

**KESAN FAKTOR – FAKTOR PEMULPAAN SODA – ANTRAKUINON
KE ATAS SIFAT – SIFAT PULPA DAN KERTAS TANDAN BUAH KOSONG
KELAPA SAWIT**

oleh

NURUL HUSNA BINTI MOHD HASSAN

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

Mei 2006

PENGHARGAAN

Sekapur sirih, seulas pinang...

Alhamdulillahirabbilalamin, setinggi-tinggi kesyukuran saya panjatkan ke hadrat Ilahi, kerana dengan limpah kurnia-Nya, dapatlah saya menyempurnakan projek penyelidikan pada peringkat Ijazah Sarjana ini dengan jayanya.

Ucapan penghargaan yang tak terhingga saya berikan kepada Penyelia Utama Projek saya, Dr. Mazlan Bin Ibrahim yang telah banyak memberi panduan dan pengetahuan baru sepanjang saya menjalankan projek ini. Terima kasih atas segala nasihat dan tunjuk ajar Dr. dalam menghadapi segala permasalahan projek bagi memastikan projek ini berjalan lancar.

Terima kasih juga kepada Prof. Wan Rosli Wan Daud, selaku Penyelia Bersama saya yang turut memberikan pendapat dan panduan pada saat-saat saya memerlukannya. Tidak dilupakan, kepada Dr. Leh Cheu Peng, terima kasih atas nasihat dan tunjuk ajar yang diberikan.

Tidak ketinggalan kepada pembantu-pembantu makmal, Encik Azizan Che Adnan, Encik Abu Mangsor Mat Sari, Encik Azhar dan Pegawai Sains, Encik Asro Ramli yang turut memberikan panduan dan pertolongan yang diperlukan bagi memudahkan saya menjalankan projek ini.

Jutaan terima kasih saya hulurkan kepada Emak, Ayah, Along, Angah, Alang, adik-adik, Abang Long dan Abang Ngah yang banyak memberikan sokongan moral untuk saya meneruskan projek ini. Buat Emak dan Ayah, doakan kejayaan anakmu ini dalam menghadapi kehidupan masa hadapan yang pastinya penuh dengan dugaan dan cabaran. Terima kasih atas kata-kata

perangsang dan doa yang telah kalian curahkan selama ini. Hanya Allah yang dapat membalas semuanya.

Teristimewa buat tunang tersayang, Syed Muhammad Afdhal yang tidak pernah jemu memberikan sokongan dan nasihat supaya saya tekad untuk menyempurnakan projek ini. Sesungguhnya, kasih sayang yang dicurahkan menjadi kekuatan dan benteng untuk saya menghadapi liku-liku hari yang dilalui. Terima kasih atas segala kesabaran dan mutiara-mutiara kata yang diberikan untuk memulihkan semangat saya supaya tabah menjalani program sarjana ini.

Tidak dilupakan kepada senior-senior saya yang sudi berkongsi pengetahuan dan pendapat apabila timbul beberapa masalah dalam projek ini. Semoga kita akan bersama-sama berganding bahu bagi memajukan bidang ini pada masa hadapan.

Kepada rakan-rakan seperjuangan, terima kasih atas jalinan persahabatan yang terbina. Semoga kita dapat memanfaatkan ilmu yang telah ditimba sejak beberapa tahun yang lalu, dalam meningkatkan kualiti hidup apabila memasuki alam kerjaya kelak.

Akhir kata, sekalung penghargaan kepada pemeriksa dalaman dan luaran tesis ini dan sesiapa sahaja yang telah terlibat secara langsung atau tidak langsung sepanjang saya menjalani projek ini. Pengalaman yang telah diperoleh akan saya manfaatkan sebaik mungkin supaya pengetahuan ini tidak sia-sia begitu sahaja. Semoga usaha saya selama ini diredhai dan mendapat keberkatan daripada Allah Taala. Ameen.

Ikhlas daripada,
NURUL HUSNA BINTI MOHD HASSAN
Mei 2006

ISI KANDUNGAN

	MUKA SURAT
PENGHARGAAN	ii
ISI KANDUNGAN	iv
SENARAI RAJAH	x
SENARAI JADUAL	xiv
SENARAI SINGKATAN DAN SIMBOL	xvi
ABSTRAK	xviii
ABSTRACT	xix
BAB 1 PENGENALAN	1
1.1 Latar Belakang Penyelidikan	1
1.2 Justifikasi	3
1.3 Objektif Penyelidikan	6
BAB 2 TINJAUAN LITERATUR	7
2.1 Kelapa Sawit	7
2.1.1 Industri Kelapa Sawit	8
2.1.2 Lignoselulosik Kelapa Sawit	10
2.2 Kimia Gentian	12
2.2.1 Selulosa	13
2.2.2 Hemiselulosa	17
2.3 Pemulpaan	17
2.3.1 Pemulpaan Alkali	17
2.3.2 Pemulpaan Soda-Antrakuinon	18
2.3.2(a) Penggunaan Antrakuinon	19

