

PENGGUNAAN UJIAN TANPA MUSNAH
KE ATAS STRUKTUR KAYU

Oleh

Tan Poh Soon

Disertasi ini dikemukakan kepada

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat keperluan
untuk ijazah dengan kepujian

SARJANA MUDA KEJURUTERAAN (KEJURUTERAAN AWAM)

Pusat Pengajian Kejuruteraan Awam

Universiti Sains Malaysia

Mac 2004

ABSTRAK

Ujian tanpa musnah umpamanya ujian tukul pantulan dan ujian halaju denyutan ultrabunyi digunakan untuk mengkaji kesesuaian ujian-ujian tersebut dapat dijalankan terhadap struktur kayu. Dua jenis kayu daripada kumpulan S.G (*strength group*) yang berlainan telah dipilih daripada *Table 3* dalam MS 544: Part 2: 2001, “*Code Of Practice For Structural Use Of Timber: Part 2: Permissible Stress Design Of Solid Timber*”, Malaysian Standard untuk dijadikan kajian. Lima sampel kayu daripada setiap jenis kayu itu disediakan bagi mendapatkan nilai purata dan membuat perbandingan terhadap kedua-dua ujian tersebut. Kesan kandungan lembapan terhadap kedua-dua ujian tersebut yang terdapat dalam kayu diukur daripada setiap sampel kayu yang telah digunakan dalam ujikaji. Nombor Rebound yang diperoleh dalam arah serenjang dengan ira kayu adalah lebih tinggi daripada Nombor Rebound yang diperoleh dalam arah selari dengan ira kayu dan nilai Nombor Rebound meningkat dengan peningkatan kekuatan kayu yang diuji. Halaju denyutan dalam arah selari dengan ira kayu adalah lebih laju daripada halaju denyutan dalam arah serenjang dengan ira kayu dan halaju denyutan meningkat dengan peningkatan kekuatan kayu yang diuji. Halaju denyutan selari dengan ira kayu mempunyai kolerasi yang baik dengan kekuatan mampatan yang selari dengan ira kayu bagi kedua-dua jenis kayu. Nombor Rebound yang diperoleh pada arah serenjang ira kayu mempunyai kolerasi yang baik dengan kekuatan mampatan yang selari dengan ira kayu. Kombinasi maklumat daripada ujian tukul pantulan dan ujian halaju denyutan ultrabunyi yang lebih teliti diperlukan untuk menjangka kekuatan mampatan yang selari dengan ira kayu.

ABSTRACT

The Non-Destructive Testing (NDT) methods such as rebound hammer and ultrasonic pulse velocity technique are used to study the suitability of these NDT methods to assess the structural integrity of timber elements. Two types of timber with different strength were selected from Table 3: Strength groups of timber in MS 544: Part 2: 2001, “*Code of Practice for Structural Use of Timber: Part 2: Permissible Stress Design of Solid Timber*”, Malaysian Standard to be assessed. Five samples from each type of timber were prepared to obtain the mean value of each test and to differentiate between both tests. Moisture content in each sample of timber was measured throughout both tests which been carried out. Rebound number across the grain is bigger than rebound number along the grain for both types of timber. The value of rebound number increased with the increasing of the strength of tested timber. Ultrasonic pulse velocity along the grain is faster than ultrasonic pulse velocity across the grain for both types of timber. Ultrasonic pulse velocity also increased with the increasing of the strength of tested timber. Ultrasonic pulse velocity along the grain gave a good correlation with compression strength parallel to grain for both types of timber. Rebound Number across the grain gave a good correlation with compression strength parallel to grain. The combination of detail information from rebound hammer and ultrasonic pulse velocity is required to predict the compression strength parallel to grain of timber.

PENGHARGAAN

Terlebih dahulu izinkan saya bersyukur kepada Tuhan kerana limpah kurniaNya dapat saya menyiapkan projek tahun akhir saya yang bertajuk “Penggunaan Ujian Tanpa Musnah Ke Atas Struktur Kayu “. Pelbagai dugaan serta rintangan dapat saya harungi tanpa sebarang masalah terutamanya projek saya yang keseluruhannya melibatkan kerja makmal. Justeru itu, ia memerlukan bantuan serta tunjuk ajar daripada pelbagai pihak bagi menjayakannya.

Setinggi-tinggi penghargaan saya ucapkan kepada penyelia saya, Dr. Badorul Hisham B. Abu Bakar yang memberi idea untuk melakukan projek ini di samping memberi tunjur ajar serta membimbing saya dalam menjayakan projek tahun akhir ini. Tidak lupa juga kepada Dr. Choong Kok Keong dan Ir Mohd Shukari Midon, dari Forest Research Institute Malaysia (FRIM), Kepong yang secara tidak langsung memberi maklumat dan membantu saya menyelesaikan masalah yang saya hadapi semasa melakukan projek ini. Selain itu, penghargaan saya juga ditujukan kepada pembantu-pembantu teknikal iaitu Encik Taib, Encik Aliyuddin, Encik Hanif dan Encik Halim yang membantu saya menjayakan projek ini.

Ribuan terima kasih saya ucapkan kepada rakan seperjuangan saya, saudara Lee Pen In yang sentiasa memberi pendapat dan berkongsi idea. Tidak lupa juga kepada sahabat-sahabat saya, saudara Khor Chun Hoong, saudari Wong Bee Ling dan rakan-rakan lain yang telah banyak membantu menjayakan projek ini. Akhir sekali kepada ayah, ibu dan ahli-ahli keluarga saya yang tidak leka mendoakan kejayaan saya. Jutaan penghargaan kepada semua.0

KANDUNGAN

	Muka Surat
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
PENGHARGAAN	iii
KANDUNGAN	iv - vi
SENARAI JADUAL	vii - x
SENARAI RAJAH	xi - xiv
BAB 1 PENGENALAN	
1.1 Umum	1
1.2 Pernyataan Masalah Kajian	2
1.3 Objektif Kajian	3
1.4 Kepentingan Kajian	3 - 4
1.5 Skop Kajian	4
BAB 2 KAJIAN LITERATUR	
2.1 Pengenalan	5
2.2 Anatomi Kayu	5 - 6
2.2.1 Definisi	6 - 7
2.2.2 Pengelasan Kayu	7 - 9
2.2.2.1 Kayu Sebagai Bahan Mentah Industri	10
2.2.2.2 Kayu Sebagai Komponen Struktur	11 - 13
2.2.3 Kegunaan Kayu Sebagai Bahan Binaan	14 - 15
2.3 Ujian Tanpa Musnah	16
2.3.1 Teknik-teknik NDT	17
2.3.1.1 Kaedah Gelombang Tegasan (<i>Stress Wave Method</i>)	17 - 18
2.3.1.2 Teknik Ultrasonik (<i>Ultrasonic Techniques</i>)	18 - 19

2.3.1.3	Pancaran Akustik & Ultrasonik Akustik <i>Acoustic Emission, Acoustic Ultrasonic</i>	19 - 20
2.3.1.4	Rintangan Gerudi (<i>Drill Resistance</i>)	20 - 21
2.3.1.5	Tarikan Skru (<i>Screw Withdrawal</i>)	21
2.3.1.6	Kaedah 'Pilodyn' (<i>Pilodyn Method</i>)	21 - 22
2.3.1.7	Teknik Sinar-X (<i>X-ray Technique</i>)	22
2.3.1.8	Kaedah Isotop (<i>Isotope Method</i>)	22 - 23
2.3.2	Penyelidikan-penyelidikan yang Berkaitan	23 - 26

BAB 3 METODOLOGI KAJIAN

3.1	Pengenalan	27
3.2	Ujian Halaju Denyutan Ultrabunyi	27 - 28
3.2.1	Radas dan Bahan	28 - 29
3.2.2	Prosedur Ujikaji	29 - 30
3.3	Ujian Tukul Pantulan	31
3.3.1	Radas dan Bahan	31 - 33
3.3.2	Prosedur Ujikaji	33 - 35
3.4	Ujian Mampatan	35
3.4.1	Radas dan Bahan	35 - 37
3.4.2	Prosedur Ujikaji	37 - 38
3.5	Ujian Kandungan Lembapan	38 - 40

