

PENYIASATAN PERAMBATAN GELOMBANG AKUSTIK PADA STRUKTUR
KONKRIT BERTETULANG DENGAN BAR KELULI TERTANAM

MOHAMAD FAIS BIN MOHAMED ZAMRI

UNIVERSITI TEKNIKAL MALAYSIA MELAKA

MOHD FAIS ZAMRI SARJANA MUDA KEJ. MEKANIKAL (LOJI & PENYELENGGARAAN) (KEPUJIAN) 2015 UTeM

PENGESAHAN PENYELIA

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

Tandatangan:

Penyelia: DR. RUZTAMREEN BIN JENAL

Tarikh:

**PENYIASATAN PERAMBATAN GELOMBANG AKUSTIK PADA STRUKTUR
KONKRIT BERTETULANG DENGAN BAR KELULI TERTANAM**

MOHAMAD FAIS BIN MOHAMED ZAMRI

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

**Fakulti Kejuruteraan Mekanikal
Universiti Teknikal Malaysia Melaka**

Jun 2015

PENGAKUAN

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

Tandatangan:

Nama penulis: MOHAMAD FAIS BIN MOHAMED ZAMRI

Tarikh:

PENGHARGAAN

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT pemilik sekalian alam dan syukur kehadiran ilahi kerana dengan izinnya penulis berjaya menyiapkan tesis Projek Sarjana Muda ini dengan sempurna dan jayanya.

Terlebih dahulu, penulis ingin merakamkan setinggi penghargaan kepada, DR Ruztamreen Bin Jenal selaku penyelia penulis yang telah memberi dorongan tunjuk ajar, nasihat, dan bimbingan serta kesabaran beliau sehingga penulis dapat menyiapkan tesis ini.

Penulis juga ingin merakamkan penghargaan kepada pensyarah-pensyarah di Falkulti Kejuruteraan Mekanikal kerana sudi bengkongsi ilmu dengan penulis mengenai projek yang dijalankan oleh penulis.

Tidak dilupakan juga, ucapan terima kasih kepada rakan-rakan penulis yang banyak membantu bagi menyiapkan tesis ini. Akhir kata, penulis sekali lagi ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada semua yang terlibat secara langsung mahupun tidak langsung bagi menjayakan tesis PSM ini. Sekian Terima Kasih.

ABSTRAK

Ujian gelombang merupakan salah satu kaedah pemeriksaan tanpa musnah. Pemeriksaan tanpa musnah dengan menggunakan ujian gelombang merupakan satu kaedah yang digunakan secara meluas untuk memeriksa keadaan sesuatu struktur. Kaedah ini digunakan dengan mengenakan tekanan mekanikal gelombang yang tersebar di sepanjang struktur sesuatu bahan itu. Walau bagaimanapun, di Malaysia penyelidikan mengenai potensi teknik gelombang berpandu ini bagi memeriksa dan mengukur keadaan dan kedalaman struktur konkrit asas yang terbenam didalam tanah masih kurang. Projek ini dijalankan bagi mengenal pasti kesan perambatan gelombang berpandu keatas konkrit bertetulang dengan bar keluli tertanam. Selain itu, simulasi terhadap konkrit bertetulang ini dijalankan untuk mengenal pasti sifat-sifat gelombang berpandu yang dikenakan terhadap konkrit bertetulang. Selain itu juga, tujuan simulasi ini dijalankan adalah bagi mengenal pasti panjang konkrit bertetulang dengan menggunakan perambatan gelombang berpandu. Simulasi yang dijalankan terhadap konkrit bertetulang ini menggunakan kaedah “*finite element method (FEM)*”. Simulasi yang dijalankan pada perisian ini termasuklah proses merekabentuk konkrit bertetulang, proses “mesh”, proses mengenakan beban, dan analisis. Hasil daripada keputusan simulasi menggunakan perisian “Abaqus”, panjang konkrit bertetulang dengan bar keluli tertanam dapat dikenalpasti daripada graf sesaran melawan masa. Selain daripada itu, kesan bar keluli tertanam kepada perambatan gelombang berpandu juga dapat dikenalpasti. Panjang konkrit bertetulang dan kesan daripada bar keluli tertanam pada perambatan gelombang berpandu dapat dikenal pasti dengan menggunakan gelombang berpandu berdasarkan simulasi yang telah dijalankan, walau bagaimanapun pengetahuan mengenai gelombang berpandu adalah penting sebelum menjalankan simulasi. Keputusan bagi kedua-dua perkara ini dapat dilihat pada bahagian keputusan dan perbincangan

