

PENYIASATAN PERAMBATAN GELOMBANG AKUSTIK
TERHADAP STRUKTUR KONKRIT BERTETULANG
DENGAN BATU BAUR TERTANAM

ZAIM ZAKWAN BIN MOHAMAD

UNIVERSITI TEKNIKAL MALAYSIA MELAKA

ZAIM ZAKWAN MOHAMAD SARJANA MUDA KEJ. MEKANIKAL (LOJI & PENYENGARAAN) 2015 UTeM

PENGESAHAN PENYELIA

“Saya akui bahawa 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 & Penyenggaraan).”

Tandatangan :

Penyelia : Dr. Ruztamreen Bin Jenal

Tarikh :

**PENYIASATAN PERAMBATAN GELOMBANG AKUSTIK PADA
STRUKTUR KONKRIT BERTETULANG DENGAN BATU BAUR
TERTANAM**

ZAIM ZAKWAN BIN MOHAMAD

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

**Fakulti Kejuruteraan Mekanikal
Universiti Teknikal Malaysia Melaka**

JUN 2015

PENGAKUAN

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

Tandatangan :

Nama penulis : Zaim Zakwan Mohamad

Tarikh :

DEDIKASI

Khas buat
Ibubapa dan Keluarga tersayang

PENGHARGAAN

Assalamualaikum W.B.T

Syukur Alhamdulillah dengan segala limpah kurnia dan izin dari Allah S.W.T, dapat jua saya menyiapkan Laporan Projek Sarjana Muda ini dengan jayanya mengikut masa yang telah ditetapkan. Ribuan terima kasih yang tidak terhingga kepada pensyarah, penasihat juga penyelia utama saya Dr, Ruztamreen bin Jenal, di Unversiti Teknikal Malaysia Melaka (UTeM), kerana telah banyak memberi sokongan, bantuan dan juga nasihat dalam penyediaan Laporan Projek Sarjana Muda I dan II ini.

Terima kasih juga kepada Dr. Nor Salim bin Muhammad yang telah banyak menyumbangkan idea-idea kreatif dan kritis serta bimbingan penuh kepada saya dalam perlaksanaan konsep-konsep yang telah diguna pakai bagi menjayakan juga menyiapkan pembinaan projek ini. Tidak lupa juga, ribuan terima kasih saya ucapkan kepada ibubapa saya, Pn Hj Hayati Binti Hj Jaafar dan Tn. Hj Mohamad bin Hj Bulan juga seluruh ahli keluarga saya kerana sentiasa memberi sokongan, bimbingan, galakan dan dorongan tanpa mengenal erti jemu sepanjang penyediaan laporan ini. Juga kepada rakan-rakan seperjuangan, Mohamad Fais bin Mohamed Zamri dan Asahar bin Anuar, yang telah terlibat dalam penyumbangan tenaga, idea dan sokongan bagi membantu menjayakan projek ini.

Akhir sekali, jutaan terima kasih kepada Fakulti Kejuruteraan Mekanikal UTeM, di atas komitmen dan kerjasama yang diberikan kepada saya sepanjang projek ini diusahakan.

Sekian, Terima Kasih.

