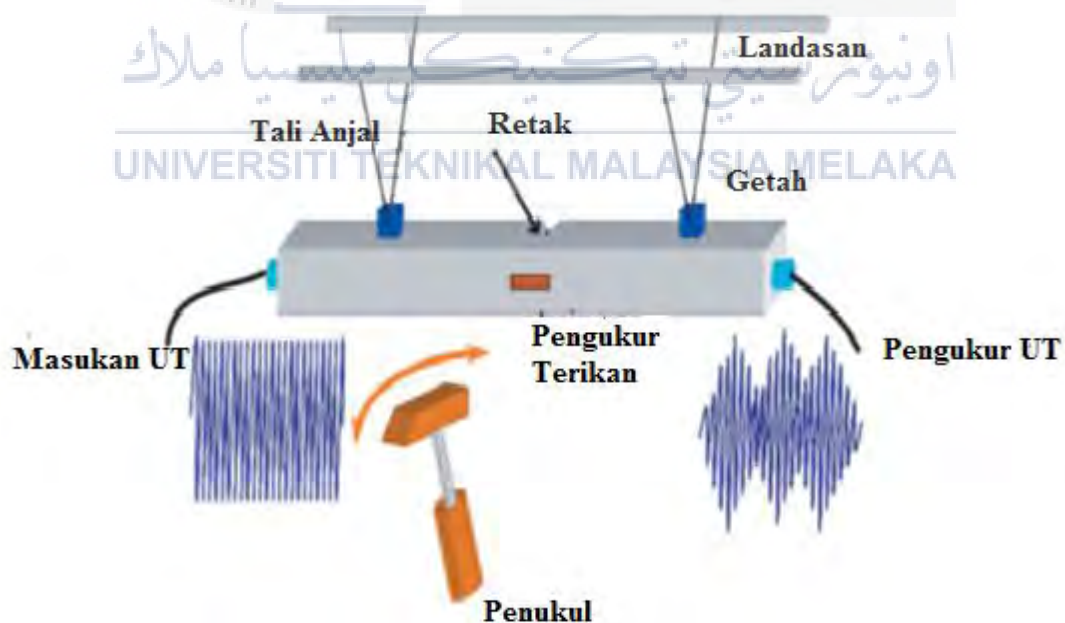
2.4 Kaedah Mengesan Retak

Terdapat beberapa kaedah untuk melihat dan mengesan kesan akustik taklinear pada bahan yang rosak. Kaedah tersebut adalah kaedah ujikaji dan kaedah permodelan analisis. Walau bagaimanapun, kaedah ujikaji telah dipilih untuk digunakan dalam projek ini.

2.4.1 Kaedah Ujikaji

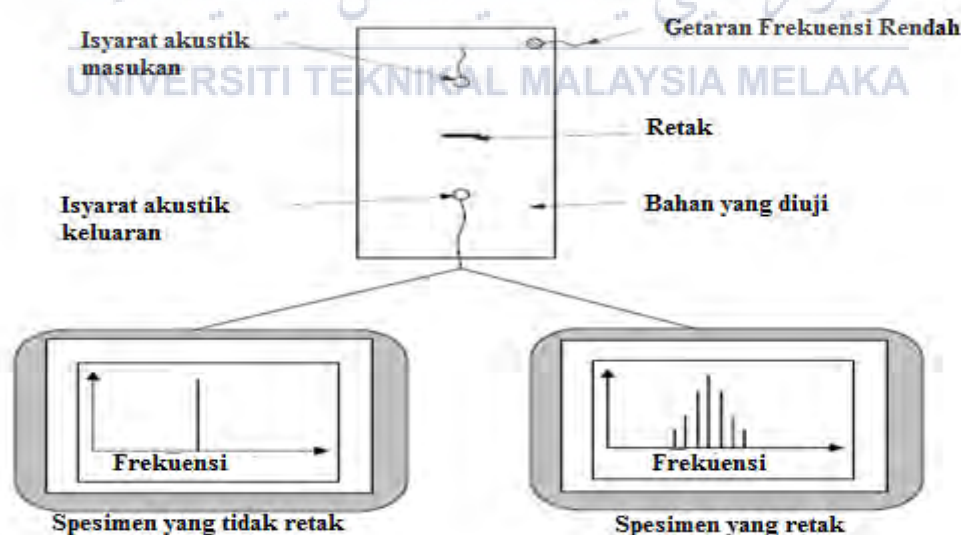
Kaedah ujikaji merupakan vibro-akustik taklinear yang dilakukan untuk mengesan dan menganalisis kecacatan retak pada plat aluminium dengan tiga mod yang berbeza oleh getaran isyarat gelombang, getaran berfrekuensi rendah pada sembilan lokasi yang berbeza dan getaran vibro-akustik. Vibro-akustik taklinear adalah kaedah yang sangat sensitif dan stabil untuk mengesan kerosakan. Ia adalah satu kaedah berdasarkan ciri-ciri gelombang akustik berfrekuensi tinggi dalam struktur yang kukuh dengan getaran berfrekuensi rendah. Kaitan diantara gelombang akustik dengan transformasi bahan akan menyebabkan kesan gelombang salah tafsir. Ujikaji ini cekap untuk mengesan kesan yang biasa terjadi pada akustik taklinear iaitu jalur sisi, peralihan resonan dan gerakan harmonik.

Kaedah yang digunakan adalah kaedah modulasi-vibro, kaedah modulasi impak, kaedah spektroskopi gelombang taklinear dan kaedah vibro-akustik. Dalam ujikaji ini, kaedah vibro-akustik digunakan untuk menganalisa kecacatan pada plat aluminium. Penyelidik terdahulu, M Morbidini (2005) telah menggunakan kaedah ujikaji vibro-akustik dengan menggunakan tukul impak seperti yang ditunjukkan pada rajah 2-3. Beliau menggantungkan spesimen pada tali elastik untuk menurunkan kesan sempadan dalam system penilaian (Parsons Z. et al., 2006). Seperti yang disebut diatas, kaedah ini adalah yang paling stabil dan boleh dipercayai untuk memperkenalkan getaran berfrekuensi rendah. Walau bagaimanapun, tindak balas di antara lampiran penggoncang dan spesimen boleh mewujudkan kesan akustik taklinear dan padanan bunyi akan meningkat pada frekuensi spectrum (Jenal R. 2010). Selain itu, kaedah ini boleh menyembunyikan kesan jalur sisi yang berpunca dari kerosakan spesimen sebagaimana dilaporkan oleh M.Morbidini (2005).



Rajah 2-3: Persediaan Kaedah Ujian Vibro-Akustik dengan menggunakan tukul impak (Jenal R. 2010).

Kaedah vibro-akustik telah digunakan secara meluas diserata dunia bagi mengesan dan menganalisis retak lesu. Tindak balas getaran berfrekuensi rendah membolehkan pengukuran frekuensi tinggi yang lemah di siasat. Kaedah ini adalah kaedah paling efektif untuk mengesan kewujudan retak yang baru terjadi atau retak lesu. Dalam ujikaji ini, terdapat sembilan lokasi getaran berfrekuensi rendah yang berbeza telah digunakan untuk menentukan lokasi yang paling berkesan pada plat aluminium. Getaran berfrekuensi rendah boleh menjejaskan panjang retakan disebabkan oleh tiga mod terawal dalam getaran. Selain itu, untuk mengetahui hubungan di antara keretakan bahan dengan nilai indeks yang juga dikenali sebagai nilai R. Keretakan diukur dengan menggunakan keamatan gelombang modulasi yang dipanggil sebagai indeks nilai R. Rajah 2-4 menunjukkan ilustrasi grafik modulasi frekuensi dengan menggunakan kaedah vibro-akustik berdasarkan spesimen yang retak dan spesimen yang tidak retak. Tindak balas ini berlaku berdasarkan getaran frekuensi rendah pada plat aluminium.

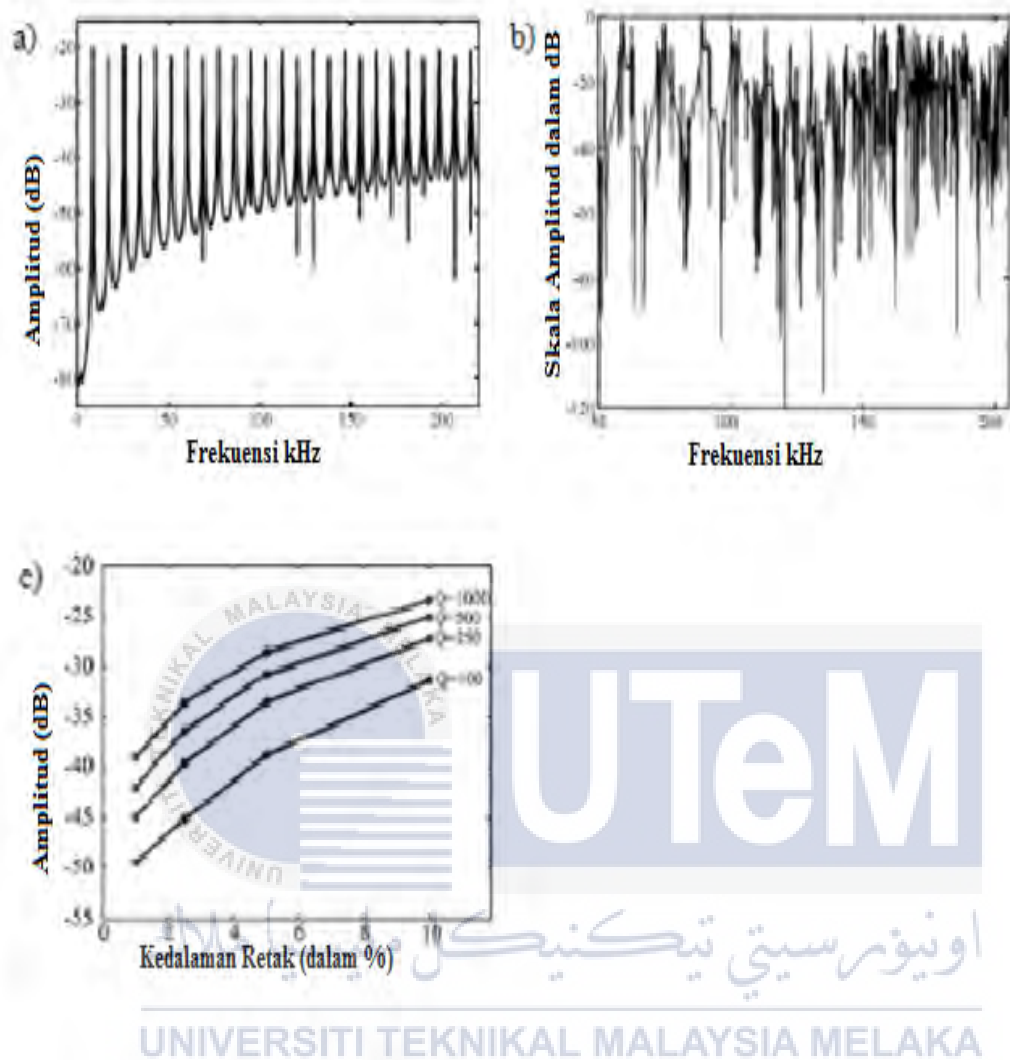


Rajah 2-4: Ilustrasi grafik modulasi frekuensi dalam kaedah vibro-akustik (Jenal R. 2010)

2.4.2 Analisis Modal oleh Kaedah Elemen Terhad

Analisis modal diperlukan dalam ujikaji ini. Kaedah ini sangat popular untuk menganalisis tindak balas dinamik pada struktur apabila beban kitar dikenakan. Dengan teknologi perisian yang canggih, kaedah ini merupakan kaedah yang boleh dipercayai dan menyelesaikan masalah dengan pantas. Struktur bahan yang berbeza mempunyai frekuensi resonan semulajadi yang unik (Zaitsev V. Y. et al., 1995). Sifat dinamik pada struktur bahan dikenali sebagai frekuensi resonan yang merupakan elemen penting dalam bidang rekabentuk dan digunakan secara meluas bagi mengkaji sifat bahan. Struktur ini akan bergetar kepada perubahan permukaan bentuk yang unik yang dikenali sebagai bentuk mod pada setiap getaran frekuensi. Setiap bentuk mod sejajar dengan mod getaran.

