

**KAJIAN KEBERKESANAN EKSTRAKAN KAYU
BALAU, KEMPAS DAN DURIAN TERHADAP
KULAT PEREPUT PUTIH (*Phanerochaete
chrysosporium*) SERTA SIFAT-SIFAT
FIZIKAL DAN MEKANIKAL KAYU**

ISKANDAR

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

MEI 2007

**KAJIAN KEBERKESANAN EKSTRAKAN KAYU BALAU,
KEMPAS DAN DURIAN TERHADAP KULAT PEREPUT PUTIH
(*Phanerochaete chrysosporium*) SERTA SIFAT-SIFAT
FIZIKAL DAN MEKANIKAL KAYU**

Oleh

ISKANDAR

Tesis yang diserahkan untuk memenuhi keperluan bagi
Ijazah Sarjana Sains

MEI 2007

PENGHARGAAN

Alhamdulillah, dengan izin Allah SWT yang maha pemurah lagi maha mengasihi, projek penyelidikan dan penelitian ini siap dilaksanakan. Saya ingin merakamkan ucapan jutaan terima kasih terhadap penyelia saya, Prof Madya. Dr. Ahmad Md Noor dan Prof Madya. Dr. Abdul Khalil Shawkataly sebagai penyelia bersama yang telah banyak memberikan tunjuk ajar, nasihat, panduan, bantuan dan dorongan yang tidak ternilai bagi saya untuk menjayakan penyelidikan ini. Kesanggupan beliau meneliti penulisan tesis ini juga amat dihargai. Setinggi-tinggi penghargaan dan terima kasih ditujukan kepada Universiti Sains Malaysia dan Universitas Syiah Kuala kerana memberikan saya peluang untuk mengikuti program Ijazah Sarjana Sains.

Tidak lupa juga ucapan terimakasih kepada Dr. Afidah binti Abdul Rahim, Prof. Darah Ibrahim, Dr. Ani Sulaiman, Harry Chong, Kong, Alwar, Encik Yee, Encik Ali, Encik Hasani, Cik Asma dan semua pembantu makmal yang telah meluangkan masa dan tenaga untuk memberi bimbingan dan kebenaran untuk menggunakan kemudahan makmal mereka. Kerjasama rakan-rakan amat saya hargai dalam memberi perangsang, nasihat dan tunjuk ajar.

Penghargaan ini juga ditujukan kepada orang tua saya Prof. Teuku Risyad Ali, Dra Nurbaya, Zainab Abbas dan ahli keluarga tercinta Azwar, Linda terutama Yahbit Ichtyar Roedyar kerana selalu memberikan dorongan, semangat dan galakan kepada saya. Kepada isteri dan anak saya, Amalia Sutriana dan Cut Najwa Azzahara, terimakasih tak terhingga atas kesabaran dan pengertiannya selama ini. Saya “berhutang” banyak benda dengan kalian.

Akhir kata, kepada sesiapa jua yang terlibat sama ada secara langsung atau tidak, saya ucapkan berbilang terimakasih.

Iskandar

ISI KANDUNGAN

PENGHARGAAN		ii
ISI KANDUNGAN		iii
SENARAI JADUAL		vii
SENARAI RAJAH		viii
SENARAI SINGKATAN		xi
ABSTRAK		xiii
ABSTRACT		xv
BAB 1 PENGENALAN		1
1.1	Pengenalan Umum	1
1.2	Kayu	5
1.2.1	Pengelasan kayu	6
1.2.1.1	Kayu keras berat	8
1.2.1.1	Kayu keras sederhana	8
1.2.1.3	Kayu keras ringan	8
1.2.1.4	Kayu lembut	9
1.2.2	Komposisi kimia kayu	9
1.2.2.1	Selulosa	10
1.2.2.2	Hemiselulosa	11
1.2.2.3	Bahan pektin	12
1.2.2.4	Lignin	12
1.2.2.5	Komponen ekstrakan	14
	A. Terpenoid dan steroid	15
	B. Lilin dan lemak	15
	C. Sebatian fenolat	16
1.2.2.6	Komponen bukan organik	19
1.2.3	Kekuatan kayu	20
1.2.4	Sifat mekanikal kayu	23
1.2.4.1	Regangan (tensil)	24
1.2.4.2	Lenturan (bending)	24
1.2.4.3	Hentaman (impak)	25
1.3	Latar Belakang Kayu Sampel	25
1.3.1	Kayu balau	25
1.3.2	Kayu kempas	27
1.3.3	Kayu durian	28

	1.3.4	Kayu getah	30
1.4		Kulat	32
	1.4.1	Kulat pereput putih	34
1.5		Mekanisma Perencatan Kulat Oleh Bahan Ekstrakan Kayu	38
1.6		Objektif Kajian	39
BAB 2 BAHAN DAN KAEDAH			40
2.1		Bahan Kimia	40
2.2		Peralatan	41
2.3		Sampel Kayu	42
2.4		Pengenalpastian Sampel Kayu	42
2.5		Pemprosesan dan Pengekstrakan Kayu	43
	2.5.1	Penentuan kelembapan sampel kayu	43
	2.5.2	Pengekstrakan	43
2.6		Ujian Ketoksikan Ekstrakan Terhadap Kulat Pereput Putih	45
	2.6.1	Penyediaan sampel kayu getah	45
	2.6.2	Penyediaan mikroorganisma ujian	45
	2.6.3	Penyediaan inokulum	46
	2.6.4	Ujian ketoksikan ekstrakan terhadap kulat pereput putih	47
	2.6.5	Kaedah pengawetan dengan ekstrakan terhadap kayu getah	48
	2.6.6	Pendedahan bongkah sampel kayu kepada koloni kulat.	48
	2.6.7	Penentuan kehilangan berat	50
	2.6.8	Analisis statistik untuk penurunan berat kayu getah	50
2.7		Pengamatan Dengan Mikroskop Elektron Penskanan (SEM)	51
2.8		Ujian Ketoksikan Dengan Menggunakan Ekstrakan Kayu Langsung	51
2.9		Pemisahan Komponen Ekstrakan Dan Ujian Ke Atas Kulat	52
	2.9.1	Penyediaan sampel	52
	2.9.2	Pemisahan komponen ekstrakan	52
	2.9.3	Ujian <i>prussian blue</i> untuk total fenol	55
2.10		Ujian Mekanikal	56

2.10.1	Ujian regangan (tensil)	56
	a. Kekuatan tensil	57
	b. Modulus tensil	57
	c. Pemanjangan pada takat putus (EB)	57
2.10.2	Ujian lenturan (bending)	58
	a. Kekuatan fleksural	59
	b. Modulus fleksural	59
2.10.3	Ujian hentaman (impak)	60
2.11	Kestabilan Dimensi	61
BAB 3 HASIL DAN PERBINCANGAN		62
3.1	Pengenalpastian Sampel Kayu	62
	3.1.1 Kayu balau	62
	3.1.2 Kayu kempas	66
	3.1.3 Kayu durian	68
	3.1.4 Kayu getah	70
3.2	Kandungan Lembapan Kayu	73
3.3	Penghasilan Ekstrakan	74
	3.3.1 Masa pengekstrakan	74
	3.3.2 Jisim ekstrakan	75
3.4	Ujian Ketoksikan Ekstrakan Terhadap Kulat Pereput Putih (<i>Phanerochaete chrysporium</i>)	76
	3.4.1 Ujian ketoksikan dengan kayu getah	76
	3.4.2 Analisis statistik untuk penurunan berat kayu getah	79
	3.4.2.1 Peratusan kehilangan berat oleh ekstrakan kayu	80
	3.4.2.2 Peratusan kehilangan berat oleh pelarut	83
	3.4.2.3 Peratusan kehilangan berat oleh kepekatan ekstrakan	86
	3.4.2.4 Hubungan di antara ekstrakan kayu, pelarut dan kepekatan ekstrakan	88
3.5	Ujian Mikroskop Elektron Penskanan (SEM)	92

3.6	Ujian Ketoksikan Dengan Kaedah Sistem Tebuk Lubang	97
3.7	Ujian <i>prussian blue</i>	102
3.8	Ujian Mekanikal	105
3.8.1	Ujian regangan	105
	3.8.1.1 Kekuatan tensil	105
	3.8.1.2 Modulus tensil	107
	3.8.1.3 Pemanjangan pada takat putus	109
3.8.2	Ujian lenturan	111
	3.8.2.1 Kekuatan fleksural	111
	3.8.2.2 Modulus fleksural	113
3.8.3	Ujian hentaman	114
3.9	Kestabilan Dimensi	116
	BAB 4 KESIMPULAN DAN CADANGAN	119
4.1	Kesimpulan	119
4.2	Cadangan	120
	RUJUKAN	122