ABSTRAK

Industri pembinaan secara amnya bergantung kepada struktur konkrit dan cerucuk yang menjadi asas tunjang pengukuhan terhadap sesuatu bangunan. Kekuatan asas cerucuk dibantu oleh kehadiran batu baur tertanam. Kaedah ujian pengawalan kualiti terhadap asas cerucuk dan konkrit seperti ujian tanpa musnah berasaskan perambatan gelombang berfrekuensi rendah masih belum diterokai secara meluas. Kajian yang dijalankan ini digunakan untuk mengetahui lebih lanjut terhadap kesan kehadiran batu baur tertanam. Objektif kajian ini adalah pembelajaran tentang asas perambatan gelombang berpandu yang dikenakan terhadap plat konkrit bertetulang dengan menentukan kesannya pada konkrit yang diperkukuh dengan batu baur. Melalui teknik perambatan gelombang juga akan digunakan bagi mengukur jarak bagi sesuatu struktur konkrit. Gelombang berpandu merambat pada jarak yang jauh menjadi suatu kepentingan kepada industri dalam pengujian struktur yang besar. Penggunaan gelombang berpandu pada struktur konkrit melalui kaedah simulasi menggunakan perisian Abaqus digunakan bagi membuat permodelan serta analisis. Dua model asas bagi struktur plat konkrit dua dimensi diuji sebagai asas kepada struktur cerucuk konkrit bertetulang dengan mengenakan beban terhadapnya. Jarak konkrit dan kesan terhadap kehadiran batu baur dapat ditentukan melalui persamaan halaju gelombang. Perbandingan antara jarak kedua-dua model plat konkrit dan pengiraan jarak adalah berdasarkan daripada graf sesaran dan masa yang dihasilkan.

ABSTRACT

The construction industry in general depends on concrete structures and pile on which the cord reinforcement of a building. The strength of pile foundation is assisted by the presence of aggregates are embedded. Quality control testing methods for pile foundation and concrete as non-destructive testing based on low-frequency wave propagation widely untapped. The study is used to find out more about the effect of the presence of aggregates are embedded. The objective of this study is learning about the fundamental wave arrives controls imposed on reinforced concrete plate with a decisive impact on reinforced concrete aggregates. Wave propagation techniques will also be used to measure the distance of a concrete structure. Guided waves propagate over long distances to be an interest in the industry in testing large structures. The use of guided wave in concrete structures by means of simulations using Abaqus software used for creating modelling and analysis. Two basic models for two-dimensional structures of concrete plates were tested as the basis for reinforced concrete pile structure by applying a load thereto. Distance concrete and the effect of the presence of aggregates can be determined by the velocity of the wave equation. A comparison between the two models of the concrete plate and the distance calculation is based on the graphs produced displacement against time.

ISI KANDUNGAN

PENGAKUAN	iii
DEDIKASI	iv
PENGHARGAAN	v
ABSTRAK	vi
ISI KANDUNGAN	viii
SENARAI JADUAL	xi
SENARAI RAJAH	xi
SENARAI SIMBOL	xiv
BAB I	1
1.0 PENGENALAN	1
1.1 Latar Belakang Projek.....	1
1.2 Penyataan Masalah.....	3
1.3 Objektif Kajian.....	4
1.4 Skop Kajian.....	4
1.5 Keputusan Dijangka.....	5
1.6 Rangka Keseluruhan Kandungan.....	5
BAB II	6
2.0 KAJIAN ILMIAH	6
2.1 Ujian Ultrasonik.....	6
2.1.1 Spektrum Bunyi	7
2.1.2 Aplikasi Gelombang Ultrasonik.....	9

2.1.3 Perambatan Gelombang Berpandu.....	10
2.1.3.1 Jenis Gelombang	10
2.1.4 Aplikasi Gelombang Berpandu	17
2.1.4.1 Kesan Pembengkokkan Pada Paip	17
2.1.4.2 Aplikasi Pada Paip Dan Kereta Api	19
2.2 Struktur Konkrit	20
2.2.1 Kadar Kekuatan Dari Konkrit	20
2.2.2 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Kekuatan Konkrit.....	20
2.2.3 Faktor Yang Mempengaruhi Campuran Konkrit Dan Keluli	22
2.2.4 Pengesanan Retak.....	23
2.3 Batu Baur	23
2.4 Kesimpulan	24
BAB III.....	25
3.0 METODOLOGI	25
3.1 Pengenalan	25
3.2 Carta Alir	26
3.3 Carta Gantt	26
3.1 Susur Galur Projek.....	30
3.4.1 Model Plat Konkrit.....	30
3.4.2 Gelombang <i>Sine Envelope</i>	31
3.5 Pengiraan.....	31
3.5.1 Spesimen 1	33
3.5.2 Spesimen 2	34
3.6 Butiran Model	35