BAB 4 KEPUTUSAN UJIKAJI, ANALISIS DATA

& PERBINCANGAN

4.1	Pengenalan	41
4.2	Keputusan Ujikaji	41 - 45
4.3	Analisis Data	46 - 53
4.4	Perbincangan	54 - 57

BAB 5 CADANGAN & KESIMPULAN

5.1	Masalah-masalah yang dihadapi	58 - 59
-----	-------------------------------	---------

5.2 Cadangan memperbaiki kajian	59 - 60
5.3 Kesimpulan	60 - 61
SENARAI RUJUKAN	62 - 63
SENARAI LAMPIRAN	
Lampiran A	64 - 80
Lampiran B	81 - 102
Lampiran C	103 - 113

SENARAI JADUAL

Jadual	Muka Surat
2.1 Kumpulan kekuatan kayu	9
2.2 Jenis kayu dan kegunaannya dalam struktur	15
4.1 Keputusan bagi ujikaji-ujikaji yang dijalankan ke atas kayu mengkulang (selari dengan ira)	42
4.2 Keputusan bagi ujikaji-ujikaji yang dijalankan ke atas kayu mengkulang (serenjang dengan ira)	43
4.3 Keputusan bagi ujikaji-ujikaji yang dijalankan ke atas kayu kempas (selari dengan ira)	44
4.4 Keputusan bagi ujikaji-ujikaji yang dijalankan ke atas kayu kempas (serenjang dengan ira)	45
A1 Keputusan Ujian Tukul Pantulan bagi kayu mengkulang (selari dengan ira)	65
A2 Keputusan Ujian Tukul Pantulan bagi kayu mengkulang (serenjang dengan ira)	66
A3 Keputusan Ujian Halaju Denyutan Ultrabunyi bagi kayu mengkulang (selari dan serenjang dengan ira)	67
A4 Keputusan ujikaji kandungan lembapan bagi Ujian Tukul Pantulan	68
A5 Keputusan ujikaji kandungan lembapan bagi Ujian Halaju Denyutan Ultrabunyi	69
A6 Keputusan ujikaji kandungan lembapan bagi Ujian Mampatan (selari dengan ira)	70

A7	Keputusan ujikaji kandungan lembapan bagi Ujian Mampatan (serenjang dengan ira)	71
A8	Keputusan ujikaji ketumpatan bagi kayu mengkulang	72
A9	Keputusan Ujian Tukul Pantulan bagi kayu kempas (selari dengan ira)	73
A10	Keputusan Ujian Tukul Pantulan bagi kayu kempas (serenjang dengan ira)	74
A11	Keputusan Ujian Halaju Denyutan Ultrabunyi bagi kayu kempas (selari dan serenjang dengan ira)	75
A12	Keputusan ujikaji kandungan lembapan bagi Ujian Tukul Pantulan	76
A13	Keputusan ujikaji kandungan lembapan bagi Ujian Halaju Denyutan Ultrabunyi	77
A14	Keputusan ujikaji kandungan lembapan bagi Ujian Mampatan (selari dengan ira)	78
A15	Keputusan ujikaji kandungan lembapan bagi Ujian Mampatan (serenjang dengan ira)	79
A16	Keputusan ujikaji ketumpatan bagi kayu kempas	80
B1	Keputusan ujian mampatan bagi kayu mengkulang yang serenjang dengan ira (Sampel 1)	82
B2	Keputusan ujian mampatan bagi kayu mengkulang yang serenjang dengan ira (Sampel 2)	83
B3	Keputusan ujian mampatan bagi kayu mengkulang yang serenjang dengan ira (Sampel 3)	84
B4	Keputusan ujian mampatan bagi kayu mengkulang yang	

	serenjang dengan ira (Sampel 4)	85
B5	Keputusan ujian mampatan bagi kayu mengkulang yang serenjang dengan ira (Sampel 5)	86
B6	Keputusan ujian mampatan bagi kayu kempas yang serenjang dengan ira (Sampel 1)	87
B7	Keputusan ujian mampatan bagi kayu kempas yang serenjang dengan ira (Sampel 2)	88
B8	Keputusan ujian mampatan bagi kayu kempas yang serenjang dengan ira (Sampel 3)	89
B9	Keputusan ujian mampatan bagi kayu kempas yang serenjang dengan ira (Sampel 4)	90
B10	Keputusan ujian mampatan bagi kayu kempas yang serenjang dengan ira (Sampel 5)	91
B11	Keputusan ujian mampatan bagi kayu mengkulang yang selari dengan ira (Sampel 1)	92
B12	Keputusan ujian mampatan bagi kayu mengkulang yang selari dengan ira (Sampel 2)	93 – 94
B13	Keputusan ujian mampatan bagi kayu mengkulang yang selari dengan ira (Sampel 3)	95
B14	Keputusan ujian mampatan bagi kayu mengkulang yang selari dengan ira (Sampel 4)	96
B15	Keputusan ujian mampatan bagi kayu mengkulang yang selari dengan ira (Sampel 5)	97
B16	Keputusan ujian mampatan bagi kayu kempas yang selari dengan ira (Sampel 1)	98

B17	Keputusan ujian mampatan bagi kayu kempas yang selari dengan ira (Sampel 2)	99
B18	Keputusan ujian mampatan bagi kayu kempas yang selari dengan ira (Sampel 3)	100
B19	Keputusan ujian mampatan bagi kayu kempas yang selari dengan ira (Sampel 4)	101
B20	Keputusan ujian mampatan bagi kayu kempas yang selari dengan ira (Sampel 5)	102

BAB 1

PENGENALAN

1.1 UMUM

Perkembangan manusia dari zaman kuno ke zaman kini yang berteknologi canggih menunjukkan manusia mempunyai hubungan yang intim dengan kayu. Hal ini adalah kerana manusia amat bergantung kepada kayu untuk hidup, tempat berteduh, senjata dan sebagainya. Semakin canggih teknologi yang dimiliki, semakin berbeza dan rumit penggunaan kayu kepada manusia. Walaupun terdapat banyak bahan dan produk baru telah diperkenalkan tetapi permintaan manusia di negara maju terhadap produk daripada kayu amat ketara dalam mengekalkan taraf hidup mereka yang tinggi.

Sumber semula jadi yang terdapat di dunia ini terdiri daripada sumber yang boleh diperbaharui dan sumber tidak boleh diperbaharui. Oleh sebab sumber semula jadi yang tidak boleh diperbaharui adalah terhad dan akan kehabisan suatu hari nanti, maka penggunaan sumber yang boleh diperbaharui menjadi semakin penting. Hal ini terbukti oleh kepelbagaian sifat yang terdapat pada kayu menyebabkannya kian memainkan peranan yang penting dalam memenuhi pelbagai jenis keperluan manusia apabila permintaan terhadap bekalan sumber tidak boleh diperbaharui dunia yang terhad meningkat dengan kritikal.

Apa jua jenis pokok yang matang merupakan sumber kepada struktur kayu. Pengguna yang menggunakan kayu seharusnya mempunyai pengetahuan tentang cara pertumbuhan dan sifat semula jadi yang terdapat pada pokok agar dapat memahami kelakuan elemen-elemen kayu yang digunakan, dalam pelbagai jenis keadaan, dalam bidang pembinaan.

1.2 PERNYATAAN MASALAH KAJIAN

Bangunan yang berstruktur asas kayu sudah jarang kelihatan lagi khususnya pada zaman moden yang mempraktikkan pembinaan yang cepat dan berkualiti seperti penggunaan konkrit dan keluli dalam kebanyakan pembinaan struktur bangunan. Justeru itu, bangunan yang berstruktur asas kayu yang masih tinggal lazimnya merupakan bangunan yang mempunyai warisan budaya dan bersejarah. Oleh yang demikian, bangunan-bangunan tersebut tidak boleh diroboh begitu sahaja apabila ia telah mencapai hayat reka bentuknya. Sebaliknya, bangunan-bangunan yang mempunyai nilai sejarah itu patut dikekalkan agar warisan yang bernilai dapat diwarisi turun-temurun.