SENARAI JADUAL

		m/s
Jadual 1.1	Komponen utama hemiselulosa	12
Jadual 2.1	Senarai bahan kimia yang dipakai dalam penyelidikan	40
Jadual 2.2.	Senarai perlatan yang digunakan dalam penyelidikan	41
Jadual 2.3	Ukuran kayu balau, kempas dan durian dan tujuan penggunaan	42
Jadual 3.1	Purata kandungan kelembapan dalam peratus	74
Jadual 3.2	Purata masa refluks pengekstrakan	74
Jadual 3.3	Purata jumlah ekstrakan (%)	76
Jadual 3.4	Peratusan penurunan berat kayu getah yang dirawat dengan ekstrakan tiga jenis kayu yang diekstrak dengan tiga jenis pelarut dan lima kepekatan	78
Jadual 3.5	Hubungan di antara ekstrakan kayu, pelarut dan kepekatan ekstrakan dalam penurunan berat kayu getah	79
Jadual 3.6	Serapan (A_{720}) asid galik sebagai piawai dengan kepekatan yang berbeza pada ujian <i>prussian blue</i>	102
Jadual 3.7	Serapan (A_{720}) daripada ekstrakan kayu sampel dan tanin dari kayu balau	104
Jadual 3.8	Kekuatan tensil ketiga jenis kayu dan pelarut	105
Jadual 3.9	Modulus tensil ketiga jenis kayu dan pelarut	107
Jadual 3.10	Nilai pemanjangan pada takat putus ketiga jenis kayu dan pelarut	109
Jadual 3.11	Kekuatan fleksural ketiga jenis kayu dan pelarut	111
Jadual 3.12	Modulus fleksural ketiga jenis kayu dan pelarut	113
Jadual 3.13	Kekuatan hentaman ketiga jenis kayu dan pelarut	115
Jadual 3.14	Peratus kecutan kayu setelah diekstrak	117

SENARAI RAJAH

		m/s
Rajah 1.1	Kimia Kayu	9
Rajah 1.2.	Gambar tekstur kayu balau (sumber FRIM)	26
Rajah 1.3	Gambar tekstur kayu kempas (sumber FRIM)	27
Rajah 1.4	Gambar tekstur kayu durian (sumber FRIM)	29
Rajah 1.5	Gambar tekstur kayu getah (sumber Pusat Pengajian Teknologi Industri, USM).	31
Rajah 2.1	Cara pemisahan ekstrakan balau yang diekstrak dengan aseton	54
Rajah 3.1	Tekstur permukaan sampel kayu balau	63
Rajah 3.2	Keratan rentas kayu balau dengan pembesaran 10 x, anak panah menunjukkan: ruji (1), vesel (2)	64
Rajah 3.3	Keratan rentas kayu balau dengan pembesaran 40 x, anak panah menunjukkan: parenkima (1), ruji (2), vesel (3) dan tilosis (4)	65
Rajah 3.4	Tekstur permukaan sampel kayu kempas	66
Rajah 3.5	Keratan rentas kayu kempas dengan pembesaran 10 x, anak panah menunjukkan: parenkima (1), ruji (2), vesel (3) dan tilosis (4)	67
Rajah 3.6	Keratan rentas kayu kempas dengan pembesaran 40 x, anak panah menunjukkan: parenkima (1), ruji (2), vesel (3)	68
Rajah 3.7	Tekstur permukaan sampel kayu durian	69
Rajah 3.8	Keratan rentas kayu durian dengan pembesaran 10 x, anak panah menunjukkan: ruji (1), vesel (2)	69
Rajah 3.9	Keratan rentas kayu durian dengan pembesaran 40 x, anak panah menunjukkan: parenkima (1), ruji (2), vesel (3)	70
Rajah 3.10	Tekstur permukaan kayu getah sampel ujian	71
Rajah 3. 11	Keratan rentas kayu getah dengan pembesaran 10 x, anak panah menunjukkan: parenkima (1), ruji (2), vesel (3) dan tilosis (4)	72
Rajah 3.12	Keratan rentas kayu getah pembesaran 40 x, anak panah menunjukkan: parenkima (1), ruji (2), vesel (3) dan tilosis (4)	72
Rajah 3.13	Peratusan kehilangan berat melawan ekstrakan kayu	82
Rajah 3.14	Peratusan penurunan berat melawan pelarut	85

Rajah 3.15	Peratusan penurunan kehilangan berat melawan kepekatan	87
Rajah 3.16	Plot hubungan antara ekstrakan kayu dengan pelarut	89
Rajah 3.17	Plot hubungan antara ekstrakan kayu dengan kepekatan ekstrakan	90
Rajah. 3.18	Plot hubungan antara pelarut dengan kepekatan ekstrakan	91
Rajah 3.19	Kayu getah yang tidak didedahkan (kawalan) dan yang didedahkan kepada kulat (Sampel): A. Keratan rentas, B. Keratan tangen, C. Keratan jejari.	93
Rajah 3.20	Keratan rentas kayu getah yang tidak didedahkan (kawalan) dan yang tidak didedahkan kepada kulat (sampel), anak panah menunjukkan: tilosis (1), kanji (2), hifa kulat dalam vesel (3),	95
Rajah 3.21	Zon perencatan kulat yang diakibatkan oleh pemipetan pelarut ke dalam piring petri. (MA: pelarut aseton, MP: pelarut pentana, MM: pelarut HAW)	97
Rajah 3.22	Zon perencatan oleh ekstrakan kayu balau (BA: balau-aseton, BP: balau-pentana, BM: balau-HAW)	98
Rajah 3.23	Zon perencatan oleh ekstrakan kayu kempas (KA: kempas-aseton, KP: kempas -pentana, KM: kayu kempas-HAW)	99
Rajah 3.24	Zon perencatan oleh ekstrakan kayu durian (DA: durian-aseton, DP: durian-pentana, DM: durian-HAW)	99
Rajah 3.25	Zon perencatan kulat yang diakibatkan oleh pemipetan ekstrakan kayu dengan aseton ke dalam piring petri.	100
Rajah 3.26	Zon perencatan oleh beberapa fraksi ekstrakan kayu balau dengan pelarut aseton, (Fraksi: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 dan kawalan, C)	101
Rajah 3.27	Plot piawai serapan (A_{720}) untuk kaedah <i>prussian blue</i> melawan kepekatan asid galik	103

Rajah 3.28	Kekuatan tensil (MPa) melawan kayu dan pelarut yang berbeza (A: diekstrak dengan aseton, B: kayu balau, C: kawalan, D: kayu durian, K: kayu kempas, M: diekstrak dengan HAW, P: diekstrak dengan pentana, T: tensil)	106
Rajah 3.29	Modulus tensil (GPa) melawan kayu dan pelarut yang berbeza (A: diekstrak dengan aseton, B: kayu balau, C: kawalan, D: kayu durian, K: kayu kempas, M: diekstrak dengan HAW, P: diekstrak dengan pentana, T: tensil)	108
Rajah 3.30	Pemanjangan pada takat putus melawan kayu dan pelarut yang berbeza (A: diekstrak dengan aseton, B: kayu balau, C: kawalan, D: kayu durian, K: kayu kempas, M: diekstrak dengan HAW, P: diekstrak dengan pentana, T: tensil)	110
Rajah 3.31	Kekuatan fleksural (MPa) melawan kayu dan pelarut yang berbeza (A: diekstrak dengan aseton, B: kayu balau, C: kawalan, D: kayu durian, F: feksural, K: kayu kempas, M: diekstrak dengan HAW, P: diekstrak dengan pentana)	112
Rajah 3.32	Modulus fleksural (GPa) melawan kayu dan pelarut yang berbeza (A: diekstrak dengan aseton, B: kayu balau, C: kawalan, D: kayu durian, F: feksural, K: kayu kempas, M: diekstrak dengan HAW, P: diekstrak dengan pentana)	114
Rajah 3.33	Kekuatan hentaman di antara kayu kawalan dan kayu yang diekstrak (A: diekstrak dengan aseton, B: kayu balau, C: kawalan, D: kayu durian, I: impak, K: kayu kempas, M: diekstrak dengan HAW, P: diekstrak dengan pentana)	116
Rajah 3.34	Peratus kecutan melawan jenis pelarut	118

SENARAI SINGKATAN

A	Ekstrakan kayu dengan pelarut aseton
B	Balau
BS	<i>British Standard</i>
C	Kawalan
df	Darjah kebebasan
F	Penyebaran bersambung
M	Ekstrakan kayu dengan pelarut HAW
P	Ekstrakan kayu dengan pelarut pentana
P<0.05	Perbezaan ketara pada paras di bawah 0.05
S ₂	Dinding sekunder lapisan tengah
µm	micro meter
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BBA	Balau Bending Aseton
BBC	Balau Bending Kawalan
BBM	Balau Bending HAW
BBP	Balau Bending Pentana
BTA	Balau Tensil Aseton
BTC	Balau Tensil Kawalan
BTM	Balau Tensil HAW
BTP	Balau Tensil Pentana
CPD	<i>Critical Point Drying</i>
DBA	Durian Bending Aseton
DBC	Durian Bending Kawalan
DBM	Durian Bending HAW
DBP	Durian Bending Pentana
DTA	Durian Tensil Aseton
KTA	Kempas Tensil Aseton
DTC	Durian Tensil Kawalan
DTP	Durian Tensil Pentana
FRIM	Institut Penyelidikan Perhutanan Malaysia
FSP	Takat tepu gentian
FT-IR	Spektroskopi Inframerah
HAW	Heksana: aseton: air
HPLC	High Performance Liquid Chromatography

KBA	Kempas Bending Aseton
KBC	Kempas Bending Kawalan
KBM	Kempas Bending HAW
KBP	Kempas Bending Pentana
KTC	Kempas Tensil Kawalan
KTM	Kempas Tensil HAW
KTP	Kempas Tensil Pentana
MOE	Modulus Elastisiti
MOR	Modulus Kerapuhan
ppm	part per million
SEM	Mikroskop Elektron Penskanan
SPSS	<i>Statistical Package for the Social Science</i>
UV-Vis	Ultra lembayung-ternampakkan