Sebagai contoh, Duffour (2005) menggunakan kaedah elemen terhad untuk model rasuk seberapa mungkin pada rasuk yang sebenar. Khususnya retak geometri. Mod disepanjang retak dan permukaan bahan telah menghasilkan retakan (Abeele V. D. et al., 2000). Rajah 2-5 menunjukkan bahawa nilai R bergantung kepada frekuensi asas seperti yang dicatatkan daripada kaedah element terhad. Ia juga menunjukkan tahap sensitif nilai R terhadap saiz retak dan kesan daripada faktor redaman. Hasil daripada analisis menunjukkan dengan jelas bahawa nilai R bergantung pada frekuensi asas dan faktor redaman. Ini juga boleh menjejaskan tahap sensitif kaedah akustik taklinear untuk mengesan kerosakan (Jenal R. 2010).



Rajah 2-5: Nisbah amplitude jalur sisi yang pertama keatas frekuensi asas amplitud, Nilai R terhadap frekuensi ultra bunyi hasil daripada(a) analisis kaedah elemen terhad(b) dan purata nilai R terhadap saiz retakan dengan pelbagai faktor redaman(c) (Parsons Z. et al., 2006).

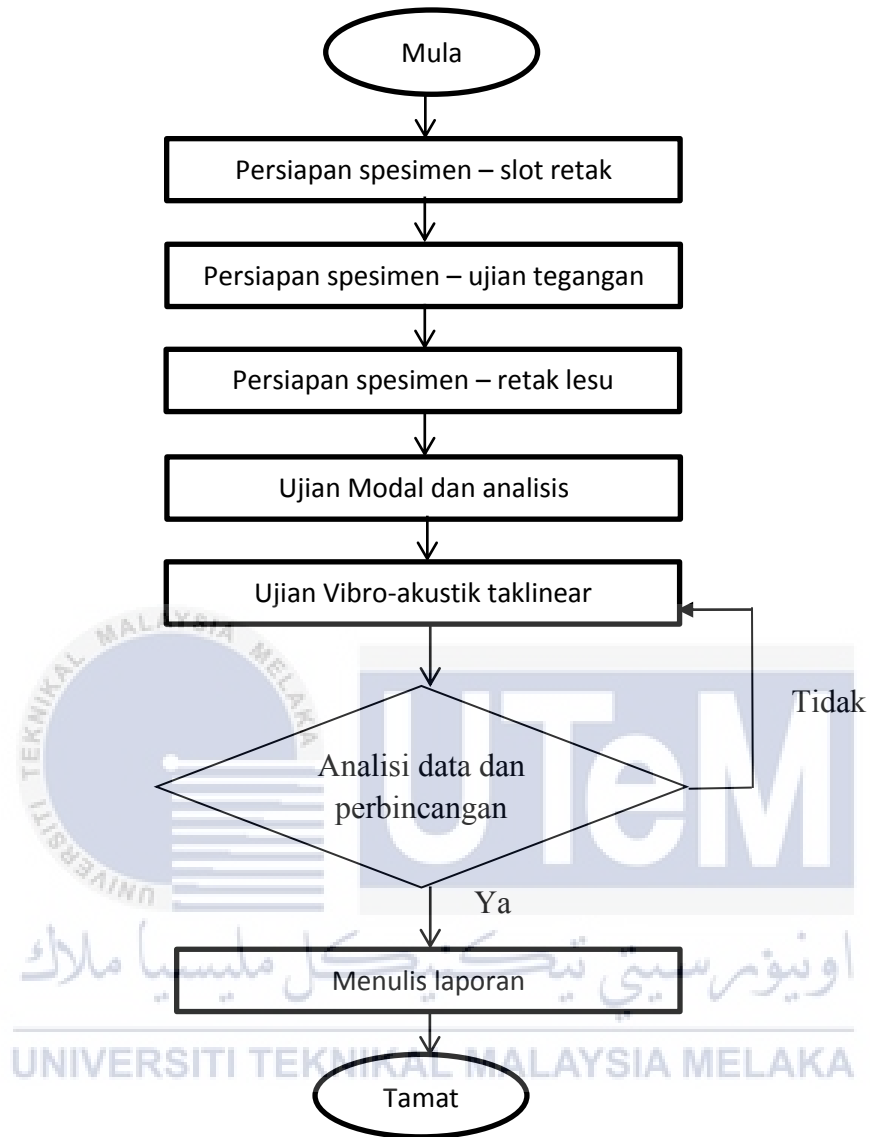
BAB 3

METODOLOGI

3.1 Carta Alir

Carta Alir adalah sejenis rajah yang mewakili aliran kerja atau proses, menunjukkan langkah-langkah penyelesaian masalah kepada ujikaji ini. Carta aliran digunakan untuk menganalisis, merekabentuk, dokumentasi atau menguruskan proses atau sesuatu kerja dalam pelbagai bidang. Rajah 3-1 menunjukkan carta aliran keseluruhan pada penyelidikan dan ujikaji ini.



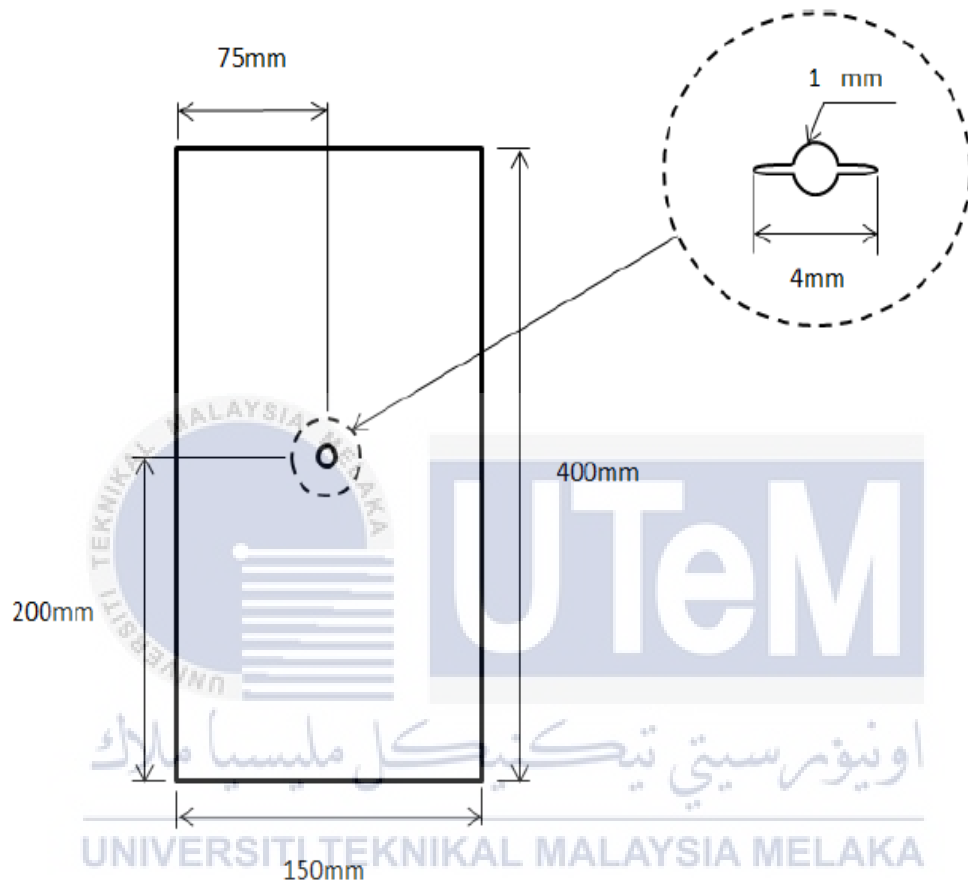


Rajah 3-1: Carta Aliran

3.2 Persiapan spesimen

Dalam kajian ini, plat aluminium yang berukuran 150-mm x 400-mm x 2-mm digunakan sebagai spesimen. Aluminium plat yang digunakan dalam ujikaji ini adalah aluminium AL2024 yang mempunyai nilai modulus young 72400 Mpa, 2780 kg/m³

ketumpatan dan nisbah poisson 0.33. Jadual 3-1 menunjukkan sifat-sifat aluminium. Gambarajah skematik plat aluminium ditunjukkan pada rajah 3-2.



Rajah 3-2: Gambarajah skematik plat aluminium

Mesin Pelepasan Elektrik (MPE) penebuk lubang dan pemotong wajar digunakan untuk menebuk lubang bersaiz 1-mm di pusat plat dan membuat garis kecil (takuk) yang berukuran tidak lebih daripada 4-mm dikedua-dua belah. Rajah 3-3 menunjukkan MPE penebuk lubang dan pemotong wayar. Garis kecil (takuk) itu dibuat di tengah-tengah plat sebagai sumber retak permulaan. Wayar mesin yang digunakan bersaiz 0.2-mm untuk mendapatkan garis yang lebih kecil. Proses menebuk lubang dan membuat garis kecil ini

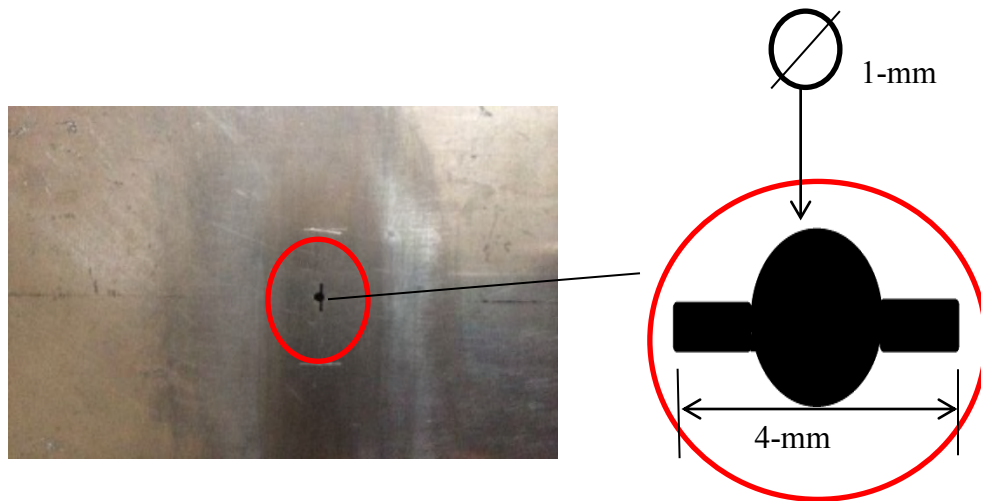
bertujuan bagi membuat proses retak lesu. Proses ini mengambil masa selama 40 minit. Rajah 3-4 menunjukkan hasil daripada penebukan lubang dan garis halus oleh MPE.

Jadual 3-1: Sifat-sifat Aluminium AL2024

Nama	Aluminium AL-2024
Ketumpatan	2780 kg/m ³
Modulus young	72400 MPa
Nisbah poisson	0.33



Rajah 3-3: Mesin Pelepasan Elektrik penebuk lubang dan pemotong wayar.



Rajah 3-4: Hasil penebukan lubang dan garis kecil

3.3 Ujian Tegangan

Ujian tegangan ialah ujian mekanikal yang paling asas yang perlu dilakukan pada spesimen. Ujian ini menggunakan Mesin Ujian Universal (MUU) yang ditunjukkan pada rajah 3-5. Selain itu, ujian ini juga boleh menentukan tidakbalas pada spesimen tersebut. Tujuan utama ujian ini adalah untuk mendapatkan nilai beban maksimum, beban minimum, beban min dan beban amplitude. Nilai-nilai ini digunakan sebagai pembolehubah untuk menghasilkan retak lesu yang disetkan pada MUU. Jadual 3-2 menunjukkan hasil daripada ujian tegangan.



Rajah 3-5: Mesin Ujian Universal INSTRON FAST TRACK 8802

Jadual 3-2: Pembolehubah dari sifat-sifat mekanikal plat aluminium hasil daripada ujian
tegangan.

Beban terhasil (kN)	Tekanan tegangan pada beban hasil (MPa)	Beban Maksimum (kN)	Tekanan tegangan pada beban maksimun (MPa)	Tekanan tegangan pada kepatahan (mm)
>35.62	>118.73	35.62	118.73	6.28

Oleh itu nilai beban maksimum, beban minimum, beban min dan beban amplitud boleh dikira berdasarkan pembolehubah yang ada pada jadual 3-2. Beban maksimum untuk ujian lesu ialah 75% daripada beban terhasil iaitu 26.715 kN. Beban minimum adalah nisbah 0.1 daripada beban maksimum iaitu 2.67 kN. Beban min bermaksud purata daripada beban maksimum dan beban minimum iaitu 14.69 kN. Beban amplitud adalah perbezaan diantara beban maksimum dan beban min iaitu 12.02 kN.

