

KEBOLEHAWETAN KAYU SENTANG
(Azadirachta excelsa)

TAN SIEW CHING

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA
2003

KEBOLEHAWETAN KAYU SENTANG
(Azadirachta excelsa)

oleh

TAN SIEW CHING

**Tesis yang diserahkan untuk memenuhi
Keperluan bagi Ijazah Sarjana Sains**

2003

Penghargaan

Ribuan terima kasih diucapkan kepada penyelia saya, Profesor Madya Dr. Othman bin Sulaiman dan penyelia bersama, Profesor Madya Dr. Rokiah binti Hashim yang telah banyak menunjuk ajar, memberi teguran dan nasihat di sepanjang perjalanan kajian penyelidikan ini.

Saya juga menghulurkan penghargaan kepada En. Zamhari, En. Makrof, En. Azhar dan En. Azizan dari bahagian Teknologi Biosumber, Kertas dan Penglitup, En. Joseph dari bahagian Teknologi Makanan dan En. Zaib dari Pusat Pengajian Samudra yang telah membantu saya menyediakan kemudahan alatan kajian, serta memberikan pertolongan dan tunjuk ajar dalam mengendalikan alatan bagi tujuan penyelidikan.

Terima kasih juga diucapkan kepada Institut Penyelidikan Perhutanan Malaysia, FRIM dan Kopper Arch Chemical (M) Sdn. Bhd., Kuala Lumpur, dalam pembekalan sampel kayu dan bahan kimia CCA bagi tujuan kajian. Penghargaan ini juga ditujukan kepada Dr. Yamamoto dan Dr. Fujii (FFPRI, Japan) yang telah membantu dalam penganalisan SEM EDXA.

Akhir sekali penghargaan ditujukan kepada ibu bapa saya serta semua pensyarah dan rakan-rakan saya dalam sokongan moral mereka sepanjang kajian ini. Penghargaan juga ditujukan kepada Pusat Pengajian Ijazah Tinggi yang telah memberikan saya peluang untuk menjalankan kajian ini.

Abstrak

Objektif kajian ialah untuk mengkaji kebolehan awetan kayu gubal and kayu teras sentang terhadap CCA dan bahan pengawet berdasarkan boron. Kayu getah digunakan untuk perbandingan.

Keputusan kajian anatomi menunjukkan perbezaan yang besar di antara kayu gubal, kayu teras dan kayu getah. Kuantiti salur di dalam kayu sentang adalah lebih banyak, dan saiznya juga lebih besar daripada kayu getah. Terdapat endapan bergam di dalam kayu sentang, dengan kayu teras sentang mempunyai kuantiti yang lebih banyak. Kayu gubal sentang mempunyai pit jenis skalariform, kayu getah mempunyai pit jenis ringkas dan alternat, manakala kayu teras sentang bukan sahaja mempunyai pit jenis skalariform, tetapi juga mempunyai pit jenis vested. Tilosis dijumpai di dalam kayu teras sentang dan kayu getah, tetapi tidak pada kayu gubal sentang.

Dalam kajian, kebolehan penyerapan CCA dan bahan pengawet berdasarkan boron mengikut susunan kayu gubal sentang > kayu getah > kayu teras sentang. Kebolehan penembusan CCA dan bahan pengawet berdasarkan boron adalah mengikut susunan kayu gubal sentang \geq kayu getah > kayu teras sentang. Kebolehan penyerapan bahan awet tidak berkadar langsung dengan kebolehan penembusan bahan awet, tetapi kepekatan bahan awet yang digunakan berkadar langsung dengan kebolehan penembusan bahan awet. Keputusan juga menunjukkan bahan pengawet berdasarkan boron dapat menembus lebih dalam di dalam kayu jika dibandingkan dengan CCA. Pemerhatian dan analisis SEM-EDXA pada sampel yang diawet dengan CCA menunjukkan

penyebaran mikro elemen CCA yang tidak merata di seluruh dinding sel dan sel lumen kayu.

Kajian penetapan dan ciri-ciri pelarut resapan pada sample-sample yang diawet dengan CCA (pada retensi 0.5%, 2.0% dan 5.0%) dikaji dan dianalisis dengan AAS. Kayu sentang berjaya diawet dengan CCA. Kayu teras sentang adalah susah diawet dibanding dengan kayu gubal sentang dan kayu getah. Penetapan kuprum dan kromium adalah lebih tinggi pada kayu teras sentang dibanding dengan kayu gubal sentang dan kayu getah. Elemen arsenik didapati kurang menetap pada kayu teras sentang dibanding dengan kayu gubal sentang dan kayu getah.

Kajian keberkesanan pengawetan terhadap kulat pereput telah dilakukan dengan mendedahkan sampel-sampel kepada kulat pereput perang (*Coniophora puteana* FPRL 11E), kulat pereput putih (*Coriolus versicolor* FPRL 28A), dan ditanam di dalam tanah tanpa disteril. Keputusan biologikal menunjukkan kayu gubal sentang dan kayu teras sentang adalah tidak tahan kepada kulat pereput. Ketahanan terhadap kulat pereput adalah mengikut susunan kayu teras sentang > kayu gubal sentang > kayu getah. Walaupun kayu teras sentang susah diawet, tetapi sifat penetapannya adalah baik. Keseriusan pereputan adalah menurut turutan berikut: Kulat pereput lembut > kulat pereput perang > kulat pereputan putih. Kayu gubal and teras sentang yang diawet dengan CCA dapat dikelaskan dalam *Hazard Class 4*.

TREATABILITY OF SENTANG WOOD (*Azadirachta excelsa*)

Abstract

The objective of these studies was to investigate the treatability of sentang sapwood and heartwood treated with CCA and boron based preservative. Rubber wood was used for the comparison.

The results of anatomical studies showed there is substantial difference among sentang sapwood, sentang heartwood and rubberwood. The quantity of vessels in sentang wood is higher and bigger in size compared to rubberwood. The gummy deposits were found in sentang wood, with higher amount in heartwood compared to sapwood. Sentang sapwood showed to have scalariform pit, rubberwood with simple and alternate pit, and sentang heartwood has scalariform and also with vestured pit. Tylosis was found in sentang heartwood and rubberwood, but not in the sentang sapwood.

The absorption of CCA and boron based preservative are in the order of : sentang sapwood > rubberwood > sentang heartwood. The penetrability of CCA and boron based preservative are in the order of : sentang sapwood \geq rubberwood > sentang heartwood. There seem to have no direct relationship between absorption and penetrability. However, the concentration of the preservative does showed direct relationship with the penetrability. The results also showed that samples treated with boron based preservative were able to achieved deeper penetration compare to samples treated with CCA. Observation and analysis with SEM-EDXA on the CCA treated samples showed that the microdistribution of the elements in the cell wall was distributed non-uniformly throughout the cell wall and cell lumen.

Fixation and leaching properties of CCA (with retention level of 0.5%, 2.0% and 5.0%) treated samples were investigated and analyzed using AAS. Sentang wood were found to be successfully treated with CCA. Sentang heartwood was more difficult to treat compared to sentang sapwood and rubberwood. Sentang heartwood showed to have higher copper and chromium fixation properties compared to sentang sapwood and rubberwood. Sentang heartwood showed less arsenic fixation compared to sentang sapwood and rubberwood.

The efficacy of preservative against decay fungi were carried out by exposure to brown rot (*Coniophora puteana* FPRL 11E), white rot (*Coriolus versicolor* FPRL 28A) and unsterile soil burial. The biological results shown that sentang sapwood and heartwood are non durable to fungal decay. The durability were in the order of : sentang heartwood > sentang sapwood > rubberwood. Sentang heartwood was found to be difficult to treat with preservative. However, the fixation properties is good. The severity of fungal attack were in the order of : soft rot > brown rot > white rot. CCA treated sentang heartwood and sapwood could be categories in Hazard Class 4.