Kerja penyelenggaraan perlu sentiasa dilakukan ke atas struktur bangunan-bangunan tersebut bagi mengelakkannya roboh atau tumbang setelah ia melampaui hayat reka bentuknya. Lantas itu, ujian-ujian yang bersesuaian perlu diaplikasi bagi menentukan kekuatan struktur bangunan-bangunan tersebut. Namun, ujian-ujian untuk menguji kekuatan struktur bangunan berasaskan kayu tidak dapat dilakukan secara *in-situ* jika dibandingkan dengan cara menguji kekuatan bangunan konkrit. Hal ini adalah disebabkan ujian-ujian untuk menguji kekuatan bangunan konkrit dapat dilakukan dengan alat-alat yang canggih, mudah alih dan secara *in-situ* dengan keputusan yang menyakinkan.

Sebaliknya, ujian-ujian untuk menguji kekuatan kayu hanya dapat dijalankan di dalam makmal. Ini bermakna bahagian-bahagian struktur kayu bagi sesebuah bangunan perlu dikerat dan dibawa ke makmal untuk analisis kekuatannya. Oleh yang demikian, kerja tersebut memakan masa, tidak praktikal dan memerlukan kerja penyelenggaraan. Justeru itu, pengaplikasian ujian-ujian menguji kekuatan konkrit secara *in-situ* pada struktur kayu perlu dikaji.

1.3 OBJEKTIF KAJIAN

Kajian yang dijalankan ini mempunyai objektif:-

- a. Mengkaji kesesuaian ujian tanpa musnah, yang biasanya digunakan untuk menguji kekuatan konkrit iaitu Ujian Tukul Pantulan dan Ujian Halaju Denyutan Ultrabunyi, dapat dijalankan ke atas struktur kayu bagi mengetahui kekuatannya dengan cepat dan tepat secara *in-situ*.
- b. Mengkaji sama ada terdapat kolerasi antara kayu dengan konkrit bagi ujian tanpa musnah yakni Ujian Tukul Pantulan dan Ujian Halaju Denyutan Ultrabunyi yang dijalankan ke atas struktur kayu.

1.4 KEPENTINGAN KAJIAN

Kepentingan kajian ini adalah untuk memastikan bahawa pengaplikasian kaedah ujian tanpa musnah, iaitu Ujian Tukul Pantulan dan Ujian Halaju Denyutan Ultrabunyi, dapat dilakukan ke atas struktur bangunan kayu. Justeru itu, ujian terhadap kekuatan struktur kayu dapat dijalankan secara *in-situ* dengan mudah, tepat dan keputusan yang menyakinkan.

Selain itu, kajian yang dijalankan ini juga akan memudahkan kerja-kerja menguji kekuatan struktur bangunan berasaskan kayu sekiranya keputusan kajian ini dapat membuktikan bahawa penggunaan kaedah ujian tanpa musnah ke atas struktur kayu adalah sesuai. Tambahan pula, ia akan menjimatkan masa kerja menguji kekuatan struktur kayu dengan penggunaan kaedah ujian tanpa musnah yang cepat dan tepat dalam memberi keputusan.

Penggunaan kaedah ujian tanpa musnah ke atas struktur kayu akan memudahkan kerja penyelenggaraan di mana struktur kayu pada sesebuah bahagian bangunan tidak perlu dikerat dan dihantar ke makmal untuk diuji. Hal ini akan

menjimatkan kos untuk kerja penyelenggaraan, kos pekerja dan kos bahan untuk tujuan tersebut.

1.5 SKOP KAJIAN

Topik bagi kajian ini iaitu Penggunaan Ujian Tanpa Musnah Ke Atas Struktur Kayu sebenarnya merangkumi skop kajian yang luas. Hal ini adalah kerana ujian tanpa musnah terdiri daripada pelbagai jenis kaedah atau teknik yang berlainan untuk menguji struktur kayu. Namun begitu, skop kajian ini hanya tertumpu kepada dua jenis teknik daripada ujian tanpa musnah untuk menguji struktur kayu iaitu Ujian Tukul Pantulan dan Ujian Halaju Denyutan Ultrabunyi.

Di samping itu, ujian mekanikal kayu seperti ujian mampatan, ujian lenturan, ujian tegangan dan sebagainya juga perlu dilakukan ke atas struktur kayu. Hal ini adalah bertujuan untuk mendapatkan parameter-parameter yang diperlukan bagi mengkaji kesesuaian teknik-teknik tersebut dapat dijalankan ke atas struktur kayu. Walaupun begitu, hanya ujian mampatan yang boleh dijalankan kerana parameter-parameter yang didapati daripada ujian yang lain kurang sesuai untuk digunakan. Hal ini adalah kerana kedua-dua ujian tanpa musnah tersebut mempunyai kaitan dengan kekuatan mampatan sampel yang diuji. Dalam pada itu, pelbagai jenis kayu boleh digunakan dan diuji dengan dua teknik tersebut dalam kajian ini. Justeru itu, keputusan yang diperolehi akan menyeluruh dan kerja perbandingan dapat dijalankan dengan mudah.

BAB 2

KAJIAN LITERATUR

2.1 PENGENALAN

Penggunaan kayu dalam pembinaan struktur bukanlah asing lagi di negara ini. Kalau dahulunya, hanya rumah-rumah tradisional sahaja yang menggunakan kayu sebagai bahan utama dalam pembinaannya tetapi sekarang sudah banyak struktur kayu digabungkan dalam pembinaan rumah-rumah mewah, hotel dan bangunan-bangunan pejabat. Ini adalah kerana kayu mempunyai ciri-ciri keaslian yang tersendiri dan permukaan ira yang menarik. Meskipun demikian, kayu yang digunakan dalam pembinaan adalah terhad dan lazimnya ia digunakan sebagai komponen struktur sahaja. Untuk mempopularkan kayu sebagai bahan yang utama bagi struktur, maka ciri-ciri tertentu bahan amatlah penting dan perlu diketahui. Pengetahuan sedemikian amat berguna kepada pengguna supaya pemilihan jenis yang sesuai lagi ekonomi dapat dibuat tanpa mengabaikan ciri-ciri keselamatan seperti kekuatan dan ketahananlasakan.^[1]

2.2 ANATOMI KAYU

Kebanyakan kayu dibentuk daripada sel-sel yang geronggang, memanjang dan berbentuk spindel (*spindle-shaped*) yang disusun selari di antara sel-sel di sepanjang batang pokok. Ciri-ciri dan susunan sel-sel bergentian inilah yang mempengaruhi sifat-sifat kekuatan, rintangan terhadap penyerapan air dan bahan kimia, rintangan terhadap pereputan dan pelbagai sifat pada pokok.^[2]

Kayu telah digunakan sebagai bahan yang efisien dan ekonomikal dalam bidang pembinaan dan juga industri pembuatan sejak turun-temurun lagi. Walaupun pelbagai

penyelidikan dan penambahbaikan teknologi kayu yang lazimnya dijalankan dalam peringkat rendah, namun kayu masih merupakan salah satu saingan kepada bahan mentah lain [Fleischer, 1971].^[3]

Dengan adanya kebolehubahan dan kebolehlenturan pada kayu, ia menjadikannya bahan yang luar biasa dan amat berguna dalam menghasilkan pelbagai jenis produk. Komposisi kayu yang terdiri daripada selulosa, hemiselulosa, lignin, bahan organik dan tak organik membolehkannya digunakan sebagai bahan mentah kepada pelbagai produk seperti kertas, bahan bangunan, bahan kimia, tenaga dan makanan [Doimo, 1984].^[4]

Kepelbagaian sifat yang terdapat pada kayu menyebabkannya kian memainkan peranan yang penting dalam memenuhi pelbagai jenis keperluan manusia. Hal ini menjadi lebih ketara apabila permintaan terhadap bekalan sumber tidak boleh diperbaharui dunia yang terhad meningkat dengan kritikal.