3.4 Penghasilan retak

Ujian lesu boleh didefinisikan sebagai meletakkan beban kitaran pada spesimen untuk memahami bagaimana ia akan berfungsi dalam keadaan yang sama pada penggunaan sebenar. Bebanan tersebut boleh diulang berjuta-juta kali dan sehingga beratus kali sesaat. Dalam banyak aplikasi, bahan-bahan telah diletakkan pada keadaan bergetar atau daya ayunan. Sifat bahan berada dibawah keadaan beban tersebut berbeza dengan sifat jika beban itu tidak bergerak (statik). Ujian lesu juga adalah proses untuk membuat retak pada aluminium plat. Pembolehubah yang diperoleh daripada ujian tegangan digunakan bagi menghasilkan retak lesu yang berukuran 20-mm pada aluminium plat.

MUU digunakan sekali lagi untuk memasukkan beban kitaran pada aluminium plat bagi membuat retak. Susunan alat untuk melakukan ujian lesu ditunjukkan pada rajah 3-6. Seterusnya set kan sistem mesin tersebut dalam keadaan penghasilan beban dan masukkan nilai beban maksimum, beban minimum, beban min dan beban amplitud yang diperolehi pada ujian tegangan didalam pengawal sistem monitor. Pilih jenis bebanan kepada beban kitaran. Untuk tujuan keselamatan, setkan beban maksimum dan beban minimum pada sistem tersebut.

Selepas itu, setkan beban min pada sistem tersebut. Aktifkan kawalan amplitud. Nilai frekuensi yang digunakan pada sistem ini ialah 10 Hz. Dalam Ujian ini, retak mula terjadi pada beban kitaran 28599. Proses ini berjalan selama 2jam 47minit untuk menghasilkan retak lesu sepanjang 20-mm.



Mesin Ujian Universal

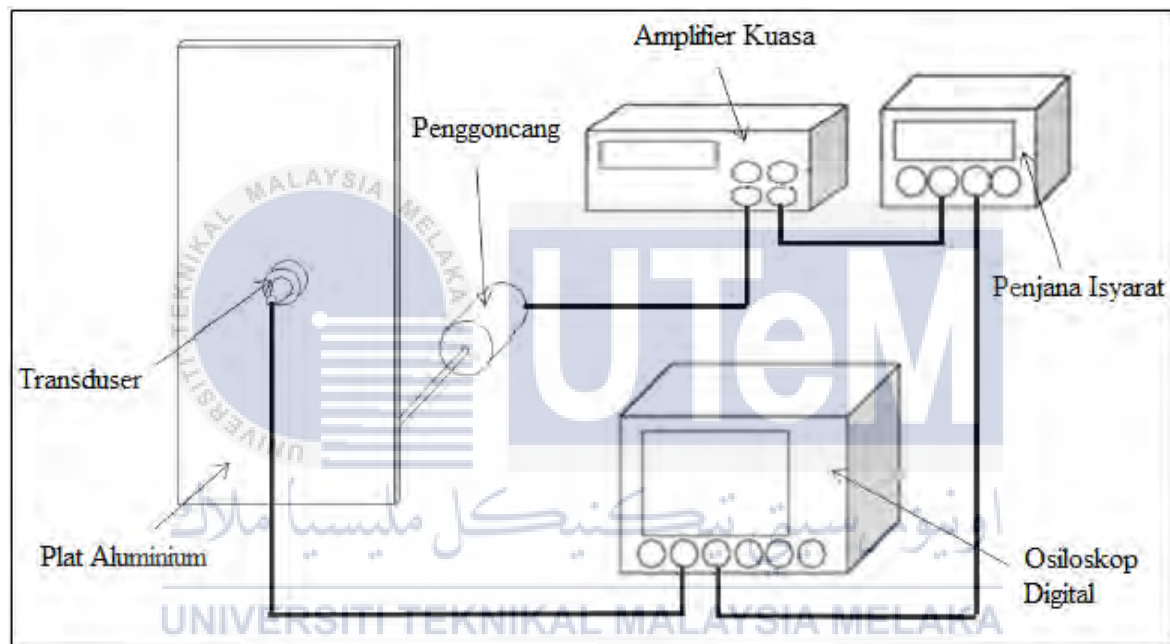
Pengawal sistem monitor

Rajah 3-6: Rajah skematik susunan alat untuk ujian lesu

3.5 Analisis Modal

Analisis modal amat penting dalam ujikaji ini. Kaedah Analisis modal ini bertujuan untuk menganalisis tindakbalas dinamik struktur apabila beban kitar dikenakan. Setiap struktur bahan yang berbeza mempunyai nilai frekuensi semula jadi yang berbeza. Sifat dinamik untuk struktur dikenali sebagai frekuensi resonan. Frekuensi resonan merupakan elemen penting dalam bidang rekabentuk dan digunakan secara meluas untuk menyiasat tingkahlaku bahan. Struktur bahan akan bergetar kepada perubahan bentuk permukaan unik yang dikenali sebagai bentuk mod. Bentuk mod terhasil di setiap getaran frekuensi resonan. Dalam Ujikaji ini, terdapat beberapa alat yang digunakan dalam ujikaji ini seperti komputer, penjana isyarat, amplifiaer kuasa dan penggoncang. Rajah 3-7 menunjukkan rajah skematik

penyusunan alat untuk melakukan ujian analisis modal. Setiap alat yang digunakan mempunyai fungsi yang tersendiri. Fungsi penjana isyarat ialah untuk menghasilkan pelbagai jenis bentuk gelombang elektrik yang berbeza didalam pelbagai frekuensi. Manakala amplifier kuasa berfungsi untuk mengawal kuasa isyarat, voltan dan arus. Pada masa yang sama, isyarat gelombang juga akan dipindahkan kepada oksiloskop digital sebagai data masukan. Seterusnya fungsi penggoncang ialah sumber getaran yang dikawal oleh amplifier.



Rajah 3-7: Susunan alat untuk ujian analisis modal

Bagi menjana pengujaan „sweep“, penggunaan Tektronix AFG 3022 dwi penjana fungsi saluran digunakan dan kemudian memasukkan nilai yang sesuai berdasarkan parameter dalam Jadual 3-3 sebagai pembolehubah ujian modal. Nilai keluaran akan diukur oleh transduser profil piezo-seramik analisis yang rendah dengan menggunakan osiloskop. Tiada tapisan digunakan pada pengukuran laser semasa menjalankan getaran frekuensi „sweep“. Hasil daripada keputusan tersebut, ia boleh di nilai dan ditukar menjadi fungsi kekerapan

sambutan melalui perisian Matlab untuk mengetahui frekuensi semula jadi plat tersebut. Tiga mod terawal dapat dilihat daripada graf ujian modal.

Jadual 3-3: Pembolehubah masukan untuk ujian modal

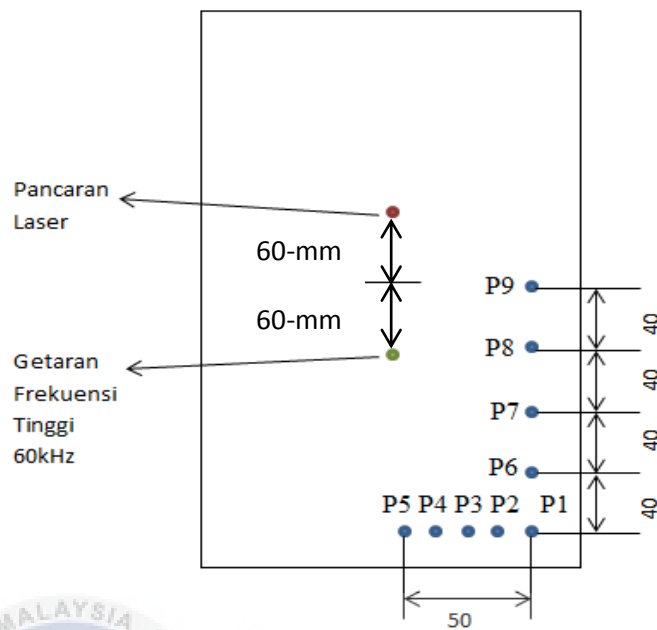
Pembolehubah	Nilai
Frekuensi „Sweep“	1-2000 Hz
Masa „Sweep“	2s
Amplitud	5.0 Vpp
Saiz persampelan	10 kS/s
Persampelan	100k sampel

3.6 Kaedah Vibro-Akustik

Kaedah vibro-akustik telah digunakan secara meluas untuk mengesan dan menganalisis retak lesu. Pengukuran kepada frekuensi tinggi yang lemah telah dikaji disebabkan oleh tindakbalas getaran berfrekuensi rendah. Kaedah ini paling berkesan untuk mengesan kehadiran retak pada peringkat awal atau retak lesu. Ia juga satu kaedah berdasarkan pembentukan gelombang akustik berfrekuensi tinggi dalam struktur yang kukuh dengan getaran berfrekuensi rendah. Tindakbalas gelombang akustik dengan perubahan pada bahan atau ciri-ciri gelombang disebabkan oleh kesan herotan. Pelbagai kaedah digunakan pada fenomena taklinear untuk mengesan retak dalam struktur berlogam. Interaksi antara gelombang akustik berfrekuensi tinggi dan getaran berfrekuensi rendah penting untuk mengesan retak lesu. Penggunaan kaedah ini dalam bidang kejuruteraan adalah terhad.

Keretakan diukur dengan menggunakan keamatan gelombang modulasi yang dipanggil sebagai indeks nilai R. Hasil menunjukkan bahawa, intensiti modulasi vibro-akustik bergantung kepada panjang retak, retak yang lebih besar menghasilkan jalursisi modulasi lebih dengan amplitud yang lebih besar. Berdasarkan kajian, untuk mod tertentu apabila panjang retak bertambah, nilai R juga akan bertambah. Walau bagaimanapun, tidak semua frekuensi sesuai digunakan untuk menentukan hubungan keretakan plat dengan nilai R.

Dalam ujikaji ini, sebanyak sembilan lokasi getaran berfrekuensi rendah telah digunakan untuk mengesan lokasi yang paling sesuai pada plat aluminium. Ujian berfrekuensi rendah ini boleh menjejaskan panjang retak lesu disebabkan oleh tiga mod terawal dalam getaran. Lokasi getaran berfrekuensi rendah pada plat aluminium ditunjukkan pada rajah 3-8. Sembilan lokasi yang berbeza pada getaran berfrekuensi rendah dilakukan dalam kaedah vibro-akustik ini untuk menentukan kesan modulasi gelombang pada retakan dan menentukan lokasi yang sesuai untuk getaran berfrekuensi rendah. Beberapa alat digunakan dalam ujikaji ini iaitu plat aluminium, penggongcang, amplifiler kuasa, penjana isyarat, computer dan laser pengesan vibrometer. Alat-alat ini sama seperti dalam ujian analisis modal kecuali penambahan penggunaan laser pengesan vibrometer. Titik laser dipancarkan pada jarak 60-mm diatas retak fatig. Manakala jarak laser daripada plat aluminium tersebut ialah 1314-mm. Gambarajah skematik kaedah vibro-akustik ditunjukkan pada rajah 3-9.



Rajah 3-8: Sembilan lokasi getaran berfrekuensi rendah pada plat aluminium



Rajah 3-9: Gambarajah skematik susunan alatan dalam ujikaji vibro-akustik

BAB 4

KEPUTUSAN DAN ANALISIS

4.1 Ujian Tegangan

Tujuan utama ujian ini adalah untuk mendapatkan nilai beban terhasil, tekanan tengangan pada beban hasil, beban maksimum, tekanan tegangan pada beban maksimum dan tekanan tegangan pada kepatahan. Jadual 4-1 menunjukkan hasil daripada ujian tegangan. Hasil daripada ujian tegangan ini, nilai beban maksimum, beban minimum, beban min dan beban amplitud boleh diperolehi.