ABSTRACT

Wave test is one method of nondestructive inspection. Nondestructive inspection using wave test is a method that is widely used to check the condition of a structure. This method is used by applying mechanical pressure waves scattered along the structure of a material. However, in research on the potential of this guided wave technique for inspecting and measuring the conditions and depth of the basic concrete structure embedded in the ground is still not sufficient. The project is carried out to identify the effects of guided wave propagation on reinforced concrete with embedded steel bar. Simulation at the reinforced concrete was conducted to identify the characteristics of guided wave imposed on reinforced concrete. Furthermore, the purpose of this simulation is carried out to identify the length of reinforced concrete using a guided wave propagation. Simulations is conducted on reinforced concrete by using the finite element method software. Simulations carried out on this software includes reinforced concrete design process, process of "mesh", process of imposing the load, and analysis. Based on the result from the simulation that had been done in Abaqus simulation software, the length of reinforced concrete with embedded steel bar can be identified from the graph displacement against time. In addition, the effect of the embedded steel bar to the guided wave propagation also can be determine. The length of reinforced concrete and the effect of embedded steel bar to the propagation of guided wave can be identified by using the guided wave propagation, this is based on the simulation that was been carried out. However, knowledge about guided wave is vital before running the simulation. The results for both of these simulations analysis been discuss and show in the results and discussion section.

ISI KANDUNGAN

BAB	TAJUK	MUKA SURAT
	PENGHARGAAN	i
	ABSTRAK	ii
	ABSTRACT	iii
	ISI KANDUNGAN	iv
	SENARAI RAJAH	vii
	SENARAI JADUAL	x
	SENARAI LAMPIRAN	xi
BAB 1	Pengenalan	
	1.1 Latar Belakang	1
	1.2 Penyataan Masalah	3
	1.3 Objektif	4
	1.4 Skop	4
	1.5 Keputusan Dijangka	5

BAB 2	KAJIAN LITERATUR	
2.1	Gelombang Berpandu	6
2.1.1	Jenis-Jenis Gelombang	12
i.	Gelombang Rayleigh	12
ii.	Gelombang SH Mode	13
iii.	Gelombang Lamb	14
2.1.2	Aplikasi Gelombang berpandu	17
i.	Pemeriksaan struktur landasan keretapi	17
ii.	Pemeriksaan kakisan pada keluli	21
2.2	Konkrit Bertetulang	26
2.2.1	Masalah pada konkrit bertetulang	27
BAB 3	METODOLOGI	
3.1	Pengenalan	30
3.2	Carta Alir	31
3.3	Pembangunan Kajian	32
3.3.1	Perisian Abaqus	33
3.3.2	Proses Merekabentuk Geometri	34
3.3.3	Proses Penetapan Sifat Bahan	35
3.3.4	Proses <i>Mesh</i>	36
3.3.5	Proses Mengenakan Beban	38
3.3.6	Proses Analisis	39
3.3.7	Keputusan Analisis	41
BAB 4	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	
4.1	Pengenalan	42
4.2	Keputusan Dan Perbincangan Simulasi Bahan Kajian	43

4.2.1	Menentukan Panjang Konkrit Bertetulang	43
4.2.2	Kesan Perambatan Gelombang pada Struktur Konkrit Bertetulang	49
4.3	Kesimpulan	56
BAB 5	KESIMPULAN DAN CADANGAN	
5.1	Kesimpulan	57
5.2	Cadangan	58
	RUJUKKAN	59
	LAMPIRAN	61