ISI KANDUNGAN

	muka surat
Penghargaan	ii
Abstrak	iii
Abstract	v
Isi kandungan	vii
Senarai jadual	xiii
Senarai rajah	xiv
Senarai gambar	xvi
Glosari	xviii

BAB 1 PENGENALAN

1.1	Latar belakang	2
1.2	Objektif kajian	3

BAB 2 KAJIAN LITERATUR

2.1	Pokok sentang	8
2.1.1	Pengenalan	8
2.1.2	Sifat-sifat fizikal kayu	10
2.1.3	Struktur anatomi kayu sentang	10
2.1.3.1	Ciri-ciri makroskopik	10
2.1.3.2	Ciri-ciri mikroskopik	11
2.1.4	Keistimewaan sentang	14
2.1.5	Kegunaan kayu	15

2.2	Pokok getah	15
2.3	Kulit pereput	17
2.3.1	Mekanisma am pereputan kulit	17
2.3.2	Klasifikasi kulit	18
2.3.3	Reputan putih	19
2.3.4	Reputan perang	21
2.3.5	Reputan lembut	22
2.3.6	Keperluan-keperluan utama untuk pereputan kayu	24
2.4	Pengawetan kayu	27
2.4.1	Pengenalan	27
2.4.2	Jenis-jenis bahan awet kayu	29
2.4.2.1	Bahan awet minyak tar	30
2.4.2.2	Bahan awet pelarut organik	31
2.4.2.3	Bahan awet berasaskan air	31
2.4.3	Kebaikan bahan pengawet berdasarkan air (<i>Waterborne preservative</i>)	33
2.4.4	CCA (kuprum kromium arsenik)	33
2.4.5	Bahan pengawet berdasarkan sebatian boron	37
2.4.6	Kaedah pengawetan kayu	40
2.4.6.1	Pengenalan	40
2.4.6.2	Proses tekanan	43
2.4.6.2.1	Proses sel penuh	44
2.4.6.2.2	Proses modifikasi sel penuh	44
2.4.6.2.3	Proses sel kosong	45
2.4.6.3	Proses tanpa tekanan	45

2.5	Keberkesanan pengawetan kayu	46
2.5.1	Spesis kayu	47
2.5.2	Kandungan lembapan	48
2.5.3	Jenis bahan awet	49
2.5.4	Proses pengawetan	50
2.5.5	Tahap penembusan bahan awet dalam kayu terawet	51
2.5.6	Tahap retensi bahan awet dalam kayu	54
2.5.7	Tahap penyebaran bahan awet dalam kayu	55
2.5.7.1	Penyebaran makro	55
2.5.7.2	Penyebaran mikro	56
2.5.8	Tahap penetapan bahan awet dalam kayu	59
2.6	Komposisi kimia kayu	63

BAB 3 KAJIAN ANATOMI KAYU SENTANG

3.1	Pengenalan	67
3.2	Bahan dan metodologi	68
3.3	Keputusan dan perbincangan	70
3.4	Kesimpulan	79

BAB 4 KAJIAN KEBOLEH SERAPAN KAYU SENTANG TERHADAP BAHAN AWET

4.1	Pengenalan	82
4.2	Bahan dan metodologi	83
4.2.1	Persediaan sampel kayu	83
4.2.2	Penentuan kandungan lembapan	84

4.2.3	Persediaan larutan bahan awet	85
4.2.3.1	CCA	85
4.2.3.2	Polybor	86
4.2.3.3	Borat	87
4.2.4	Pembuatan bot kaca	88
4.2.5	Persediaan awal sampel kayu untuk pengawetan	89
4.2.6	Proses pengawetan	90
4.2.7	Penentuan peratusan penyerapan bahan awet	91
4.2.8	Penentuan kualitatif kedalaman penembusan bahan awet dalam kayu	92
4.2.8.1	Persediaan larutan Chrome Azurol-s	92
4.2.8.2	Persediaan larutan curcumin	93
4.2.8.3	Penyemburan	93
4.2.9	Penentuan penyebaran bahan awet dalam sel-sel kayu	94
4.3	Keputusan dan perbincangan	96
4.3.1	Peratusan penyerapan bahan awet	96
4.3.2	Penentuan kualitatif kedalaman penembusan bahan awet dalam kayu	101
4.3.3	Penentuan penyebaran mikro bahan awet dalam sel-sel Kayu	106
4.4	Kesimpulan	115

BAB 5 KAJIAN KEBOLEH PENETAPAN KAYU SENTANG TERHADAP BAHAN AWET CCA

5.1	Pengenalan	118
-----	------------	-----

5.2	Bahan dan metodologi	119
5.2.1	Persediaan awal sebelum proses pelarutresapan	119
5.2.2	Penentuan kadar penetapan CCA	119
5.2.2.1	Proses penlarut resapan (<i>Leaching procedure</i>)	120
5.2.2.2	Penentutan kandungan kimia baahn larut resap CCA	121
5.3	Keputusan dan perbincangan	123
5.4	Kesimpulan	134

BAB 6 KAJIAN KEBERKESANAN PENGAWETAN KAYU SENTANG TERHADAP KULAT PEREPUT

6.1	Pengenalan	136
6.2	Bahan dan metodologi	138
6.2.1	Persediaan medium agar	138
6.2.2	Persediaan stok-stok kulat	139
6.2.3	Persediaan medium-medium kulat yang siap sedia digunakan	139
6.2.4	Persediaan sampel kayu	140
6.2.5	Pendedahan sampel kayu kepada kultur kulat pereput	141
6.2.6	Penentuan kehilangan berat	141
6.2.7	Ujian tanam dalam tanah secara tanpa steril (<i>Unsterile Soil burial test</i>)	142
6.2.7.1	Persediaan tanah	142
6.2.7.2	Persediaan sampel kayu sebelum ditanam dalam tanah	142

6.2.7.3 Penentuan kehilangan berat	143
6.3 Keputusan dan perbincangan	143
6.4 Kesimpulan	148
BAB 7 KESIMPULAN KESELURUHAN	150
Bibliografi	154
Lampiran	161

SENARAI JADUAL**muka surat**

2.1	Sejarah bagi jenis CCA yang berlainan	34
2.2	Kunci penunjuk untuk pengklasifikasi kaedah perawatan	41
2.3	Ringkasan tindakbalas kimia bahan awet dengan kayu	63
3.1	Purata bilangan salur pada kayu gubal sentang, kayu teras sentang dan kayu getah yang berluas 10 x 5 mm	72
4.1	Peratusan penyerapan bahan awet oleh kayu gubal dan kayu getah	96
4.2	Kedalaman penembusan bahan awet CCA bagi sampel-sampel kayu gubal sentang (SW), kayu teras sentang (HW) dan kayu getah (RW)	101
4.3	Kedalaman penembusan bahan awet Polybor bagi sampel-sampel kayu gubal sentang (SW), kayu teras sentang (HW) dan kayu getah (RW)	104
4.4	Kedalaman penembusan bahan awet borat bagi sampel-sampel kayu gubal sentang (SW), kayu teras sentang (HW) dan kayu getah (RW)	105
4.5	Penyebaran mikro garam CCA dalam kayu sentang dan kayu getah dengan menggunakan SEM-EDXA.	107
5.1	Kumulatif komponen-komponen CCA (ppm) yang terlarut resap semasa 14 hari.	123
5.2	Kumulatif komponen-komponen CCA (%) berdasarkan bahan awet asas yang digunakan untuk pengawetan) yang terlarut resap semasa 14 hari.	125
6.1	Peratusan kehilangan berat kayu yang diuji	144
6.2	Purata peratusan kehilangan berat kayu yang diuji	146