3.7 Penghasilan Model Plat Konkrit	35
3.7.1 Penetapan Bahan	35
3.7.2 Lukisan Plat Konkrit	36
3.7.3 <i>Meshing</i>	37
3.7.4 Daya Yang Dikenakan	39
3.8 Kesimpulan	40
BAB IV	41
4.0 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	41
4.1 Pengenalan	41
4.2 Keputusan Analisis	41
4.2.1 Analisis Spesimen 1	42
4.2.2 Analisis Graf Spesimen 1	45
4.2.3 Analisis Spesimen 2	49
4.2.4 Analisis Graf Spesimen 2	52
4.3 Perbincangan	56
4.4 Kesimpulan	56
BAB V	58
5.0 KESIMPULAN DAN CADANGAN	58
5.1 Kesimpulan	58
5.2 Cadangan	59
RUJUKAN	60
PENUTUP	64
SEKALUNG BUDI	65

Senarai Jadual

JADUAL	TAJUK	MUKA SURAT
2.1	Jadual 2.1: Spektrum Bunyi	8
3.1	Jadual 3.1 : Carta Gantt PSM I	28
3.2	Jadual 3.2 : Carta Gantt PSM II	28
3.3	Butiran model untuk kedua-dua spesimen	35

Senarai Rajah

RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
1.1	Perbezaan diantara konsep Ujian Ultrasonik Konvensional dan Ujian Ultrasonik Gelombang Berpandu.	3
1.2	Peralatan Ujian Ultrasonik Jarak Jauh	9
2.1	Gelombang Membujur	11
2.2	Gelombang Sekunder	12
2.3	Gelombang <i>Rayleigh</i>	13
2.4	Arah gerakan elips yang terhasil berdasarkan arah perambatan permukaan	14
2.5	Gelombang <i>Love</i>	14
2.6	Gelombang <i>Lamb</i> mod simetri dan tidak simetri	16
2.7	Penerangan model geometri	18
2.8	Contoh aplikasi cincin transduser	18
2.9	Isyarat assimetrik	19

2.10	Kekuatan mampatan simen	22
3.1	Carta Aliran Perancangan dan Aktiviti	27
3.2	Plat model untuk spesimen 1 yang berukuran 500mm × 200mm	30
3.3	Plat model untuk spesimen 2 yang berukuran 1000mm × 500mm.	30
3.4	Gambarajah gelombang <i>sine envelope</i>	31
3.5	Lukisan campuran konkrit-batu baur ditengah-tengah permukaan plat	36
3.6	Spesimen 1	36
3.7	Spesimen 2	37
3.8	Struktur plat konkrit apabila selesai proses <i>meshing</i> .	37
3.9	Spesimen 1 menggunakan saiz <i>meshing</i> sebesar 1mm.	38
3.10	Spesimen 2 menggunakan saiz <i>meshing</i> sebesar 2mm.	38
3.11	Arah daya yang dikenakan terhadap model plat konkrit.	39
4.1	Arah daya yang dikenakan terhadap model plat konkrit.	42
4.2	Simulasi terhadap plat konkrit dengan batu baur tertanam pada 37 μ s.	43
4.3	Kesan daripada kehadiran batu baur tertanam.	43
4.4	Kesan pantulan gelombang kedua yang terpantul ketika bertemu titik C pada sela masa 107 μ s.	44
4.5	Perambatan gelombang berpandu yang ditunjukkan setelah melengkap satu kitaran penuh.	45
4.6	Bacaan graf bagi satu kitaran penuh pergerakan gelombang berpandu.	45
4.7	Perubahan pada graf yang berlaku pada sela masa 40 μ s akibat perubahan struktur bahan.	46

