



UNIVERSITI PUTRA MALAYSIA

**PENCIRIAN ULTRASONIK BAG) BATANG KELAPA SAWIT
(ELAEIS GUINEENSIS JACQ.)**

ROSMAWATI SHAHARUDDIN

FSAS 2002 33



**PENCIRIAN ULTRASONIK BAGI BATANG KELAPA SAWIT
(*ELAEIS GUINEENSIS* JACQ.)**

Oleh

ROSMAWATI SHAHARUDDIN

**Tesis Ini Dikemukakan Kepada Sekolah Pengajian Siswazah, Universiti Putra
Malaysia, Sebagai Memenuhi Keperluan Untuk Ijazah Master Sains**

Oktober 2002



DEDIKASI BUAT

SUAMI

OTHMAN BIN JAILANI

ANAK-ANAK TERSAYANG

LIYANA NABILAH

ISKANDAR NAJMUDDIN

SYAZANA MASTURAH

LUQMAN-UL-HAKIM

EMAK

RAHIMA BINTI YAHYA

ABAH

SHAHARUDDIN BIN SHAMSUDDIN

ADIK-ADIK

Abstrak tesis yang dikemukakan kepada Senat Universiti Putra Malaysia sebagai memenuhi keperluan untuk ijazah Master Sains

**PENCIRIAN ULTRASONIK BAGI BATANG KELAPA SAWIT
(*ELAEIS GUINEENSIS* JACQ.)**

Oleh

ROSMAWATI SHAHARUDDIN

Oktober 2002

Pengerusi : Profesor Madya Dr. Sidek Hj. Abd. Aziz, Ph.D.

Fakulti : Sains dan Pengajian Alam Sekitar

Ciri-ciri ultrasonik terhadap batang pokok kelapa sawit telah dikaji dengan menggunakan pelbagai parameter fizikal seperti kandungan kelengasan, ketumpatan dan arah butiran. Tiga arah anisotropik, iaitu arah membujur (L), jejarian (R) dan tangen (T) terhadap susunan serabut dan berkas vaskular telah dipertimbangkan untuk pengukuran ciri-ciri tersebut. Sifat-sifat ini telah ditentukan dengan menggunakan penguji komersial ultrasonik pada 45 kHz.

Halaju ultrasonik dan pemalar kekenyalan berbeza mengikut susunan membujur > tangen > jejarian (L>T>R). Sebarang lencongan daripada paksi membujur mengurangkan halaju ultrasonik dan pemalar kekenyalan pada semua kandungan kelengasan. Corak pengurangan halaju dan pemalar kekenyalan pada arah L, R dan T adalah berbeza berbanding pada arah LR, LT dan RT.

Kaedah ultrasonik berupaya mengesan pereputan pada pokok kelapa sawit hidup Ia berdasarkan kepada suruhan gelombang ultrasonik dari transduser penghantar kepada transduser penerima di sekeliling batang pokok Sistem kemudian diuji melalui perbandingan tomogram dengan memotong keratan rentas batang pokok pada satah yang sama selepas pengukuran Pereputan mengurangkan halaju ultrasonik dan meninggikan masa transit sehingga tidak boleh dikesan oleh isyarat alat ultrasonik BP-V Kaedah ini juga berupaya mengesan kecacatan pada kayu kelapa sawit Halaju ultrasonik, pemalar kekenyalan, ketumpatan dan kandungan kelengasan kayu sawit reput sentiasa lebih rendah berbanding kayu sawit sihat

Anatomi asas seperti taburan berkas vaskular dan susunan serabut pada kawasan zon periferal dan zon tengah sangat mempengaruhi ciri-ciri ultrasonik seperti halaju dan pemalar kekenyalan

Abstract of thesis submitted to the Senate of Universiti Putra Malaysia in fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science

**ULTRASONIC PROPERTIES OF OIL PALM TRUNK
(*ELAEIS GUINEENSIS* JACQ.)**

By

ROSMAWATI SHAHARUDDIN

October 2002

Chairman : Associate Professor Dr. Sidek Hj. Abd. Aziz, Ph.D.