2.2.1 Definisi

Kayu adalah kompleks dan berubah-ubah. Kayu merupakan bahan yang tidak seragam kerana ia mengandungi pelbagai jenis bahan yang disusun dalam arah yang berbeza. Webster dan McKetchnie (1980) mendefinisikan kayu sebagai bahan bergentian keras yang wujud di bawah kulit kayu di bahagian batang, dahan dan ranting pokok ataupun lebih dikenali sebagai xilem. Kayu merupakan suatu bahan yang amat berguna dengan perubahan yang menakjubkan. Sifat-sifat kayu sentiasa berubah-ubah [Zobel et al., 1983]. Justeru itu, magnitud dan penyebab kepada perubahan tersebut perlu diketahui.^[5]

Bekalan sumber tidak boleh diperbaharui dunia yang terhad telah menyebabkan kenaikan harga pada sumber tersebut apabila ia menjadi semakin berkurangan tetapi permintaan terhadapnya tetap tinggi. Oleh yang demikian, penyelidikan sering

dijalankan untuk mengaplikasikan penggunaan kayu yang ekonomik yang lebih luas dalam penghasilan pelbagai jenis produk yang berasaskan kayu. Hal ini adalah kerana kayu bukan sahaja boleh diperbaharui tetapi ia juga mempunyai kebaikan tambahan iaitu penggunaan tenaga bersih yang rendah dalam penghasilannya.

2.2.2 Pengelasan Kayu ^[6]

Nama botani bagi tumbuh-tumbuhan yang tumbuh pada zahirnya memperoleh tisu bersel untuk pelepah yang baru semasa musim pertumbuhan ialah *exogens* dan pengelasan ini boleh dibahagikan kepada:

- I. *Angiosperms* atau *Dicotyledons* iaitu mempunyai dedaun yang lebar dan luruh pada musim luruh. Lazimnya, ia dikelaskan sebagai kayu keras (*hardwoods*).
- II. *Gymnosperms* atau *Conifers* iaitu mempunyai dedaun malar hijau berbentuk jarum dan lebar. Biasanya, ia dikelaskan sebagai kayu lampung (*softwoods*).

Pengelasan ini hanya berdasarkan aspek-aspek botani sesuatu pokok, bukan berdasarkan keras atau lampungnya kayu itu. Di samping itu, hubungan antara istilah kayu keras dan kayu lampung bagi satu spesis pokok tidak semestinya menunjukkan kaitan kekerasan ataupun ketumpatan. Fenomena ini memanifestasikan bahawa terdapat jenis-jenis kayu lampung yang sebenarnya lebih keras daripada beberapa jenis kayu keras, demikian juga sebaliknya. Contohnya, kayu balsa dikelaskan sebagai kayu keras tetapi teksturnya lembut dan senang dikerjakan; manakala kayu yew dikelaskan sebagai kayu lampung dengan ketumpatannya enam kali lebih tumpat daripada kayu balsa.

Kayu Lembut

Sel-sel yang dipanggil *tracheid*, memenuhi fungsi pengaliran (*conduction*) dan sokongan mekanik (*mechanical support*) dalam kayu lampung. Dalam dinding sel, pengaliran antara sel berlaku di kawasan telap iaitu *pits*. Kayu musim bunga (*springwood*) dengan rongga sel yang besar dan dinding sel yang nipis sedia membantu pengaliran manakala kayu musim panas (*summerwood*) dengan rongga sel yang kecil dan dinding sel yang tebal memberi sokongan mekanik.^[7]

Kayu Keras

Sel-sel yang dipanggil *vessel*, melaksanakan fungsi pengaliran dalam kayu keras dan sel-sel ini dikenali sebagai liang-liang dalam keratan rentas. Sel-sel *fibre* yang mempunyai dinding sel yang tebal bertanggungjawab membekalkan sokongan mekanik. Sel-sel yang menyediakan pengaliran dan sokongan mekanik berlaku dalam kayu lampung terutamanya kayu musim bunga dan kayu musim panas masing-masing. Sesetengah kayu keras juga menunjukkan perbezaan dalam pengagihan tisu pengaliran dan tisu sokongan pada masa yang berlainan dalam musim pertumbuhan. Walau bagaimanapun, kebanyakan kayu keras terutamanya kayu keras tropika, sel-sel *vessel* dan *fibre* diagih sama sepanjang tahun semasa pertumbuhan.^[8]

Pengelasan Kayu Mengikut Kekuatan

Untuk memudahkan pemilihan dan penggunaannya, kayu telah digredkan kepada kumpulan-kumpulan tertentu berdasarkan ciri-ciri utama kayu tersebut. Antara ciri-ciri yang diambil kira dalam pengeluaran ialah ketumpatan, kekuatan, kekerasan, keanjalan dan ketahananlasakan.

Kekuatan kayu di negara ini biasanya dikelaskan kepada empat kumpulan

utama iaitu kumpulan *A*, *B*, *C* dan *D* yang jenis-jenisnya ditunjukkan dalam Jadual 2.1.^[9]

Jadual 2.1: Kumpulan kekuatan kayu. (Sumber: Engku Abdul Rahman bin Cik, 1988. Basic and Grade Stresses for Strength Groups for Malaysian Timbers. Timber trade Leaflet No. 38, Institut Penyelidikan Perhutanan, Kuala Lumpur.).

Kumpulan A	Kumpulan B	Kumpulan C	Kumpulan D
Balau	Kapur	Bintangor	Damar
Balau merah	Keledang	Durian	Damar minyak
Bitis	Kulim	Gerutu	Geronggang
Cengal	Mengkulang	Kedondong	Jelutung
Giam	Merawan	Kungkur	Pulai
Kekatang	Merbau	Macang	Sesenduk
Kempas	Merpauh	Medang	Terentung
KerANJI	Minyak berok	Melantai	
Kerning	Lilin	Melunak	
Mata ulat	Perupuk	Mempisang	
Mempening	Punah	Meranti	
Mertas	Rengas	Mersawa	
Nyalas	Tembusu	Penarahan	
Penaga		Ranim	
Resak		Sepetir	
Tualang		Simpuh	
		Terap	

2.2.2.1 Kayu Sebagai Bahan Mentah Industri ^[10]

Sifat-sifat asas yang terdapat pada kayu menjadikan kebanyakan ciri-ciri kayu penting sebagai bahan mentah industri. Maka, penggunaan kayu adalah begitu luas dan berbeza. Penggunaan kayu boleh dikelaskan kepada beberapa kategori, iaitu (1) bahan api; (2) kertas dan pulpa, termasuk beberapa jenis produk seperti filamen selulosa dan filem, plastik serta bahan letupan; (3) bahan kimia; (4) struktur dan sebagainya.

Kayu merupakan suatu sumber tenaga yang penting. Bagi negara-negara yang kurang maju, kayu merupakan sumber domestik yang eksklusif seperti mana yang digunakan dalam industri haba (*industrial heat*). Selain itu, penggunaan kayu sebagai bahan mentah dalam menghasilkan kertas dan pulpa serta produk sampingannya juga penting kerana sehingga kini masih tidak terdapat bahan semula jadi yang dapat menggantikan kayu. Tambahan pula, permintaan terhadap produk kertas dan pulpa kian meningkat dalam masyarakat moden ini. Walaupun terdapat bahan sintetik yang ekonomi dapat digunakan, namun bahan tersebut masih tidak dapat menyaingi kayu sebagai sumber produk kertas dan pulpa.

Sehubungan itu, penggunaan kayu padu (*solid wood*) dalam bidang pembinaan, perabot, kontena, kabel penghantaran tenaga, pengangkutan dan lain-lain industri lagi telah memberi peluang dan cabaran yang hebat kepada penggunaannya. Pelbagai jenis bentuk dan saiz kayu boleh didapati dalam bentuk tiang (*pole*), cerucuk (*piling*), kayu gergaji (*lumber*), genting (*shingles*), venier (*veneer*), papan lapis (*plywood*) dan berbagai-bagai jenis produk kayu komposit (*wood-composition*).