4.8	Jarak diantara titik B dan titik C yang menunjukkan kedudukan taburan batu baur pada plat konkrit.	47
4.9	Pergerakan yang terhasil pada simulasi terhadap plat konkrit, pada sela masa 170 μ s.	48
4.10	Gelombang berpandu mengalami pantulan semula pada sela masa 210 μ s.	49
4.11	Arah perambatan gelombang berpandu setelah dikenakan beban pada titik A.	49
4.12	Pantulan gelombang pertama merentasi titik B 35 μ s.	50
4.13	Kesan kehadiran batu baur tertanam menghasilkan tindak balas terhadap perambatan gelombang berpandu.	51
4.14	Pantulan gelombang kedua yang berlaku apabila gelombang melalui titik C pada plat konkrit.	51
4.15	Kitaran lengkap bagi perambatan gelombang berpandu terhadap plat konkrit bertetulang.	52
4.16	Bacaan graf bagi satu kitaran penuh gelombang berpandu.	53
4.17	Bacaan graf pantulan gelombang pertama pada sela masa 62 μ s yang mengalami perubahan sifat bahan pada titik B.	54
4.18	Bacaan graf pantulan gelombang kedua pada sela masa 350 μ s.	55
4.19	Bacaan graf pantulan gelombang pada titik D pada sela masa 416 μ s.	56

Senarai Simbol

λ	=	Panjang Gelombang
f	=	Frekuensi
L	=	Kitaran
Δx	=	Saiz <i>Mesh</i>
t	=	Masa
s	=	Saat
μ	=	Milli
Hz	=	Hertz
N	=	Newton
E	=	Modulus Keanjalan
γ	=	Nisbah <i>Poisson</i>
δ	=	Ketumpatan
m	=	Meter

BAB I

PENGENALAN

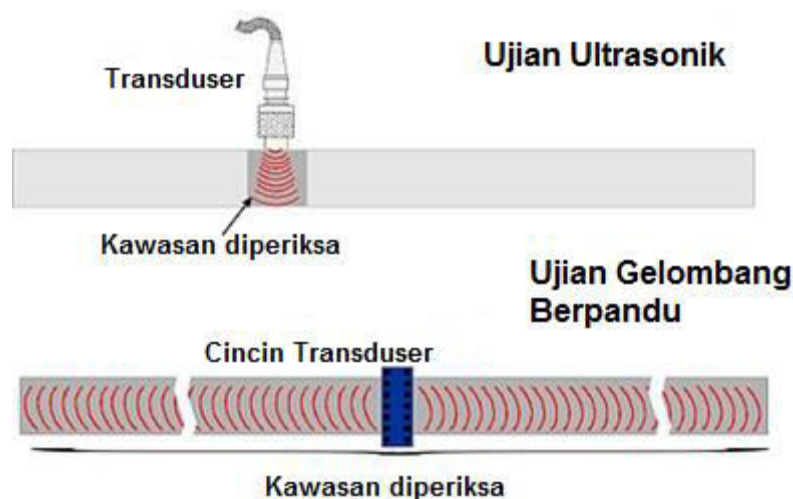
1.1 LATAR BELAKANG PROJEK

Tujuan utama kajian ini dijalankan adalah untuk mengkaji perambatan gelombang akustik di dalam struktur konkrit yang diperkukuh dengan batu baur terbenam di dalam infrastruktur awam dan asas cerucuk. Kajian melalui teknik perambatan gelombang berpandu semakin digunakan pada masa kini, seperti pemeriksaan untuk kakisan atau kecacatan lain pada plat, saluran paip, kereta api dan lain-lain, terutama untuk saluran paip dalam industri petrokimia (Løvstad & Cawley, 2011). Teknik gelombang berpandu mempunyai banyak kelebihan dan salah satu kelebihan utamanya adalah bahawa ia membolehkan pemeriksaan jarak jauh terhadap saluran paip (Løvstad & Cawley, 2011).