2.3.2(b) Mekanisme Tindakbalas Antrakuinon	20
2.3.3 Kesan Parameter Faktor-Faktor Pemulpaan	24
2.3.3(a) Suhu	24
2.3.3(b) Masa	25
2.3.3(c) Alkali	26
2.4 Metodologi Permukaan Sambutan (RSM)	26
2.4.1 Pengenalan Asas RSM	27
2.4.2 Penggunaan RSM	28
BAB 3 EKSPERIMEN	32
3.1 Penyediaan Bahan Mentah	32
3.1.1 Pencucian Bahan Mentah EFB	32
3.1.2 Penentuan Kandungan Lembapan EFB	32
3.2 Pemulpaan Soda-Antrakuinon	33
3.2.1 Rekabentuk Ujikaji Berdasarkan RSM	33
3.2.2 Penyediaan Likur Pemulpaan	34
3.2.3 Penghadaman	35
3.2.4 Peleraian Pulpa	35
3.3 Penentuan Hasil Pemulpaan	36
3.4 Pembuatan Kertas	38
3.4.1 Penyediaan Stok Pulpa	38
3.4.2 Penentuan Konsistensi	38
3.4.3 Penghasilan Kertas	39
3.5 Penentuan Sifat-sifat Pulpa	41
3.5.1 Nombor Kappa	41
3.5.2 Kelikatan	42

3.6	Pengujian Sifat-Sifat Kertas	43
3.6.1	Pemotongan Kertas	43
3.6.2	Sifat-Sifat Mekanikal	44
	3.6.2(a) <i>Kekuatan Tensil</i>	44
	3.6.2(b) <i>Rintangannya Koyakan</i>	44
	3.6.2(c) <i>Ketahanan Lipatan</i>	45
	3.6.2(d) <i>Kekuatan Pecahan</i>	46
	3.6.2(e) <i>Kekuatan Tensil Zero – Span</i>	46
3.6.3	Sifat-Sifat Optik	47
	3.6.3(a) <i>Kecerahan</i>	47
	3.6.3(b) <i>Kelegapan</i>	48
3.7	Pengoptimuman Faktor-faktor Pemulpaan	48
BAB 4	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	50
4.1	Sifat-sifat Pulpa	50
4.1.1	Hasil Pemulpaan	50
4.1.2	Penentuan Hasil Keseluruhan	51
	4.1.2(a) <i>Analisis ANOVA Hasil Keseluruhan</i>	52
	4.1.2(b) <i>Kesan Faktor-faktor Pemulpaan Terhadap Hasil Keseluruhan</i>	53
4.1.3	Penentuan Hasil Penskrinan	58
	4.1.3(a) <i>Analisis ANOVA Hasil Penskrinan</i>	59
	4.1.3(b) <i>Kesan Faktor-faktor Pemulpaan Terhadap Hasil Penskrinan</i>	59
4.1.4	Nombor Kappa	64
	4.1.4(a) <i>Analisis ANOVA Nombor Kappa</i>	65

4.1.4(b) <i>Kesan Faktor-faktor Pemulpaan Terhadap</i>	
<i>Nombor Kappa</i>	65
4.1.5 Kelikatan	69
4.1.5(a) Analisis ANOVA Kelikatan	70
4.1.5(b) <i>Kesan Faktor-faktor Pemulpaan Terhadap</i>	
Kelikatan	71
4.2 Sifat-sifat Mekanikal Kertas	74
4.2.1 Kekuatan Tensil	74
4.2.1(a) <i>Analisis ANOVA Indeks Tensil</i>	74
4.2.1(b) <i>Kesan Faktor-faktor Pemulpaan</i>	
<i>Terhadap Indeks Tensil</i>	75
4.2.2 Rintangan Koyakan	78
4.2.2(a) <i>Analisis ANOVA Indeks Koyakan</i>	79
4.2.2(b) <i>Kesan Faktor-faktor Pemulpaan</i>	
<i>Terhadap Indeks Koyakan</i>	80
4.2.3 Ketahanan Lipatan	83
4.2.3(a) <i>Analisis ANOVA Ketahanan Lipatan</i>	84
4.2.3(b) <i>Kesan Faktor-faktor Pemulpaan</i>	
<i>Terhadap Ketahanan Lipatan</i>	85
4.2.4 Kekuatan Pecahan	88
4.2.4(a) <i>Analisis ANOVA Indeks Pecahan</i>	89
4.2.4(b) <i>Kesan Faktor-faktor Pemulpaan</i>	
<i>Terhadap Indeks Pecahan</i>	90
4.2.5 Kekuatan Tensil Zero-Span	93
4.2.5(a) <i>Analisis ANOVA Zero-Span</i>	94