SENARAI RAJAH**muka surat**

4.6	Graf kadar pengawetan (%) melawan kepekatan CCA (%)	97
4.7	Graf kadar pengawetan (%) melawan kepekatan Polybor (%)	97
4.8	Graf kadar pengawetan (%) melawan kepekatan borat (%)	98
4.9	Graf kadar pengawetan (%) yang menggunakan bahan awet yang berkepekatan 0.5% melawan jenis sampel kayu yang digunakan	99
4.10	Graf kadar pengawetan (%) yang menggunakan bahan awet yang berkepekatan 2.0% melawan jenis sampel kayu yang digunakan	99
4.11	Graf kadar pengawetan (%) yang menggunakan bahan awet yang berkepekatan 5.0% melawan jenis sampel kayu yang digunakan	100
5.1	Graf peratusan komponen CCA yang terlarut resap dari kayu gubal sentang	127
5.2	Graf peratusan komponen CCA yang terlarut resap dari kayu teras sentang	128
5.3	Graf peratusan komponen CCA yang terlarut resap dari kayu getah	128
5.4	Elemen Cu (ppm) yang terlarut resap dari sampel yang diawet dengan 0.5% CCA	129
5.5	Elemen Cu (ppm) yang terlarut resap dari sampel yang diawet dengan 2.0% CCA	130
5.6	Elemen Cu (ppm) yang terlarut resap dari sampel yang diawet dengan 5.0% CCA	130
5.7	Elemen Cr (ppm) yang terlarut resap dari sampel yang diawet dengan 0.5% CCA	131

5.8	Elemen Cr (ppm) yang terlarut resap dari sampel yang diawet dengan 2.0% CCA	131
5.9	Elemen Cr (ppm) yang terlarut resap dari sampel yang diawet dengan 5.0% CCA	132
5.10	Elemen As (ppm) yang terlarut resap dari sampel yang diawet dengan 0.5% CCA	132
5.11	Elemen As (ppm) yang terlarut resap dari sampel yang diawet dengan 2.0% CCA	133
5.12	Elemen As (ppm) yang terlarut resap dari sampel yang diawet dengan 5.0% CCA	133

SENARAI GAMBAR**muka surat**

2.1	Pokok sentang	9
2.2	Struktur anatomi sentang – bahagian melintang	12
2.3	Struktur anatomi sentang – bahagian tangen	13
2.4	Struktur anatomi sentang – bahagian jejarian	13
3.1	Kayu sentang, menunjukkan kawasan yang berwarna gelap dikenali sebagai kayu teras, dan kawasan berwarna cerah dikenali sebagai kayu gubal	71
3.2	Keratan melintang (a) kayugubal sentang. (b) kayu teras sentang. (c) kayu getah	71
3.3	Kayu teras sentang tanpa diawet, menunjukkan kandungan ekstraktif (endapan bergam dan kristal) di dalam sel parenkima dan salur. (Pembesaran 250 kali)	73
3.4	Kayu teras sentang (sampel yang berwarna lebih gelap) mengandungi endapan bergam yang lebih banyak daripada kayu gubal sentang.	74
3.5	Kayu gubal sentang tanpa diawet, menunjukkan kandungan kanji di dalam sel parenkima. (Pembesaran 1510 kali)	75
3.6	Kayu getah tanpa diawet, menunjukkan kandungan kanji di dalam sel parenkima. (Pembesaran 507 kali)	75
3.7	Pit skalariform pada kayu gubal sentang tanpa diawet. (Pembesaran 825 kali)	76
3.8	Pit skalariform pada kayu teras sentang tanpa diawet. (Pembesaran 749 kali)	77

3.9	Pit ringkas dan alternat pada kayu getah tanpa diawet. (Pembesaran 100 kali)	77
3.10	Pit vestured pada kayu teras sentang tanpa diawet. (Pembesaran 8060 Kali)	78
4.1	Bot kaca. (a) mangkuk (b) tiub	88
4.2	Kaedah limpahan air untuk penentuan isipadu sampel kayu	89
4.3	Proses vakum dijalankan	90
4.4	Silinder pengawetan	91
4.5	Pengukuran kedalaman penembusan bahan awet secara kualitatif	95
4.12	Kayu sentang gubal yang menunjukkan terdapat isyarat garam CCA pada salur dan parenkima, tetapi tiada pada gentian	108
4.13	Kayu sentang gubal yang menunjukkan terdapat isyarat garam CCA pada salur dan parenkima axial	109
4.14	Kayu sentang gubal yang menunjukkan terdapat isyarat garam CCA pada ruji dan parenkima axial, tetapi tidak pada gentian	110
4.15	Kayu gubal sentang yang diawet dengan 2.0% CCA menunjukkan tiada komponen CCA pada kawasan gentian	111
4.16	Kayu sentang teras yang menunjukkan terdapat isyarat garam CCA hanya Pada salur	112
4.17	Kayu teras sentang yang diawet dengan 2.0% CCA menunjukkan terdapat komponen CCA pada permukaan mendakan bergam (A) dan pada permukaan salur (B)	113
4.18	Kayu getah yang menunjukkan terdapat isyarat garam CCA pada ruji dan Salur (tylosis)	114

GLOSARI

Istilah Biologi (Anon, 1998)

Bahasa Malaysia

Aerobik obligat

Apotrakea

Empulur

Endapan

Gelang pertumbuhan

Gentian

Metabolisme

Paratrakea

Pencernaan enzim

Penguraian

Penyebaran

Pit berbirai

Plat lelubang

Resap

Ruji

Salur antara sel

Tak berseptum

Trauma

Vasisentrum

Bahasa Inggeris

Aerobic obligate

Apotracheal

Pith

Deposit

Growth ring

Fibre

Metabolic

Paratracheal

Enzymatic digestion

Decomposition

Dispersion, distribution

Bordered pit

Perforation plates

Diffuse

Ray

Intercellular canal

Non septate

Traumatic

Vasicentric

Istilah Kimia (Anon, 1981)

Bahasa Malaysia

Boraks

Borat

Borik

Bahasa Inggeris

Borax

Borate

Boric

BAB 1
PENGENALAN

1.1 Latar Belakang

Pereputan kayu oleh kulat pereput atau serangga perosak menyebabkan kerugian yang besar kepada industri kayu-kayan dan kayu pembinaan. Kayu-kayan yang bermutu tinggi seperti balau dan chengal yang mempunyai daya ketahanan semulajadi dan kelas kekuatan yang tinggi semakin berkurangan. Penggunaan kayu mula beralih kepada kayu-kayan yang kurang daya ketahanan tetapi masih mempunyai kekuatan yang tinggi untuk kegunaan industri tempatan (Ibrahim *et al.*, 1993). Jika kayu yang tanpa ketahanan terhadap serangan kulat pereput atau serangga perosak digunakan, kayu tersebut perlu diawet untuk menjamin tempoh penggunaan kayu yang lebih panjang. Adalah penting bahawa untuk menjamin keberkesanan proses pengawetan, perlulah memastikan larutan bahan pengawet menembus dengan secukupnya ke dalam bahagian kayu yang mudah diserang oleh kulat pereput atau serangga perosak (Walter, 1975).

Kayu sentang (*Azadirachta excelsa*) merupakan kayu keras sederhana atau ringan yang banyak ditanam di Thailand, Malaysia, dan Indonesia. Sentang merupakan tanaman asal dari Malaysia, dan penanaman sentang adalah sesuai dengan suasana atau iklim di Malaysia. Di Semenanjung Malaysia, (kecuali di kawasan ladang hutan Jabatan Perhutanan Semenanjung Malaysia) spesies ini belum lagi ditanam secara besar-besaran / ladang hutan sama ada oleh syarikat perladangan atau agensi kerajaan. Ladang terawal penubuhan sentang ialah petak kajian yang terletak di kawasan Hutan Simpan Bukit Lagong, Institut Penyelidikan Perhutanan Malaysia (FRIM). Dirian seluas 0.45 ha ini ditubuhkan pada tahun 1953 dan mencapai umur 44 tahun (Yahya *et al.*, 1997).

Kebelakangan ini terdapat minat yang mendalam di kalangan pengusaha-pengusaha ladang untuk menanam pokok sentang. Ini disebabkan terdapat keistimewaan-keistimewaan pada pokok sentang yang membesar dengan cepat, dan mudah diurus dari segi penanaman. Pihak kerajaan juga menggalakkan penanaman pokok sentang dalam bentuk ladang secara komersial untuk mengelakkan kekurangan hasil kayu dan kepupusan spesies hutan. Dijangkakan masa depan bagi industri-industri yang melibatkan penggunaan kayu sentang adalah cerah.