Jadual 4-1: Keputusan diperolehi daripada ujian tegangan

Beban terhasil (kN)	Tekanan tegangan pada beban hasil (MPa)	Beban Maksimum (kN)	Tekanan tegangan pada beban maksimun (MPa)	Tekanan tegangan pada kepatahan (mm)
>35.62	>118.73	35.62	118.73	6.28

Pengiraan nilai beban maksimum, beban minimum, beban min dan beban amplitud ditunjukkan di bawah:

Beban Maksimum = 75% daripada beban terhasil

$$= 35.62 \times 75\%$$

$$= 26.715 \text{ kN}$$

Beban minimum = 0.1 daripada beban maksimum

$$= 0.1 \times 26.715 \text{ kN}$$

$$= 2.67 \text{ kN}$$

Beban min

$$= (\text{Beban maksimum} + \text{Beban minimum}) / 2$$

$$= (26.715 + 2.67) / 2$$

$$= 14.69 \text{ kN}$$

Beban amplitud = (Beban maksimum – Beban minimum) / 2

$$= (26.715 - 2.67) / 2$$

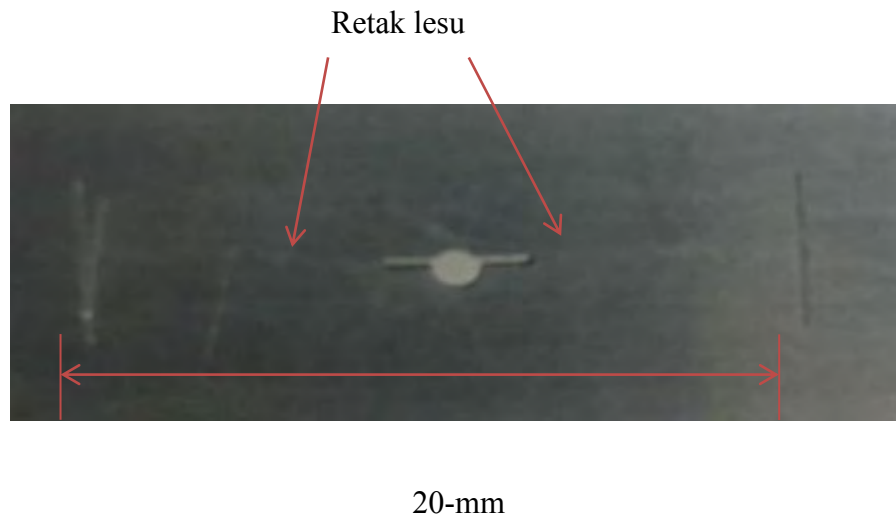
$$= 12.02 \text{ kN}$$

4.2 Ujian Lesu

Ujian lesu adalah proses untuk membuat retak pada aluminium plat. Pembolehubah yang diperoleh daripada ujian tegangan digunakan bagi menghasilkan retak lesu yang berukuran 20-mm pada aluminium plat. Jadual 4-2 menunjukkan pembolehubah yang digunakan dalam ujian ini seperti beban kitaran, beban minimum, beban maksimum dan beban frekuensi yang dikenakan untuk mendapatkan panjang retak yang telah ditetapkan. Retak lesu berjaya dihasilkan sepanjang 20-mm seperti ditunjukkan pada rajah 4-1.

Jadual 4-2: Bilangan kitaran, beban dan beban frekuensi untuk menghasilkan retak.

Panjang retak (mm)	Bilangan kitaran	Load (kN)		Frekuensi (Hz)
		Maks	Min	
0	10000	26.715	2.67	10
0	25000	26.715	2.67	10
2	35000	26.715	2.67	10
3	50000	26.715	2.67	10
4	60000	26.715	2.67	10
6	65000	26.715	2.67	10
7	70000	26.715	2.67	10
8	75000	26.715	2.67	10
9	80000	26.715	2.67	10
12	85000	26.715	2.67	10
16	89535	26.715	2.67	10

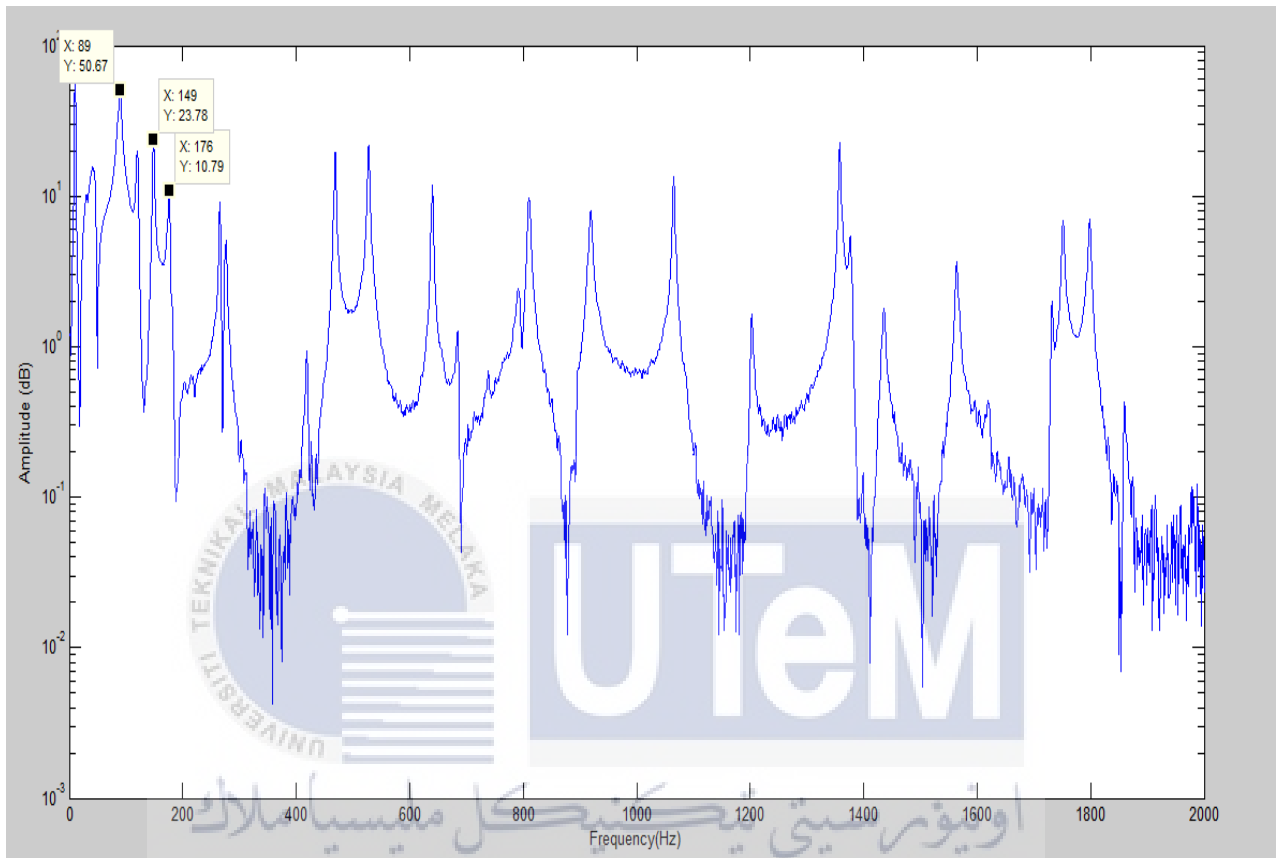


Rajah 4-1: Retak lesu berjaya dihasilkan sepanjang 20-mm

4.3 Analisis Modal

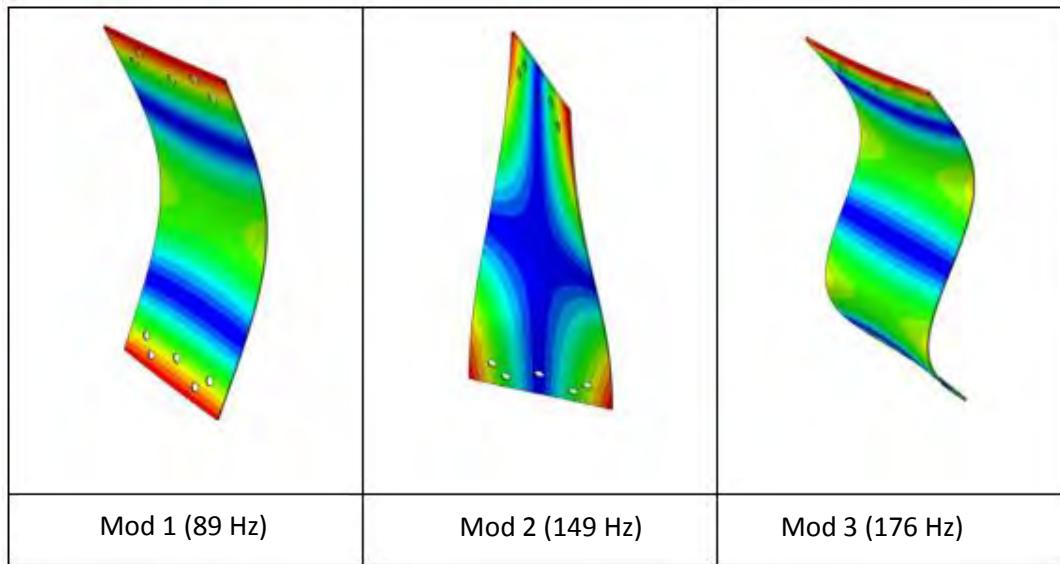
Analisis modal amat penting dalam ujikaji ini. Kaedah Analisis modal ini bertujuan untuk menganalisis tindakbalas dinamik struktur apabila beban kitar dikenakan. Setiap struktur badan yang berbeza mempunyai nilai frekuensi semula jadi yang berbeza. Sifat dinamik untuk struktur dikenali sebagai frekuensi resonan. Frekuensi resonan merupakan elemen penting dalam bidang rekabentuk dan digunakan secara meluas untuk menyiasat tingkahlaku bahan. Struktur bahan akan bergetar kepada perubahan bentuk permukaan unik yang dikenali sebagai bentuk mod. Bentuk mod terhasil di setiap getaran frekuensi resonan. Semua data yang diperolehi daripada Tektronix DPO 4032 Digital Phosphor Osiloskop akan dianalisis menggunakan perisian Matlab seperti yang ditunjukkan pada lampiran N. Dengan menggunakan perisian Matlab, kekerapan fungsi tindakbalas pada plat aluminium boleh diperolehi. Kod perisian Matlab yang digunakan untuk mengetahui frekuensi semula jadi pada

plat aluminium. Rajah 4-2 menunjukkan fungsi tindakbalas frekuensi yang mengandungi 3 mod getaran hasil daripada perisian Matlab.



UNIVERSITI TEKNIKAL MALAYSIA MELAKA
Rajah 4-2: Graf Fungsi Kekerapan Sambutan

Daripada graf fungsi kekerapan sambutan, amplitud puncak yang tinggi mewakili mod getaran. Amplitud puncak yang tinggi menunjukkan bermakna plat aluminium tersebut teruja pada frekuensi yang sama. Dalam ujikaji ini, hanya 3 mod getaran yang akan digunakan. Dengan menggunakan perisian pengesan VL, setiap ilustrasi bentuk mod dapat dilihat seperti ditunjukkan pada rajah 4-3. Mod 1 adalah mod lentur dengan 89 Hz, mod 2 adalah mod kilasan dengan frekuensi 149 Hz dan mod 3 adalah mod lentur berganda dengan 176 Hz.