Faculty : Science and Environmental Studies

Ultrasonic properties of the oil palm trunk were studied using physical parameters such as moisture content (MC), density and grain directions. Three anisotropic directions, namely longitudinal (L), radial (R) and tangential (T) to the fibre and vascular bundle arrangements were considered for the measurement of these properties. These properties were determined with a commercial ultrasonic tester at 45 kHz.

The ultrasonic velocity and elastic constant varied in the order of longitudinal > tangential > radial (L>T>R). Any deviations from the longitudinal axis reduced ultrasonic properties and elastic constant for all moisture content measurements. The decreased pattern of velocity and elastic constant in the L, R and T directions differed from the LR, LT and RT directions.

Ultrasonic methods were capable of detecting decay in living oil palms. This was based on ultrasonic waves traced from the transmitter to the receiver transducer placed around the trunk. The system was then tested by comparison of the tomogram with the cross-

section of the cut trunk in the same plane after measurements were conducted. Decay in trunks decreased the ultrasonic velocity and increased the transit time until the ultrasonic tester, BP-V could no longer detect the signals. This method was also capable of detecting defects in palm woods. Ultrasonic velocity, elastic constant, density and moisture content were normally lower in decayed palm wood as compared to sound palm wood.

Basic anatomy such as vascular bundles and fibre arrangements within the peripheral and middle zones greatly influenced ultrasonic properties such as velocity and elastic constant.

PENGHARGAAN

Terlebih dahulu ingin saya melafazkan rasa syukur ke hadrat Allah swt, pencipta alam semesta kerana dengan keizinan dan rahmatNya, mengurniakan kekuatan dan ketabahan sehingga dapat menyempurnakan tesis ini dalam rangka waktu yang ditetapkan. Salawat dan salam buat junjungan besar Nabi Muhammad saw, keluarga serta sahabat-sahabat Baginda.

Ucapan jutaan terima kasih yang tidak terhingga ini ditujukan khas kepada Prof Madya Dr Sidek Hj Abd Aziz, selaku penyelia projek dan penasihat akademik atas segala bimbingan, bantuan dan perhatian yang telah diberikan sepanjang perjalanan menyempurnakan tesis ini. Tidak lupa juga kepada penyelia bersama, Prof Dr Kaida Khalid dan Dr Faridah Abdullah atas segala teguran dan sumbangan idea yang membina yang telah diberikan. Sesungguhnya kerjasama dan kepercayaan yang ditunjukkan oleh semua penyelia amat besar ertinya buat saya. Semoga Allah swt akan membalas segala jasa baik kalian.

Sekalung penghargaan ditujukan kepada penaja biasiswa iaitu Kementerian Pendidikan Malaysia yang memberi peluang dan laluan kepada saya dengan menawarkan biasiswa untuk mengikuti program Master Sains (Fizik). Tanpa sokongan dan bantuan dari pihak penaja tidak mungkin saya dapat meneruskan pengajian. Insya Allah akan saya manfaatkan segala ilmu yang diperolehi untuk masa depan anak-anak didik saya.

Ucapan penghargaan ini juga ditujukan kepada keluarga tersayang iaitu suami, anak-anak, emak, abah, adik-adik dan pembantu rumah atas sokongan moral, doa, kesabaran

dan dorongan serta memahami tugas dan kerjaya saya. Terima kasih juga atas kasih sayang yang telah diberikan.

Tidak lupa juga kepada rakan-rakan seperjuangan yang banyak membantu iaitu Lai Sook Kean, Hasnu Rizal, Khamirul Amin dan isteri, Pn Rosidah, Pn Sakinah, Cikgu Nor Fazilah Jaafar Sidek serta rakan-rakan yang lain, kakitangan UPM, pensyarah-pensyarah di Taman Pertanian, Fakulti Perhutanan, Fakulti Sains dan Alam Sekitar terutamanya Dr Zaidan Wahab dan Pn Halimah, pembantu makmal iaitu En Mat Rasah Nasir (Fizik) selaku pembantu peribadi, En Roslim (Fizik), Pn Soliah (Biologi) dan En Jalal (Perhutanan). Tanpa bantuan dari kalian sudah tentu tesis ini tidak dapat disempurnakan.