KAJIAN KEBERKESANAN EKSTRAKAN KAYU BALAU, KEMPAS DAN DURIAN TERHADAP KULAT PEREPUT PUTIH (*Phanerochaete chrysosporium*) SERTA SIFAT-SIFAT FIZIKAL DAN MEKANIKAL KAYU

ABSTRAK

Objektif penyelidikan ini adalah untuk mengkaji keberkesanan ketoksikan ekstrak dari tiga jenis kayu yang berbeza ketahanannya iaitu balau (*Shorea* spp.), kempas (*Kompassia malaccensis*) dan durian (*Durio* spp.) terhadap kulat pereput putih (*Phanerochaete chrysosporium*) dan memencilkan komponen anti kulat tersebut. Kajian ini juga dilakukan terhadap sifat-sifat mekanikal kayu sebelum dan setelah pengekstrakan. Pengekstrakan dilakukan secara berturut-turut dengan menggunakan tiga jenis pelarut iaitu pelarut aseton, pentana dan campuran heksana: aseton: air (HAW), 44:54:2 dengan nisbah isipadu. Lima kepekatan yang berlainan bagi setiap ekstrak disediakan iaitu 0 ppm, 10 ppm, 50 ppm, 100 ppm dan 1000 ppm. Bongkah-bongkah kayu getah (*Hevea brasiliensis*) kemudiannya dirawat dengan ekstrak tersebut sebelum bongkah tersebut didedahkan kepada kulat selama 12 minggu. Keputusan kajian mendapati kayu balau menghasilkan jumlah ekstrak yang lebih banyak berbanding kayu kempas dan kayu durian, manakala penggunaan pelarut aseton berjaya mengekstrak bahan ekstrak lebih banyak berbanding pelarut pentana dan HAW. Analisis statistik berdasarkan ANOVA terhadap data daripada ujian ketoksikan ekstrak terhadap kulat pereput putih mendapati bahawa bongkah kayu getah yang dirawat dengan ekstrak kayu durian menunjukkan peratusan kehilangan berat yang paling tinggi yang diikuti dengan ekstrak kayu kempas dan yang paling rendah ialah ekstrak kayu balau ($P < 0.05$; perbezaan ketara pada paras di bawah 0.05). Berdasarkan analisis statistik, kesan daripada penggunaan pelarut terhadap peratusan kehilangan berat tidak menunjukkan perbezaan yang ketara ($P > 0.05$). Keputusan juga mendapati bahawa perbezaan kepekatan ekstrak juga memberikan

kesan yang berbeza secara ketara ($P < 0.05$) terhadap peratusan kehilangan berat bongkah kayu getah. Bagaimanapun dari analisis statistik menunjukkan bahawa peratusan kehilangan berat bongkah kayu getah yang dirawat dengan tiga jenis ekstrakan tidak bergantung kepada jenis pelarut dan kepekatan yang digunakan. Keputusan dari ujian Prussian blue menunjukkan bahawa sebatian fenolik anti kulat yang banyak terkandung dalam ekstrakan kayu balau adalah dari golongan tannin yang boleh dihidrolisis. Ujian mekanikal ke atas sampel-sampel kayu sebelum dan setelah diekstrak menunjukkan sedikit penurunan pada kekuatan regangan, perpanjangan takat putus dan kekuatan lenturan, manakala modulus tensil, modulus fleksural dan kekuatan hentaman adalah tidak berbeza secara ketara. Hal ini menunjukkan secara keseluruhannya terdapat sedikit sekali kesan terhadap penyingkiran ekstrakan ke atas sifat-sifat mekanikal kayu.

**STUDIES ON THE EFFECTIVENESS OF THE EXTRACTIVE COMPONENT FROM
BALAU, KEMPAS AND DURIAN WOODS ON THE WHITE ROT FUNGI
(*Phanerochaete chrysosporium*) AND ALSO THE PHYSICAL AND MECHANICAL
PROPERTIES OF WOOD SAMPLES**

ABSTRACT

The objective of this research was to study the effect of toxicity of the extracts from three different woods that is balau (*Shorea spp.*), kempas (*Kompassia malaccensis*) and durian (*Durio spp.*) on the white rot fungi (*Phanerochaete chrysosporium*) and to isolate the component of the anti fungi. Three solvents were used in sequence to extract the wood which are acetone, pentane and mixture of hexane: acetone: water (HAW) with volume ratio 44:54:2. Five concentrations of extractive solutions were prepared, they are 0 ppm, 10 ppm, 50 ppm, 100 ppm and 1000 ppm. The rubber woods (*Hevea brasiliensis*) blocks were then treated with the solution and later were exposed to the fungi for 12 weeks. Effects on mechanical properties of wood before and after extraction also determined in this research. The results revealed that the extractive of balau was produced more compared to kempas and durian and the extraction using acetone solvent produce more extractive than pentane and HAW. From the ANOVA statistical analysis on the data from toxicity test with white rot fungus shows that the percentage weight lost of rubber wood blocks treated with durian extractive is the highest, followed by kempas and the lowest is balau ($P < 0.05$, the mean difference is significant at the 0.05 level). According to statistical analysis the effects of the use of solvent on the percentage weight loss shows no significant different ($P < 0.05$). The results also shows that the extractive concentration has significant effect ($P < 0.05$) on the percentage weight loss of the rubber wood blocks. However, from the statistical analysis indicate that the percentage weight loss of the rubber wood blocks treated with three types of extractives were not dependent on the solvent used and extractive concentration. The result from Prussian

blue assay shows that the phenolic anti fungal component in the balau extractive is hydrolysable tannin. Studies on mechanical properties of the wood samples before and after extraction shows slightly decreasing in tensile strength, tensile extension and flexural stress, whereby modulus tensile, modulus flexural and impact strength slightly increased. Generally, this indicates that the removal extractives affect the mechanical properties of the wood.

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Pengenalan Umum

Kayu merupakan produk alam yang sangat penting yang mempunyai struktur dan ciri kimia yang unik yang membuatnya banyak digunakan dalam industri perabot, pembinaan mahupun kejuruteraan. Hal ini disebabkan kerana ia begitu ekonomis, mudah dibentuk, sumbernya dapat diperbaharui, menjimatkan kos dan hanya memerlukan tenaga pemprosesan yang rendah (Rowell, 1994, Zabell dan Morrel, 1992). Walau bagaimanapun kayu mudah mengalami biouraian oleh aktiviti kulat, mudah terbakar, tidak stabil terhadap kandungan kelembapan udara dimana struktur kayu akan mengecut semasa dikeringkan dan akan mengembang apabila basah. Kayu juga mudah diserang oleh serangga perosak seperti anai-anai (Zabel dan Morrel, 1992, Fengel dan Wagener, 1995). Penggunaan kayu secara efektif, pemeliharaan struktur kayu, perlakuan bahan kimia dapat mengatasi masalah-masalah tersebut. Dalam jangka masa panjang, biouraian kayu oleh persekitaran akan mengurangkan penumpukan bahan-bahan buangan yang disebabkan oleh bahan-bahan yang susah terurai oleh persekitaran seperti plastik.

Kayu terbahagi kepada dua kelompok utama iaitu kayu keras dan kayu lembut. Kayu keras mempunyai sifat ketahanan yang tinggi, berkualiti serta mempunyai jangka hayat penggunaan yang panjang (Menon, 1997). Kayu balau (*Shorea spp.*) dan kayu kempas (*Kompassia malaccensis*) adalah dua contoh kayu dari kumpulan kayu keras (Menon, 1997). Oleh sebab kayu yang berkualiti ini hampir ketandusan sumbernya maka kayu-kayuan dari sumber lain yang kurang daya ketahanannya terpaksa dipakai walaupun ia mudah diserang oleh agen perosak dan direputkan oleh bakteria dan kulat. Kayu getah (*Hevea brasiliensis*) adalah kayu yang kurang ketahanannya dan

sering digunakan untuk perabot, peti, papan tulis dan pembuatan rayon (Kertasujana, 1978).

Salah satu jenis kulat yang mudah menyerang kayu ialah kulat pereput putih (*Phanerochaete chrysosporium*). Kulat ini daripada famili Basidiomycetes dan Ascomycetes yang merupakan penyebab utama reput putih pada kayu (Hataka, 1994 seperti disebut oleh Zheng dan Obbard, 2002).

Sebagai langkah penjagaan terhadap kulat, kayu-kayuan terutama dari sumber yang kurang ketahanannya seperti kayu getah (*Hevea brasiliensis*) perlu melalui rawatan awet sebelum digunakan. Walaupun proses merawat kayu memerlukan kos yang agak tinggi, tetapi pengalaman telah membuktikan bahawa jangka hayat kayu yang dirawat lebih panjang, mempunyai kekuatan fizikal yang jauh lebih baik serta menjimatkan kos bagi jangka masa yang panjang. Rawatan awet terhadap kayu-kayu yang rendah ketahanannya biasanya dilakukan dengan menggunakan bahan-bahan kimia. Akan tetapi penggunaan bahan awet dari sumber bahan kimia boleh bersifat racun bagi manusia dan mencemarkan alam sekitar. Oleh itu penggunaan bahan bioaktif yang berasal dari ekstrak jenis kayu yang mempunyai ketahanan yang tinggi adalah cara yang terbaik untuk melindungi kayu tanpa menimbulkan masalah kepada manusia dan alam sekitar.