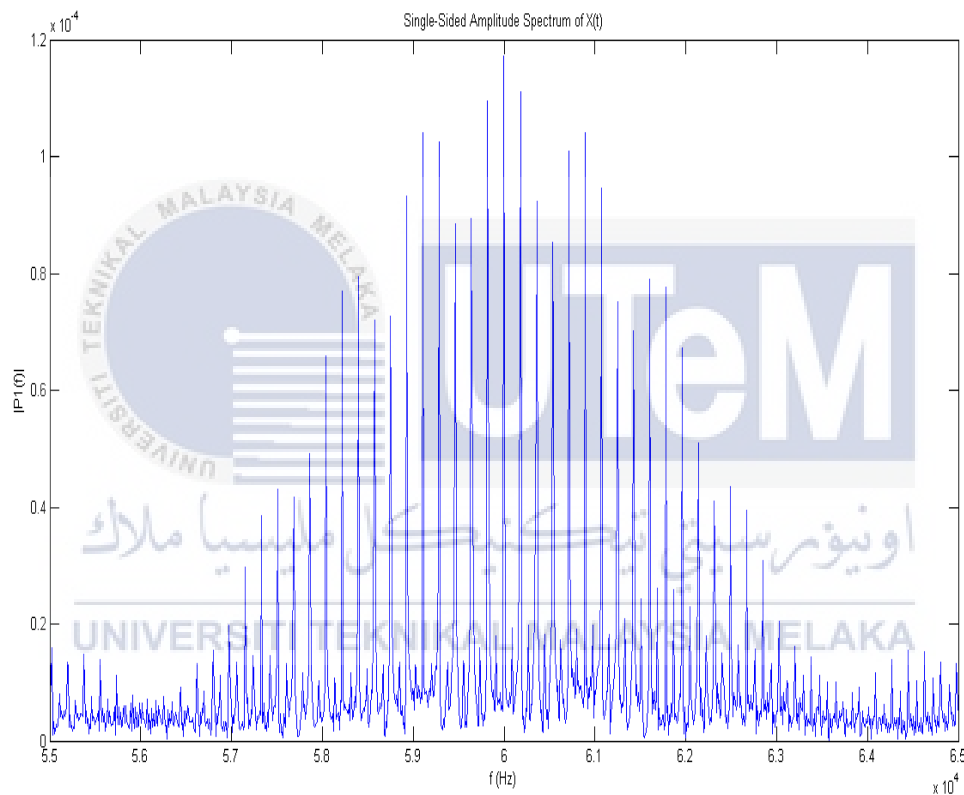
Rajah 4-3: Frekuensi dan 3 bentuk mod getaran pada plat aluminium

4.4 Vibro-Akustik Taklinear

Dalam ujikaji ini, pelbagai lokasi getaran berfrekuensi rendah dengan nilai frekuensi rendah 89 Hz, 149 Hz dan 176 Hz telah digunakan untuk mengesan lokasi yang paling sesuai pada plat aluminium dengan menggunakan penggoncang. Pengujian frekuensi tinggi ialah 60 kHz. Ujian berfrekuensi rendah ini boleh menjejaskan panjang retak lesu disebabkan oleh tiga mod terawal dalam getaran. Sembilan lokasi yang berlainan menggunakan nilai frekuensi rendah yang berbeza dilakukan dalam kaedah vibro-akustik ini untuk menentukan kesan modulasi gelombang pada retakan dan menentukan lokasi yang sesuai untuk getaran berfrekuensi rendah. Hasil keluaran data yang diperolehi daripada Osiloskop Tektronix DPO4032 di masukkan kedalam perisian Matlab untuk ditukarkan menjadi fungsi „Fast Fourier Transform“. „Fast Fourier Transform“ berfungsi untuk mengira jelmaan fourier sebagai satu urutan. Analisis Fourier menukarkan satu isyarat domain kepada satu frekuensi domain

atau sebaliknya. Kod Matlab yang digunakan untuk menjana keputusan vibro-akustik ditunjukkan pada lampiran O.

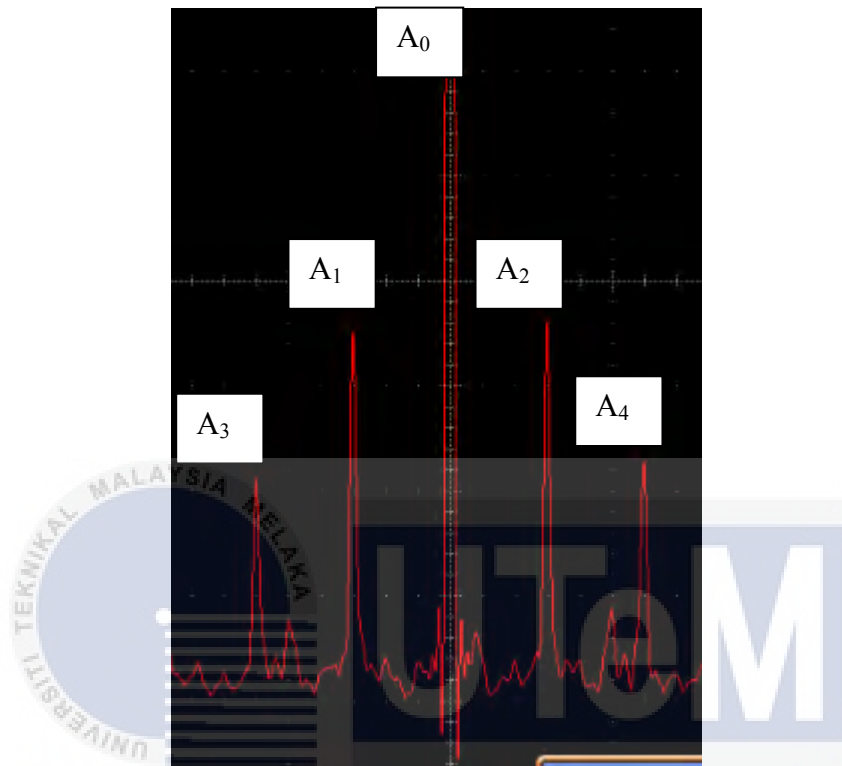
Rajah 4-4 menunjukkan graf hasil daripada ujikaji vibro-akustik taklinear. Graf ini menunjukkan bahawa jalur sisi terhasil daripada setiap pengujaan frekuensi rendah. Graf ini terhasil oleh pengujaan frekuensi rendah yang bernilai 89 Hz



Rajah 4-4: Graf „Fast Fourier Transform“

Berdasarkan penukaran dari perisian Matlab, graf FFT akan digunakan untuk menentukan modulasi keamatan atau nilai R. Lokasi paling efektif untuk meletak pengujaan frekuensi rendah berdasarkan nilai R. Jika nilai R tinggi bermakna lokasi tersebut adalah lokasi paling berkesan untuk mengesan kehadiran retak lesu dalam plat aluminium. Formula

untuk mengira nilai R berdasarkan nilai A_1 , A_2 , A_3 , A_4 dan A_0 seperti yang ditunjukkan pada rajah 4-5.



Rajah 4-5: Nilai A yang terdapat pada graf „FFT“

Formula yang digunakan bagi mendapatkan nilai R ialah :

$$R = \frac{A_1 + A_2}{A_0}$$

$$R = \frac{A_3 + A_4}{A_0}$$

Dimana A_0 ialah amplitud ultrasonic, $A_1 + A_2$ ialah penjumlahan amplitud jalur sisi yang pertama di sebelah kanan dan kiri spectrum ultrasonik, $A_3 + A_4$ ialah penjumlahan amplitud jalur sisi yang kedua di sebelah kanan dan kiri spectrum ultrasonik. Hasil daripada

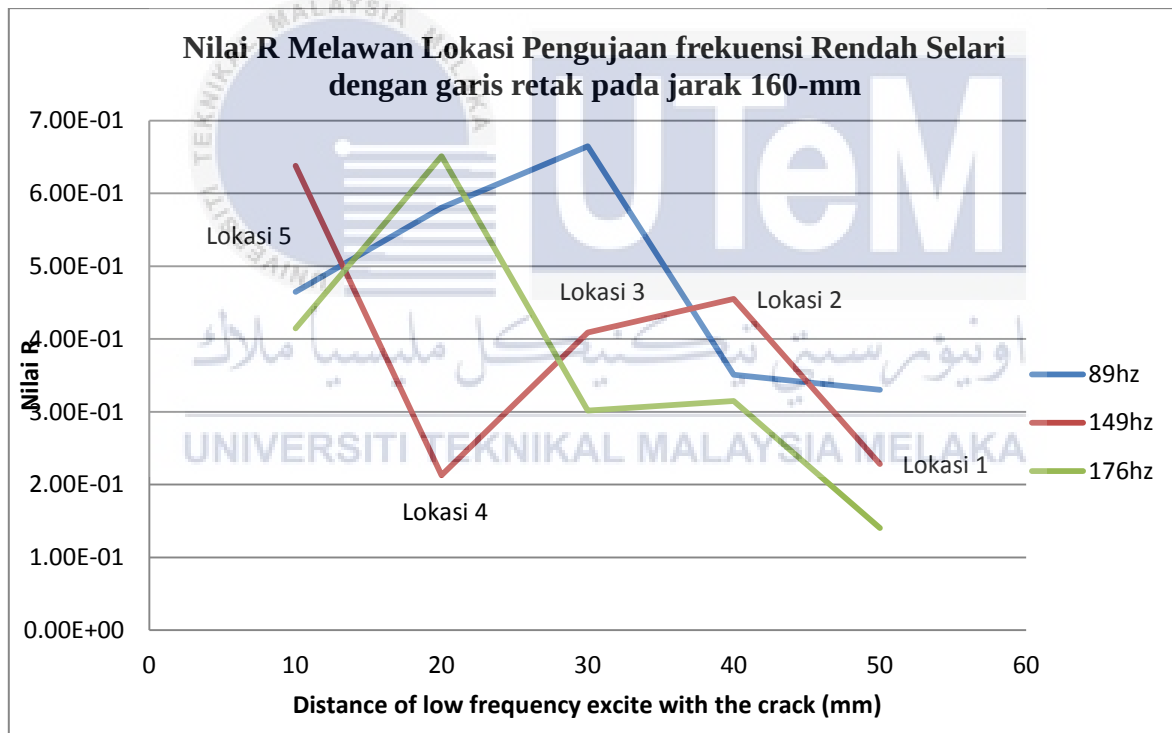
kajian ini, nilai R boleh dikira melalui formula tersebut dan nilai R ditunjukkan pada jadual 4-3.

Jadual 4-3: Nilai R di setiap lokasi dan frekuensi

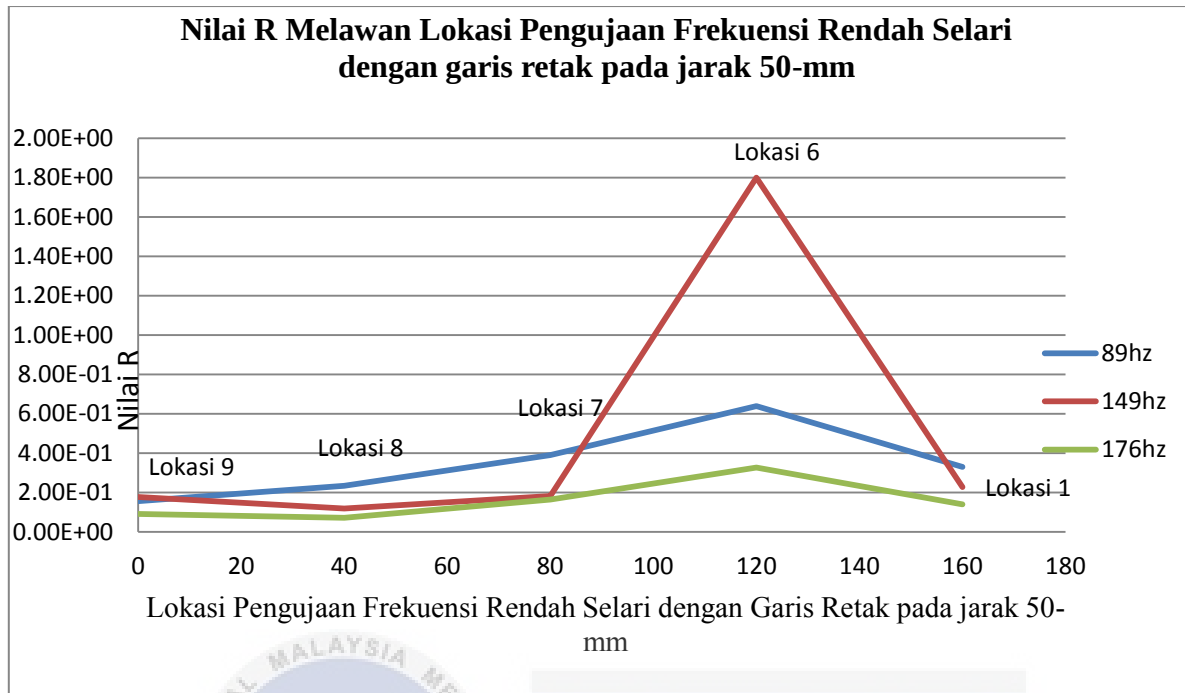
Lokasi	Nilai R (89 Hz)	Nilai R (149 Hz)	Nilai R (176 Hz)	Purata
Lokasi 1	0.3302	0.2284	0.1404	0.2330
Lokasi 2	0.3510	0.4550	0.3146	0.3735
Lokasi 3	0.6649	0.4089	0.3015	0.4584
Lokasi 4	0.5804	0.2130	0.6511	0.4815
Lokasi 5	0.4648	0.6379	0.4144	0.5057
Lokasi 6	0.6396	1.8000	0.3268	0.9221
Lokasi 7	0.3903	0.1833	0.1656	0.2466
Lokasi 8	0.2352	0.1198	0.07187	0.1423
Lokasi 9	0.1564	0.1778	0.09122	0.1418

Setiap lokasi pengujian berfrekuensi rendah mempengaruhi nilai R disebabkan oleh bentuk mod pada plat aluminium tersebut. Seperti mana yang diketahui, mod 1 pada berfrekuensi 89 Hz ialah mod lentur dimana nilai R yang tinggi berada pada lokasi 3 apabila pengujian berfrekuensi rendah dikenakan pada plat aluminium. Seterusnya, mod 2 pada iaitu mod kilasan pada frekuensi 149 Hz dimana lokasi 6 pengujian frekuensi rendah mempunyai nilai R yang lebih tinggi berbanding lokasi lain. Akhir sekali mod 3 iaitu lentur berganda dimana dalam jadual 4-3 menunjukkan nilai R tinggi di lokasi 4 pada frekuensi 176 Hz. Setiap

perubahan pada nilai R dapat ditunjukkan pada graf lokasi pengujian frekuensi menegak dan graf lokasi pengujian frekuensi melintang. Nilai R pada lokasi 1 hingga lokasi 5 tidak mempunyai sebarang perubahan yang ketara. Ini disebabkan oleh lokasi pengujian frekuensi rendah pada kedudukan melintang adalah hampir sama dimana jarak diantara satu lokasi ke lokasi yang lain hanya 10-mm sahaja. Oleh itu, kelima-lima lokasi tersebut tidak sesuai untuk meletakkan pengujian frekuensi rendah disebabkan oleh nilai R yang tidak mempunyai perubahan yang ketara seperti ditunjukkan pada rajah 4-6.