Namun begitu, kayu sentang mudah diserang oleh serangga atau kulat perosak. Oleh kerana itu kayu sentang perlu diawet sebelum boleh digunakan dengan meluas. Pengawetan kayu sentang pula bergantung kepada kebolehawetan kayu tersebut untuk diawet. Kebanyakan kajian yang dijalankan oleh pihak FRIM lebih menumpu kepada kajian terhadap penanaman dan sifat-sifat kayu, sehingga kini kurang terdapat kajian yang dijalankan ke atas kebolehawetan kayu sentang.

Kajian ini adalah untuk mengkaji kebolehawetan kayu sentang yang menerokai maklumat kebolehawetan kayu sentang. Hasil kajian tersebut akan dapat membantu untuk memperbaiki proses pengawetan yang tersedia ada untuk spesies yang dikaji. Hasil kajian ini haruslah digunakan sebagai dasar untuk memperbaiki proses pengawetan yang tersedia ada dan formula bahan awet secara pratikal.

1.2 Objektif Kajian

Kayu sentang terdedah pada serangan serangga dan kulat perosak. Oleh kerana itu, kayu sentang perlu diawet untuk meningkatkan ketahanan ini. Akibat daripada proses

pengawetan ini, pengetahuan terhadap sejauh manakah keberkesanannya ke atas kayu yang diawet adalah penting. Kayu sentang mempunyai masalah tentang kebolehawetan. Oleh kerana itu, kajian dilakukan untuk mengkaji kebolehawetan kayu sentang ini. Secara umum objektif kajian ini adalah untuk:

(a) Kajian anatomi kayu sentang:

- Mengkaji anatomi kayu tersebut di mana sifat tersebut akan mempengaruhi mekanisma proses pengawetan, seterusnya menjejaskan keberkesanan kayu terawet daripada menghalang serangan kulat pereput.

(b) Kajian kebolehan serapan bahan awet oleh kayu:

- Kebolehan penyerapan bahan awet dapat memberi gambaran kasar tentang kebolehawetan kayu, di mana, kayu yang susah diawet tentu hanya menyerap jumlah larutan bahan awet yang rendah.
- Kadar penembusan bahan awet ke dalam sel-sel kayu juga adalah penting, kerana walaupun kayu dapat menyerap jumlah bahan awet yang banyak, jika bahan awet tersebut hanya mengumpul di permukaan kayu sahaja, ini juga tidak dapat memberikan kesan pengawetan yang baik.
- Laluan penyebaran bahan awet adalah penting untuk mengetahui adakah bahan awet tersebut menembusi kawasan sel-sel kayu yang sensitif (dinding sel sekunder) terhadap serangan kulat pereput.
- Bahan awet berdasarkan borat digunakan kerana ia merupakan bahan awet yang berjaya digunakan untuk mengawet pelbagai spesis kayu keras tropika dengan sempurna selama 60 tahun, dan ia merupakan bahan awet yang biasa digunakan di Malaysia.

(c) Kajian kebolehan penetapan kayu:

- Dalam sesuatu proses pengawetan, walaupun bahan awet dapat menembusi sel-sel kayu dengan sempurna, ini tidak bermaksud bahan awet tersebut dapat menetap di dalam sel-sel kayu tanpa terlarut resap, maka sejauh mana kebolehan penetapan kayu terawet untuk melindungi kayu daripada serangan kulat pereput secara berkesan serta melindungi manusia, haiwan dan tumbuhan daripada keracunan bahan awet yang digunakan adalah penting.
- Bahan awet CCA digunakan untuk menguji tahap kebolehan penetapan kayu sentang kerana bahan awet tersebut bersifat menetap.

(d) Kajian keberkesanan pengawetan:

- Keberkesanan proses pengawetan adalah berkaitan dengan kedalaman penembusan bahan awet ke dalam sel-sel kayu; jumlah bahan awet yang tinggal di dalam sel-sel kayu selepas diawet; dan penyebaran bahan awet di kawasan penembusannya (Taylor, 1991). Penunjukkan yang paling baik untuk menentukan keberkesanan proses pengawetan ialah melalui kajian tentang peratusan kehilangan berat sampel kayu selepas didedahkan kepada kulat pereput pada satu tempoh yang ditetapkan.
- Kulat *Coriolus versicolor* F.P.R.L. 28A digunakan selaku kulat pereput putih kerana ia merupakan kulat yang biasa terdapat dalam golongan kulat pereput putih, dan ia sering digunakan untuk simulasi corak pereputan pada kayu yang telah ditebang serta pereputan pada penggunaan kayu secara terbuka.
- Kulat *Coniophora puteana* F.P.R.L. 11E digunakan selaku kulat pereput perang kerana ia merupakan kulat yang biasa terdapat dalam golongan kulat

pereput perang, dan ia sering digunakan untuk simulasi corak pereputan pada bangunan kayu.

- Teknik penanaman sampel kayu di dalam tanah adalah selaku kulat pereput lembut, teknik tersebut merupakan teknik yang biasa digunakan untuk mengelakkan masalah penggunaan kulat pereput lembut yang bersifat susah tumbuh serta kurang sihat, dan ia digunakan untuk simulasi corak pereputan pada kayu yang bersentuhan dengan tanah.

Beberapa persoalan penting telah dijanakan bertujuan untuk menfokaskan kajian sesuai dengan objektif yang telah ditetapkan. Antara persoalan yang ingin dikupas ialah:

- (a) Adakah kayu sentang mudah diawet?
- (b) Bagaimana pula mekanisma pengawetan kayu sentang?
- (c) Adakah bahan pengawet dapat menetap di dalam dinding sel kayu sentang?
- (d) Bagaimana pula corak penyebaran bahan awet tersebut di dalam sel kayu sentang?
- (e) Adakah kayu sentang dapat diawet dengan berkesannya?
- (f) Adakah terdapat perbezaan mekanisma pengawetan dan juga keberkesanan pengawetan pada kayu teras sentang dan kayu gubal sentang?
- (g) Adakah jenis dan kepekatan bahan awet yang digunakan memberi perbezaan pada keberkesanan pengawetan yang dijalankan?
- (h) Adakah penetapan bahan awet memberi kesan pada keberkesanan pengawetan?
- (i) Adakah proses pengawetan pada kayu sentang berfungsi?
- (j) Apakah bentuk hubungan mekanisma pengawetan kayu sentang terhadap keberkesanan proses pengawetan kayu sentang?

BAB 2
TINJAUAN LITERASI

2.1.0 POKOK SENTANG

2.1.1 Pengenalan

Pokok sentang merupakan pokok jenis balak dari famili *Meliaceae* (Yahya & Mahat, 1995) yang dikenali sebagai *Azadirachta excelsa* (Jack) Jacobs (Haron, 1994; Yahya *et al.*, 1997; Jurie, 1998). Spesies ini digolongkan bersama-sama spesies Mahogani (*Swietenia macrophylla*), African Mahogany (*Khaya ivorensis*) dan *Khaya senegalensis*. Spesies lain dalam genera *Azadirachta* termasuklah pokok mambu atau sudu *Azadirachta indica* (Neem tree) dan *Azadirachta indica var. Siamensis* (Haron, 1994; Yahya *et al.*, 1997; Jurie, 1998). Pokok ini juga dikenali dengan nama ‘morenggo’ di Filipina, sentang di Semenanjung Malaysia, ‘ranggu’ di Sarawak dan ‘thiem’ atau ‘elephant neem’ di Thailand (Yahya *et al.*, 1997).

Sentang adalah sejenis pokok hutan tropika yang tumbuh secara semula jadi di hutan-hutan tropika di selatan Thailand, Malaysia, Burma, India, Pakistan, Borneo, Filipina dan Indonesia (Yahya & Halim, 1997). Di Malaysia, sentang biasanya ditanam di kawasan kampung di tengah dan utara Semenanjung Malaysia (Gan *et al.*, 1999).

Gambarajah pokok sentang ditunjukkan pada Rajah 2.1. Sifat fizikal pokok ini ialah separa malar hijau yang besar dan berupaya mencapai ketinggian sehingga 50 m dan 4 m lilit (Yahya *et al.*, 1997 dan Gan *et al.*, 1999). Secara keseluruhan, pokok ini digolongkan sebagai sederhana tinggi di antara kumpulan pokok sadur utama. Pokoknya mempunyai selara berbentuk bulat, terbuka dan tidak seragam. Batang

pokok tidak berbanir, kulit merekah berwarna coklat ketika matang dan kulit ari berwarna kekuningan (Yahya *et al.*, 1997).