Kandungan bahan ekstrak dalam kayu adalah pelbagai dimana terdapat perbezaan jumlah kandungan yang nyata di antara spesies-spesies kayu yang berkait rapat (Sjöström, 1998). Ekstrakan kayu dapat memberikan ketahanan fizikal dan mekanikal keatas serangan biologikal. Banyak kajian telah dijalankan untuk melihat perhubungan di antara sifat ketahanan kayu dengan kehadiran bahan kimia (ekstrakan) dalam kayu. Dua kaedah umum telah dijalankan bagi memastikan kepentingan hasil ekstrak tersebut. Yang pertama iaitu ujian sifat ketoksikan

ekstrakan tersebut terhadap serangga perosak dan kulat, manakala kaedah kedua pula melibatkan pengujian ketahanan kayu selama dan selepas pengekstrakan.

Kajian ketoksikan ekstrakan pelbagai jenis kayu dilakukan oleh Zabel dan Morell (1992) mendapati bahawa hasil ekstrakan kayu hanya dengan menggunakan air panas dan sejuk masing-masing menunjukkan sifat ketoksikan terhadap kulat perosak kayu. Keterlarutan komponen kayu dalam pelbagai pelarut merupakan ukuran bagi kehadiran ekstrakan yang terdapat dalam kayu. Tiada pelarut paling bagus yang dapat mengeluarkan semua hasil ekstrakan kayu dengan sepenuhnya. Biasanya pelarut tak berkutub dapat mengekstrak komponen lemak, resin, minyak dan terpena, manakala pelarut berkutub pula dapat mengekstrak beberapa jenis garam tak organik, polisakarida dan beberapa hemiselulosa (Mc Daniel, 1992). Penggunaan pelarut campuran heksana: aseton: air (HAW) bernisbah 44:54:2, berhasil mengekstrak komponen anti anai-anai pada pokok spesis *Catalpa bignonio des walt* (Mc Daniel, 1992).

Kajian yang dilakukan oleh Shenathirajah (1997) mendapati bahawa penggunaan pelarut aseton dan pelarut HAW menghasilkan ekstrakan yang bersifat anti anai-anai yang berjaya membunuh lebih banyak anai-anai dibandingkan dengan menggunakan pelarut pentana. Sementara Sze (2002) mendapati bahawa pelarut aseton memberikan komponen ekstrakan yang terbanyak dibandingkan dengan pelarut pentana dan campuran pelarut HAW. Pengekstrakan dilakukan secara berperingkat dengan menggunakan ketiga-tiga jenis pelarut.

Maklumat tentang penggunaan pelarut dalam mengekstrak komponen anti kulat telah banyak dilakukan. Akan tetapi masih diperlukan kajian yang lebih menyeluruh untuk melihat keberkesanan pelbagai jenis pelarut dalam mengekstrak komponen

ekstrakan dalam kayu yang berfungsi sebagai bahan toksik bagi kulat pereput putih. Ekstrakan yang diperolehi selanjutnya dapat dilakukan analisis untuk menentukan komponen anti kulat yang terdapat dalam bahan ekstrakan. Sebatian-sebatian anti kulat ini dapat dipisahkan secara kumpulan atau ditulenkan dan diproses sebagai bahan anti kulat semula jadi yang secara tidak langsung kualiti kayu boleh dipertingkatkan.

Telah diketahui bahawa kayu-kayu dari daerah tropika mengandungi banyak bahan ekstrakan, akan tetapi hanya sedikit yang diketahui tentang bagaimana pengekstrakan bahan-bahan ekstrakan ini akan mempengaruhi kehidroroskopian daripada kayu-kayu tersebut. Rowell (1994) mengatakan bahawa kehidroroskopian kayu yang mempunyai kandungan ekstrakan tinggi lebih rendah berbanding kehidroroskopian kayu yang mengandungi sedikit ekstrakan. Teras kayu bagi beberapa jenis kayu tropika telah dikaji menunjukkan peningkatan di dalam penepuan gentian ketara berdasarkan isoterma penyerapan dari minimum 21.9% dari kayu tidak terekstrakan kepada 27.6% selepas pengekstrakan berturut-turut dengan benzena-alkohol 95%, alkohol dan air selama 10 hingga 20 jam menggunakan soklet. Peningkatan jumlah air terikat akan mempengaruhi dan mengurangkan ikatan hidrogen antara polimer organik dinding sel yang menguraikan kekuatan kayu.

Untuk mengetahui tahap kekuatan kayu sebelum dan setelah dilakukan pengekstrakan berturut-turut dengan pelbagai jenis pelarut, maka kayu tersebut diuji kekuatan dengan beberapa ujian iaitu ujian lenturan (tensil), regangan (bending) hentaman (impak), dan perubahan dimensi kayu.

1.2 Kayu

Dari segi teknikal, kayu dicamkan sebagai tisu yang terdapat selapis kulit pokok dan membentuk keseluruhan bahagian dalam batang, dahan dan akar yang berfungsi sebagai penyalur dan penyangga mekanik pokok. Sementara daripada perspektif kimia, tisu kayu (yang meliputi sel dan bahan antara sel) ialah bahan komposit yang terbentuk daripada pelbagai polimer organik, iaitu molekul yang dibentuk oleh subunit atau monomer yang berulang-ulang (Parham dan Gray, 1994).

Kayu terdiri daripada sel-sel memanjang, kebanyakannya disusun dalam arah membujur terhadap batang (Sjöström, 1998). Batang kayu dibahagikan kepada beberapa bahagian kulit, kayu sap dan kayu teras. Kulit bertindak sebagai pelindung kepada bahagian kayu sap dan teras daripada ancaman luar. Kayu sap ialah bahagian kayu yang terdapat di antara kulit dan kayu teras yang lebih berongga daripada kayu teras dan mempunyai warna cerah. Kayu teras ialah pusat kepada cabang pohon dan berongga kecil (Browning, 1975).

Sel-sel kayu terdiri daripada sel lumen dan dinding sel. Dalam pokok yang masih bulat, lumen sel kayu sap berisi sejenis cecair yang dipanggil sap tetapi setelah pokok ditebang dan dikeringkan, sap ini akan tersejat, meninggalkan lumina sel yang kosong. Keadaan ini membolehkan kayu sap mudah dirawat kerana bahan awet akan menempati ruang kosong ini. Dalam kayu teras pula, lumina selnya dipenuhi oleh sejenis bahan ekstrakan tertentu yang tidak dapat disejat keluar oleh proses pengeringan. Hal ini menjadikan kayu teras lebih sukar dirawat. Walau bagaimanapun kayu teras ini lebih tahan terhadap pereputan dibandingkan dengan kayu sap kerana kehadiran bahan kimia di dalam lumina selnya yang bertanggungjawab ke atas sifat ketahanannya (Thomas, 1977).

Tahap kesesuaian untuk sesuatu kegunaan (iaitu kualiti kayu) ditentukan oleh tindak balas kayu terhadap rawatan fizik dan kimia yang dikenakan ke atasnya. Kualiti kayu juga biasanya didasarkan kepada tabiat kayu apabila didedahkan kepada daya persekitaran semula jadi seperti cuaca, api dan reputan (Parham dan Gray, 1994).

1.2.1 Pengelasan kayu

Kayu terbahagi kepada dua kategori tumbuh-tumbuhan besar iaitu kayu keras (*hard wood*) dan kayu lembut (*soft wood*) (Thomas, 1977). Kayu keras pula dibahagikan kepada tiga bahagian iaitu kayu keras berat, kayu keras sederhana dan kayu keras ringan. Kebanyakan kayu keras terdapat di kawasan tropika manakala kayu lembut hanya terdapat di kawasan yang beriklim sederhana (Apannah dan Weinland, 1993, Parham dan Gray, 1994).

Kayu lembut merupakan spesis pokok daripada kelas tumbuhan gimnosperma yang bercirikan biji yang terdedah, daun berbentuk jarum (*pine*) atau berbentuk sisik (*cedar*) dan sentiasa hijau serta tetap mengeluarkan daun baru untuk beberapa tahun. Kayu lembut juga dikenali sebagai konifer kerana kayu ini banyak mengeluarkan kon biji benih, kon debunga atau kedua-duanya sekali. Manakala kayu keras merupakan spesis kayu daripada kelas tumbuhan angiosperma yang bercirikan biji di dalam buah, dikotiledon (dua daun biji), mempunyai daun yang lebar dan daunnya akan gugur pada penghujung musim pertumbuhan pokok (Butcher, 1974, Parham dan Gray, 1994).

Perbezaan utama antara kayu lembut dan kayu keras adalah kehadiran unsur vesel pada kayu keras, iaitu terdiri daripada gentian dan sel lebar. Unsur vesel tersebut dihubungkan hujung demi hujung untuk membentuk hubungan atau vesel-vesel di sepanjang batang, dahan dan akar dan kelihatan seperti liang pada keratan rentas kayu. Kayu lembut pula kurang mengandungi vesel, tetapi isi pada kayu terdiri daripada 90-95% gentian atau dikenali dengan trakeid (Thomas, 1977, Rowell, 1994).