Rajah 4-6: Graf nilai R melawan lokasi pengujian frekuensi rendah selari dengan garis retak pada jarak 160-mm secara melintang.

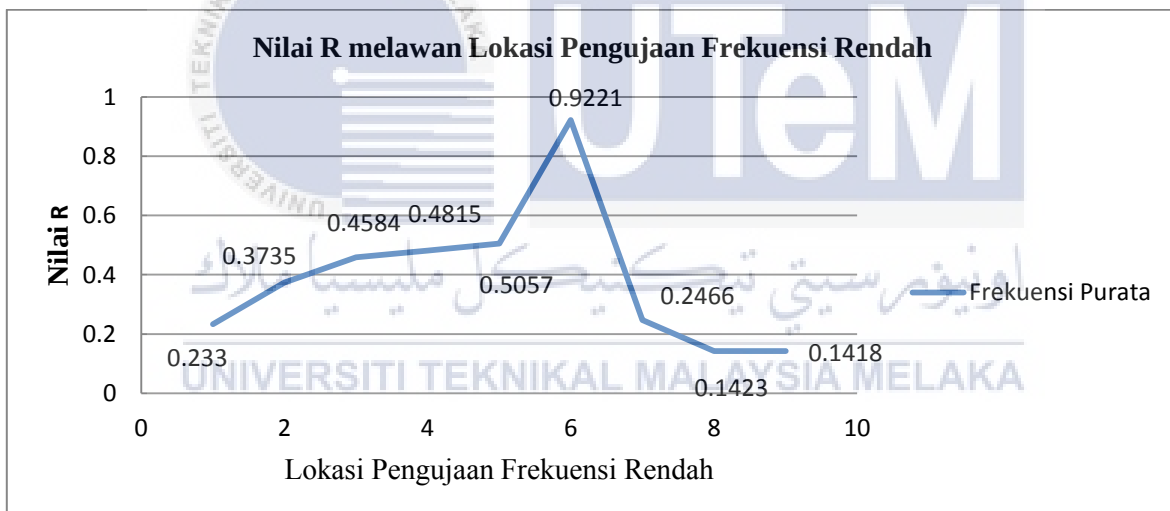


Rajah 4-7: Graf nilai R melawan lokasi pengujian frekuensi rendah selari dengan garis retak pada jarak 50-mm secara menegak.

Berdasarkan rajah 4-7, nilai R dari lokasi 9 hingga lokasi 7 menaik pada setiap pengujian frekuensi rendah dan nilai R menaik secara mendadak pada lokasi 6 pada frekuensi 149 Hz dan mula menurun pada lokasi 1. Ini jelas menampakkan lokasi 1 tidak sesuai untuk meletakkan kan pengujian frekuensi rendah di sebabkan nilai R yang terlalu rendah. Secara keseluruhannya, lokasi 6 mempunyai nilai R yang tinggi iaitu 0.6396 pada frekuensi 89 Hz, 1.8000 pada frekuensi 149 Hz dan 0.3268 pada frekuensi 176 Hz. Nilai yang paling tinggi ialah pada frekuensi 149 Hz. Kejadian ini dapat dilihat melalui tindak balas gelombang modulasi terhadap nilai R pada lokasi 6.

4.5 Ringkasan

Hasil daripada keputusan tersebut, didapati bahawa lokasi 6 adalah paling sesuai untuk meletakkan pengujian frekuensi rendah untuk mengesan retak lesu pada plat aluminium tersebut. Mod kilasan pada plat tersebut juga memainkan peranan untuk tindak balas dengan nilai R yang diperolehi daripada ujian vibro-akustik. Keputusan ini dikuatkan lagi dengan graf purata nilai R pada setiap frekuensi semula jadi pada lokasi pengujian frekuensi rendah yang ditunjukkan pada rajah 4-8. Lokasi 6 mempunyai nilai R yang tinggi berbanding dengan lokasi lain. Justeru itu, lokasi 6 ialah lokasi paling sesuai untuk meletakkan pengujian frekuensi rendah untuk mengesan retak lesu dalam kaedah vibro-akustik taklinear.



Rajah 4-8: Graf frekuensi purata nilai R di lokasi pengujian frekuensi rendah

BAB 5

KESIMPULAN DAN CADANGAN

Di dalam bab ini akan menjelaskan secara ringkas tentang ujikaji ini. Ringkasan terdiri daripada analisis ujikaji ini, keputusan, pencapaian dan juga kesimpulan ujikaji ini. Akhir sekali ialah cadangan untuk memperbaiki ujikaji ini.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan objektif ujikaji ini, ia lebih fokus untuk menentukan kesan modulasi gelombang pada retakan di pelbagai lokasi getaran berfrekuensi rendah. Selain itu juga, untuk menentukan lokasi yang paling berkesan untuk getaran berfrekuensi rendah bagi mengesan retakan dalam kaedah vibro-akustik taklinear.

Ujikaji ini menggunakan satu plat aluminium yang berukuran 400-mm x 150-mm. Retak lesu yang terjadi di tengah-tengah plat aluminium boleh dikesan melalui gelombang modulasi yang bertindak balas dengan nilai R. Jesteru itu, ujian analisis modal telah dibuat bagi menentukan frekuensi semula jadi pada tiga mod terawal. Untuk mengetahui bentuk mod pada plat aluminium tersebut, laser pengesan telah digunakan. Seterusnya, lokasi pengujian frekuensi rendah diletakkan sebanyak sembilan lokasi. Lokasi 1 hingga lokasi 5 tidak

menunjukkan perubahan nilai R yang ketara. Oleh itu, lokasi tersebut tidak sesuai untuk meletakkan pengujian frekuensi rendah. Manakala lokasi 6 hingga lokasi 9 menunjukkan perubahan nilai R yang sangat ketara itu.

Kesimpulan daripada ujikaji ini, lokasi 6 telah dipilih sebagai lokasi pengujian frekuensi rendah yang paling berkesan untuk mengesan retak lesu pada plat aluminium disebabkan oleh nilai R yang tinggi pada mod kedua iaitu mod kilasan.

5.2 Cadangan

Hasil daripada ujikaji ini, saya mencadangkan supaya ujikaji vibro-akustik taklinear tidak hanya tumpu kepada plat aluminium sahaja. Bahan ujikaji yang lain juga boleh digunakan seperti kaca, plastic dan kayu. Ini membolehkan pengkaji untuk membuat perbandingan modulasi gelombang antara plat aluminium dan bahan ujikaji yang lain. Selain itu, nilai R juga berubah mengikut struktur bahan yang digunakan pada ujikaji ini. Lokasi pengujian frekuensi tinggi juga turut berubah disebabkan oleh daya tindak balas bahan tersebut terhadap tiga mod terawal iaitu mod lentur, mod kilasan dan mod lentur berganda.

LAMPIRAN A

RUJUKAN

Abeele, V.D., K.E.A., Johnson, P.A., and Sutin A., et al., 2000. Nonlinear Elastic Wave Spectroscopy (NEWS) Techniques to Discern Material Damage, Part II: Single-Mode Nonlinear Resonance Acoustic Spectroscopy. Research in Nondestructive Evaluation.

Abeele, V.D., K.E.A., Johnson, P.A., and Sutin, A., 2000. Nonlinear Elastic Wave Spectroscopy (NEWS) Techniques to Discern Material Damage, Part I: Nonlinear Wave Modulation Spectroscopy (NWMS). Research in Nondestructive Evaluation.

Abeele, V.D., K.E.A., Sutin, A., Carmeliet, J., and Johnson, P.A., 2001. Microdamage Diagnostics using Nonlinear Elastic Wave Spectroscopy (NEWS). NDT and E International.

Donskoy, D., and Sutin, A., 1999. Vibro-Acoustic Modulation Nondestructive Evaluation Technique. Journal of Intelligent Material Systems and Structures.

Donskoy, D., Sutin, A., and Ekimov, A., 2001. Nonlinear Acoustic Interaction on Contact Interfaces and its Use for Nondestructive Testing. NDT and E International.

Donskoy, D., Sutin, A.M., and Ekimov. A., 2001. Nonlinear Acoustic Interaction on Contact Interfaces and its Use for Nondestructive Testing. NDT and E International.

Donskoy, D.M., and Sutin, A.M., 1999. Vibro-Acoustic Modulation Nondestructive Evaluation Technique. Journal of Intelligent Material Systems and Structures.

Duffour, P., Cawley, P., and Morbidini, M., 2005. Vibro-Acoustic Modulation NDE Technique. Part 1: Theoretical study. Review of Quantitative Nondestructive Evaluation.

Duffour, P., Morbidini, M., and Cawley, P., 2006. A Study of the Vibro-Acoustic Modulation Technique for the Detection of Cracks in Metals. Journal of the Acoustical Society of America.

Duffour, P.C., and Morbidini, M., 2005. Vibro-Acoustic Modulation NDE technique. Part 1: Theoretical Study. Review of Quantitative Nondestructive Evaluation.

Farrar, Charles R., Sohn, Hoon, Fugate, Micheal L., Czarnecki, Jerry J., 2001. Integrated Structural Health Monitoring SPIE's 8th Annual International Symposium on Smart Structures and Materials.

Friswell, M.I., and Penny, J.E.T., 2002. Crack Modeling for Structural Health Monitoring. Structural Health Monitoring.

Jean, Lemaitre, R.D., 2005. Engineering Damage Mechanics: Ductile, Creep, Fatigue and Brittle Failures.

Jenal, R., 2008. Finite Element Modelling for the Analysis of Low-Frequency Excitation in Nonlinear Acoustics.

Jenal, R., 2010. Fatigue Crack Detection Using Nonlinear Vibro-Acoustic: Analysis of Vibro Acoustic Modulation, PHD, The University of Sheffield.

Johnson, P., 1999. The New Wave in Acoustic Testing. Materials World (UK).

Johnson, P., 1999. The New Wave in Acoustic Testing. Materials World (UK).

Kazakov, V.V., 2006. A Modulation Crack-Detection Technique: I. Instrumental Method of Implementation. Russian Journal of Nondestructive Testing.

Kim, J.Y., Yakovlev, V.A., and Rokhlin, S.I., 2004. Surface Acoustic Wave Modulation on a Partially Closed Fatigue Crack. Journal of the Acoustical Society of America.

Klepka, A., Staszewski, W.J., Dzedziech, K., Aymerich, F., 2013. Nonlinear Vibroacoustic Wave Modulations-Analysis of Different Types of Low Frequency Excitation. Key Engineering Materials.

Kujawski, D., 2014. Non-Destructive Damage Evaluation in Composites Using Vibroacoustic Techniques-A Review, Department of Mechanical and Aeronautical Engineering, College of Engineering and Applied Sciences.