Susunan daun berbentuk bujur, di hujung ranting berpelelah dan berselang serta mempunyai daun pengasuh. Tepi daun beralun berbanding dengan daun pokok mambu yang bergigi. Saiz daunnya di antara 45-60 cm panjang (Yahya *et al.*, 1997).

Bunga berwarna hijau keputihan dan berbau harum. Buah berukuran 2.5-3.5 cm panjang. Buah muda berwarna hijau dan buah masak berwarna kuning. Biji berbau bawang putih jika dipotong. Anggaran biji benih adalah antara 200 – 300 biji dalam satu kilogram (Yahya *et al.*, 1997).



Rajah 2.1 Pokok Sentang

Sumber: Norani, 1997

2.1.2 Sifat-sifat Fizikal Kayu

Kayu sentang dikelaskan dalam kelas kayu keras ringan bersama-sama dengan kayu pokok lain seperti meranti, nyatoh dan ramin (Yahya *et al.*, 1997). Ketumpatan kayu kering udara dalam julat dari 560 – 770 kg/m³ (Yahya *et al.*, 1997; Gan *et al.*, 1999) iaitu setara dengan kayu keras sederhana lain seperti merpauh (*Swintonia* spp.) dan simpoh (*Dillenia* spp.). Keadaan kemarau yang panjang menyebabkan tekstur yang kasar dan tidak seragam, disebabkan kecenderungan kepada kayu liang bergelang (Yahya *et al.*, 1997). Kayu gubal adalah sederhana banyak. Warna kayu teras berwarna perang kemerahan, berbeza daripada kayu gubal yang berwarna kekuningan atau kemerahan muda. Ira kayu adalah *interlock* dan lurus (Gan *et al.*, 1999).

2.1.3 Struktur Anatomi Kayu Sentang

2.1.3.1 Ciri-ciri Makroskopik

Menurut maklumat Norani (1997), ciri-ciri makroskopik kayu sentang yang diperhatikan dengan mata kasar atau dengan kanta yang berkuasa sebanyak 8x pembesaran, didapati gelang pertumbuhan pada *A. excelsa* adalah tidak jelas. Salurnya bersaiz sederhana, dapat dilihat oleh mata kasar dan biasanya mengandungi endapan gelap. Gelang penghujung parenkima menetapkan sempadan gelang pertumbuhan (*growth ring*). Di bahagian dalaman gelang pertumbuhan, salur bersaiz sederhana besar (0.3 mm), dan kebanyakannya adalah dalam bentuk tunggal. Di bahagian luaran gelang pertumbuhan, salur bersaiz sederhana (0.1 ke 0.2 mm), bertaburan secara tunggal dan dalam jejarian adalah secara kumpulan dua ke tiga, terbuka atau bersama endapan bergam yang berwarna gelap.

Parenkima kayu agak sedikit, juga terdapat parenkima vasisentrum, tetapi tidak jelas. Saiz ruji berjulat dari halus ke bersaiz sederhana, dengan kuantiti yang sangat sedikit, tidak ketara walaupun pada permukaan jejarian. Secara umumnya, salur-salur antara sel (*intercellular canals*) jarang wujud. Salur-salur trauma (*traumatic canals*) adalah dalam siri tangen, lebih kecil daripada salur yang berada dalam arah melintang, dan diisi dengan endapan bergam yang berwarna gelap (Norani, 1997).

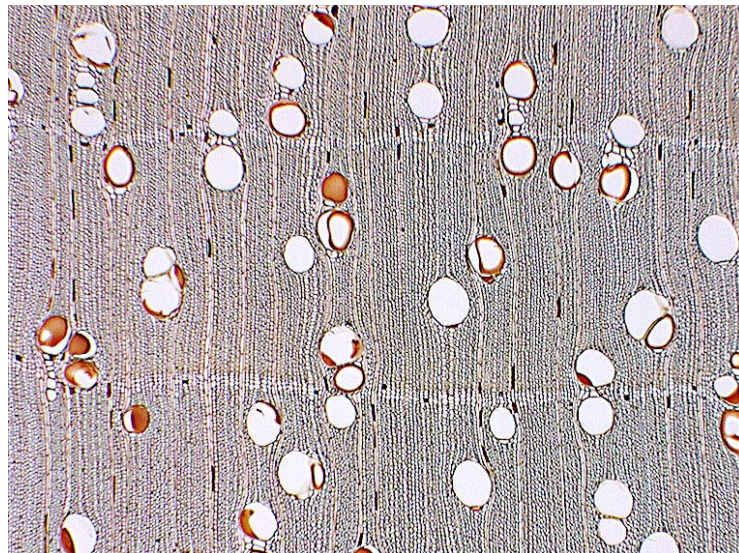
2.1.3.2 Ciri-ciri Mikroskopik

Menurut maklumat Norani (1997), ciri-ciri mikroskopik yang diperhatikan pada pembesaran 50x atau lebih menunjukkan gelang pertumbuhan adalah kelihatan dan kadang-kala jelas. Ia dibezakan dari segi saiz lubang, ketebalan dinding gentian dan parenkima permulaan. Salur adalah berselerak, dan bersaiz dua. Terdapat 4-17 salur per mm² kayu. Salur kecil adalah vasisentrik atau dalam penghujung gugusan pada spesimen kayu yang mempunyai gelang pertumbuhan. Salur yang lebih besar adalah 4-10 dalam nombor per mm² kayu. Salur adalah tunggal atau dalam multiple atau gugusan daripada 2-4 ke lebih daripada 10.

Salur bertaburan seragam atau kadang-kala dalam siri tangen bebas, biasanya dalam gugusan bujur atau poligon. Purata diameter tangen dan jejarian bagi salur besar ialah 105-140 µm dan 90-165 µm masing-masing. Diameter maksimum tangential dan jejarian ialah 175-230 µm dan 175-285 µm masing-masing. Purata diameter tangen dan jejarian bagi salur kecil ialah 20-35 µm. Dinding salur setebal 2-6 µm dan mempunyai plat lelubang (*perforation plates*); pit intersalurnya padat dan berselang-selang, berukuran 3-5 µm. Pit salur-ruji adalah hampir sama tetapi separa-berbirai

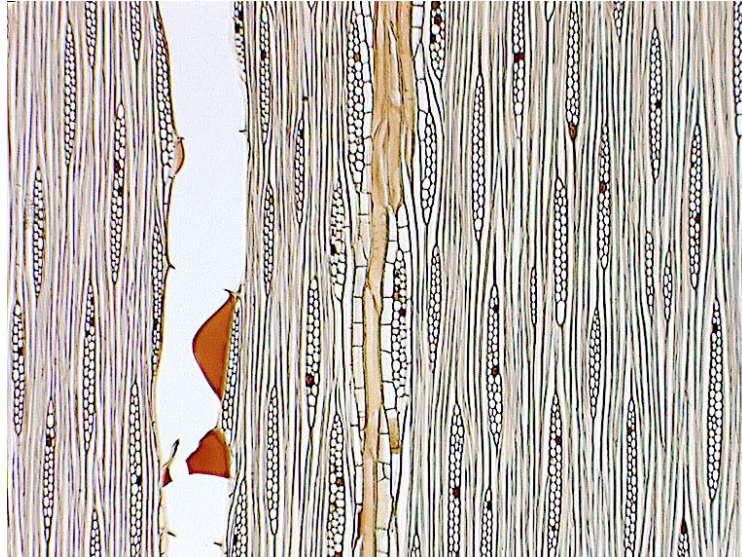
(*halfbordered*) dan setebal 3-5 μm . Endapan berwarna coklat atau gelap wujud dalam salur tersebut dan terdapat tilosis (Norani, 1997).