4.2.5(b) <i>Kesan Faktor-faktor Pemulpaan</i>	
<i>Terhadap Zero-Span</i>	94
4.3 Sifat-sifat Optik Kertas	97
4.3.1 Kecerahan	97
4.3.1(a) <i>Analisis ANOVA Kecerahan</i>	98
4.3.1(b) <i>Kesan Faktor-faktor Pemulpaan</i>	
<i>Terhadap Kecerahan</i>	99
4.3.2 Kelegapan	102
4.3.2(a) <i>Analisis ANOVA Kelegapan</i>	102
4.3.2(b) <i>Kesan Faktor-faktor Pemulpaan</i>	
<i>Terhadap Kelegapan</i>	103
4.4 Pengoptimuman	106
4.5 Perhubungan Antara Sifat-sifat Pulpa dan	
Sifat-sifat Kertas EFB	112
BAB 5 KESIMPULAN	115
CADANGAN	117
RUJUKAN	118
Lampiran A	123
Lampiran B	124
Lampiran C	125
Lampiran D	126
Lampiran E	127
Lampiran F	129
Lampiran G	131
Lampiran H	133

Lampiran I	135
Lampiran J	137
Lampiran K	139
Lampiran L	141
Lampiran M	143
Lampiran N	145
Lampiran O	147

SENARAI RAJAH

MUKA SURAT

Rajah 2.1	: Struktur rantai selulosa.	14
Rajah 2.2	: Skematik pembentukan kawasan kristal dan amorfus rantai	15
Rajah 2.3	: Struktur gentian kayu.	16
Rajah 2.4	: Penurunan elektrokimia dalam pemulpaan AQ.	21
Rajah 2.5	: Proses pengoksidaan dalam pemulpaan AQ.	22
Rajah 2.6	: Tindak balas katalik AQ.	23
Rajah 2.7	: Penyingkiran AQ dalam pemulpaan.	24
Rajah 2.8	: Kaedah pendakian tercuram bagi menerangkan proses menghampiri titik optimum.	29
Rajah 2.9	: Gambaran kedudukan titik-titik eksperimen CCD bagi eksperimen yang mempunyai dua faktor.	31
Rajah 2.10	: Gambaran kedudukan titik-titik eksperimen CCD bagi eksperimen yang mempunyai tiga faktor.	31
Rajah 3.1	: Pengukur Kandungan Lembapan (<i>Electrical Moisture Meter Analyser</i>)	32
Rajah 3.2	: <i>Digester (Computerised Pulping Unit)</i>	35
Rajah 3.3	: Peleraian Pulpa (<i>Hydra Pulper</i>)	36
Rajah 3.4	: Penskrin (<i>Sommerville Fractionator</i>)	37
Rajah 3.5	: Penyepai (<i>Disintegrator</i>)	38
Rajah 3.6	: Mesin Penghasilan Kertas (<i>Handsheet Machine</i>)	40
Rajah 3.7	: Cara-cara Pemetongan Kertas Makmal.	43
Rajah 3.8	: Penguji Kekuatan Tensil (<i>Tensile Strength Tester</i>)	44
Rajah 3.9	: Penguji Koyakan (<i>Elmendorf Tearing Tester</i>)	45