Pada alaf berteknologi canggih, kayu menghadapi saingan yang sengit daripada bahan semula jadi yang lain dan bahan sintetik dalam menghasilkan produknya. Tetapi, ciri-ciri tertentu yang ada pada kayu menjadikannya ia bahan mentah yang tidak boleh diabaikan sepenuhnya dalam memenuhi permintaan masyarakat dunia.

2.2.2.2 Kayu Sebagai Komponen Struktur ^[11]

Secara amnya, penggunaan kayu adalah begitu luas terutamanya penggunaan kayu dalam bentuk padu (*solid form*) dalam bidang pembinaan. Ciri-ciri fizikal dan mekanikal yang terdapat pada kayu telah menjadikannya suatu bahan struktur yang serba guna iaitu pengaplikasiannya yang unik dan berbeza dalam bidang pembinaan.

Kayu dapat dipotong dan dibina kepada bermacam-macam bentuk dengan bantuan peralatan tangan yang mudah ataupun dengan '*power-driven machinery*'. Di samping itu, kayu boleh disambung dengan menggunakan paku, skru, kancing ataupun penyambung (*connectors*) di mana kerja penyambungan hanya memerlukan beberapa jenis peralatan yang mudah dan seterusnya menghasilkan sambungan yang kuat dan kukuh. Kayu juga boleh diikat bersama dengan menggunakan bahan pelekat (*adhesives*) seperti glu dan gam. Justeru itu, permukaan yang digam akan membekalkan kekuatan ricih yang sepenuhnya kepada kayu. Penggunaan glu dapat menggabungkan kayu dengan bahan lain seperti plastik atau logam untuk menghasilkan produk komposit yang dapat menunjukkan ciri-ciri bahan gabungan yang paling baik.

Walaupun kayu mengalami perubahan dimensi berikutan dengan perubahan kandungan lembapan, namun perubahan tersebut adalah tidak penting dalam arah yang selari dengan ira kayu. Sebaliknya, masalah yang timbul ialah perubahan dimensi dalam arah yang berserenjang dengan ira kayu. Oleh yang demikian, kayu perlu dikeringkan kepada purata kandungan lembapan yang sepatutnya agar ia tidak mengalami perubahan semasa perkhidmatannya. Selain itu, penstabilan kayu juga boleh dilakukan dengan pembentukan papan lapis, iaitu sifat pengecutan dan pengembangan setiap lapis menjadi minimum dan lebih kurang sama dalam dua arah utama.

Perubahan dimensi boleh berlaku akibat daripada peningkatan suhu. Tetapi, perubahan tersebut adalah kurang penting dalam pembinaan yang menggunakan kayu

berbanding dengan penggunaan logam sebagai komponen struktur. Hal ini adalah kerana kayu mengembang banyak atau lebih berbanding dengan logam pada arah serenjang dengan ira. Sebaliknya, kayu hanya mengembang sedikit dalam arah memanjang dan inilah perkara yang sangat penting dalam pembinaan. Dalam pada itu, penambahan dimensi pada kayu berikutan dengan peningkatan suhu adalah sentiasa berada pada tahap yang seimbang dengan pengecutan yang disebabkan oleh pengeringan dan ia juga adalah sepadan dengan peningkatan kekuatan. Namun, komponen struktur logam yang tidak mempunyai kesanimbangan tersebut akan mengembang dan hilang kekuatannya secara progresif apabila dipanaskan.

Kayu merupakan bahan yang mudah terbakar dan ia akan hilang kekuatannya secara perlahan-lahan dalam keadaan terbakar. Sekiranya suatu struktur kayu yang dibina daripada kayu padat (*heavy timber*), ia akan membekalkan satu elemen keselamatan semasa kebakaran yang jarang dimiliki oleh kebanyakan bahan binaan. Kayu mempunyai sifat penebat apabila terdedah kepada api secara berterusan. Hal ini adalah kerana arang yang terbentuk merupakan bahan penebat haba (*heat-insulating*) yang baik. Dengan itu, ahli-ahli bomba sempat menyelamatkan mangsa sebelum bangunan roboh jika kebakaran berlaku di bangunan yang diperbuat daripada kayu. Di samping itu, bangunan yang diperbuat daripada kayu juga senang diperbaiki berbanding dengan struktur bangunan yang diperbuat daripada bahan binaan lain.

Kayu mempunyai ketahanan (*durable*) yang tinggi sekiranya kayu digunakan dalam keadaan tanpa kehadiran agensi pemusnah kayu (*wood-destroying agencies*). Kebanyakan kayu boleh kekal berabad-abad lamanya jika ia dilindungi daripada kelembapan dan serangan serangga. Namun, pereputan dan serangan serangga pada kayu adalah tidak dapat dielakkan sepanjang perkhidmatannya. Oleh yang demikian, suntikan bahan awet yang sesuai boleh dilakukan untuk menambah ketahanan kayu.

Kayu merupakan bahan yang tidak kakis. Hal ini adalah kerana jujuk-jujuk utama kayu adalah lengai terhadap tindakan kebanyakan bahan kimia. Justeru itu, kebanyakan industri mengaplikasikan penggunaan kayu kerana kayu mempunyai rintangan terhadap tindakan menghancurkan oleh bahan kimia dan juga kakisan. Selain itu, pembentukan struktur bergentian dan kuantiti air yang terperangkap dalam kayu menjadikannya bersifat penebat yang baik. Kayu juga merupakan pengkonduksi yang lemah apabila ia berkeadaan agak kering.

Kehadiran dinding sel yang semula jadi dan seterusnya membentuk satu sistem tiub dinding nipis membolehkan kayu memiliki sifat kebolehlenturan yang baik. Kebolehlenturan yang tinggi pada kayu adalah amat berguna sebagai anggota struktur seperti rasuk. Di samping itu, kayu juga merupakan medium penyerap tenaga yang baik di mana ia dapat menyerap sekurang-kurangnya 9 kali tenaga berbanding keluli. Ia merupakan bahan yang sesuai digunakan untuk membina lantai yang menanggung beban. Struktur kayu boleh direkabentuk untuk menanggung sebanyak 2 kali beban hentaman apabila ia berada dalam keadaan bebanan statik. Sebaliknya, tiada beban tambahan boleh dikenakan dalam keadaan yang sama bagi keluli dan konkrit. Oleh yang demikian, struktur kayu dianggap mempunyai kebaikan mekanikal dan ekonomi dalam merintang gempur bumi.

Sehubungan itu, kayu juga mempunyai ciri-ciri mengundur getaran (*vibration-damping*) yang baik yang tidak dimiliki oleh keluli. Dalam pada itu, kecantikan dan keunikan corak pada permukaan kayu adalah hasil daripada perubahan air, tekstur dan corak warna yang tidak terhad.

2.2.3 Kegunaan Kayu Sebagai Bahan Binaan ^[12]

Lazimnya, kayu boleh digunakan untuk tujuan-tujuan berikut:

- (i) Anggota struktur yang ringan dalam struktur kekal: contohnya ialah sebagai rasuk, tiang, rangka bangunan, bumbung kayu, lantai, pintu, tingkap dan lain-lain.
- (ii) Pembinaan berat seperti kekuda bumbung berat, cerucuk, jambatan, jeti dan lain-lain.
- (iii) Untuk tujuan hiasan seperti dinding sekat, perhiasan sebelah dalam bangunan, perabot dan para-para.
- (iv) Struktur sementara seperti acuan konkrit, peranca, tupang, pagar dan sebagainya.
- (v) Pembinaan alat-alat pengangkutan: misalnya untuk membina kapal, perahu, sampan, jeti, gerabak dan landasan keretapi.
- (vi) Perusahaan berasaskan kayu: seperti perusahaan membuat papan lapis, kayu lapis, papan keras dan lembut, dan banyak lagi keluaran kayu boleh dihasilkan.