Panjang gentian ialah 0.8-1.5 mm, tak berseptum (*non-septate*), berdiameter 7-25 μm pada bahagian tangen, berdinding tebal (3-4 μm), bersama *pit slit-like* terutama dalam dinding jejarian. Parenkima paratrakea adalah secara paksian, vasisentrum, manakala parenkima apotrakea dalam terminal lingkaran. Kebanyakan ruji (lebih daripada 85 %) adalah multi siri, 2-3 sel lebar, sehingga 550 μm tinggi, manakala bagi ruji yang bersiri tunggal adalah sedikit, pendek, kebanyakan tingginya kurang daripada 150 μm . Kristal prismatic wujud dalam sel parenkima apotrakeal yang tanpa-*chamber*. Terdapat silika (*silica bodies*) dan saluran intercellular (*intercellular canals*) (Norani, 1997). Struktur anatomi sentang ditunjukkan pada Rajah 2.2 (bahagian melintang), Rajah 2.3 (bahagian tengen), dan Rajah 2.4 (bahagian jejarian) (Richter & Dallwitz, 1999).



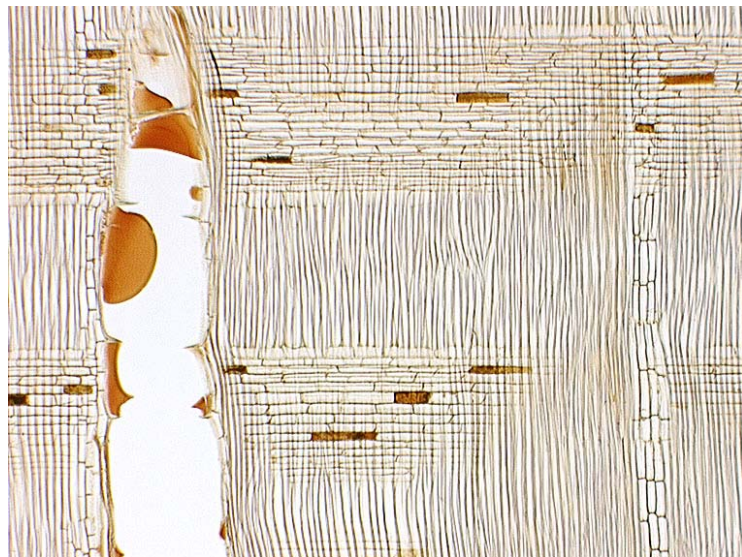
Rajah 2.2 Struktur anatomi sentang – bahagian melintang

Sumber: Richter & Dallwitz, 1999.



Rajah 2.3 Struktur anatomi sentang – bahagian tangen.

Sumber: Richter & Dallwitz, 1999.



Rajah 2.4 Struktur anatomi sentang – bahagian jejarian.

Sumber: Richter & Dallwitz, 1999.

2.1.4 Keistimewaan Sentang

Sentang mempunyai banyak keistimewaan untuk diusahakan sebagai tanaman balak secara komersial. Di antara ciri-ciri keistimewaan pokok sentang berbanding dengan pokok balak lain ialah sentang cepat membesar, penghasilan yang terawal boleh diperolehi selepas pokok berumur 6 tahun (Yahya & Halim, 1997). Keserasian sentang dengan persekitaran dan iklim tidak dapat dinafikan kerana sentang adalah pokok asal yang tumbuh meliar di kebanyakan hutan negara kita (Yahya & Halim, 1997). Sentang adalah tahan kepada musim kering dan panas yang berpanjangan serta keadaan persekitaran yang melampau seperti: hujan tahunan di antara 450 mm-1500 mm; suhu antara 15 °C-47 °C; pH antara 6.2-6.7; dan dilaporkan masih boleh hidup pada pH kurang dari 5 dan lebih dari 8 (Haron, 1994).

Selain itu, sentang tidak memerlukan sistem pengairan, air hujan sudah memadai. Pengurusannya mudah, boleh dibiak dengan cara yang mudah seperti menanam terus dengan biji ke ladang, *bare root stump*, anak dalam *polybeg*, dan sebagainya (Haron, 1994). Kos penjagaan dan pengurusan tanaman sentang rendah kerana daun dan batang pokok tidak diserang oleh serangga perosak (Yahya & Halim, 1997). Sistem akar sentang yang istimewa, di mana ia masih dapat mengambil nutrien di celah hablur pasir yang tidak dapat diambil oleh akar tanaman lain-lain. Ciri ini membolehkan sentang ditanam di kawasan kering seperti tanah pasir, berbatu, tanah liat, *saline soil*, *alkaline soil*, *eroded marginal soil* dan tanah cetek. Ia tidak sesuai ditanam di kawasan bertakung air (Haron, 1994). Oleh kerana sistem akarnya yang istimewa itu, sentang membantu mengelakkan hakisan dan sesuai digunakan sebagai pokok penghadang

angin (*wind breaker*) serta berkesan sebagai *shelter belt* menghalang hakisan tanah oleh angin.

2.1.5 Kegunaan Kayu

Kayu sentang sesuai digunakan sebagai perabot, pengemasiapan dalaman, panel, venir hiasan, mancis, tanggaman, adangan, barangan larikan dan papan lantai (Yahya *et al.*, 1997). Menurut Yahya dan Halim (1997), dalam satu kajian penilaian mutu hasil barangan siap yang diperbuat dari kayu didapati kayu sentang mendapat tempat kedua selepas kayu jati, diikuti kayu acacia, mahogany dan pine.

Kegunaan yang lain ialah pucuknya boleh dimakan. Kajian menunjukkan kayu sentang juga mengandungi bahan kimia azadiraktin dan merangin yang bersifat penjana serangga. Buahnya juga boleh dimakan tetapi tidak mempunyai nilai komersial (Yahya *et al.*, 1997).

2.2.0 POKOK GETAH

Kayu getah ialah nama biasa bagi *Hevea brasiliensis* dari famili Euphorbiaceae yang ditanam secara komersial (Webster & Paardekooper, 1989; Richter & Dallwitz, 1999). Kayu getah mula diperkenalkan kepada industri perkayuan apabila harga getah asli jatuh dan sumber kayu balak tradisional semakin berkurangan serta harga balak yang meningkat.

Menurut maklumat Anonymous A (2003), sifat makroskopik kayu getah ialah pembentukan kayu teras tidak jelas, dan tiada sempadan yang jelas wujud antara kayu gubal dan kayu teras, dan kayu teras hanya dilingkungan dekat dengan empulur sahaja. Gelang pertumbuhan tidak kelihatan pada kayu getah. Kayu getah berwarna kuning keputihan setelah ditebang, dan warnanya bertukar menjadi perang muda apabila dikeringkan. Terdapat salur-salur lateks (*latex vessels*) yang berbau pada sesetengah bahagian kayu. Sifat kayu berjulat dari lembut ke agak keras dengan berat purata 515 kg/m³ pada kandungan lembapan 12%.

Dari segi sifat mikroskopik pula, susunan liang-liang (*pores*) pada bahagian melintang adalah teresap (*diffused*) dan julat saiznya adalah dari sederhana ke besar, dan kebanyakannya wujud dalam bentuk tunggal, tetapi kadang-kala wujud dalam bentuk kumpulan dua ke tiga. Tisu-tisu salur mudah kelihatan pada permukaan jejarian dan tangen, berdiameter kira-kira 200 µm. Parenkima kayu yang banyak jika dilihat melalui mata kasar adalah menyerupai lingkaran-lingkaran yang sempit, tak seragam yang susun secara rapat membentuk jaring seperti corak ruji. Ruji kayu adalah agak lebar, agak sedikit dan agak meluas. Pit-pit adalah separa-berbirai (*half-bordered*) dengan kelebaran yang sempit boleh didapati antara salur-salur dan ruji-ruji. Purata panjang gentian adalah lebih daripada 1.0mm dan lebarnya adalah kira-kira 22µm apabila kering. Ketebalan dinding sel apabila kering adalah kira-kira 2.8µm (Anon, 2003). Terdapat tilosis di dalamnya (Richter & Dallwitz, 1999; Anon, 2003). Salur berplat lelubang mudah, serta berpit alternate (Richter & Dallwitz, 1999).