Rajah 3.10 :	Penguji Ketahanan Lipatan (<i>Folding Endurance Tester</i>)	45
Rajah 3.11 :	Penguji Kekuatan Pecah (<i>Bursting Strength Tester</i>)	46
Rajah 3.12 :	Penguji Kekuatan Gentian (<i>Zero-span Tensile Strength</i>)	47
Rajah 3.13 :	Penguji Kecerahan & Kelegapan (<i>Brighness & Opacity Tester</i>)	47
Rajah 4.1 :	Plot usikan hasil keseluruhan.	55
Rajah 4.2 :	Plot 3-D menunjukkan kesan alkali (A) dan suhu (T) terhadap variasi hasil keseluruhan pada masa (t) = 60 min.	55
Rajah 4.3 :	Plot 3-D menunjukkan kesan alkali (A) dan suhu (T) terhadap variasi hasil keseluruhan pada masa (t) = 90 min.	56
Rajah 4.4 :	Plot 3-D menunjukkan kesan alkali (A) dan suhu (T) terhadap variasi hasil keseluruhan pada masa (t) = 120 min.	56
Rajah 4.5 :	Plot usikan hasil penskrinan.	61
Rajah 4.6 :	Plot 3-D menunjukkan kesan alkali (A) dan suhu (T) terhadap variasi hasil penskrinan pada masa (t) = 60 min.	61
Rajah 4.7 :	Plot 3-D menunjukkan kesan alkali (A) dan suhu (T) terhadap variasi hasil penskrinan pada masa (t) = 90 min.	62
Rajah 4.8 :	Plot 3-D menunjukkan kesan alkali (A) dan suhu (T) terhadap variasi hasil penskrinan pada masa (t) = 120 min.	62
Rajah 4.9 :	Plot usikan nombor Kappa.	67
Rajah 4.10 :	Plot 3-D menunjukkan kesan alkali (A) dan suhu (T) terhadap variasi nombor Kappa pada masa (t) = 60 min.	67
Rajah 4.11 :	Plot 3-D menunjukkan kesan alkali (A) dan suhu (T) terhadap variasi nombor Kappa pada masa (t) = 90 min.	68
Rajah 4.12 :	Plot 3-D menunjukkan kesan alkali (A) dan suhu (T) terhadap variasi nombor Kappa pada masa (t) = 120 min.	68
Rajah 4.13 :	Plot usikan kelikatan.	72

Rajah 4.14 :	Plot 3-D menunjukkan kesan alkali (A) dan masa (t) terhadap variasi kelikatan pada suhu (T) = 160°C.	72
Rajah 4.15 :	Plot 3-D menunjukkan kesan alkali (A) dan masa (t) terhadap variasi kelikatan pada suhu (T) = 170°C.	73
Rajah 4.16 :	Plot 3-D menunjukkan kesan alkali (A) dan masa (t) terhadap variasi kelikatan pada suhu (T) = 180°C.	73
Rajah 4.17 :	Plot usikan indeks tensil.	76
Rajah 4.18 :	Plot 3-D menunjukkan kesan alkali (A) dan suhu (T) terhadap variasi indeks tensil pada masa (t) = 60 min.	76
Rajah 4.19 :	Plot 3-D menunjukkan kesan alkali (A) dan suhu (T) terhadap variasi indeks tensil pada masa (t) = 90 min.	77
Rajah 4.20 :	Plot 3-D menunjukkan kesan alkali (A) dan suhu (T) terhadap variasi indeks tensil pada masa (t) = 120 min.	77
Rajah 4.21 :	Plot usikan indeks koyakan.	81
Rajah 4.22 :	Plot 3-D menunjukkan kesan alkali (A) dan suhu (T) terhadap variasi indeks koyakan pada masa (t) = 60 min.	81
Rajah 4.23 :	Plot 3-D menunjukkan kesan alkali (A) dan suhu (T) terhadap variasi indeks koyakan pada masa (t) = 90 min.	82
Rajah 4.24 :	Plot 3-D menunjukkan kesan alkali (A) dan suhu (T) terhadap variasi indeks koyakan pada masa (t) = 120 min.	82
Rajah 4.25 :	Plot usikan ketahanan lipatan.	86
Rajah 4.26 :	Plot 3-D menunjukkan kesan alkali (A) dan suhu (T) terhadap variasi ketahanan lipatan pada masa (t) = 60 min.	86
Rajah 4.27 :	Plot 3-D menunjukkan kesan alkali (A) dan suhu (T) terhadap variasi ketahanan lipatan pada masa (t) = 90 min.	87
Rajah 4.28 :	Plot 3-D menunjukkan kesan alkali (A) dan suhu (T) terhadap variasi ketahanan lipatan pada masa (t) = 120 min.	87
Rajah 4.29 :	Plot usikan indeks pecahan.	91
Rajah 4.30 :	Plot 3-D menunjukkan kesan alkali (A) dan suhu (T) terhadap variasi indeks pecahan pada masa (t) = 60 min.	91