Walau bagaimanapun, beberapa faktor perlu diambil kira terhadap kegunaan kayu sebelum membuat sebarang pemilihan. Harga kayu di pasaran, keperluan reka bentuk dan kekuatan struktur binaan merupakan antara beberapa faktor yang mempengaruhi penggunaannya. Kayu cengal misalnya, telah dikenal pasti mempunyai mutu dan kekuatan yang tinggi. Namun demikian, kayu ini adalah mahal dan jarang digunakan untuk struktur-struktur berat seperti kegunaan jambatan, kapal, pelapik, landasan keretapi dan ada juga yang menggunakannya sebagai struktur tiang dalam pembinaan rumah. Terdapat juga kayu dari jenis lain, tetapi berada dalam kumpulan yang sama digunakan sebagai gantinya. Meskipun mempunyai ciri ketahananlasakan yang berbeza, namun pemilihannya tetap memenuhi keperluan kekuatan struktur binaan. Antara jenis-jenis kayu untuk struktur berat ialah balau, bitis, keruing, giam dan resak yang juga

termasuk dalam kumpulan A (dari Jadual 2.1). Jadual 2.2 memberikan contoh-contoh penggunaan kayu tempatan dalam struktur binaan, khususnya pembinaan bangunan.

Jadual 2.2: Jenis kayu dan kegunaannya dalam struktur. (Sumber: Mahyuddin Ramli, 1992).

Komponen struktur	Jenis-jenis kayu yang digunakan
Tiang, rasuk, gelegar, kasau, bumbung	Balau, balau merah, giam, kapur, kempas, keruing, kulim, meranti merah, meranti putih, resak, perupuk tualang, nyatuh, kasai, kelar, punah, simpuh, tembusu, medang, merawan
Bingkai pintu dan tingkap	Durian, kapur, kedondong, kelat, keledang, keruing, kulim, mengkulang, meranti merah, meranti putih, meranti kuning, merawan, mersawa, nyatuh, perupok, punah, ramin, sepetir, simpuh
Tangga	Kapur, keledang, keruing, melunak, mengkulang, ramin, simpuh, meranti, merawan, nyatuh
Kemasan lantai	Keledang, kempas, keranji, melunak, mempising, mengkulang, meranti merah, merawan, merbau, perupuk, ramin, balau merah, tembusu, tualang
Lantai ringan, sekatan, siling	Bintangor, durian, geranggan, macang, medang, mempising, mengkulang, meranti merah, meranti putih, meranti kuning, merawan, mersawa, nyatuh, ramin, sepetir, terap, terentang
Cerucuk	Kempas, keruing, kulim, mengkulang, mertas, merpauh, punah, simpuh.

2.3 UJIAN TANPA MUSNAH ^[13]

Ujian Tanpa Musnah ataupun *Nondestructive Testing*, *NDT* merupakan satu kaedah untuk mengenal pasti ciri-ciri fizikal dan mekanikal umpamanya kecacatan yang terdapat pada suatu bahan atau struktur tanpa mengubah keupayaan penggunaannya.

Semua kaedah NDT lazimnya menggunakan perambatan tenaga melalui atau mengelilingi suatu bahan untuk mendapatkan ciri-ciri yang penting mengenai spesimen yang diuji. Tenaga tersebut boleh dihasilkan daripada pembebanan statik atau dinamik; ia juga boleh dijanakan daripada elektromagnet atau gelombang elastik. Ciri-ciri yang kerap kali menjadi minat adalah geometri atau orientasi spesimen; keutuhan keseluruhan spesimen seperti kekuatan; ciri-ciri tempatan seperti lokasi dan saiz permukaan ataupun kecacatan dalaman.

Sehubungan itu, penilaian terhadap suatu bahan yang bergantung pada pengaplikasian teknik-teknik NDT adalah bertujuan untuk memperoleh maklumat yang tepat berkenaan dengan ciri-ciri, prestasi ataupun keadaan bahan tersebut. Komuniti produk kayu telah mula memajukan dan mengaplikasikan teknik-teknik NDT secara eksklusif bagi mengasingkan atau menggeddakan produk struktur sejak dahulu lagi. Justeru itu, keperluan teknik-teknik NDT untuk digunakan dalam penilaian struktur kayu juga telah wujud. Keperluan ini kian berkembang kerana terdapat peningkatan amaun perbelanjaan bagi memperbaiki dan memulihkan struktur sumber-sumber yang telah wujud daripada pembinaan semula sumber-sumber tersebut. Lantas itu, semakin banyak perbelanjaan yang digunakan untuk memperbaiki sumber-sumber, semakin meningkat penekanan terhadap penilaian struktur secara *in situ*. Oleh yang demikian, hal ini menyebabkan permintaan terhadap teknik-teknik NDT yang tepat dan berkos efektif meningkat.

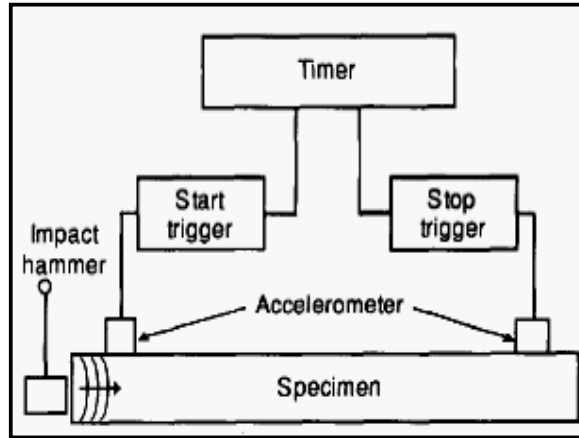
2.3.1 Teknik-teknik NDT ^[14]

Pengaplikasian teknik-teknik NDT dalam penilaian anggota struktur kayu secara *in situ* kian dikembangkan. Tambahan pula, terdapat juga beberapa jenis teknik yang diperkenalkan dapat memberikan maklumat yang tepat. Teknik-teknik NDT yang biasanya digunakan dalam penilaian anggota struktur kayu secara *in situ* ialah:

- i. Kaedah Gelombang Tegasan (*Stress Wave Method*)
- ii. Teknik Ultrasonik (*Ultrasonic Techniques*)
- iii. Pancaran Akustik & Ultrasonik Akustik (*Acoustic Emission & Acoustic Ultrasonic*)
- iv. Rintangan Gerudi (*Drill Resistance*)
- v. Tarikan Skru (*Screw Withdrawal*)
- vi. Kaedah 'Pilodyn' (*Pilodyn Method*)
- vii. Teknik Sinar-X (*X-ray Technique*)
- viii. Kaedah Isotop (*Isotope Method*)
- ix. Teknik Lenturan Statik (*Static Bending Techniques*)
- x. Teknik Getaran Melintang (*Transverse Vibration Techniques*)

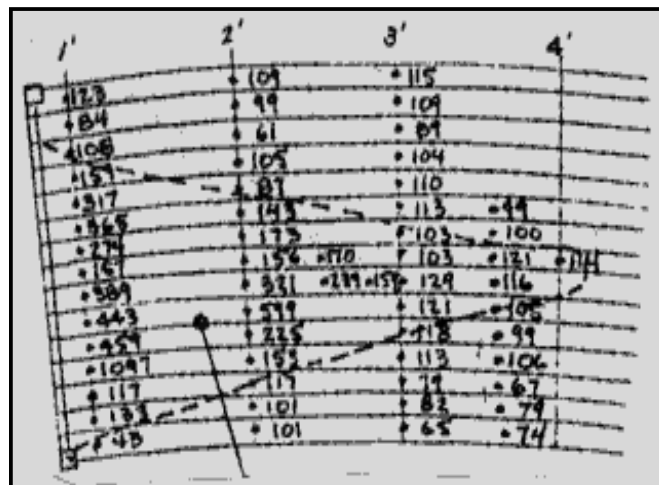
2.3.1.1 Kaedah Gelombang Tegasan (*Stress Wave Method*)

Kaedah ini berasaskan kepada kelajuan bunyi dengan kadar yang lemah (*attenuation*) atau gabungan dengan faktor lain yang bergantung kepada kuantiti yang sama dalam menentukan kekuatan dan kekerasan kayu. Secara praktis, gelombang mampatan akan dijanakan dalam suatu bahan dengan mengetuknya dengan tukul. Kelajuan gelombang mampatan dapat dikira daripada masa perjalanan, t (*transit time*) antara dua transduser dengan mengetahui jarak di antara dua transduser itu ($c = s/t$).