Saya mengesahkan bahawa Jawatankuasa Pemeriksa bagi Rosmawati Shaharuddin telah mengadakan pemeriksaan akhir pada 17hb. Oktober 2002 untuk menilai tesis Master Sains beliau yang bertajuk “Pencirian Ultrasonik Bagi Batang Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis* Jacq.)” mengikut Akta Universiti Pertanian Malaysia (Ijazah Lanjutan) 1980 dan Peraturan-peraturan Universiti Pertanian Malaysia (Ijazah Lanjutan) 1981. Jawatankuasa Pemeriksa memperakukan bahawa calon ini layak dianugerahkan ijazah tersebut. Anggota Jawatankuasa Pemeriksa adalah seperti berikut:

Abd. Halim Shaari, Ph.D.

Profesor
Fakulti Sains & Pengajian Alam Sekitar
Universiti Putra Malaysia
(Pengerusi)

Sidek Hj. Ab. Aziz, Ph.D.

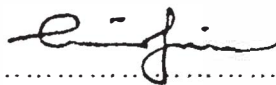
Profesor Madya
Fakulti Sains dan Pengajian Alam Sekitar
Universiti Putra Malaysia
(Ahli)

Kaida Khalid, Ph.D.

Profesor
Fakulti Sains dan Pengajian Alam Sekitar
Universiti Putra Malaysia
(Ahli)

Faridah Abdullah, Ph.D.

Fakulti Sains dan Pengajian Alam Sekitar
Universiti Putra Malaysia
(Ahli)



AINI IDERIS, Ph.D.

Profesor/Dekan
Sekolah Pengajian Siswazah
Universiti Putra Malaysia

Tarikh: 23 OCT 2002

Tesis ini telah diserahkan kepada Senat Universiti Putra Malaysia dan telah diterima sebagai memenuhi keperluan untuk ijazah Master Sains Anggota Jawatankuasa Penyesuaian adalah seperti berikut

Sidek Hj. Ab. Aziz, Ph.D.

Profesor Madya
Fakulti Sains dan Pengajian Alam Sekitar
Universiti Putra Malaysia
(Pengerusi)

Kaida Khalid, Ph.D.

Profesor
Fakulti Sains dan Pengajian Alam Sekitar
Universiti Putra Malaysia
(Ahli)

Faridah Abdullah, Ph.D.

Fakulti Sains dan Pengajian Alam Sekitar
Universiti Putra Malaysia
(Ahli)

AINI IDERIS, Ph.D.

Profesor/Dekan
Sekolah Pengajian Siswazah
Universiti Putra Malaysia

Tarikh



PENGAKUAN

Saya mengaku bahawa tesis ini adalah hasil kerja saya yang asli melainkan petikan dan sedutan yang telah diberikan penghargaan di dalam tesis. Saya juga mengaku bahawa tesis ini tidak dimajukan untuk ijazah-ijazah lain di Universiti Putra Malaysia atau Institusi-institusi lain.



.....
ROSMAWATI SHAHARUDDIN

Tarikh : 23 OKT 2002

ISI KANDUNGAN

	Halaman
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
PENGHARGAAN	vii
PENGESAHAN	ix
PENGAKUAN	xi
SENARAI JADUAL	xv
SENARAI RAJAH	xxi
SENARAI PLET	xxix
SENARAI SIMBOL DAN KEPENDEKAN	xxx
 BAB	
I	Pengenalan AM 1
	Pendahuluan 1
	Objektif Kajian 7
II	TEORI KEKENYALAN BAHAN 9
	Pendahuluan 9
	Teori Kekenyalan Bahan 9
	Hukum Hooke dan Pemalar Kenyal Bahan 10
	Tegasan dan Terikan 10
	Persamaan Gerakan 13
	Perambatan Gelombang Ultrasonik 14
	Perambatan Gelombang Pukul Ultrasonik di dalam Media Ortotropik 15
	Halaju Ultrasonik 22
	Halaju Ultrasonik Di Dalam Kayu 23
	Ringkasan Bab 24