2.3.0 Kulat Pereput

2.3.1 Mekanisma Am Pereputan Kulat

Sebelum sesuatu kayu rosak kerana tua, ia akan mengalami proses pereputan terlebih dahulu, proses ini berlaku tidak kira tempat, samada pokok hidup atau pokok yang telah ditebang, balak, produk kayu yang digunakan di dalam atau di luar rumah, kesemuanya akan mereput, yang berbeza hanya kadar pereputan sahaja. Fenomena ini merupakan suatu masalah yang besar dan serius kepada pengusaha industri perkayuan. Ini disebabkan penyusutan kualiti kayu, dan ini juga akan menjadi pemula kepada masalah lain yang lebih serius.

Kulat menyerang pokok dengan cara memasukkan sporanya melalui bahagian luka kulit dari luar pokok. Pada keadaan yang sesuai, kulat akan menetap dan mula tumbes dalam pokok, hidupan kulat bergantung kepada pokok tersebut, akhirnya menyebabkan pereputan. Semasa proses serangan kulat pereput, kulat-kulat akan bersebar dengan cepatnya secara paksi jika dibanding dengan penyebaran kulat-kulat secara horizontal, ini disebabkan struktur kayu dan arah aliran sap. Dalam tahap pereputan lanjutan, kayu menjadi semakin lembut, sebahagian daripadanya akan dikeluarkan, akhirnya mengakibatkan batang pokok berongga dan mudah berderai.

Apabila kayu mengalami pereputan, ia akan memperlihatkan beberapa corak perubahan. Corak-corak perubahan ini bukan sahaja bergantung kepada spesis kulat dan jenis kayu yang terlibat, tetapi juga bergantung pada peringkat pereputan yang telah dicapai (Cartwright dan Findlay, 1958). Corak perubahan yang biasa

diperlihatkan ialah: perubahan warna; kayu menjadi lembut; berbau; dan mengalami kehilangan berat, dan secara tidak langsung menyebabkan ketumpatannya menurun.

2.3.2 Klasifikasi Kulat

Klasifikasi kulat adalah berdasarkan maklumat-maklumat seperti ciri-ciri mikrostruktur, genetik, dan biokimia pada kulat. Tiga pengelasan kulat pereput yang utama ialah *Ascomycotina*, *Deuteromycotina* (kulat *Imperfecti*), dan *Basidiomycotina*. Ketiga-tiga kelas kulat tersebut merupakan sub-bahagian (*subdivision*) kepada EUMYCOTA (Zabel & Morrell, 1992).

Sub-bahagian *Ascomycotina* terdiri daripada pelbagai kulat pewarna dan pereput lembut yang penting. Selain daripada sub-bahagian *Ascomycotina*, pereput lembut juga banyak tergolong dalam sub-bahagian *Deuteromycotina* atau dikenali sebagai kulat *Imperfecti* (John & Jim, 1989; Zabel & Morrell, 1992). Sub-bahagian *Basidiomycotina* pula, terutamanya terdiri daripada pereput perang dan putih (Wong, 1989).

Terdapat banyak jenis organisma pereput kayu, kulat adalah jenis yang akan menyebabkan kerosakan yang serius semasa kayu dalam tempoh penggunaannya. Ini kerana ia akan menyebabkan kegagalan struktur, dan sesetengah kes berlaku dalam masa yang singkat (Scheffer, 1973; Highley & Dashek, 1998). Hanya kumpulan kulat yang terhad sahaja mempunyai kebolehan pencernaan enzim (*enzymatic digestion*) (Zabel & Morrell, 1992). Kumpulan kulat yang berbeza menyerang komponen-komponen dinding sel kayu dengan cara yang berlainan, ini mengakibatkan wujudnya pelbagai jenis pereputan. Organisma pereput kayu yang penting dan berkesan ialah

kulat pereput perang dan kulat pereput putih, di mana kedua-dua jenis kulat ini menyerang pelbagai jenis komponen pada dinding sel kayu (Highley & Dashek, 1998). Kulat pereput lembut juga akan merosakkan kayu, tetapi ia biasanya tidak begitu serius kerana kadar pereputannya daripada permukaan kayu ke dalam kayu adalah perlahan, dan biasanya tidak begitu mendalamkan (Scheffer, 1973). Terdapat tiga bentuk serangan yang telah dikenal pasti bagaimana kulat menyerang kayu iaitu pereputan putih, pereputan perang dan pereputan lembut. Perbezaan bentuk pereputan kayu oleh kulat adalah berdasarkan kepada jenis aktiviti pencernaan enzim yang terlibat, sebagai contoh: enzim selulase (*cellulase enzymes*) untuk pencernaan selulosa (Ujang, 1992).

2.3.3 Reputan Putih

Kulat yang menyebabkan reputan putih dikenali sebagai kulat pereput putih. Biasanya dihubungkan dengan kayu keras (Ujang, 1992), di mana kulat tersebut dapat menyerang pelbagai jenis kayu keras (Cartwright & Findlay, 1958). Contoh kulat pereput putih ialah *Polyporus versicolor*, *Polystictus versicolor*, *Polystictus sanguineus* (Fortin & Poliquin, 1976), *Coriolus versicolor* (Cartwright & Findlay, 1958; Bhandari & Bist, 1989). Kayu yang dijangkit oleh kulat pereput putih akan menyebabkan kayu terjangkit berwarna cerah/putih, dan akhirnya kayu tersebut akan diuraikan menjadi bergentian yang berupa jisim berwarna keputihan (Highley & Dashek, 1998). Walau bagaimanapun, kayu yang diserang tidak berderai kepada serbuk halus walaupun serangannya sangat mendalam (Wilcox, 1973).

Kulat pereput putih dapat mengurai kesemua komponen utama pada kayu, iaitu lignin, selulosa dan hemiselulosa (Wilcox, 1973; Kirk, 1973; Zabel & Morrel, 1992; Ujang,

1992; Highley & Dashek, 1998). Apabila kayu diserang oleh kulat pereput putih, kulat-kulat tersebut akan menggunakan komponen-komponen utama kayu, dan tidak hairan bahawa spesis kulat yang berbeza akan menggunakan komponen-komponen utama kayu pada kadar yang berbeza (Kirk, 1973). Kebanyakan kulat pereput putih menggunakan selulosa dan hemiselulosa pada kadar yang lebih kurang sama berbanding kepada jumlah asal, manakala lignin biasanya digunakan pada kadar yang lebih cepat (Newman & Murphy, 1993; Highley & Dashek, 1998). Kirk (1973) juga melaporkan keputusan yang sama di mana *Polyporus berkeleyi* menggunakan lignin pada kadar yang lebih cepat daripada selulosa dan hemiselulosa, terutamanya pada peringkat awal pereputan. Terdapat juga jenis kulat pereput putih yang lebih suka menggunakan lignin dan hemiselulosa, tetapi kulat tersebut pada akhirnya tetap akan menguraikan kesemua komponen-komponen dinding kayu (Highley & Dashek, 1998). Terdapat juga kulat pereput yang menggunakan ketiga-tiga komponen-komponen utama kayu pada masa yang lebih kurang sama, contohnya *Polyporus versicolor* (Kirk, 1973). Penggunaan komponen-komponen kayu oleh kulat pereput putih pada kadar relatif yang berbeza adalah disebabkan oleh aktiviti-aktiviti enzim yang berbeza (Kirk, 1973).

Pada maklumat-maklumat yang dikumpulkan oleh Zabel dan Morrel (1992), peringkat pereputan kayu oleh kebanyakan kulat pereput putih ialah penguraian hemiselulosa pada awalnya, diikuti penguraian lignin dan akhirnya penguraian selulosa. Maklumat yang sama juga didapati oleh Wilcox (1973), di mana *Trametes pini* menyahligninkan kayu *spruce* dan *birch* secara progresif daripada lumen ke lamela tengah sebelum dekomposisi selulosa yang signifikan wujud. Selain itu, maklumat beliau juga

menunjukkan bahawa pada peringkat awal pereputan, didapati dinding sel yang berlignin rosak keseluruhannya sebelum selulosa diserang.