Rajah 2.1: Teknik mengukur kelajuan perambatan gelombang tegasan (*stress wave*) akibat hentaman teraruh (*impact-induced*).

Selain itu, kaedah gelombang tegasan yang bergabung dengan teknik grid digunakan untuk menaksir bahagian pereputan yang berlaku pada gerbang berlamina [R.J. Hoyle et al 1978]. Kelajuan bunyi nyata sekali lebih rendah pada bahagian yang reput berbanding kayu yang tidak rosak.

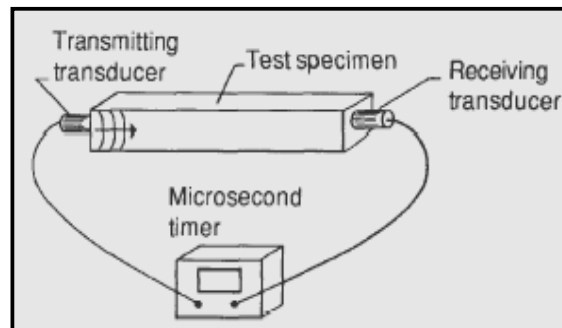


Rajah 2.2: Pemetaan tipikal bagi pereputan dalam kayu.

2.3.1.2 Teknik Ultrasonik (*Ultrasonic Techniques*)

Ultrabunyi (*ultrasound*) merupakan bunyi pada frekuensi yang amat tinggi iaitu berada dalam julat frekuensi yang tidak dapat didengar. Frekuensi bagi kayu adalah di antara

20 kHz – 500 kHz. Dua kaedah yang paling biasa digunakan ialah kaedah *through transmission* dan kaedah *pulse-echo* [A.Kent, 1978]. Kaedah *through transmission* memerlukan dua piezoelektrik transduser manakala hanya satu transduser digunakan sahaja. Bagi pengukuran in situ di mana pencapaian dua permukaan adalah terhad, maka kaedah *pulse-echo* adalah kaedah yang paling sesuai digunakan [V.C. Kaerly, 1985].



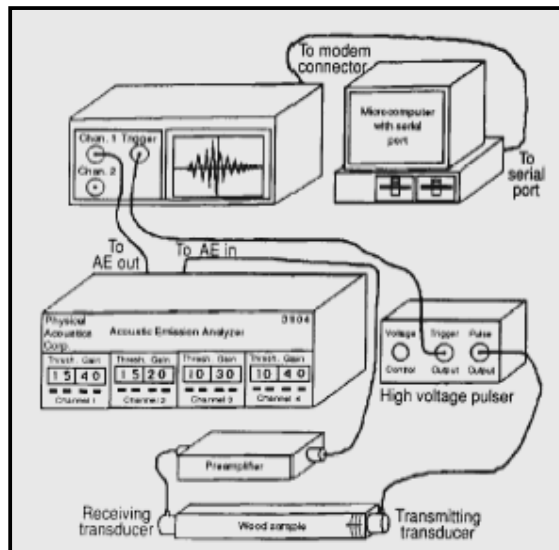
Rajah 2.3: Kaedah *through transmission*.

Ultrabunyi dipengaruhi oleh beberapa faktor persekitaran dan ciri-ciri pada kayu. Halaju ultrabunyi akan meningkat apabila kandungan lembapan dalam kayu berkurang. Ia juga sensitif terhadap arah iri [K.A. McDonald, 1978]. Halaju ultrabunyi di sepanjang iri adalah tiga kali lebih laju daripada halaju ultrabunyi merentangi iri dalam kayu pejal.

2.3.1.3 Pancaran Akustik & Ultrasonik Akustik (*Acoustic Emission & Acoustic Ultrasonic*)

Kayu akan mengeluarkan bunyi apabila tegasan dikenakan padanya. Asas teknik *Acoustic Emission* (AE) ialah mengesan bunyi tersebut dengan piezoelektrik transduser yang dirangkaikan pada permukaan bahan dan pemprosesan isyarat selanjutnya akan mendedahkan kejadian yang terjadi dalam kayu atau panel. Teknik *Acoustic Ultrasonic*

(AU) adalah gabungan teknik *Acoustic Emission* dan kaedah ultrasonik. Kaedah AU menyuntik gelombang tegasan ke dalam bahan yang tidak ditegaskan dan perambatan isyarat akan diterima oleh sensor AE.

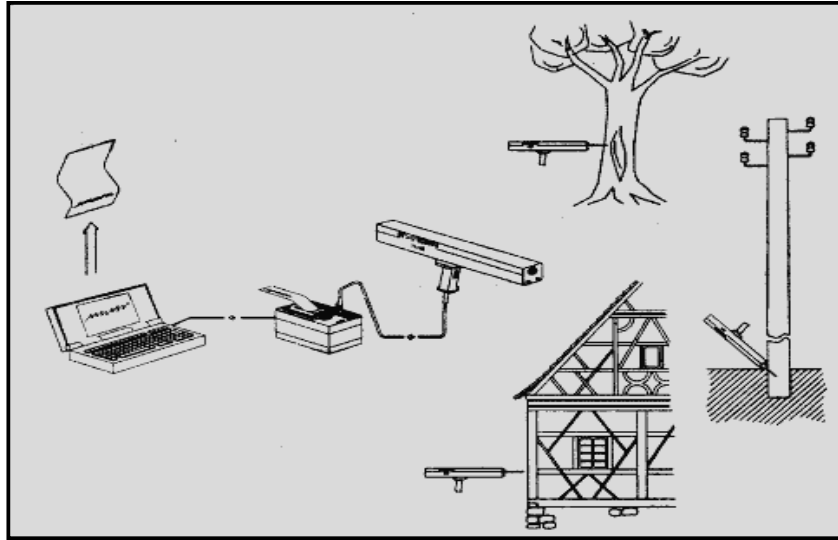


Rajah 2.4: Radas bagi ultrasonik akustik.

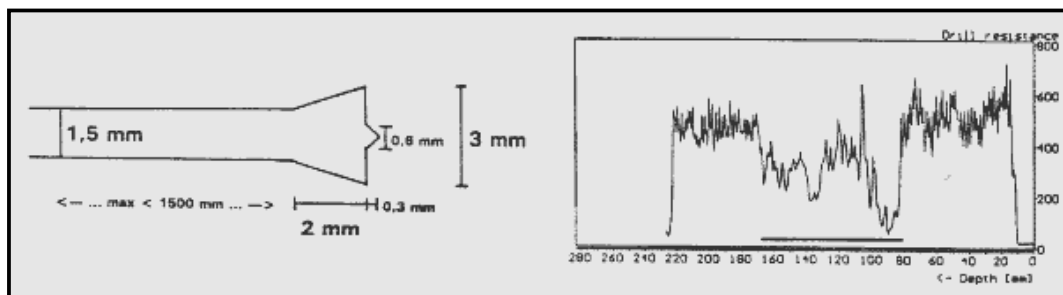
2.3.1.4 Rintangan Gerudi (*Drill Resistance*)

Kaedah ini adalah berasaskan kepada rintangan bagi penusukan diameter gerudi yang kecil ke dalam bahan tersebut pada kelajuan malar berhubung kait dengan ketumpatan. Satu alat baru yang berdasarkan idea tersebut dipanggil “Resistograph” digunakan untuk mengukur rintangan gerudi yang dihasilkan oleh jarum penggerudi kecil yang berdiameter antara 1.5 mm dan 3 mm seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.5.

Bentuk jarum adalah seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.6. Hal ini adalah kerana penusukan yang mendalam tidak akan mempengaruhi penggunaan tenaga gerudi akibat geseran. Penusukan maksimum gerudi ialah 100 cm.



Rajah 2.5: Kaedah rintangan gerudi dengan “Resistograph”.



Rajah 2.6: Bentuk jarum dan tipikal plot profil ketumpatan.