III	ULASAN LITERATUR KELAPA SAWIT	25
	Pendahuluan	25
	Deskripsi Botani Pokok Kelapa Sawit	26
	Ciri-ciri Umum Batang Kelapa Sawit	26
	Anatomi Batang Pokok Kelapa Sawit	27
	Korteks	28
	Zon Perifer	28
	Zon Tengah	29
	Berkas Vaskular	29
	Ciri-ciri Fizikal Pokok Kelapa Sawit	30
	Kandungan Kelengasan Pokok Kelapa Sawit	30
	Ketumpatan Batang Pokok Kelapa Sawit	31
	Pengecutan Batang Pokok Kelapa Sawit	33
	Dimensi Serabut Pokok Kelapa Sawit	35
	Ciri-ciri Mekanikal Pokok Kelapa Sawit	37
	Ciri-ciri Kimia Batang Pokok Kelapa Sawit	38
	Kajian Pencirian Ultrasonik Ke Atas Kayu	39
	Kajian Pengesanan Pereputan Pokok Kayu Hidup	40
	Penetrometers	42
	Meter Pengaliran Elektrik	43
	Shigometer	43
	Vitamat	43
	Pegesan Sonik	44
	Tukul Metriguard	44
	Pegesan Ultrasonik	45
	<i>Silvatest</i> dan <i>Arbosonic</i>	45
	Tomografi Ultrasonik	45
	Termografi	46
	Ringkasan Bab	46
IV	KAEDAH EKSPERIMEN DAN PENYEDIAAN SAMPEL	48
	Pendahuluan	48
	Ujian Tanpa Musnah (NDT) Ultrasonik	49
	Kaedah Denyut Gema	49
	Kaedah Penghantaran Denyut	50
	Kaedah Resonan	51
	Penghasilan Gelombang Ultrasonik	52
	Kesan Piezoelektrik	52
	Pegesanan Pereputan D ₁ Dalam Batang Pokok Dengan Kaedah Pemancaran Ultrasonik	57
	Kehilangan Tenaga	58
	Masa Transit	59
	Peralatan	60
	Penguji Ultrasonik BP-V	60
	Peralatan Lain	61
	Kaedah Penentuan Pengecutan Dimensi Kayu	61

	Kaedah Penentuan Kandungan Kelengasan	62
	Penyediaan Sampel	62
	Peringkat 1	63
	Peringkat 2	69
	Bahagian 1	69
	Bahagian 2	70
	Peringkat 3	70
	Punca-Punca Ralat	72
	Ralat Rawak Dan Ralat Sistematik	73
	Ringkasan Bab	74
V	HASIL KAJIAN DAN PERBINCANGAN	75
	Pendahuluan	75
	Pencirian Ultrasonik Ke Atas Kayu Kelapa Sawit Pada Arah L, R dan T	76
	Pergerakan Kayu	84
	Pengecutan	84
	Pengukuran Ketumpatan	100
	Pencirian Ultrasonik Ke Atas Sampel C	103
	Pencirian Ultrasonik Ke Atas Kayu Kelapa Sawit Pada Arah Butiran LR, LT dan RT	105
	Pencirian Ultrasonik Ke Atas Permukaan Rentas Batang Kelapa Sawit	127
	Pengesanan Pereputan Pokok Kelapa Sawit Hidup	135
	Pencirian Ultrasonik Ke Atas Kayu Kelapa Sawit Reput	143
	Analisa Morfologi Batang Pokok Kelapa Sawit	147
VI	KESIMPULAN DAN CADANGAN UNTUK KAJIAN LANJUTAN	149
	Kesimpulan	149
	Cadangan Untuk Kajian Lanjutan	151
	BIBLIOGRAFI	153
	LAMPIRAN	158
	PENERBITAN DARIPADA KAJIAN INI	188
	VITA	189