Menurut Desch dan Dinwoodie (1996), fungsi pengaliran dan mekanikal dalam kayu lembut dijalankan oleh satu jenis sel, tiap-tiap unitnya dikenali sebagai trakeid. Sel-sel ini adalah unit berongga, yang berbentuk jarum dan mempunyai kepanjangan sehingga 10 mm tetapi biasanya antara 2.5 mm hingga 5.0 mm. Sel ini teratur begitu rapat apabila dilihat melalui keratan rentas. Semakin besar rongga sel itu semakin baik digunakan untuk pengaliran makanan. Pokok yang mempunyai dinding trakeid yang nipis bersama dengan rongga yang besar pada asasnya terlibat dengan pengaliran makanan manakala trakeid yang berdinding tebal memberikan ketegaran mekanikal dan mungkin juga dalam pengaliran makanan. Mutu kayu lembut sangat bergantung pada perbandingan trakeid berdinding tebal dan trakeid berdinding nipis. Semakin tinggi peratusan kayu akhir, semakin kuat sesuatu kayu itu.

Tisu penyimpan disebut dengan parenkima. Sel-sel ini tersusun seperti batu bata dengan paksinya yang panjang mendatar dalam sel-sel parenkima ruji dan tegak dalam sel-sel parenkima kayu. Sel-sel ini berdinding agak nipis dan mempunyai pit yang banyak. Sel-sel ini berbeza daripada trakeid kerana kekal hidup selama beberapa tahun selepas perkembangan selesai. Apabila tidak lagi diperlukan untuk menyimpan makanan, sel-sel parenkima akan mati, serupa juga dengan sel-sel yang lain di dalam xilem sekunder.

Tisu ruji terdapat dalam jalur atau plat mendatar yang nipis yang disebut ruji. Ruji biasanya kelihatan sebagai reben mendatar yang nipis dan berukuran 0.05 mm hingga 0.5 mm lebar. Dalam kayu lembut, tisu parenkima kayu hanya berjumlah sedikit dan dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop.

1.2.1.1 Kayu keras berat

Kayu keras berat merupakan kayu berat yang mempunyai ketumpatan melebihi 880 kg/m^3 , mempunyai kandungan lembapan sekitar 15% dan mempunyai ketahanan semula jadi. Ketahanan kayu tersebut disebabkan oleh kehadiran bahan toksik dalam tisu yang menjadi penghalang kepada agen perosak kayu (Menon, 1997).

Anatomi kayu keras adalah lebih pelbagai atau lebih rumit daripada kayu lembut, tetapi strukturnya adalah serupa. Kayu keras mengandungi isipadu sel gentian yang banyak, tetapi ciri xilem angiosperma yang ketara adalah kewujudan vesel. Dalam keratan rentas kayu, vesel kelihatan seperti lubang atau liang dalam pelbagai corak. Berbeza dengan kayu lembut yang tidak berliang (Desch dan Dinwoodie, 1996).

1.2.1.2 Kayu keras sederhana

Kayu keras sederhana merupakan kayu yang sederhana berat mempunyai ketumpatan antara $720\text{-}880 \text{ kg/m}^3$ dengan kandungan lembapan 15%. Kayu ini sederhana tahan dan digunakan dalam pembinaan sederhana berat. Tetapi ketahanan kayu ini berubah pada iklim yang berbeza. Contohnya dalam keadaan tropika, ketahanan kayu adalah kurang dibandingkan dengan keadaan iklim sederhana kerana iklim ini kurang sesuai untuk kegiatan agen perosak kayu (Menon, 1997).

1.2.1.3 Kayu keras ringan

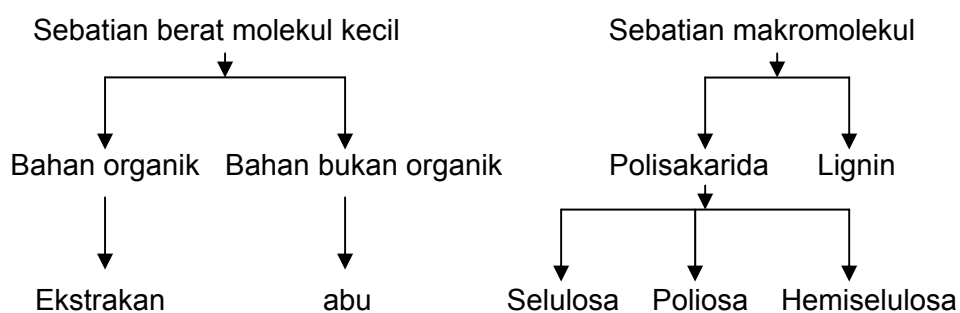
Kayu keras ringan merupakan kayu yang ringan dan mempunyai ketumpatan kurang dari 720 kg/m^3 dengan kandungan lembapan 15%. Kayu ini tahan dalam keadaan iklim sederhana tapi tidak tahan dalam iklim tropika. Sebagai langkah penjagaan terhadap kulat dan serangga, ia perlu di rawat dengan pengawet (Menon, 1997).

1.2.1.4 Kayu lembut

Kayu lembut merupakan kayu yang ringan dan mempunyai ketumpatan antara 385-735 kg/m³. Gantian kayu awal dalam kayu lembut adalah bedinding nipis dan mempunyai diameter jejari yang lebar. Apabila musim hujan berubah ke musim kemarau dinding gantian semakin rapat dan tebal sama ada secara perlahan-lahan atau secara mendadak. Pada masa yang sama diameter jejari semakin mengecil. Perubahan yang berlaku mengakibatkan tisu kayu akhir lebih tumpat dan lebih keras daripada kayu awal (Parham dan Gray, 1994).

1.2.2 Komposisi kimia kayu

Komposisi kimia kayu terdiri daripada gabungan tiga unsur iaitu karbon, hidrogen dan oksigen yang membentuk tiga komponen polimer utama dalam kayu iaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin (Gabriellii *et.al*, 2000). Tiga komponen ini merupakan makro molekul utama dinding sel dan terdapat pada semua kayu. Manakala komponen-komponen minor dengan berat molekul kecil terdiri dari bahan ekstrakan dan zat-zat mineral (Haygreen dan Bowyer, 1994) (Rajah 1.1).



Rajah 1.1 Kimia kayu (Fengel dan Wagener, 1995)

Berdasarkan berat kering, kayu mengandungi 40-45% selulosa, 17-25% lignin dan 15-35% hemiselulosa (Browning, 1975). Bahan ekstrakan pula pelbagai antara 4-

10% bagi spesies kayu di kawasan yang beriklim sederhana dan mencapai 20% untuk spesies kayu di kawasan tropika (Fengel dan Wagener, 1995).

1.2.2.1 Selulosa

Selulosa merupakan komponen yang paling penting pada kayu yang meliputi 40-45% daripada bahan kering hampir semua spesies kayu (Sjöström, 1998). Kebanyakannya terletak dalam dinding sel sekunder kayu. Ia dibentuk daripada molekul glukosa ($C_6H_{12}O_6$) iaitu monosakarida yang terhasil daripada fotosintesis CO_2 dari atmosfera. Molekul glukosa bersambung antara satu sama lain membentuk rangkaian molekul selulosa yang panjang. Gabungan dua molekul glukosa menjadi selulosa akan menyebabkan satu molekul air disingkirkan. Formula kimia selulosa ialah $(C_6H_{10}O_5)_n$, dengan n merupakan darjah pempolimeran (Razali, 1997).

Molekul selulosa adalah polimer linear, rangkaian teguh tidak bercabang yang mengandungi unit anhidro-D-glukopiranososa terikat antara satu sama lain oleh rangkaian β -1-4-glikosidik dan mempunyai kecenderungan yang kuat untuk membentuk ikatan hidrogen intra dan antara molekul. Oleh itu berkas molekul selulosa teragregat bersama dalam bentuk mikrofibril yang berselangan antara kawasan tersusun rapi (hablur) dengan kawasan yang tidak begitu tersusun (amorfous). Mikrofibril membentuk fibril dan akhirnya membentuk gentian selulosa. Hasil struktur bergentian dan ikatan hidrogen yang kuat menyebabkan selulosa mempunyai kekuatan tensil yang tinggi (Sjöström, 1998).

Semakin panjang rangkaian polimer semakin tinggi pula darjah pempolimeran, semakin tinggi kekuatan unit sel kerana semakin tinggi kekuatan kayu. Selulosa sangat tahan terhadap tegasan tegangan oleh kerana ikatan kovalen dalam gelang piranososa dan di antara unit individu. Manakala ikatan hidrogen dalam selulosa

memberikan ketegaran kepada molekul selulosa melalui pemindahan tegasan dan terjadi proses penyerapan kejutan oleh molekul kerana pemutusan dan pembentukan semula yang berturutan. Selulosa tidak terlarut dalam banyak pelarut termasuklah alkali kuat. Oleh itu, adalah sukar untuk mengasingkan selulosa daripada kayu dalam bahan tulen kerana selulosa berkait rapat dengan lignin dan hemiselulosa (Pettersen, 1994).

1.2.2.2 Hemiselulosa

Hemiselulosa merupakan campuran polisakarida yang disintesis dalam kayu, hampir keseluruhannya daripada glukosa, mannososa, galaktosa, xilosa, arabinosa, asid 4-O-metilglukoronik dan asid galakturonik. Hemiselulosa secara kimianya adalah berkait dengan selulosa kerana kedua-duanya merupakan karbohidrat. Pada amnya molekulnya juga berangkai seperti selulosa tetapi hemiselulosa mempunyai darjah polimeran yang lebih rendah dibandingkan dengan selulosa dan kebanyakan hemiselulosa mempunyai tulang belakang rangkaian linear yang bercabang (Haygreen dan Bowyer, 1994). Gula dalam struktur hemiselulosa memperlihatkan ikatan hidrogen di dalam rangkaian dan juga di antara rangkaian hemiselulosa lain yang berbeza dengan selulosa. Tidak seperti selulosa, hemiselulosa adalah terlarut dalam alkali dan mudah dihidrolisis oleh asid.