Daripada kajian yang menggunakan *Polyporus versicolor*, didapati corak reputan putih yang biasa ialah kulat mereputkan setiap lapisan dinding sel kayu dengan berjayanya, dan mereput dari lapisan S3 ke lamela tengah (Wilcox, 1973). Menurut Cartwright & Findlay (1958) pula, semasa pereputan oleh *Coriolus versicolor*, hifa-hifa kulat akan menembusi pit-pit kayu, dan pada reputan lanjut, kulat tersebut akan mengorek dinding sel kayu secara bebas, ini turut menyebabkan dinding sel menjadi nipis.

2.3.4 Reputan Perang

Kulat yang menyebabkan reputan perang dikenali sebagai kulat pereput perang. Reputan perang kebanyakannya berlaku pada kayu lembut (Ujang, 1992), dan merupakan kulat pereput yang sering mereputkan bangunan serta struktur kayu (Cartwright & Findlay, 1958). Contoh kulat pereput perang ialah *Coniophora cerebella*, *Lenzites trabea*, *Lentinus xantha*, *Merulius lacrymans*, *Poria vaillantii*, *Poria vaporaria*, *Trametes trabea* (Fortin & Poliquin, 1976) dan *Coniophora puteana* (Cartwright & Findlay, 1958; Lee *et al.*, 2001). Kayu yang dijangkiti biasanya berwarna perang dengan bintik-bintik perang melintang di atas dan kayu selalunya rapuh. Warna perang ini sebenarnya adalah warna dari lignin yang tertinggal. Rekahan juga berlaku pada awal pereputan perang (Wilcox, 1973).

Kulat pereput perang yang menyerang kayu hanya memakan hemiselulosa dan selulosa pada dinding sel, dan meninggalkan lignin tanpa dicerna (Cartwright & Findlay, 1958;

Highley & Dashek, 1998), walau bagaimanapun, kulat ini tetap akan mengubah sifat kimia lignin (Highley & Dashek, 1998). Antara mikro organisma pengurai selulosa, kulat pereput perang adalah unik kerana hanya ia sahaja yang boleh mengurai selulosa kayu tanpa mengurai lignin terlebih dahulu (Highley & Dashek, 1998).

Menurut Wilcox (1973), corak reputan perang bermula dalam lapisan S2 jika dibandingkan dengan sempadan lumen, kerana lapisan S2 kaya dengan selulosa (John & Jim, 1989). Berbanding dengan kulat pereput putih yang biasanya menyerang lapisan dinding sel dengan progresif, manakala kulat pereput perang pula, ia menyerang pelbagai lapisan dalaman pada dinding sekunder terlebih dahulu, dan reputan perang adalah tidak seragam (Wilcox, 1973). Dekomposisi dinding sekunder bermula dengan pembentukan lubang dalam lapisan S2 atau bermula dengan kerosakkan secara keseluruhan di lapisan S2, manakala lapisan S3 kekal tidak dirosak langsung (Wilcox, 1973; Lee *et al.*, 2001). Pembentukan lubang pada lapisan S2 hanya pada kayu keras tetapi tiada pada kayu lembut, ini mungkin disebabkan kayu lembut mempunyai kandungan lignin yang tinggi dalam lapisan S2. Wilcox (1973) juga menyatakan bahawa pada kajian yang dibuat pada kayu *birch*, selepas penguraian selulosa yang sempurna daripada lapisan S2, dekomposisi yang seterusnya ialah pada lapisan S3. Dalam kayu keras yang lain, lapisan S1 diserang sebelum S3.

2.3.5 Reputan Lembut

Kulat yang menyebabkan reputan lembut dikenali sebagai kulat pereput lembut. Kulat pereput lembut biasa wujud dalam kayu yang bersentuhan dengan tanah (Ujang, 1992), seperti tiang pengangkutan kuasa elektrik, pembinaan rumah bersergam, landasan

keretapi, dan lain-lain, asalkan tanah tersebut tidak bertakung air secara berterusan (Wong, 1989). Ia juga wujud dalam kayu yang terdapat di atas tanah seperti menara penyejukan air (Wong, 1989; Ujang, 1992). Kulat pereput lembut adalah lebih agresif dalam persekitaran sub-tropikal/tropikal sebab toleran secara relatif kepada suhu sekitar yang tinggi (optimum untuk aktiviti kulat ialah melebihi 28°C) dan kelembapan kawasan ini (Wong, 1989). Contoh kulat pereput lembut ialah *Chaetomium globosum* dan *Chaetomium spp.* (Fortin & Poliquin, 1976). Serangan kulat tersebut adalah ke atas permukaan yang terdedah, kayu yang dijangkiti menjadi lebih gelap, hifa kulat pereput lembut menembusi dinding sel kayu dan menghasilkan lubang yang besar dalam matrik yang mengelilingi dinding sel. Jika pereputan berkembang, kayu akan menjadi lembut serta rapuh dengan tanda rekahan kiub jika ia mengering. Tindakan pereput lembut hampir sama dengan pereput perang (Daniel & Nilsson, 1998).

Pereputan lembut adalah disebabkan oleh mikrokulat yang menyerang dinding sel kayu secara terpilih iaitu pada bahagian S2. Pembentukan pereputan lembut kebanyakannya terdapat pada kayu yang mempunyai kandungan lembapan yang tinggi dan pada kayu yang bersentuhan dengan tanah (Cartwright & Findlay, 1958; John & Jim, 1989; Zabel & Morrell, 1992). Menurut maklumat yang didapati oleh Kirk (1973), kulat pereput lembut menggunakan polisakarida, dan selulosa pada kadar yang lebih cepat daripada hemiselulosa. Walaupun kulat pereput lembut juga mencerna lignin, tetapi ia digunakan pada kadar yang lebih lambat daripada karbohidrat.

Dalam serangan kulat pereput lembut, hifa wujud dalam lumen, dan mengeluarkan hifa yang halus secara lateral untuk menembusi lapisan S3 ke dalam lapisan S2, kemudiannya membentuk cabang-T. Hifa pada cabang tersebut selaku hifa penyebar,

di mana ia bertumbuh menerusi dinding dalam setiap arah selari kepada dinding mikrofibril, kemudian membentuknya lubang (Preston, 1979). Wong (1989) juga melaporkan kenyataan yang sama, di mana terdapat pembentukan lubang dalam lapisan dinding sel sekunder (lapisan S2) pada gentian kayu keras.

2.3.6 Keperluan-Keperluan Utama Untuk Pereputan Kayu

Kulat reputan sama seperti mikro organisma yang lain, memerlukan keadaan tertentu untuk tumbesarnya. Keperluan-keperluan utama adalah seperti air, oksigen, julat suhu yang sesuai, substrat yang boleh diurai, julat pH yang sesuai serta faktor-faktor pertumbuhan kimia (Scheffer, 1973; Zabel & Morrel, 1992).

Pereputan hanya akan berlaku jika kayu mempunyai kandungan lembapan yang melebihi 20% daripada berat selepas kering ketuhar (Scheffer, 1973; Zabel & Morrel, 1992). Pereputan yang serius hanya akan berlaku apabila kandungan lembapan melebihi takat tepu gentian (kira-kira 30%) (Scheffer, 1973). Kebanyakan kulat pereput tidak dapat bertumbuh dengan baik dalam kayu yang tepu air. Ini disebabkan kulat adalah organisma aerobik-obligat dan memerlukan amaun oksigen yang sesuai untuk menjalani proses respirasi (Zabel & Morrel, 1992). Kayu yang tepu air dapat dielak daripada serangan kulat dan serangga perosak, dan dapat disimpan secara selamat selama beberapa tahun, tetapi organisma yang lebih toleren seperti bakteria, mungkin akan mula merosakkan kayu kemudiannya. Tahap kandungan lembapan yang optimum bagi tumbesaran kebanyakan kulat pereput adalah tidak diketahui, tetapi data dari ujian pereputan mencadangkan bahawa kandungan lembapan optimum bagi kebanyakan kulat pereput ialah 40% dan 80% (Zabel & Morrel, 1992). Nilai

kandungan lembapan optimum boleh dikatakan berbeza-beza mengikut jenis dan spesies kulat.