SENARAI JADUAL

Jadual		Halaman
1.1	Kedapatan biojisim batang kelapa sawit	3
2.1	Hubungan antara tatatanda matriks dengan tatatanda tensor	18
3.1	Perbandingan min sifat pengecutan, kandungan kelengasan hijau dan graviti spesifik pada beberapa paras ketinggian kayu kelapa sawit	34
3.2	Perbandingan min sifat pengecutan, kandungan kelengasan hijau dan graviti spesifik pada beberapa paras pemotongan kayu kelapa sawit	34
3.3	Perbandingan dimensi serabut batang kelapa sawit dengan kayu getah dan <i>Douglas fir</i>	36
3.4	Perbandingan ciri-ciri mekanikal <i>Elaeis guineensis</i> dengan spesis-spesis yang lain	38
4.1	Pertukaran tatatanda lama kepada tatatanda baru	65
5.1	Peratus pengecutan dimensi kayu kelapa sawit dari keadaan titik tepu serabut ke keadaan kering bagi setiap sampel.	86
5.2	Perbandingan min pengecutan dimensi sampel pada arah L, R dan T.	87
5.3	Halaju gelombang bunyi untuk beberapa spesis kayu.	89
5.4	Beberapa spesies kayu keras, sederhana, lembut serta kayu palma, nilai ketumpatan purata dan nilai pemalar kekenyalan yang dikaji dengan kaedah dinamik ultrasonik (dalam unit 10^{10} Nm^{-2}) pada kandungan kelengasan 12 – 15%	96

Jadual	Halaman	
5.5	Pekali korelasi antara kandungan kelengasan dan halaju ultrasonik pada arah L, R dan T	98
5.6	Pekali korelasi antara kandungan kelengasan dan pemalar kekenyalan pada arah L, R dan T	98
5.7	Analisis regresi antara halaju ultrasonik dengan kandungan kelengasan pada arah L, R dan T	99
5.8	Analisis regresi antara pemalar kekenyalan dengan kandungan kelengasan pada arah L, R dan T	99
5.9	Perbandingan ketumpatan sampel pada keadaan kering dan basah	103
5.10	Pekali korelasi antara kandungan kelengasan dan halaju ultrasonik pada setiap sudut putaran (Sampel S1)	121
5.11	Pekali korelasi antara kandungan kelengasan dan halaju ultrasonik pada setiap sudut putaran (Sampel S2)	121
5.12	Pekali korelasi antara kandungan kelengasan dan pemalar kekenyalan pada setiap sudut putaran (Sampel S1)	122
5.13	Pekali korelasi antara kandungan kelengasan dan pemalar kekenyalan pada setiap sudut putaran (Sampel S2)	122
5.14	Analisis regresi antara halaju ultrasonik dengan sudut putaran bagi setiap kandungan kelengasan (Sampel S1)	123
5.15	Analisis regresi antara halaju ultrasonik dengan sudut putaran bagi setiap kandungan kelengasan (Sampel S2)	124