SENARAI RAJAH

BIL	TAJUK	MUKA SURAT
1	Rajah 1.1: Perambatan gelombang berpandu di dalam paip	2
2	Rajah 1.2: Keputusan yang dijangka daripada simulasi.	5
3	Rajah 2.1: Gambar skematik menunjukkan (a) gelombang ideal satu dimensi dan (b) gelombang berpandu pada plat	7
4	Rajah 2.2: Sistem panduan dalam gelombang berpandu: (a) dua dimensi dan (b) tiga dimensi.	8
5	Rajah 2.3: Jenis mod pada cerucuk silinder.	9
6	Rajah 2.4: Perbezaan antara cara gelombang berpandu ultrasonik dan cara ultrasonik konvensional	11
7	Rajah 2.5: Pergerakan gelombang Rayleigh pada komponen padu.	12
8	Rajah 2.6: Pergerakan zarah gelombang yang berbentuk elips	13
9	Rajah 2.7: Variasi bukan halaju fasa dimensi dan halaju kumpulan dengan kekerapan bukan dimensi gelombang SH-mod pada plat bebas cengkaman	14
10	Rajah 2.8: Perambatan gelombang <i>Lamb</i> .	15
11	Rajah 2.9: Mod yang berlaku pada plat konkrit.	16

	Rajah 2.10: Pemasangan peralatan untuk memeriksa	
12	kecacatan pada landasan keretapi	20
13	Rajah 2.11: Kesan kecacatan pada landasan diperlihatkan pada graph	20
14	Rajah 2.12: Mekanisme Kakisan	21
15	Rajah 2.13: Peralatan yang digunakan untuk pemeriksaan UT	23
16	Rajah 2.14: Lengkung serakan untuk perambatan gelombang <i>Lamb</i>	23
17	Rajah 2.15: Proses melakukan pemeriksaan kakisan pada plat.	24
18	Rajah 2.16: Keputusan kesan kakisan pada plat dengan menggunakan perambatan gelombang	25
19	Rajah 2.17: Permukaan yang bersisik pada konkrit.	27
20	Rajah 2.18: Keretakan pada struktur cerucuk.	28
21	Rajah 2.19: <i>Pop Out</i> yang terjadi pada struktur konkrit.	28
22	Rajah 2.20: Gejala efflorescent yang terjadi permukaan konkrit	29
23	Rajah 3.1: Carta alir PSM.	31
24	Rajah 3.2: Paparan antara muka perisian <i>Abaqus</i>	33
25	Rajah 3.3 (a): Rekabentuk geometri bahan kajian yang pertama	34
	Rajah 3.3 (b): Rekabentuk geometri bahan kajian yang kedua	35
26	Rajah 3.4 (a): Bahan kajian yang telah melalui proses <i>meshing</i> .	37

	Rajah 3.4 (b): Proses <i>meshing</i> yang di zoomkan	
27	Rajah 3.5: Kawasan beban dikenakan	38
28	Rajah 3.6: Gelombang <i>Sine Envelope</i>	40
29	Rajah 3.7: Perambatan gelombang pada bahan kajian.	41
30	Rajah 4.1: Graf sesaran melawan masa bagi bahan kajian pertama	44
31	Rajah 4.2: Graf sesaran melawan masa bagi bahan kajian kedua	46
32	Rajah 4.3: Gelombang dikenakan pada struktur bertetulang	49
33	Rajah 4.4: Pantulan gelombang daripada keluli tertanam	49
34	Rajah 4.5: Pantulan gelombang daripada keluli tertanam ke dua	50
35	Rajah 4.6: Gelombang yang terpantul semula apabila sampai hujung	50
36	Rajah 4.7: Gelombang yang terpantul menjadi lemah	51
37	Rajah 4.8: Gelombang menjadi semakin lemah	51
38	Rajah 4.9: Gelombang hampir hilang apabila sampai ke hujung.	51
39	Rajah 4.10: Gelombang mula menjadi lemah pada keluli ketiga	53
40	Rajah 4.11: Perambatan gelombang berpandu pada struktur konkrit untuk bahan kajian kedua	53
41	Rajah 4.12: Gelombang menjadi lemah apabila terkena pada keluli yang ketiga.	54
42	Rajah 4.13: gelombang menjadi lemah apabila terkena pada keluli yang keempat	54
43	Rajah 4.14: Gelombang menjadi lemah apabila terpantul dari hujung konkrit	54
44	Rajah 4.15: Gelombang semakin lemah dan hampir hilang	55
45	Rajah 4.16: Gelombang menjadi lemah dan hilang	55