2.3.1.5 Tarikan Skru (*Screw Withdrawal*)

Teknik tarikan skru adalah berdasarkan kepada daya yang diperlukan untuk menarik skru daripada kayu yang mempunyai hubung kait dengan ketumpatan dan kekuatan lenturan bagi bahan tersebut. Kaedah ini digunakan dengan luas untuk penilaian struktur kayu dan penyalut layu lapis.

2.3.1.6 Kaedah ‘Pilodyn’ (*Pilodyn Method*)

Operasi alat “Pilodyn” adalah berasaskan kepada penembakan satu pin yang tumpul ke dalam kayu dengan tenaga yang telah dilaras sebelumnya, maka ketumpatan atau tahap

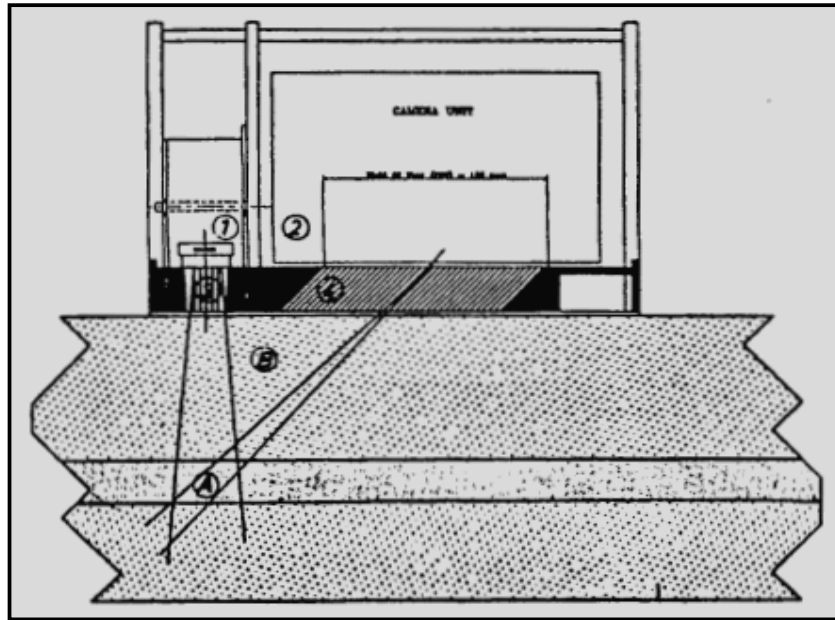
pereputan dalam kayu dapat ditaksir berdasarkan penusukan pin tersebut [P. Hoffmayer, 1978]. Spesies kayu yang berbeza mempunyai ketumpatan yang berlainan dan ia memerlukan tenaga spring yang berbeza. Kelemahan kaedah ini ialah ia hanya dapat mengukur sifat-sifat yang terdapat pada permukaan bahan.

2.3.1.7 Teknik Sinar-X (*X-ray Technique*)

Teknik sinar-X digunakan untuk mengukur ketumpatan kayu. Kecacatan pada kayu akan mengubah ketumpatan kayu dengan banyak, maka perubahan ketara pada penyerapan sinar-X senang dikesan. Penggunaan teknik ini adalah luas seperti menggrekkan kayu keras, pemeriksaan tiang dan sebagainya.

2.3.1.8 Kaedah Isotop (*Isotope Method*)

Terdapat beberapa jenis isotop yang menunjukkan sinaran secara spontan, contohnya sinar-g yang dipancarkan oleh Am 241 lazimnya digunakan sebagai sumber sinaran dalam industri produk perhutanan. Keamatan sinaran berubah apabila ia dipancar melepasi suatu bahan. Amaun sinaran yang diserap bergantung kepada ketebalan dan ketumpatan objek. “Radiological density scanner” mudah alih atau RDS *probe* digunakan untuk merealisasikan kaedah tersebut secara praktik [Bo Madsen, 1994]. Ia boleh menaksir profil ketumpatan bagi anggota kayu yang terbina dalam (*built in*) dengan mengukur sinar-g yang dipantulkan pada pengesan sensitif. Keamatan sinar yang dipantulkan sekadar dengan ketumpatan bagi lapisan tertentu. Program komputer diaplikasi untuk mengira taburan ketumpatan pada keseluruhan keratan rentas anggota. Alat tersebut sesuai digunakan dalam menaksir kadar pereputan dalam elemen bangunan. Taburan ketumpatan bagi rasuk yang tersembunyi di bawah lantai juga dapat diukur.



Rajah 2.7: Prinsip penggunaan RDS *probe*: (1) sumber gamma; (2) kamera; (3)-(4) *collimators*; (A) pengukuran isipadu; (B) lapisan lembap.

2.3.2 Penyelidikan-penyelidikan yang Berkaitan ^[15]

T. Shaji, S. Somayaji dan M. S. Mathews [1994] menjalankan penyelidikan terhadap penggunaan teknik halaju denyutan ultrasonik dalam memeriksa dan menilai kayu. Teknik ini melibatkan penentuan halaju denyutan ultrasonik yang melalui satu bahan pejal di mana denyutan dijanakan pada sebelah bahagian objek yang hendak diuji iaitu ia dipancar melalui badan objek tersebut. Halaju denyutan bergantung kepada ketumpatan dan sifat elastik bahan tersebut.

Peralatan bagi teknik ini mengandungi satu *emitter* dan satu *receiver* serta satu peranti yang menunjukkan masa perjalanan dari *emitter* ke *receiver*. Semasa menggunakan peralatan ini, permukaan yang bersentuhan dengan transduser perlu dilitupi dengan gris yang secukupnya bagi menghasilkan sentuhan yang baik. Halaju denyutan boleh ditentukan daripada persamaan berikut:

$$V_1 = L \times \frac{10}{t} \quad (2.1)$$

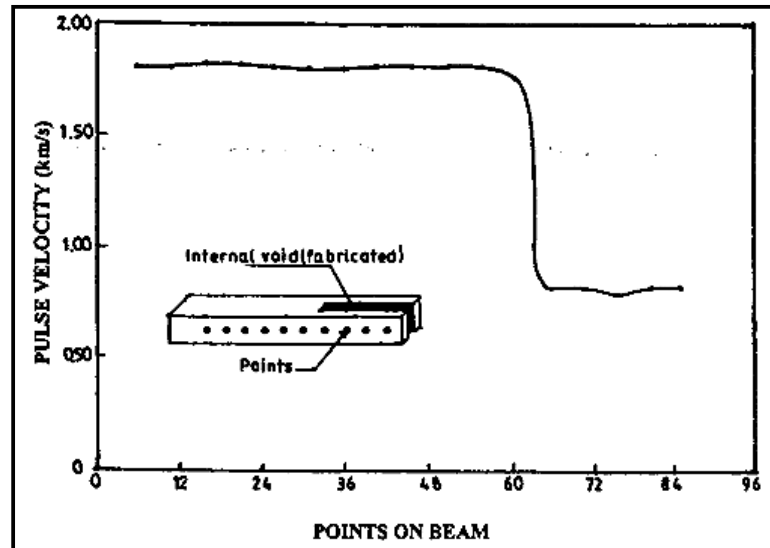
di mana V_1 = halaju denyutan (km/s)

L = panjang lintasan (cm)

t = masa perjalanan (μ s)

10 = pemalar

Bagi menentukan kesan ketakselajaran dalam struktur dalaman atau lompong yang terhasil akibat pereputan, teknik halaju denyutan ultrasonik telah digunakan dalam menguji spesimen (Rajah 2.8). Denyutan yang melalui lebar spesimen pada tempat yang berlainan diukur dan keputusannya adalah seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.8. Hal ini adalah kerana satu denyutan perlu mengambil lintasan yang lebih panjang untuk melintasi lompong dalaman, ketakselajaran dan keretakan yang wujud pada kayu. Justeru itu, sudden drop yang terjadi dalam halaju denyutan menunjukkan kewujudan lompong dalaman.



Rajah 2.8: Kesan lompong pada halaju denyutan ultrasonik. (Sumber: T. Shaji et al, 2000).