Jadual	Halaman
5.16 Analisis regresi antara pemalar kekenyalan dengan sudut putaran bagi setiap kandungan kelengasan (Sampel S1)	125
5.17 Analisis regresi antara pemalar kekenyalan dengan sudut putaran bagi setiap kandungan kelengasan (Sampel S2)	126
5.18 Halaju ultrasonik bagi sampel sihat dan sampel reput pada arah L, R dan T pada kandungan kelengasan 12% - 15%	143
5.19 Halaju ultrasonik di dalam sampel reput pada arah longitudinal	144
5.20 Julat halaju dan julat ketumpatan bagi bahagian-bahagian 1, 2 dan 3 di dalam sampel reput.	145
5.21 Perbandingan halaju purata arah R pada keadaan kering, ketumpatan purata pada keadaan berat kering dan kandungan kelengasan pada keadaan titik tepu serabut.	146
A.1a Data masa transit, halaju ultrasonik dan pemalar kekenyalan pada arah L, R dan T bagi kandungan kelengasan (MC) dan ketumpatan yang berbeza serta korelasi di antara kandungan kelengasan dengan halaju ultrasonik dan pemalar kekenyalan pada arah L, R dan T (Sampel A1)	159
A.1b Data masa transit, halaju ultrasonik dan pemalar kekenyalan pada arah L, R dan T bagi kandungan kelengasan (MC) dan ketumpatan yang berbeza serta korelasi di antara kandungan kelengasan dengan halaju ultrasonik dan pemalar kekenyalan pada arah L, R dan T (Sampel A2)	160
A.1c Data masa transit, halaju ultrasonik dan pemalar kekenyalan pada arah L, R dan T bagi kandungan kelengasan (MC) dan ketumpatan yang berbeza serta korelasi di antara kandungan kelengasan dengan halaju ultrasonik dan pemalar kekenyalan pada arah L, R dan T (Sampel A3)	161

Jadual	Halaman	
A.1d	Data masa transit, halaju ultrasonik dan pemalar kekenyalan pada arah L, R dan T bagi kandungan kelengasan (MC) dan ketumpatan yang berbeza serta korelasi di antara kandungan kelengasan dengan halaju ultrasonik dan pemalar kekenyalan pada arah L, R dan T (Sampel B1)	162
A.1e	Data masa transit, halaju ultrasonik dan pemalar kekenyalan pada arah L, R dan T bagi kandungan kelengasan (MC) dan ketumpatan yang berbeza serta korelasi di antara kandungan kelengasan dengan halaju ultrasonik dan pemalar kekenyalan pada arah L, R dan T (Sampel B2)	163
A.1f	Data masa transit, halaju ultrasonik dan pemalar kekenyalan pada arah L, R dan T bagi kandungan kelengasan (MC) dan ketumpatan yang berbeza serta korelasi di antara kandungan kelengasan dengan halaju ultrasonik dan pemalar kekenyalan pada arah L, R dan T (Sampel C)	164
A.1g	Data masa transit, halaju ultrasonik dan pemalar kekenyalan pada arah L, R dan T bagi kandungan kelengasan (MC) dan ketumpatan yang berbeza serta korelasi di antara kandungan kelengasan dengan halaju ultrasonik dan pemalar kekenyalan pada arah L, R dan T (Sampel D1)	165
A.1h	Data masa transit, halaju ultrasonik dan pemalar kekenyalan pada arah L, R dan T bagi kandungan kelengasan (MC) dan ketumpatan yang berbeza serta korelasi di antara kandungan kelengasan dengan halaju ultrasonik dan pemalar kekenyalan pada arah L, R dan T (Sampel D2)	166
A.1i	Data masa transit, halaju ultrasonik dan pemalar kekenyalan pada arah L, R dan T bagi kandungan kelengasan (MC) dan ketumpatan yang berbeza serta korelasi di antara kandungan kelengasan dengan halaju ultrasonik dan pemalar kekenyalan pada arah L, R dan T (Sampel E1)	167