Oleh yang demikian, terdapat banyak kajian yang telah dilakukan tentang gelombang berpandu terhadap plat dan paip oleh para penyelidik seperti (Løvstad & Cawley, 2011), (Soua, Raude, & Gan, 2009), (Demma, Cawley, Lowe, & Pavlakovic, 2005), (Predoi & Petre, 2013), (Davies & Cawley, 2009), (M. N. Salim, 2013). Menurut Demma, Cawley, Lowe, & Pavlakovic, 2005, mereka mengaplikasikan kaedah gelombang berpandu ini untuk menguji kesan bengkok pada paip. Ujian gelombang berpandu juga dikenali sebagai Ujian Ultrasonik Gelombang Berpandu (GWUT) atau Ujian Ultrasonik Jarak Jauh (LRUT).

Ujian Ultrasonik Jarak Jauh (LRUT) ini merupakan teknologi yang telah dibangunkan di Eropah sepanjang dekad yang lalu dan bertujuan untuk mencari aplikasi baru yang berpotensi di seluruh tenaga, loji proses, pengangkutan dan industri kejuruteraan (Chiraz Ennaceur, 2008). Ia merupakan teknik ujian tanpa musnah yang mempunyai potensi untuk memeriksa struktur kejuruteraan yang merangkumi beratus-ratus meter dari lokasi ujian tunggal (Chiraz Ennaceur, 2008).

Teknik ini memberi perlindungan pemeriksaan 100% di dalam perkhidmatan dan mempunyai keupayaan untuk memeriksa kawasan tidak boleh diakses (Chiraz Ennaceur, 2008). Ia juga membolehkan pemeriksaan tanpa membuang penebat atau lapisan, kecuali di lokasi transduser sekali gus mengurangkan kos untuk mendapatkan akses, seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1.1 di bawah. Jika dibandingkan dengan Ujian Ultrasonik Konvensional, secara asasnya adalah sangat berbeza. Frekuensi ultrasonik yang digunakan oleh Ujian Ultrasonik Gelombang Berpandu adalah berubah-ubah, kebiasaannya diantara 20 ~ 100 kHz (Chiraz Ennaceur, 2008). Frekuensi yang lebih tinggi boleh digunakan dalam kes-kes tertentu, akan tetapi jarak pengesanan semakin berkurangan (Løvstad & Cawley, 2011). Selain itu, Ujian Ultrasonik Gelombang Berpandu mempunyai peluang yang lebih tinggi untuk mengesan kakisan dan karatan setempat berbanding dengan Ujian Ultrasonik Konvensional kerana liputannya meningkat (Løvstad & Cawley, 2011).



Rajah 1.1 Gambaran ini menerangkan tentang perbezaan diantara konsep Ujian Ultrasonik Konvensional dan Ujian Ultrasonik Gelombang Berpandu (Chiraz Ennaceur, 2008).

Ujian Ultrasonik Jarak Jauh (LRUT) menggunakan gelombang frekuensi rendah. Menggunakan jumlah kekuatan frekuensi yang boleh didengari, gelombang disebarkan dari cincin transduser di sekeliling paip itu seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1.2. Frekuensi rendah ini adalah perlu untuk membolehkan mod gelombang yang sesuai untuk dihasilkan (Desai et al., 2011). Walau bagaimanapun, teknik perambatan gelombang berpandu ini masih belum dikaji secara meluas oleh ramai penyelidik untuk infrastruktur awam.



Rajah 1.2 Peralatan Ujian Ultrasonik Jarak Jauh (Desai et al., 2011).

Dalam Ujian Ultrasonik Jarak Jauh tanpa musnah, penggunaan pemodelan boleh digunakan untuk meramalkan pilihan terbaik daripada keadaan kajian (Soua, Raude, & Gan, 2009). Kajian ini menggunakan perisian simulasi *Simulia ABAQUS*.

1.2 PENYATAAN MASALAH

Teknik gelombang berpandu mempunyai rekod prestasi yang baik dalam pemeriksaan tanpa musnah, yang pada dasarnya digunakan dalam saluran paip petrokimia bagi mengelak kegagalan. Gelombang berpandu boleh menyebarkan dalam jarak jauh dan mencerminkan gema objek apabila mengesan apa-apa kecacatan.