SENARAI JADUAL

BIL	TAJUK	MUKA SURAT
1	Jadual 3.1: Sifat bahan kajian untuk kedua-dua bahan	36
2	Jadual 3.2: Tempoh masa dan kenaikan bagi kedua-dua bahan kajian	40
3	Jadual 4.1: Keputusan bagi panjang untuk bahan kajian yang pertama.	44
4	Jadual 4.2: Keputusan bagi panjang untuk bahan kajian kedua.	47

SENARAI LAMPIRAN

BIL	TAJUK	MUKA SURAT
1	Lampiran A: Jadual mengenai parameter bar keluli dan konkrit	61
2	Lampiran B: Carta gantt untuk pelaksanaan PSM 1	62
3	Lampiran C: Carta gantt untuk pelaksanaan PSM 2	63

BAB 1

PENGENALAN

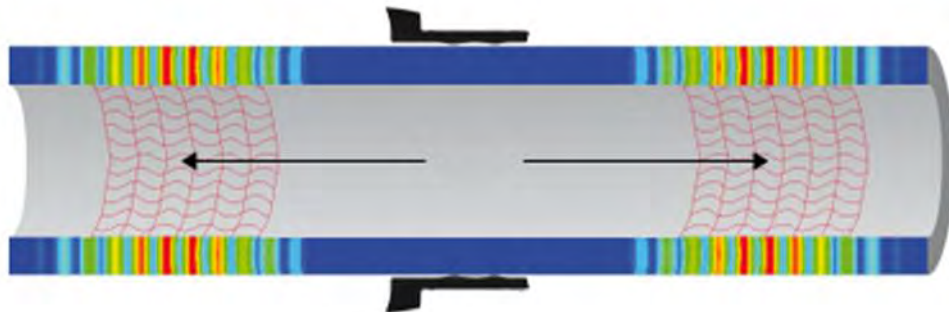
1.1 LATAR BELAKANG

Kebanyakannya kegagalan pada sesebuah bangunan adalah berpunca daripada integriti struktur (Wang et al. 2012), hakisan dan kerukan pada asas cerucuk (Issues & Basics 2009) , dan kekuatan bangunan itu sendiri. Oleh yang demikian, pengenalan kepada ujian tanpa musnah banyak membantu untuk menyelesaikan masalah ini dan memastikan keselamatan penggunaannya. Ujian tanpa musnah merupakan salah satu cara yang ekonomi dan menjimatkan masa (Salim M.N. 2013). Ujian tanpa musnah ini telah diguna pakai secara meluas bagi melakukan pemeriksaan kepada sesuatu struktur atau bahan. Gelombang berpandu merupakan salah satu teknik pemeriksaan di dalam ujian tanpa musnah. Teknik gelombang berpandu digunakan secara meluas di dalam ujian tanpa musnah bagi mengenal pasti kecacatan di dalam saluran paip industri minyak dan gas (Davies 2008), (Jäckel & Niese 2014), (Izadpanah et al. 2008). Penggunaan gelombang berpandu ini telah menunjukkan hasil yang baik dalam pemeriksaan kecacatan pada saluran paip minyak dan gas. Oleh itu, penggunaan gelombang berpandu ini boleh diperluaskan lagi bagi pemeriksaan infrastruktur awam seperti konkrit bertetulang, cerucuk dan lain-lain. Gelombang berpandu sesuai untuk melakukan pemeriksaan terhadap cerucuk atau konkrit yang tertanam adalah kerana gelombang ini mempunyai tingkah laku yang boleh merambat pada jarak yang jauh (Cawley, 2002), (Marques & Demma 2008).

Walau bagaimanapun, gelombang berpandu ini merambat dalam pelbagai mod dan sukar untuk difahami (Salim M.N. 2013). Pada masa yang sama, teknik

pemeriksaan menggunakan gelombang akustik untuk infrastruktur awam termasuklah dinding, lantai, tiang, jambatan, dan asas cerucuk yang tertanam masih belum dikaji secara meluas. Keperluan untuk melakukan pemeriksaan atau kajian keatas infrastruktur awam ini adalah bagi memastikan infrastruktur ini tidak mengalami penuaan sebelum waktunya, keretakan terutamanya pada komponen-komponen yang kritikal, perubahan bentuk konkrit bangunan, dan bahaya yang boleh menyebabkan kemalangan kepada penggunaanya. Pemeriksaan menggunakan gelombang akustik adalah baik kerana gelombang ini boleh merambat dengan jarak yang lebih jauh dan ianya boleh digunakan pada frekuensi yang rendah.