Jadual	Halaman
A.3a	Data masa transit, halaju ultrasonik dan pemalar kekenyalan, C ($\times 10^7 \text{ Nm}^{-2}$) bagi batang kelapa sawit pada sudut putaran dan jarak 2 cm hingga 22 cm dengan kaedah penghantaran langsung (Transduser penghantar, T – depan ; Transduser penerima, R – belakang) 176
A.3b	Data masa transit, halaju ultrasonik dan pemalar kekenyalan, C ($\times 10^7 \text{ Nm}^{-2}$) bagi batang kelapa sawit pada sudut putaran dari jarak 2 cm hingga 22 cm dengan kaedah penghantaran langsung (Transduser penghantar, T – belakang ; Transduser penerima, R – depan) 179
A.3c	Data masa transit, halaju ultrasonik dan pemalar kekenyalan, C ($\times 10^7 \text{ Nm}^{-2}$) bagi batang kelapa sawit pada sudut putaran dari jarak 2 cm hingga 22 cm dengan kaedah penghantaran tak langsung (Depan) 182
A.3d	Data masa transit, halaju ultrasonik dan pemalar kekenyalan, C ($\times 10^7 \text{ Nm}^{-2}$) bagi batang kelapa sawit pada sudut putaran dan jarak 2 cm hingga 22 cm dengan kaedah penghantaran tak langsung (Belakang) 185

SENARAI RAJAH

Rajah		Halaman
2.1	Kubus segi empat yang digunakan untuk analisa tegasan dan terikan	11
2.2	Enam komponen terikan	11
2.3	Komponen tegasan	12
2.4	Gelombang membujur: Titik-titik menunjukkan kawasan mampatan dan regangan	15
2.5	Tiga arah anisotropik di dalam kayu	21
2.6	Kaedah asas mengukur halaju ultrasonik	22
2.7	Halaju ultrasonik di dalam pepejal ortotropik	24
3.1	Keratan rentas batang pokok kelapa sawit dengan pembahagian kepada beberapa bahagian anatomi	28
3.2	Berkas vaskular pada tisu batang kelapa sawit	29
3.3	Taburan berkas vaskular ($/\text{cm}^2$) sepanjang ketinggian batang kelapa sawit	30

Rajah	Halaman
3.4 Taburan kandungan kelengasan sepanjang ketinggian batang kelapa sawit	31
3.5 Perbezaan ketumpatan di dalam batang pokok kelapa sawit	32
3.6 Perbezaan ketumpatan di sepanjang batang pokok kelapa sawit	32
4.1 Gandingan transduser bagi penghantaran terus, separa dan tidak langsung	51
4.2 Kesan piezoelektrik yang ditunjukkan oleh unit sel bagi hablur kuarza (SiO ₂)	54
4.3 Struktur dalaman transduser yang mengandungi 8 keping cakera nipis PZT	56
4.4 Denyut dipancarkan bersama tekanan bunyi, P (1-Dimensi) oleh transduser berbentuk bulat berdiameter, d	57
4.5 Kaedah pemancaran ultrasonik untuk mengesan pereputan	57
4.6 Fenomena perambatan gelombang dari penghantar ke penerima di dalam bahan retak	59
4.7 Rajah skema bagi peralatan ultrasonik BP-V Steinkamp yang digunakan untuk mengukur masa perambatan gelombang ultrasonik dalam setiap sampel batang kelapa sawit	61
4.8 Kaedah persampelan bagi pokok kelapa sawit yang ditebang pada peringkat 1	64
4.9 Skema bagi penyediaan sampel C1	66

Rajah	Halaman	
4.10	Skema bagi penyediaan sampel C2	67
4.11	Sampel C3	68
4.12	Pengukuran masa transit pada ukurlilit pokok dengan menggunakan transduser ultrasonik untuk mengesan pereputan	69
4.13	Skema pembahagian zon pemotongan sampel reput	71
5.1	Halaju ultrasonik pada kandungan kelengasan yang berbeza pada arah L – membujur, R – jejarian dan T – tangen bagi sampel A1, A2 dan A3	77
5.2	Halaju ultrasonik pada kandungan kelengasan yang berbeza pada arah L – membujur, R – jejarian dan T – tangen bagi sampel E1, E2 dan E3	78
5.3	Halaju ultrasonik pada kandungan kelengasan yang berbeza pada arah L – membujur, R – jejarian dan T – tangen bagi sampel B1 dan B2	79
5.4	Halaju ultrasonik pada kandungan kelengasan yang berbeza pada arah L – membujur, R – jejarian dan T – tangen bagi sampel D1 dan D2	80
5.5	Halaju ultrasonik pada kandungan kelengasan yang berbeza pada arah L – membujur, R – jejarian dan T – tangen bagi sampel C	81
5.6	Struktur mikrofibril dan hubungannya dengan kecutan. (i) Gambaran struktur mikrofibril dalam kayu yang masih basah: garisan hitam menunjukkan mikrofibril dan yang putih ialah lapisan air, (ii) sel yang sama selepas dikeringkan: pengurangan panjang sel jauh lebih kecil dibandingkan dengan pengurangan lebar kayu.	86
5.7	Pengecutan dimensi sampel pada arah L, R dan T	88