Walau bagaimanapun, teknik ini masih tidak digunakan secara meluas oleh ramai penyelidik untuk infrastruktur awam. Jadi, kita gunakannya untuk mengkaji tingkah laku mod gelombang yang berbeza dalam struktur konkrit yang mempunyai batu baur tertanam dalam infrastruktur awam dan asas cerucuk. Tingkah laku perambatan gelombang berpandukan berbeza kerana geometri dan ketebalan struktur. Pemahaman yang baik terhadap tingkah laku gelombang petunjuk adalah perlu untuk memulakan pemeriksaan gelombang petunjuk. Perisian simulasi *Simulia ABAQUS* akan digunakan untuk mensimulasi dan menganalisis perambatan gelombang berpandu di dalam struktur konkrit.

1.3 OBJEKTIF KAJIAN

Bagi mencapai objektif untuk kajian ini, kami meneliti beberapa perkara seperti berikut :

- i. Untuk menentukan kesan batu baur pada perambatan gelombang yang dipandu dalam struktur konkrit bertetulang.
- ii. Untuk menentukan panjang konkrit yang tertanam di dalam tanah.

1.4 SKOP KAJIAN

Bagi mencapai objektif kajian ini, kami perlu membuat analisis terhadap model plat konkrit dengan cara :

- i. Merekabentuk model struktur konkrit dengan batu baur terbenam.
- ii. Menganalisis dan mensimulasi dengan menggunakan perisian *Simulia ABAQUS*.

1.5 KEPUTUSAN DIJANGKA

Menerusi kajian yang dilakukan ini, kehadiran batu baur yang tertanam di dalam struktur konkrit dijangka memberikan kesan terhadap perambatan gelombang berpandu yang dikenakan. Kekuatan daya yang dikenakan akan berkurangan apabila ia merambat dikawasan struktur campuran konkrit dan batu baur, yang seterusnya akan mengganggu bacaan graf yang akan dihasilkan.

1.6 RANGKA KESELURUHAN KANDUNGAN

Bab satu ini telah membincangkan secara jelasnya mengenai asas perambatan gelombang akustik bertetulang. Disamping itu, dilampirkan juga pernyataan masalah, objektif kajian dan skop kajian. Secara keseluruhannya, bab ini telah memberikan gambaran tentang kajian yang akan dilakukan ini. Pada bab kedua pula, kajian ilmiah dilakukan mengenai ujian tanpa musnah, perambatan gelombang berpandu dan perambatan gelombang elastik.

Bab ketiga menerangkan secara terperinci tentang langkah-langkah membuat lukisan dua dimensi yang digunakan untuk mencapai objektif kajian. Bab keempat akan menerangkan tentang keputusan yang bakal diperolehi daripada analisis dan simulasi yang dilakukan menerusi perisian *Simulia ABAQUS*. Ia juga meliputi perbincangan, manakala bab terakhir pula kesimpulan yang diperolehi daripada kajian yang telah dijalankan.

BAB II

KAJIAN ILMIAH

2.1 UJIAN ULTRASONIK

Ujian Ultrasonik telah digunapakai sejak lebih daripada 40 tahun yang lalu (Partner & Quality, n.d.). Berdasarkan pemeriksaannya yang pertama dengan menggunakan ayunan ultrasonik untuk mengesan kecacatan dalam bahan-bahan yang berbeza, ia telah menjadi satu kaedah ujian klasik berdasarkan ukuran dengan mengambil kira semua faktor-faktor penting yang boleh mempengaruhi keputusannya (Partner & Quality, n.d.). Pada masa kini, ujian ultrasonik, telah disokong oleh kemajuan besar dengan peralatan yang berteknologi dan mampu memberikan keputusan ujian dalam had terima yang lebih kecil (Partner & Quality, n.d.).