Jumlah hemiselulosa berdasarkan berat kering kayu biasanya ialah antara 20 hingga 30%. Kandungan hemiselulosa kayu lembut berbeza daripada kayu keras. Jadual 1.1 menyenaraikan jenis hemiselulosa yang paling banyak didapati pada kayu keras dan kayu lembut (Pettersen, 1994)

Jadual 1.1 Komponen utama hemiselulosa (Pettersen, 1994)

Jenis hemiselulosa	Kejadian	Jumlah (% kayu)
Galaktoglukomanan	Kayu lembut	5-8
Arabinoglukoronokxilan	Kayu lembut	7-10
Arabino galaktan	Kayu Larch	5-35
Glukoronokxilan	Kayu Keras	15-30
Glukomanan	Kayu Keras	2-5

1.2.2.3 Bahan pektin

Bahan pektin merupakan karbohidrat atau sebatian yang berkait dengannya. Bahan ini banyak ditemui di tisu kambium, dimana ia membentuk selaput yang memisahkan antara sel yang baru dibentuk dengan kambium (Browning, 1977). Kelompok sebatian pektin mencakupi galakturonan, galaktan dan arabinan. Semua karbohidrat dalam kayu (selulosa, hemiselulosa dan bahan pektin) dikenali juga sebagai holoselulosa (Razali, 1997).

1.2.2.4 Lignin

Lignin adalah polimer yang mempunyai berat molekul yang tinggi, kompleks yang berunitkan fenil propana dan ia berkait rapat dengan bahan biopolimer dinding sel kayu lainnya (Kuroda, 2000). Walaupun terdiri daripada karbon, hidrogen dan oksigen, lignin bukan termasuk karbohidrat tetapi merupakan bahan fenolik di dalam alam semula jadi (Haygreen dan Bowyer, 1994).

Lignin terdiri daripada susunan tidak teratur pelbagai ikatan hidroksi- dan metoksi- unit fenilpropana bertukar ganti. Petanda awal biosintesis lignin ialah alkohol p-koumaril (I), alkohol koniferil (II) dan alkohol sinafil (III). (I) ialah petanda awal yang

kecil bagi lignin kayu lembut dan kayu keras. (II) ialah petanda awal yang predominan bagi lignin kayu lembut, manakala (II) dan (III) ialah petanda awal bagi lignin kayu keras (Pettersen, 1994). Lignin merupakan komponen dinding sel yang dihasilkan oleh sel hidup. Proses lignifikasi berakhir dengan pemusnahan protoplasma dan kematian sel. Lignin terdapat di antara sel-sel individu dan di dalam dinding sel. Di antara sel-sel individu lignin berfungsi sebagai agen pengikat yang menyatukan sel-sel, manakala di dalam dinding sel lignin berhubung kait dengan selulosa dan hemiselulosa dalam membentuk kepadatan sel. Oleh itu, lignin dapat menaikkan sifat-sifat kekuatan mekanikal sedemikian rupa sehingga tumbuhan yang besar seperti kayu yang tinggi lebih dari 100 meter tetap kukuh berdiri (Haygreen dan Bowyer, 1994).

Lignin adalah komponen dinding sel yang paling hidrofobik. Lignin bertindak sebagai agen penggerak di atas dan di sekeliling pecahan karbohidrat sehingga menegakkan pengaruh air terhadap pecahan karbohidrat tersebut untuk mengekalkan kekuatan dan ketegaran kayu. Kayu basah tanpa lignin hanya 10% kekuatannya daripada kayu basah yang mengandungi lignin. Manakala pada kayu kering kekuatannya hampir sama dengan ada atau pun tidak ada lignin. Lignin akan menegakkan air untuk tidak mencapai setengah karbohidrat supaya pengaruh air terhadap struktur kayu yang mempunyai ikatan hidrogen, sehingga mengekalkan kekuatan kayu (Rowell, 1994).

Jumlah lignin yang terdapat dalam tumbuhan yang berbeza berkisar antara 20% hingga 40%. Taburan lignin juga tidak sama dimana kandungan lignin yang tinggi adalah khas untuk bahagian batang yang paling rendah, paling tinggi dan paling dalam, cabang kayu lembut dan kulit (Fengel dan Wagener, 1995).

1.2.2.5 Komponen ekstrakan

Ekstrakan merupakan bahan selain selulosa, hemiselulosa dan lignin. Ia tidak terdapat dalam struktur dinding sel. Bahan ekstrakan dianggap sebagai bahan kayu yang tidak berstruktur dan hanya terdiri daripada sebatian luar sel dan mempunyai berat molekul yang rendah (Sjöström, 1998). Ia meliputi 4-10% daripada berat kering kayu normal bagi spesis yang tumbuh di kawasan beriklim sederhana dan boleh mencapai 20% dalam spesis kayu yang hidup di kawasan tropika (Pettersen, 1994). Walaupun meliputi peratusan yang kurang daripada kayu, bahan ekstrakan ini mempengaruhi sifat kayu, oleh itu secara tidak langsung akan mempengaruhi kegunaan kayu (Fengel dan Wagener, 1995).

Ekstrakan kayu terdiri daripada sebatian jenis lipofilik dan hidrofilik. Sebatian lipofilik dalam kayu terutamanya mengandungi lilin, lemak, terpenoid dan alkohol alifatik yang tinggi. Sebatian ini boleh diekstrak oleh pelarut tak berkutub. Sebatian hidrofilik pula mengandungi jumlah fenolik yang banyak dan boleh diekstrak oleh air atau pelarut berkutub (Kadir, 2000).

Menurut Fernandes *et al.*, (2001), pelbagai komponen ekstrakan kayu dapat dikelaskan kepada tiga kumpulan umum iaitu terpenoids, lemak dan fenolik. Selain itu terdapat juga komponen kecil yang terdiri daripada karbohidrat, peptida dan bahan bukan organik. Kebanyakan bahan tersebut tidak berfungsi dalam metabolisme pokok tetapi sebagai perantara dalam metabolisme pokok, iaitu sebagai simpanan tenaga (Hills, 1962, Pettersen, 1994, Mc. Daniels *et al.*, 2001). Ekstrakan kayu juga dapat memberikan perbezaan dalam sifat kayu seperti warna kayu, kewangian (mudah meruap) yang menambahkan kegunaan dan nilai estetik kayu. Yang paling penting bahan ekstrakan ini berfungsi sebagai pencegahan terhadap pereputan yang disebabkan oleh bahan-bahan ekstrakan ini beracun terhadap bakteria, kulat dan anai-anai (Darado *et al.*, 2001).

Kandungan dan komponen ekstrakan berubah-ubah di antara spesies kayu dan di antara bagian-bagian pokok yang berlainan yaitu cabang, akar, kulit dan daun dan paling banyak di bagian kulit (Mc Daniels *et al.*, 2001). Perbezaan kandungan ekstrakan ini juga bergantung pada tapak geografi dan musim. Bahan ekstrakan tertumpu dalam saluran resin dan sel-sel parenkima jejari. Sejumlah rendah bahan ini ditemui dalam lamela tengah, antara sel, dinding sel trakeid dan gentian libriform (Fengel dan Wagener, 1995).

A. Terpenoid dan Steroid

Terpenoid dan steroid berasal daripada unit-unit isoprena, oleh itu ia kadang-kadang disebut isoprenoid. Terpenoid dibahagikan kepada subkumpulan mengikut bilangan unit isoprena. Terpenoid yang terdapat dengan banyak di dalam kayu ialah jenis mono-, seskui-, di-, tri- dan politerpenoid (Sjöström, 1998). Ekstrakan kayu lembut mengandungi semua kumpulan terpena, manakala di dalam kayu keras terutama terdapat terpena tinggi, monoterpena hanya terdapat dalam beberapa kayu keras tropika (Fengel dan Wagener, 1995).

B. Lilin dan Lemak

Lilin dan lemak merupakan jujuk yang paling dominan dalam lipofilik yang terkandung dalam sel parenkim. Lemak didefinisikan sebagai asid ester karbonat tinggi (asid lemak) dengan gliserol sedangkan lilin adalah asid ester lemak dengan alkohol tinggi. Lemak dan lilin dapat diekstrak dari kayu dengan pelarut organik. Kandungan lemak sekitar 0.3 hingga 0.4% sedangkan lilin sekitar 0.08 hingga 0.09% (didasarkan pada berat kayu kering). Di samping lemak dan lilin, asid lemak bebas dan alkohol juga merupakan komponen ekstrakan (Fengel dan Wagener, 1995).

Lebih daripada 30 asid lemak, tepu dan tak tepu telah dikenal pasti di dalam kayu lembut dan kayu keras. Antara asid lemak C 18, asid oleik dan asid linoleik merupakan juzuk yang dominan (Sjöström, 1998).

C. Sebatian Fenolat

Teras dan kulit kayu mempunyai banyak ekstrakan aromatik yang kompleks yang dikenali sebagai sebatian fenolat. Sebatian ini cenderung mudah larut dalam air kerana umumnya sering berikatan dengan gula sebagai glikosid dan biasanya terdapat dalam vakuola sel (Harborne, 1987). Kebanyakan daripada sebatian fenolik berasal daripada struktur fenilpropanoid. Beribu-ribu sebatian fenol telah dikenal pasti, kumpulan yang paling penting adalah stilbena, lignan, flavonoid, tanin yang boleh dihidrolisis dan tanin tumpat (Sjöström, 1998).