Lukasz, Pieczonka, Wieslaw, J., Staszewski, and Tadeusz, Uhl., - AGH University of Science and Technology, Faculty of Mechanical Engineering and Robotics, Department of Robotics and Mechatronics, Al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Krakow, Poland. Francesco Aymerich - University of Cagliari, Department of Mechanical Engineering, Piazza d'Armi, 09123 Cagliari, Italy.

Nagy, P.B., 1998. Fatigue Damage Assessment by Nonlinear Ultrasonic Materials Characterization. Ultrasonics.

Neild, S.A., 2001. Using Non-Linear Vibration Technique to Detect Damage in Concrete Bridge, Department of Engineering Science, University of Oxford.

Norton, M.P., & Karczub, D.G., 2003. Fundamentals of Noise and Vibration Analysis for Engineers. Cambridge University press.

Okada, J.I., Ito, T., Kawashima, K., and Nishimura, N., 2001. Finite Element Simulation of Nonlinear Acoustic Behavior at Minute Cracks using Singular Element. Japanese 48 Journal of Applied Physics, Part 1: Regular Papers and Short Notes and Review Papers.

Parsons, Z., and Staszewski, W.J., 2006. Nonlinear Acoustics with Low-Profile Piezoceramic Excitation for Crack Detection in Metallic Structures. Smart Materials and Structures.

Pieczonka, L., Klepka, A., Dziedziech, K., Broda, D., Paweł P., MARTOWICZ, A., Tadeusz, Uhl., Staszewski, W.J., 2016. Nonlinear Acoustics for Structural Health Monitoring– Classical vs. Non-classical Approaches, Department of Robotics and Mechatronics, AGH University of Science and Technology, Al.Mickiewicza 30, 30-059 Krakow, POLAND.

Sheppard, K., Zagrai, A., and Donskoy, D., 2007. A Non-Linear Acoustic, Vibromodulation Technique for the Detection and Monitoring of Contact-Type Defects, including those Associated with Corrosion. Corrosion Reviews.

Solodov, I.Y., Asainov, A.F., and Sel, Len, K., 1993. Non-linear SAW reflection: experimental evidence and NDE applications. Ultrasonics.

Staszewski, W.J., 2008. Fatigue and Crack Detection Using Smart Sensor Technologies.

Staszewski, W.J., C., Boller, and Tomlinson, G.R., 2004. Health Monitoring of Aerospace Structures: Smart Sensor Technologies and Signal Processing.

Trochidis, A., Hadjileontiadis, L., and Zacharias, K., 2014. Analysis of Vibroacoustic Modulations for Crack Detection: A Time-Frequency Approach Based on ZhaoAtlas-Marks Distribution, Department of Mathematical, Physical and Computational Sciences, Aristotle University of Thessaloniki, 54124Thessaloniki, Greece,

Van Den Abeele, K.E.A., Johnson P.A., and Sutin, A., 2000. Nonlinear Elastic Wave Spectroscopy (NEWS) Techniques to Discern Material Damage, Part II: Single-Mode Nonlinear Resonance Acoustic Spectroscopy. Research in Nondestructive Evaluation.

Wu, H.C., 2002. Active Wave Modulation for Bond Evaluation. in American Society of Mechanical Engineers (Publication) NDE.

Yang, K., 2014. Comparative Study of Nonlinear Acoustic and Guided Wave Methods for Structural Damage Detection, PHD, The University of Sheffield.

Zaitsev, V., 1995. Nonlinear Interaction of Acoustical Waves due to Cracks and its Possible usage for Cracks Detection. JVC/Journal of Vibration and Control.

Zaitsev, V., and Sas, P., 2000. Nonlinear Response of a Weakly Damaged Metal Sample: A Dissipative Modulation Mechanism of Vibro-Acoustic Interaction. JVC/Journal of Vibration and Control.

Zaitsev, V., Nazarova, V., Gusevb, V., Castagnedeb, B., 2006. Novel Nonlinear Modulation Acoustic Technique for Crack Detection, NDT&E International Journal.

Zaitsev, V.Y., 1995. Nonlinear Interaction of Acoustical Waves due to Cracks and its Possible Usage for Cracks Detection. JVC/Journal of Vibration and Control.

LAMPIRAN B
CARTA GANTT PSM 1

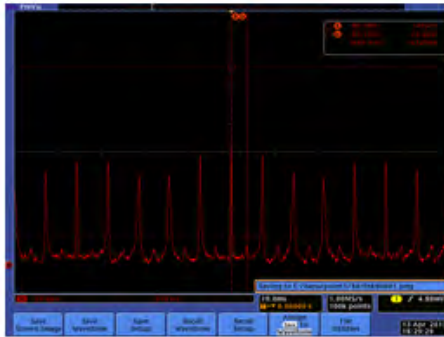
MINGGU	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
TUGASAN																			
Kajian Literatur																			
Pengenalan projek Berbincang dengan penyelia (tajuk, objektif, masalah dan skop)																			
Membuat bahan spesimen (Memotong, menebuk dan EDM pemotong wayar)																			
Menyiapkan laporan kemajuan																			
Pencapaian I Laporan kemajuan PSM 1 Tarikh penyerahan 19 Okt 2016																			
Menyediakan specimen ujian Ujian tegangan																			
Menyediakan specimen ujian Ujian dinamik retak lesu																			
Menyediakan draf laporan akhir																			
Pencapaian 2 Draf laporan akhir Tarikh penyerahan 14 Dis 2016																			
Pencapaian 3 Seminar PSM 1 (10-12 Jan 2016)																			

LAMPIRAN C
CARTA GANTT PSM 2

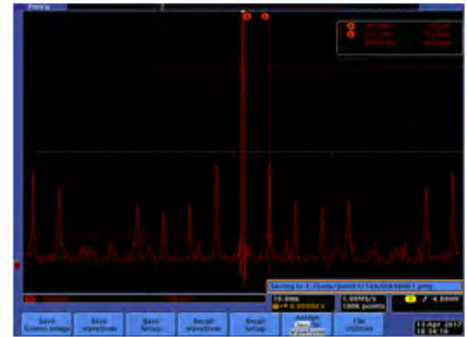
MINGGU TUGASAN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Kajian Literatur															
Ujikaji analisis modal • Menjalankan ujikaji • Analisis data															
Ujikaji vibro-akustik • Menjalankan ujikaji pada 9 lokasi pengujian berfrekuensi rendah • Analisis data															
Analisis dan Perbincangan															
Menyiapkan laporan kemajuan PSM 2 Laporan kemajuan PSM 2															
Pencapaian 4 Penyerahan laporan kemajuan PSM 2															
Menulis laporan akhir															
Pencapaian 5 Penyerahan laporan akhir (23 Mei 2017)															
Pencapaian 6 Seminar PSM 2 (30 Mei 2017)															

LAMPIRAN D

BENTUK SPEKTRUM YANG TERJADI PADA LOKASI 1



89 Hz



149 Hz

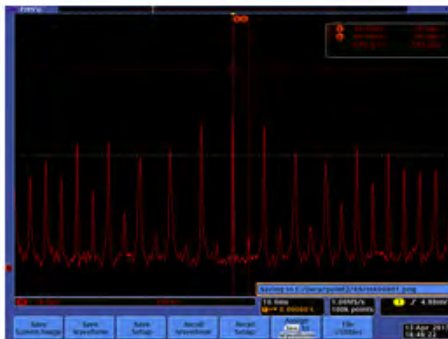


176 Hz

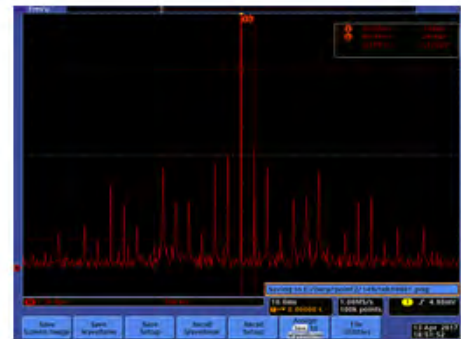
اونيورسيتي تېكنيكل مليسيا ملاك
UNIVERSITI TEKNIKAL MALAYSIA MELAKA

LAMPIRAN E

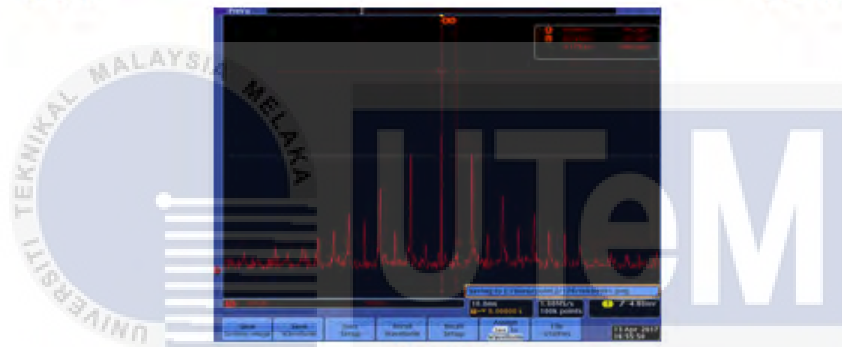
BENTUK SPEKTRUM YANG TERJADI PADA LOKASI 2



89 Hz



149 Hz

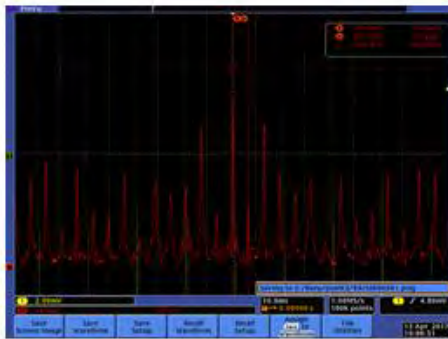


176 Hz

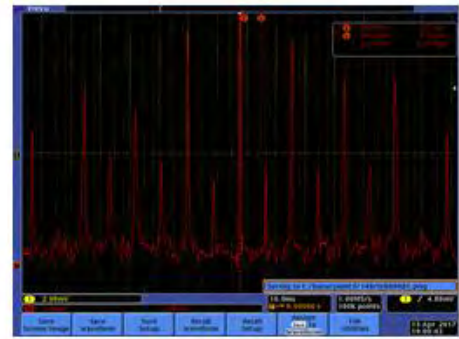
اونيورسيتي تېكنيكل مليسيا ملاك
UNIVERSITI TEKNIKAL MALAYSIA MELAKA

LAMPIRAN F

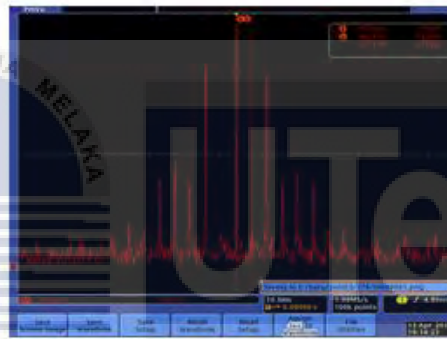
BENTUK SPEKTRUM YANG TERJADI PADA LOKASI 3



89 Hz



149 Hz

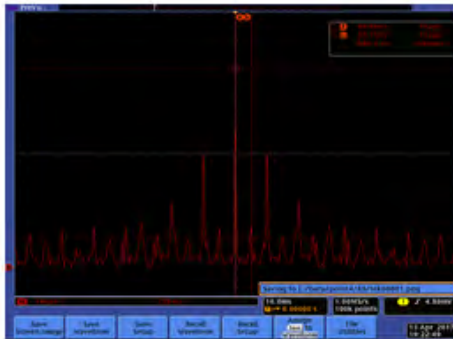


176 Hz

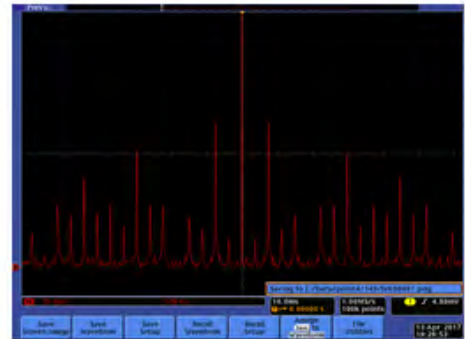


LAMPIRAN G

BENTUK SPEKTRUM YANG TERJADI PADA LOKASI 4



89 Hz



149 Hz



176 Hz

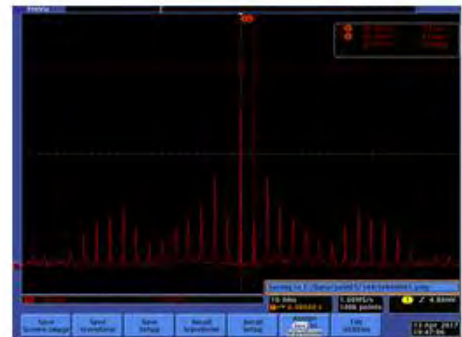
اونيورسيتي تكنولوجيک ملایا
UNIVERSITI TEKNIKAL MALAYSIA MELAKA