Kajian ini dijalankan adalah untuk mengenal pasti kesan perambatan gelombang berpandu akustik keatas konkrit bertetulang dengan bar keluli tertanam. Untuk menjalankan kajian ini simulasi di dalam perisian “Abaqus” dijalankan. Hasil daripada simulasi, terdapat beberapa pekara yang akan diambil kira antaranya adalah jarak yang boleh dilalui oleh gelombang akustik di dalam konkrit bertetulang dan kesan daripada bar keluli yang tertanam di dalam konkrit terhadap gelombang akustik.



Rajah 1.1: Perambatan gelombang berpandu di dalam paip

(sumber: www.materialevaluation.gr/index.php/products/flaw-detectors/ultrawave-lrt)

1.2 PENYATAAN MASALAH

Dalam ujian tanpa musnah gelombang berpandu telah digunakan secara meluas untuk mengesan kecacatan di dalam saluran paip dan untuk mengesan struktur bahan didalam sesuatu komponen. Walau bagaimanapun, gelombang berpandu ini merupakan sesuatu yang rumit dan mempunyai mod merambat yang sukar untuk difahami. Kajian mengenai pemeriksaan gelombang berpandu telah digunakan secara meluas di dalam pemeriksaan saluran paip petrokimia tetapi tidak digunakan secara meluas bagi pemeriksaan ke atas struktur konkrit bertetulang. Bagi memastikan hasil daripada pemeriksaan gelombang berpandu adalah seperti yang dikehendaki, memahami dan mengetahui perilaku perambatan gelombang berpandu adalah amat perlu. Selain itu, adalah penting untuk memilih mod gelombang berpandu dan frekuensi yang bersesuaian untuk digunakan. Pemeriksaan dengan menggunakan gelombang berpandu di dalam konkrit bertetulang adalah rumit, ini disebabkan oleh tenaga yang di dirambatkan akan diserap ke dalam struktur bahan.

1.3 OBJEKTIF

Terdapat beberapa objektif yang perlu dicapai di akhir projek ini. Objektif projek adalah seperti berikut:

- i. Menentukan panjang konkrit bertetulang dengan bar keluli tertanam dengan menggunakan gelombang berpandu
- ii. Mengenal pasti kesan perambatan gelombang di dalam struktur konkrit bertetulang disebabkan oleh bar keluli.

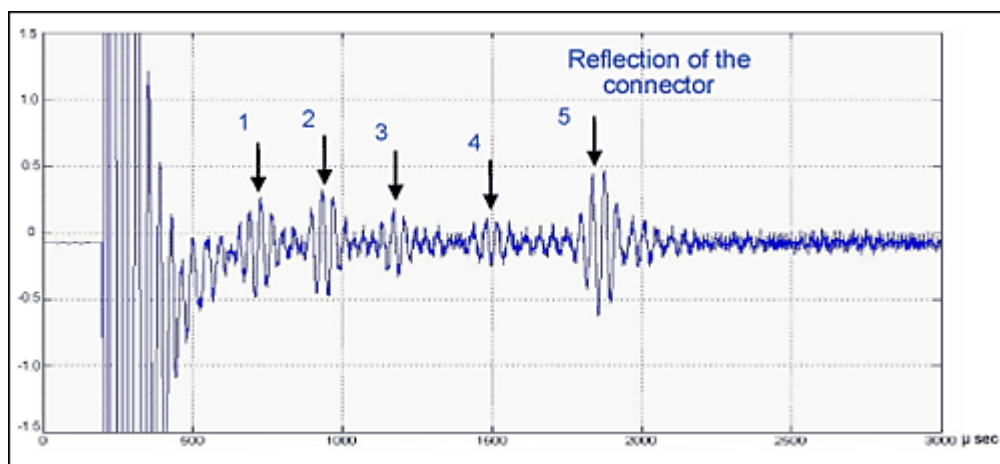
1.4 SKOP

Terdapat beberapa skop projek yang akan menentukan matlamat projek yang lebih terperinci dan meletakkan had untuk projek ini.