Stilbena merupakan sebatian yang terdapat dalam kayu teras pinus. Sebatian tersebut terutama 4-hidroksistilbena, 4-metoksistilbena dan pinosilvin. Pinosilvin mono- dan dieter menyebabkan kayu berwarna gelap kerana cahaya (Fengel dan Wagener, 1995).

Kelompok kedua adalah lignan yang merupakan sebatian-sebatian yang terdiri atas dua unit fenilpropana yang diikat dengan cara berbeza. Lignan merupakan komponen khas kayu keras dan jumlahnya dalam kayu sap adalah kecil atau dapat diabaikan. Lignan juga dapat diasingkan daripada kulit, buah, kayu teras, akar dan dari eksudat resin pelbagai pokok kayu. Amnya, lignan hanya mempunyai sedikit nilai komersial (Hathway, 1962).

Flavonoid merupakan salah satu golongan fenol yang terdapat dalam semua tumbuhan hijau sehingga ditemui pada setiap ekstrak tumbuhan (Markham, 1988). Terdapat lebih dari 2000 jenis flavonoid yang telah dipisahkan dan dicirikan. Secara

umum terdapat 12 kumpulan flavonoid iaitu antosianin, kalkon, auron, flavon, flavonol, flavanon, dihidrokalkon, katekin, flavon 3, 4-diol, biflavon, isoflavon dan proantosianidin (Fasihuddin dan Hasmah, 1993). Kelompok isoflavon dikenali mempunyai aktiviti anti kulat (Laks, 1987).

Dari segi struktur, semua flavonoid adalah berhubung rapat dengan struktur induk flavon iaitu sebatian 2-fenilbenzopiron. Flavonoid boleh mempunyai pelbagai warna, daripada putih, kuning, merah dan biru, walaupun kebanyakannya berwarna kuning. Oleh itu, sejumlah flavonoid menentukan warna masing-masing kayu dan menyebabkan tanda-tanda warna dalam pulpa dari kayu tropika (Fengel dan Wagener, 1995).

Jenis flavonoid ini ditemui terbesar pada tumbuhan angiosperma dan amnya jumlah flavonoid ini bertambah luas pada golongan tumbuhan yang telah berevolusi lebih tinggi (Markham, 1988). Seseengah kumpulan flavonoid seperti antosianin, flavon dan flavon 3,4-diol tertabur secara meluas, manakala yang lain seperti flavanon, kalkon, auron dan isoflavon tidak ditemui secara meluas. Flavonoid tertabur secara meluas dalam tumbuhan dalam bentuk aglikon dan juga heterosida. Sebatian heterosida ditemui secara meluas dalam bunga, buah dan daun, manakala sebatian aglikon banyak terdapat pada tisu yang berkayu. Ada sebatian yang tidak langsung ditemui dalam bentuk heterosida seperti sebatian tanpa kumpulan hidroksil, flavon yang ter-alkil dengan lengkap, nobiletin, tanyerin dan lain-lain. Flavonoid seperti ini tidak mempunyai kumpulan hidroksil yang membolehkan gula berikatan (Fasihuddin dan Hasmah 1993). Sebatian gula yang biasanya terlibat dalam pembentukan ikatan glikosida adalah D-glukosa, L-ramnosa, L-arabimnosa dan lain-lain. Disebabkan kehadiran gula yang berlainan, maka jenis flavonoid juga bertambah.

Tanin merupakan sebatian fenolat yang mempunyai kemampuan membentuk kompleks yang stabil dengan protein dan sebatian yang lain. Tanin dapat dikelompokkan dalam dua kelompok utama iaitu tanin yang boleh dihidrolisis (hydrolysable) atau asid heksahidroksidifenik dan tanin tumpat (condensed tannin) atau proanthosianidins (Silanikove *et al.*, 2001). Kelompok tumbuhan gimnospermae dan monokotiledon hanya menghasilkan tanin tumpat, manakala kelompok tumbuhan dikotiledon dapat menghasilkan tanin tumpat dan tanin boleh dihidrolisis dan atau kedua-duanya sekaligus (Kanerva *et al.*, 2006).

Tanin yang boleh dihidrolisis adalah ester asid galik dan dimernya (asid digalik, asid elagik) dengan monosakarida terutama glukosa (Fengel dan Wagener, 1995). Ia merupakan gabungan dari gula sederhana seperti glukosa dan asid polihidrik-fenolik seperti asid galik, asid heksahidroksidifenik dan asid elagik dimana sebatian tersebut dibentuk melalui ikatan ester yang boleh dihidrolisis (Galvez *et al.*, 1996).

Tanin yang boleh dihidrolisis selalunya dikelaskan sebagai kelompok galotanin yang apabila dihidrolisis akan menghasilkan asid galik dan kelompok elagitanin yang menghasilkan asid elagik setelah dihidrolisis (Jurd, 1962). Hidrolisis dari tanin yang boleh dihidrolisis menghasilkan asid galik dalam jumlah yang besar manakala asid elagik dan asid heksahidroksidifenik dihasilkan dalam jumlah yang kecil dan berasal dari gabungan dua molekul asid galik, oleh itu asid galik disebut sebagai tanda awal dari tanin yang boleh dihidrolisis (Fechtal dan Riedl, 1991).

Baik galotanin dan elagitanin dapat dijumpai pada pokok dikotiledon (Silanikove *et al.*, 2001) dimana galotanin dijumpai dalam kayu sap dan kayu teras. Pada sejumlah kayu tropika, tanin yang boleh dihidrolisis (jenis asid galik) hanya terdapat pada pokok oak, sedangkan semua kayu yang lain hanya mengandung tanin tumpat (Fengel dan Wagener, 1995).

Komponen utama dari tanin tumpat adalah katekin (flavon-3-ol) dan leukoantosianidin (flavon-3,4-diol). Tanin tumpat merupakan sebatian polifenol yang paling banyak dijumpai dalam pokok kayu setelah lignin dan dapat dijumpai di dalam daun, buah, kayu, akar dan kulit yang mempunyai peranan dalam bidang nutrisi dan ekologi (Hernes *et al*, 2001 seperti disebut oleh Rahim, 2005). Kebanyakan kayu tropika mengandungi tanin tumpat dan dapat dijumpai pada kelompok gimnosperma dan angiosperma (Silanikove *et al.*, 2001).

Tanin dijumpai sekitar 80% pada kayu dan 15% pada spesies herba dikotiledon (*Herbaceous dicotyledons* sp) (Bryant *et al.*, 1992 seperti disebut oleh Silanikove *et al.*, 2001). Tanin digunakan secara meluas dalam bidang penyamakan, perubatan, dan industri nuklear (Rahim, 2005). Tanin dapat melindungi kayu dari serangan serangga, herbivor, dan mikroorganisma yang patogen kerana tanin mempunyai sifat anti mikrobiologi dan anti kulat (Hart dan Hills, 1972, Scalbert, 1991).

Kebanyakan sifat tanin seperti kemampuannya dapat menghambat aktiviti enzim, mempunyai aktiviti anti kulat dan astringen didasarkan pada kemampuan tanin untuk berinteraksi dengan kuat dengan protein yang kemudiannya akan membentuk mendakan (Kawamoto *et. al.*, 1995).

1.2.2.6 Komponen bukan organik

Kayu mengandungi sedikit sahaja bahan tak organik yang diukur sebagai abu yang tertinggal selepas pembakaran pada suhu yang tinggi. Kandungan di dalam kayu adalah 0.1-0.5% daripada berat kering kayu tetapi jarang melebihi 1% (Sjöström, 1998). Komponen utama abu adalah kalsium, magnesium, dan silikon (Fengel dan Wagener, 1995).

1.2.3 Kekuatan kayu

Pada dasarnya kayu merupakan kumpulan gentian berbentuk tiub atau sel yang melekat-lekat. Kekuatan kayu bersumber dari gentian kayu. Setiap dinding gentian terdiri daripada pelbagai jumlah bagi tiga polimer iaitu; selulosa, hemiselulosa dan lignin. Ketiga-tiga polimer ini membentuk dinding sel dan berfungsi untuk kebanyakan sifat fizikal dan kimia kayu. Sifat fizikal dan kimia selulosa, hemiselulosa dan lignin sangat penting dalam kekuatan kayu. Selulosa mempunyai darjah pempolimeran tinggi dan susunannya yang linear sehingga menguatkan gentian kayu. Hemiselulosa berfungsi sebagai matriks untuk selulosa dan meningkatkan ketumpatan dinding sel. Lignin merupakan sebatian berfenol di samping mengikat antara sesama gentian, juga bertindak sebagai agen penguat untuk molekul selulosa di dalam dinding sel gentian. (Winandi dan Rowell, 1994).

Sifat semula jadi kimia bahan kayu, terutamanya polisakarida, membuatkan dinding sel kayu menjadi hidrofilik atau higroskopik. Kumpulan hidroksil pada molekul selulosa dan hemiselulosa bertanggung jawab menjadikan kayu amat cenderung kepada air dan boleh membentuk ikatan hidrogen. Manakala lignin mempunyai jumlah hidroksil bebas yang kurang, maka lignin menjadi kurang higroskopik.