Rajah	Halaman
5.8 Pemalar kekenyalan pada kandungan kelengasan yang berbeza pada arah L – membujur, R – jejarian dan T – tangen bagi sampel A1, A2 dan A3	91
5.9 Pemalar kekenyalan pada kandungan kelengasan yang berbeza pada arah L – membujur, R – jejarian dan T – tangen bagi sampel E1, E2 dan E3	92
5.10 Pemalar kekenyalan pada kandungan kelengasan yang berbeza pada arah L – membujur, R – jejarian dan T – tangen bagi sampel B1 dan B2	93
5.11 Pemalar kekenyalan pada kandungan kelengasan yang berbeza pada arah L – membujur, R – jejarian dan T – tangen bagi sampel D1 dan D2	94
5.12 Pemalar kekenyalan pada kandungan kelengasan yang berbeza pada arah L – membujur, R – jejarian dan T – tangen bagi sampel C	95
5.13 Ketumpatan (kgm^{-3}) pada kandungan kelengasan yang berbeza bagi sampel A1, A2, A3, B1, B2, C, D1, D2, E1, E2 dan E3.	101
5.14 Ketumpatan sampel-sampel pada keadaan basah dan kering yang berada di kawasan yang berlainan.	102
5.15 Masa transit, halaju dan pemalar kekenyalan bagi sampel C pada jarak yang berbeza dengan kaedah penghantaran terus dan arah pengukuran T	104
5.16 Kesan kandungan kelengasan ke atas halaju ultrasonik pada sudut butiran yang berbeza bagi sampel S1 (Paparan 2-D)	107
(a) Putaran LT	
(b) Putaran LR	
(c) Putaran RT	

Rajah	Halaman	
5.17	Kesan kandungan kelengasan ke atas halaju ultrasonik pada sudut butiran yang berbeza bagi sampel S2 (Paparannya 2-D) (a) Putaran LT (b) Putaran LR (c) Putaran RT	108
5.18	Pengaruh sudut butiran ke atas halaju ultrasonik pada kandungan kelengasan yang berbeza bagi sampel S1 (Paparannya 2-D) (a) Putaran LT (b) Putaran LR (c) Putaran RT	109
5.19	Pengaruh sudut butiran ke atas halaju ultrasonik pada kandungan kelengasan yang berbeza bagi sampel S2 (Paparannya 2-D) (a) Putaran LT (b) Putaran LR (c) Putaran RT	110
5.20	Kesan kandungan kelengasan ke atas pemalar kekenyalan ($\times 10^7$ Nm ²) pada sudut butiran yang berbeza bagi sampel S1 (Paparannya 2-D) (a) Putaran LT (b) Putaran LR (c) Putaran RT	111
5.21	Kesan kandungan kelengasan ke atas pemalar kekenyalan ($\times 10^7$ Nm ²) pada sudut butiran yang berbeza bagi sampel S2 (Paparannya 2-D) (a) Putaran LT (b) Putaran LR (c) Putaran RT	112
5.22	Pengaruh sudut butiran ke atas pemalar kekenyalan ($\times 10^7$ Nm ⁻²) pada kandungan kelengasan yang berbeza bagi sampel S1 (Paparannya 2-D) (a) Putaran LT (b) Putaran LR (c) Putaran RT	113