LAMPIRAN H

BENTUK SPEKTRUM YANG TERJADI PADA LOKASI 5



89 Hz



149 Hz



176 Hz

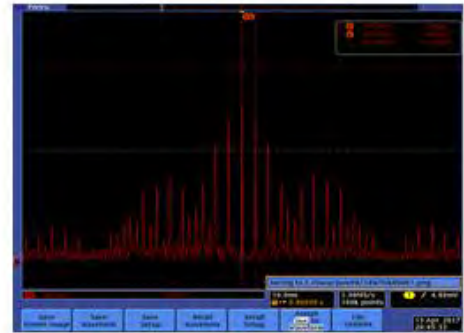
اونيورسيتي تیکنیکل ملیسيا ملاک
UNIVERSITI TEKNIKAL MALAYSIA MELAKA

LAMPIRAN I

BENTUK SPEKTRUM YANG TERJADI PADA LOKASI 6



89 Hz



149 Hz

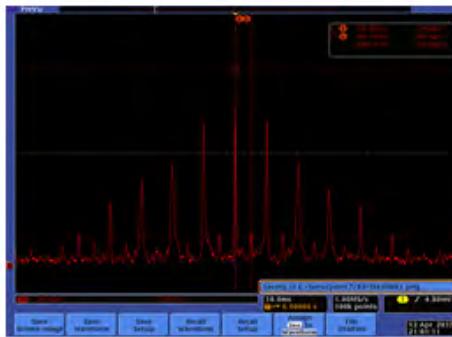


176 Hz

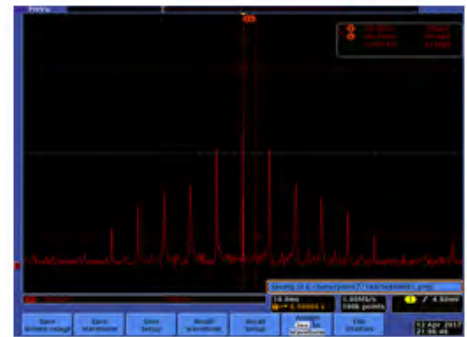


LAMPIRAN J

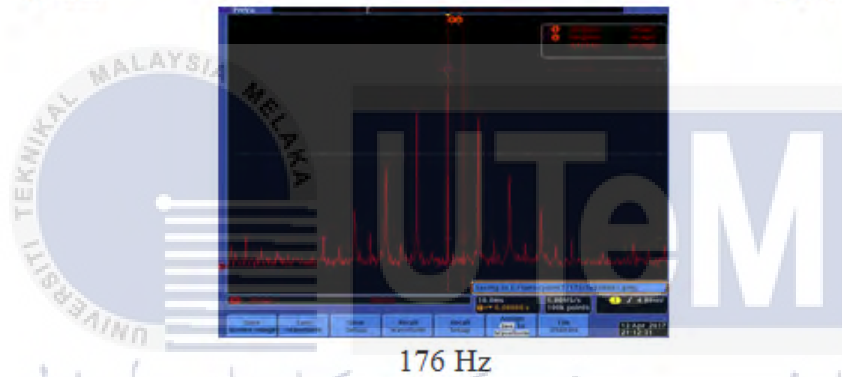
BENTUK SPEKTRUM YANG TERJADI PADA LOKASI 7



89 Hz



149 Hz

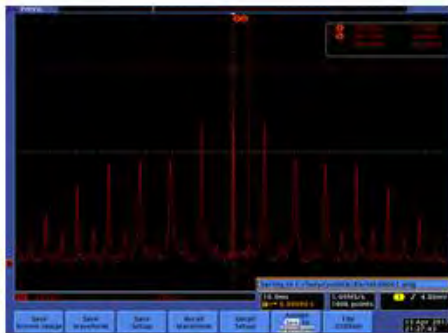


176 Hz

اونيورسيتي تیکنیکل ملیسيا ملاک
UNIVERSITI TEKNIKAL MALAYSIA MELAKA

LAMPIRAN K

BENTUK SPEKTRUM YANG TERJADI PADA LOKASI 8



89 Hz



149 Hz



176 Hz



اونيورسيتي تيكنيكل مليسيا ملاك

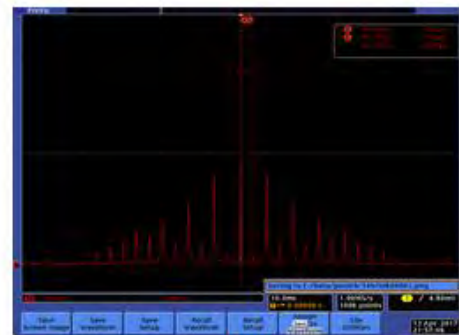
UNIVERSITI TEKNIKAL MALAYSIA MELAKA

LAMPIRAN L

BENTUK SPEKTRUM YANG TERJADI PADA LOKASI 9



89 Hz



149 Hz

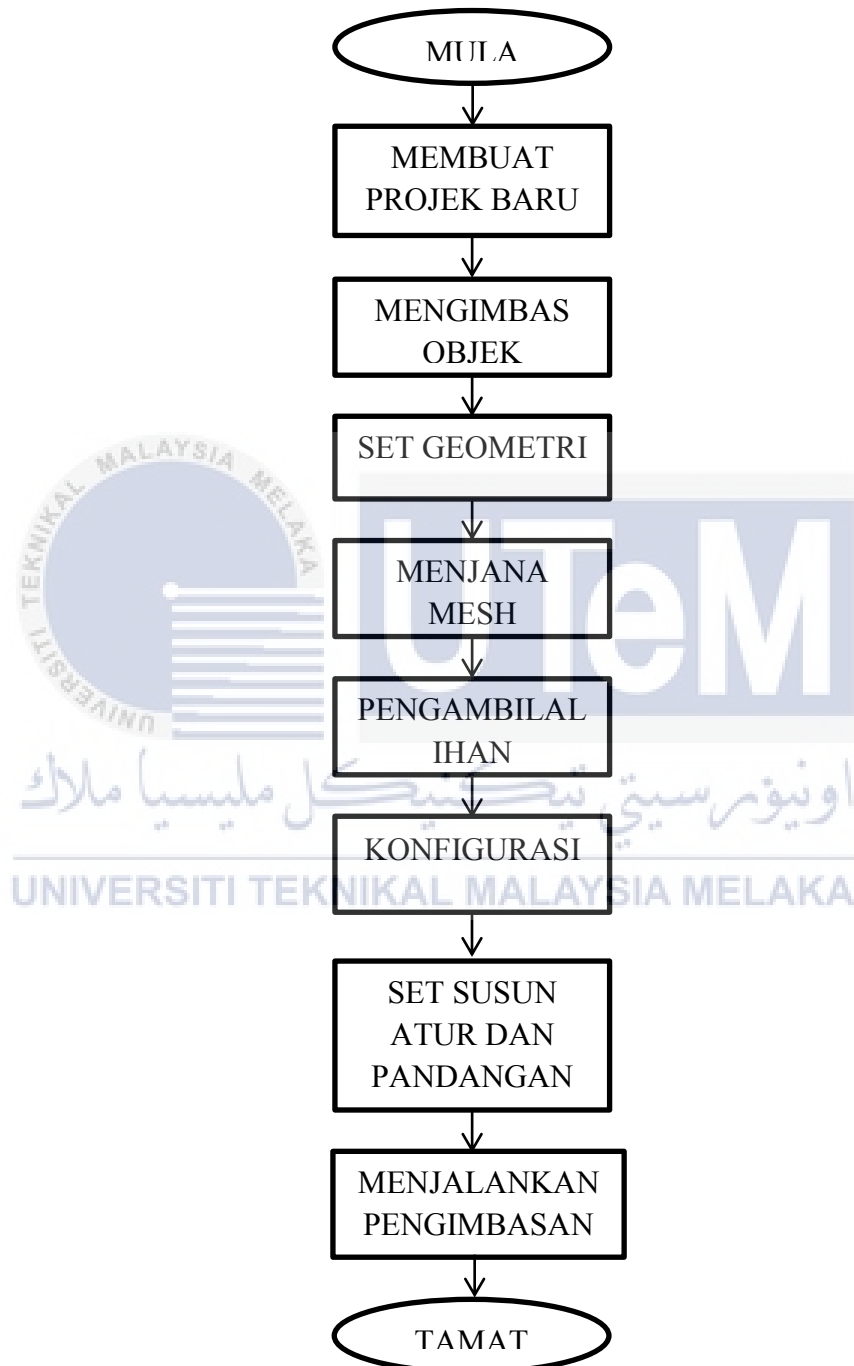


176 Hz

اونيورسيتي تیکنیکل ملیسيا ملاک
UNIVERSITI TEKNIKAL MALAYSIA MELAKA

LAMPIRAN M

CARTA ALIR PROSES PERISIAN PENGESAN VL



LAMPIRAN N

KOD PERISIAN MATLAB UJIAN MODAL

Kod	Fungsi
<code>x1=xlsread('in.xlsx');</code> <code>x2=xlsread('in1.xlsx');</code> <code>x3=xlsread('in2.xlsx');</code> <code>x4=xlsread('in3.xlsx');</code> <code>x5=xlsread('in4.xlsx');</code>	- Mengambil data frekuensi masukan
<code>y1=xlsread('out.xlsx');</code> <code>y2=xlsread('out1.xlsx');</code> <code>y3=xlsread('out2.xlsx');</code> <code>y4=xlsread('out3.xlsx');</code> <code>y5=xlsread('out4.xlsx');</code>	- Mengambil data frekuensi keluaran
<code>t = xlsread('time out.xlsx');</code> <code>dt = mean (diff(t));</code>	- Mengambil masa pensampelan dan terbitan masa
<code>Fs = 1 / dt;</code>	- Dapatkan frekuensi pensampelan

<pre>[Txy1,f] = tfestimate(x1,y1,[],[],Fs); Txy1dB = 20*log10(abs(Txy1)); [Txy2,f] = tfestimate(x2,y2,[],[],Fs); Txy2dB = 20*log10(abs(Txy2)); [Txy3,f] = tfestimate(x3,y3,[],[],Fs); Txy3dB = 20*log10(abs(Txy3)); [Txy4,f] = tfestimate(x4,y4,[],[],Fs); Txy4dB = 20*log10(abs(Txy4)); [Txy5,f] = tfestimate(x5,y5,[],[],Fs); Txy5dB = 20*log10(abs(Txy5));</pre>	- Menentukan anggaran fungsi pindah, fungsi pindah tak berubah terhadap masa [TF,f]. - Menukar magnitud data kepada decibel (dB)
<pre>TxydBavg = (Txy1dB + Txy2dB + Txy3dB + Txy4dB + Txy5dB) / 5;</pre>	- Menentukan purata TxydB.
<pre>plot (f,TxydBavg);</pre>	- Membuat graf f melawan TxydB.
<pre>xlim ([0 2000])</pre>	- Menghadkan plot paksi-x dari 0 hingga 2000

ylim ([-100 40])	- Menghadkan plot paksi-y dari -100 hingga 40.
xlabel ('Frequency(Hz)')	- Melabel graf
ylabel ('Amplitude (dB)')	



LAMPIRAN O

KOD PERISIAN MATLAB UNTUK MENDAPATKAN GRAF DOMAIN MASA

```
clear all;

data = csvread('tek00000.csv') ;

t = data(:,1) ;

amp = data(:,2) ;

L = length(t) ;

N = length(amp);

dt = max(diff(t)) ;

Fs = 1/dt ;

%Single-Sided Amplitude Spectrum of X(t)

Y = fft(amp);

P2 = abs(Y/L);

P1 = P2(1:L/2+1);

P1(2:end-1) = 2*P1(2:end-1);

f = Fs*(0:(L/2))/L;

plot(f,P1)

title('Single-Sided Amplitude Spectrum of X(t)')

xlabel('f (Hz)')

ylabel('|P1(f)|')

xlim([55000 65000])
```