Berat dan sifat kekuatan kayu dalam bertindak balas terhadap cuaca, rawatan kimia, api atau organisma mikrob, dipengaruhi oleh pelbagai faktor, di antaranya adalah suhu, kelembapan, ketumpatan dan kecacatan kayu. Secara amnya, kekuatan kayu akan berkurangan apabila pengubahsuaian dilakukan pada suhu tindak balas yang semakin meningkat (Comben, 1964 seperti disebut oleh Wooi, 2002).

Kekuatan kayu adalah berhubung rapat dengan jumlah air yang terkandung di dalam gentian dinding sel kayu. Kayu yang dipotong mengandungi air yang banyak dalam sel lumen (air bebas) dan dalam dinding sel (air terikat). Takat perubahan

semula jadi antara air bebas dan air terikat dikenali sebagai takat tepu gentian (FSP). Dimana kayu berada pada keadaan dinding sel penuh dengan air tetapi lumen sel tidak mengandungi air bebas. Kandungan lembapan pada takat ini adalah 30% (Haygreen dan Bowyer, 1994). Skaar (1994) mengatakan bahawa takat tepu gentian berada pada julat lembapan 25-30% berat kering pada kebanyakan kayu tetapi kemungkinan lebih rendah pada kayu yang mengandungi bahan ekstrakan yang tinggi.

Pada kandungan lembapan di atas takat tepu gentian, air berkumpul dalam lumen sel dan tiada kesan kekuatan yang nyata yang berhubungan dengan perubahan kandungan lembapan (Winandy dan Rowell, 1994). Tetapi apabila kandungan lembapan di bawah takat tepu gentian akan terjadi erapan dan perubahan dimensi dalam kayu. Kehilangan air daripada kayu atau di bawah takat tepu gentian, kerana penyejatan atau peresapan akan menyebabkan kecutan pada kayu. Pengambilan air oleh kayu di bawah takat tepu gentian boleh menyebabkan molekul polisakarida terpisah apabila air disedut. Pengeringan kayu basah juga boleh mengakibatkan kecutan kayu dan menggalakkan penyatuan dan pengikatan struktur dalaman kayu.

Julat kandungan kelembapan di bawah takat tepu gentian dikenali sebagai julat higroskopik (Choong dan Achmadi, 1991). Kehigroskopian kayu yang mempunyai kandungan ekstrakan yang tinggi pada umumnya lebih rendah dibandingkan dengan kehigroskopian kayu tanpa bahan ekstrakan (Skaar, 1994). Penyingkiran bahan ekstrakan akan memberikan kesan kepada kehigroskopian kayu. Pengekstrakan bahan ekstrakan daripada kayu menyebabkan penambahan daerah erapan kelembapan dalam dinding sel kayu (Choong dan Achmadi, 1991). Hal ini bermakna bahawa akan terjadi peningkatan jumlah air terikat. Peningkatan jumlah air akan mempengaruhi dan menguraikan ikatan hidrogen di antara polimer organik dinding sel kayu (Winandy dan Rowell, 1994). Wooi (2002) mengatakan dimensi kayu akan berubah apabila kandungan kelembapan berubah kerana polimer dinding sel

mengandung kumpulan hidroksil dan kumpulan pembawa oksigen yang dapat menarik lembapan melalui ikatan hidrogen. Lembapan ini akan membengkakan dinding sel sehingga tidak dapat lagi mengembong dan tepu dengan air. Proses ini adalah sebaliknya iaitu kayu akan mengecut apabila lembapan ini hilang .

Selain lembapan kayu, ketumpatan kayu mempengaruhi kecutan, pembengkakan kayu, ketembusan bendalir, gas, dalam hal lain mengawal pendegradasian kayu oleh bahan kimia, api dan mikroorganisma. Pada kayu lembut ketumpatan asas berkait rapat dengan perkadaran isipadu kayu akhir dan purata ketebalan dinding gentian. Manakala ketumpatan asas kayu keras bukan sahaja bergantung pada ketebalan dinding gentian tetapi juga berkait dengan nisbah isipadu gentian kepada vesel (Rowell, 1994).

Vesel dalam kebanyakan spesis kayu keras menjadi tersumbat dengan sel parenkima. Struktur ini diistilahkan sebagai tilosis. Memasuki lumen vesel melalui unsur vesel atau pit parenkima dan mewakili ketumbuhan kandungan hidup parenkima. Tilosis banyak menurunkan ketertelapan kayu. Kayu mempunyai beberapa kekurangan dalam penggunaan seperti terjadi biouraian, mudah terbakar, tidak stabil dimensi akibat kandungan lembapan yang berubah-ubah, terurai oleh cahaya UV dan bahan kimia. Secara biologi kayu terurai kerana aktiviti organisma dan mikrob yang menyebabkan penguraian gentian kayu oleh tindak balas kimia seperti hidrolisis, pendehidratan dan pengoksidaan sehingga melemahkan kekuatan kayu. Penguraian fotokimia pada kayu yang terdedah kepada persekitaran luar disebabkan oleh cahaya UV. Lignin merupakan komponen asas yang terurai dan mengakibatkan perubahan warna cirian. Lignin berfungsi sebagai perekat untuk menyatukan gentian selulosa. Selulosa kurang tahan terhadap pengurai sinar UV daripada lignin. Gentian yang terikat secara longgar ini mudah dibasuh keluar semasa hujan sehingga terjadi tindak balas keteruraian pada lignin baru (Desch dan Dinwoodie, 1996).

Ada dua kaedah untuk menentukan kekuatan kayu, iaitu ujian penggunaan dan ujikaji makmal. Ujian penggunaan mempunyai kelebihan kerana ia dijalankan semasa kayu digunakan. Tetapi pengumpulan data dengan kaedah ini akan mengambil masa yang lebih lama, dan faktor-faktor luaran yang mempengaruhi sifat kekuatan kayu lebih sukar untuk dikawal. Manakala ujian makmal hanya memakan masa yang singkat. Di makmal dua kelas ujian dilakukan: ujian spesimen yang kecil seperti yang telah dilakukan dan ujian dalam ukuran struktur bangunan. Ujian spesimen yang kecil dilakukan untuk mengelakkan kesan buku dan cacat lain. Ujian atas kayu pada ukuran sebenar lebih mirip kepada keadaan kegunaan.

Ujian dengan menggunakan spesimen berukuran kecil tanpa cacat kayu walaupun terdapat kekurangan pada data-data yang diperolehi, ujian ini masih dapat digunakan kerana kaedah ujian telah dipiawaikan dan nilai tersebut boleh digunakan untuk pengiraan tegasan kerja yang selamat kerana faktor-faktor pembetulan yang sesuai telah ditentukan (Desch dan Dinwoodie, 1996).

1.2.4 Sifat mekanikal kayu

Sifat mekanikal kayu mengaitkan kerintangan kayu terhadap pelbagai jenis beban yang dikenakan terhadapnya. Struktur menyumbang kepada kekuatan kayu adalah gentian kayu. Dengan lebih khusus, selulosa merupakan bahan yang bertanggungjawab terhadap gentian kayu disebabkan ia mempunyai darjah pempolimeran yang tinggi dan orientasinya yang linear dalam kayu.

Kayu yang tidak mempunyai kecacatan nyata secara visual juga mempunyai sifat yang berbeza akibat komposisi kayu yang heterogen dan corak pertumbuhan semula jadi. Kayu adalah bahan anisotropik yang sifat mekanikalnya berubah-ubah mengikut tiga paksi bahan yang saling menegak satu sama lain iaitu jejari, tangen dan membujur (rentas). Ciri semula jadi ini dialami semasa pertumbuhan pokok hidup.

Sifat mekanikal kayu bermaksud keupayaan sesuatu bahan untuk merintang daya luaran atau beban yang cuba menukar ukuran dan mengubah bentuknya. Sifat mekanikal ini dapat dinilai berdasarkan pada pengukuran tegasan dan terikan. Tegasan ialah ukuran daya dalaman yang menekan dari dalam sesuatu bahan akibat beban luaran yang dikenakan ke atas bahan tersebut. Keterikan ialah ukuran keupayaan bahan untuk cacat bentuk, iaitu sama ada memanjang atau di bawah tegasan. Tegasan dinyatakan dalam bentuk beban dan luas keratan rentas, dalam unit N/mm^2 . dan terikan dalam unit yang berkait dengan panjang kayu yang mengalami terikan (Winandi dan Rowell, 1994). Keupayaan kayu untuk membengkok secara bebas dan kembali kepada bentuk asal dikenali sebagai kelenturan dan keupayaan menahan bengkok tersebut disebut ketegaran.

1.2.4.1 Regangan (tensil)

Oleh sebab kekuatan tegangan kayu amat tinggi, maka hanya kepingan kayu yang nipis digunakan. Walau bagaimanapun, kepingan nipis ini akan hancur dalam rahang mesin penguji kerana tekanan mengapit yang tinggi semasa ujian. Hal ini diatasi dengan menggunakan sampel ramping yang dapat mengapit kayu dalam rahang (Desch dan Dinwoodie, 1996).

1.2.4.2 Lenturan (bending)

Kekuatan lenturan kayu biasanya dinyatakan sebagai modulus pecahan atau *Modulus Of Rupture*, (MOR) yang setara dengan tegasan gentian lampau spesimen pada takat kegagalan, dengan anggapan teori lenturan mudah berlaku.

Selain kekuatan lenturan dan modulus kekenyalan dalam lenturan, ujian ini juga dapat memberikan nilai kerja maksima dan jumlah kerja, yang dapat memberikan nilai keliatan kayu.