Prinsip ultrasonik adalah berdasarkan kepada fakta bahawa bahan pepejal adalah konduktor yang baik bagi gelombang bunyi (Partner & Quality, n.d.). Manakala berlakunya gelombang bukan sahaja dimuka tetapi juga disebabkan oleh kelemahan dalaman (pemisahan bahan, benda dan lain-lain) (Partner & Quality, n.d.). Persamaan 2.1 di bawah digunakan untuk mendapatkan panjang gelombang.

$$\lambda = \frac{V}{f} \quad (2.1)$$

V = Halaju bunyi [km/s]

f = Frekuensi [MHz]

λ = Panjang gelombang [mm]

2.1.1 Spektrum bunyi

Bunyi adalah suatu perubahan dalam tekanan, tekanan, sesaran zarah dan halaju zarah, yang dibiakkan di dalam bahan elastik (Eugene A. Avallone, 1987). Ia bergerak secara membujur di dalam gas tetapi juga mungkin melintang (ricih) pada permukaan atau jenis lain dalam media elastik yang boleh menyokong tenaga tersebut (Eugene A. Avallone, 1987). Ia mungkin digambarkan, dibiakkan atau digambarkan di sempadan dan di bawah keadaan yang sesuai boleh diubah dari satu bentuk ke bentuk lain (Eugene A. Avallone, 1987). Dalam gelombang membujur, molekul bergerak dalam arah gerakan gelombang, yang mungkin berbentuk satah atau bulat bergantung kepada sumber (Eugene A. Avallone, 1987). Secara umum, kelajuan bunyi, V dalam medium dengan ketumpatan jisim, ρ adalah fungsi sifat kenyal (Eugene A. Avallone, 1987). Menurut persamaan 2.2 di bawah, E ialah modulus *Young* untuk sifat-sifat elastik di dalam pepejal.

$$V = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2.2)$$

Frekuensi bunyi adalah jumlah tempoh kitaran yang berlaku dalam unit masa, kebiasaanya dinyatakan sebagai kitaran per saat (kps) atau kadang-kadang *hertz* (Hz); kilo kitaran sesaat, kc = 10^3 kps; mega kitaran sesaat, Mc = 10^6 kps (Eugene A. Avallone, 1987).

Frekuensi bunyi biasanya ditakrifkan sebagai 20 hingga 20,000 Hz (boleh didengar), lebih tinggi (ultrasonik) dan rendah (infrasonik) (Eugene A. Avallone, 1987). Kekerapan setinggi mega-ribu-kitaran sesaat (10^9 Hz) kini sedang dihasilkan (Eugene A. Avallone, 1987). Rujuk Jadual 2.1 dibawah.

Jadual 2.1 Spektrum bunyi (Eugene A. Avallone, 1987)

Frekuensi	Aksi / Perilaku
20 - 40 Hz	Guruh
128 Hz	Purata pertuturan (lelaki)
250 - 2740 Hz	Jalur lebar telefon
90 - 5000 Hz	Siaran radio
15 kps - 15×10^3 Hz	Purata had pendengaran manusia
10×10^3 - 90×10^3 Hz	Pembersihan ultrasonik
15×10^3 - 50×10^3 Hz	Ultrasonik bunyi mendalam, sonar
20×10^3 Hz	Ultrasonik penggera kecurian, alat kawalan, bukaan pintu
30×10^3 Hz	Kekerapan tertinggi diperolehi oleh geseran
40×10^3 Hz	Kekerapan tertinggi daripada penjana <i>Hartmann</i>
48×10^3 Hz	Jeritan kelawar
90×10^3 Hz	Had atas talaan garpu
100×10^3 Hz	Kekerapan tertinggi wisel <i>Galton</i>
500×10^3 - $15,000 \times 10^3$ Hz	Ujian ultrasonik nadi-gema
$1,000 \times 10^3$ Hz	Terapi perubatan
$1,500 \times 10^3$ - $30,000 \times 10^3$ Hz	Penanguhan garisan ultrasonik
$15,000 \times 10^3$ Hz	Jurulatih radar