- i. Konkrit bertetulang dengan bar keluli tertanam.
- ii. Saiz bar keluli adalah 1 inci dan 1.50 inci diameter
- iii. Gelombang yang dikenakan terhadap konkrit bertetulang adalah gelombang *envelope*.
- iv. Perisian yang digunakan untuk proses simulasi adalah Abaqus.
- v. Dimensi untuk konkrit bertetulang adalah panjang 1000mm, 250mm lebar

1.5 KEPUTUSAN DIJANGKA

Melalui kajian yang dijalankan, dijangkakan bahawa keputusan yang akan terhasil adalah ketidakstabilan gelombang berpandu disebabkan oleh kesan daripada bar keluli yang tertanam di dalam struktur konkrit bertetulang. Dengan adanya bar keluli yang tertanam ia akan mengganggu perambatan gelombang berpandu untuk sampai ke hujung plat. Berdasarkan rajah 1.2 merupakan keputusan yang dijangkakan daripada kajian ini. Rajah 1.2, menunjukkan apabila gelombang dikenakan pada struktur konkrit, ia akan melalui struktur konkrit tersebut. Apabila gelombang ini melalui bar keluli yang terdapat pada struktur konkrit, gelombang ini akan terpantul semula ke penerima gelombang dan akibat daripada proses ini denyutan dapat dilihat pada graph. Proses ini berterusan sehingga ke hujung struktur atau sehingga gelombang menjadi lemah.



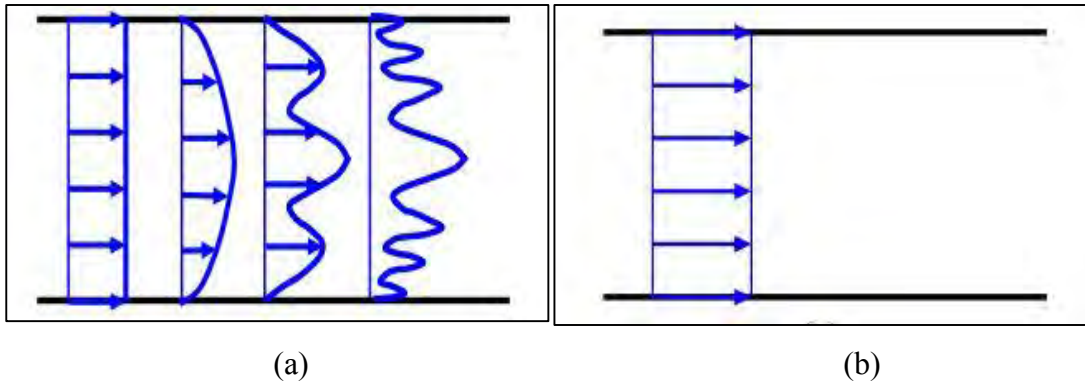
Rajah 1.2: Keputusan yang dijangka daripada simulasi

BAB 2

KAJIAN LITERATUR

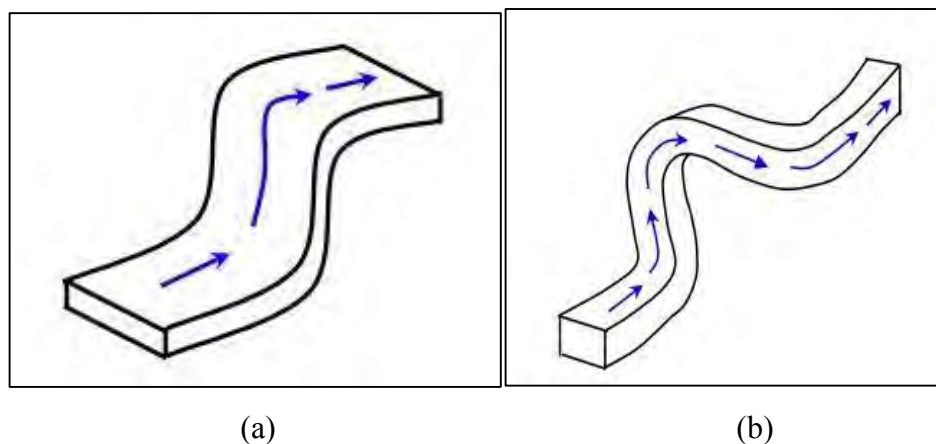
2.1 GELOMBANG BERPANDU

Gelombang berpandu merupakan salah satu kaedah yang terkini dalam melakukan ujian tanpa musnah (NDT). Gelombang berpandu adalah sejenis gelombang yang merambat di mana gelombang yang dikenakan dipandu di dalam plat besi, saluran paip, rusuk bangunan dan konkrit (Joseph L. & Rose 2004). Apabila gelombang ini melalui bahantara yang tidak mempunyai sempadan atau mempunyai rentetan tak terhingga, ia dikenali sebagai gelombang bebas. Apabila homogen, isotropic, bahanantara yang elastik ia tak terhingga, sebagai contohnya, plat atau silinder, pembolehubah mekanikal dikenakan pada sempadannya, seperti kekangan tegasan atau terikan, pekara ini akan menyebabkan gelombang akan terpantul pada sempadannya, dan sering menghasilkan perubahan pada jenis gelombang dan arah gelombang (Royer & Dieulesaint 2000). Gelombang berorientasikan sebegini dikenali sebagai gelombang berpandu. Perbezaan ciri-ciri gelombang satu dimensi yang ideal dan gelombang berpandu pada plat ditunjukkan secara grafik pada rajah 2.1.



Rajah 2.1: Gambar skematik menunjukkan (a) gelombang ideal satu dimensi dan (b) gelombang berpandu pada plat (sumber dari Auld 1990)

Andaian dibuat untuk perambatan gelombang satu dimensi, kebiasaanya ia digunakan untuk teknik pantulan permukaan konvensional yang digunakan untuk pengawalan kualiti, seperti ujian sambutan dedenyut atau hentaman echo (Helsin Wang 2004). Halaju ideal bagi gelombang satu dimensi adalah tetap. Pengagihan sesaran dalam arah perambatan adalah seragam, keadaan sempadan gelombang tidak akan menjejaskan bentuknya. Walau bagaimanapun, fungsi frekuensi, keadaan geometri struktur dan keadaan sempadan merupakan halaju untuk gelombang berpandu (Helsin,W. 2004). Pengagihan sesaran merentasi struktur merupakan gabungan pelbagai jenis bentuk gelombang berikutan daripada pantulan gelombang pengembangan dan gelombang melintang pada sempadannya (Graff & Redwood 1960). Oleh yang demikian, untuk bentuk bahantara yang lebih spesifik berdasarkan keadaan sempadan yang telah diberi, halaju gelombang berpandu adalah fungsi bagi frekuensi, dan ia diserakan (Helsin, W. 2004).



Rajah 2.2: Sistem panduan dalam gelombang berpandu: (a) dua dimensi dan (b) tiga dimensi (sumber dari Auld 1990)

Selain daripada itu, penjelasan ringkas mengenai gelombang berpandu boleh didapati didalam elektromagnetisme. Seperti yang ditunjukkan dalam rajah 2.2, gelombang berpandu boleh dibayangkan sebagai aliran tenaga di sepanjang arah panduan konfigurasi atau gelombang berpandu dua atau tiga dimensi sistem panduan tanpa pengecilan geometri (Helsin, W. 2004). Sifat gelombang dalam sistem panduan boleh diubah, tetapi arahnya akan terhad disepanjang sistem panduan (Auld 1990).

Pada masa kini, pemeriksaan jarak jauh pada paip, konkrit, dan plat besi dengan menggunakan gelombang berpandu telah menarik perhatian kerana kaedah ini sebahagian besarnya akan mengurangkan masa untuk pemeriksaan dan kos melakukan pemeriksaan berbanding dengan kaedah yang biasa dimana pemeriksaan perlu dilakukan pada setiap titik dalam rangkaian saluran paip (Joseph, L.& Rose 2004). Selain itu juga, gelombang berpandu ini membolehkan pemeriksaan dilakukan pada kawasan yang tidak boleh diakses (Anthony & Guo 2014), sebagai contohnya sekiranya ingin mengetahui panjang konkrit bertetulang yang ditanam di dalam tanah, dengan menggunakan gelombang berpandu ia akan merambat ke dalam struktur konkrit dan daripada itu data mengenai panjang konkrit yang tertanam dapat dikenal pasti. Konsep asas untuk gelombang berpandu adalah komponen struktur dengan ciri-ciri geometri dan mekanikal yang tidak berubah sepanjang satu atau lebih dimensi (gelombang berpandu), boleh digunakan