Rajah 4.31 :	Plot 3-D menunjukkan kesan alkali (A) dan suhu (T) terhadap variasi indeks pecahan pada masa (t) = 90 min.	92
Rajah 4.32 :	Plot 3-D menunjukkan kesan alkali (A) dan suhu (T) terhadap variasi indeks pecahan pada masa (t) = 120 min.	92
Rajah 4.33 :	Plot usikan zero-span.	95
Rajah 4.34 :	Plot 3-D menunjukkan kesan alkali (A) dan masa (t) terhadap variasi kekuatan tensil zero-span pada suhu (T) = 160 °C.	95
Rajah 4.35 :	Plot 3-D menunjukkan kesan alkali (A) dan masa (t) terhadap variasi kekuatan tensil zero-span pada suhu (T) = 170 °C.	96
Rajah 4.36 :	Plot 3-D menunjukkan kesan alkali (A) dan masa (t) terhadap variasi kekuatan tensil zero-span pada suhu (T) = 180 °C.	96
Rajah 4.37 :	Plot usikan kecerahan.	100
Rajah 4.38 :	Plot 3-D menunjukkan kesan alkali (A) dan suhu (T) terhadap variasi kecerahan pada masa (t) = 60 min.	100
Rajah 4.39 :	Plot 3-D menunjukkan kesan alkali (A) dan suhu (T) terhadap variasi kecerahan pada masa (t) = 90 min.	101
Rajah 4.40 :	Plot 3-D menunjukkan kesan alkali (A) dan suhu (T) terhadap variasi kecerahan pada masa (t) = 120 min.	101
Rajah 4.41 :	Plot usikan kelegapan.	104
Rajah 4.42 :	Plot 3-D menunjukkan kesan masa(t) dan suhu (T) terhadap variasi kelegapan pada alkali (A) = 20%.	104
Rajah 4.43 :	Plot 3-D menunjukkan kesan masa (t) dan suhu (T) terhadap variasi kelegapan pada alkali (A) = 25%.	105
Rajah 4.44 :	Plot 3-D menunjukkan kesan masa (t) dan suhu (T) terhadap variasi kelegapan pada alkali (A) = 30%.	105
Rajah 4.45 :	Hasil penskrinan dan kelikatan melawan nombor Kappa.	112
Rajah 4.46 :	Indeks koyakan dan indeks tensil melawan nombor Kappa.	113

SENARAI JADUAL

	MUKA SURAT
Jadual 2.1 : Kawasan penanaman kelapa sawit di Malaysia.	10
Jadual 2.2 : Antara kegunaan hasil sampingan kelapa sawit pada masa ini.	11
Jadual 2.3 : Nilai purata berpemberat darjah pempolimeran.	14
Jadual 3.1 : Turutan proses pemulpaan soda-antrakuinon.	34
Jadual 3.2 : Aras faktor pemulpaan yang dicadangkan oleh perisian Design-Expert bagi sifat-sifat pulpa optimum.	48
Jadual 3.3 : Aras faktor pemulpaan yang dicadangkan oleh perisian Design-Expert bagi sifat-sifat kertas optimum.	49
Jadual 4.1 : Peratus hasil pemulpaan.	51
Jadual 4.2 : Sambutan hasil keseluruhan.	51
Jadual 4.3 : Analisis ANOVA hasil keseluruhan.	53
Jadual 4.4 : Sambutan hasil penskrinan.	58
Jadual 4.5 : Analisis ANOVA hasil penskrinan.	59
Jadual 4.6 : Sambutan nombor Kappa.	64
Jadual 4.7 : Analisis ANOVA nombor Kappa.	65
Jadual 4.8 : Sambutan kelikatan.	69
Jadual 4.9 : Analisis ANOVA kelikatan.	70
Jadual 4.10 : Sambutan indeks tensil.	74
Jadual 4.11 : Analisis ANOVA indeks tensil.	75
Jadual 4.12 : Sambutan indeks koyakan.	79
Jadual 4.13 : Analisis ANOVA indeks koyakan.	79
Jadual 4.14 : Sambutan ketahanan lipatan.	84
Jadual 4.15 : Analisis ANOVA ketahanan lipatan.	84

Jadual 4.16 :	Sambutan indeks pecahan.	89
Jadual 4.17 :	Analisis ANOVA indeks pecahan.	89
Jadual 4.18 :	Sambutan kekuatan tensil zero-span.	93
Jadual 4.19 :	Analisis ANOVA kekuatan tensil zero-span.	94
Jadual 4.20 :	Sambutan kecerahan.	98
Jadual 4.21 :	Analisis ANOVA kecerahan.	98
Jadual 4.22 :	Sambutan kelegapan.	102
Jadual 4.23 :	Analisis ANOVA kelegapan.	103
Jadual 4.24 :	Aras faktor optimum bagi sifat-sifat pulpa.	109
Jadual 4.25 :	Aras faktor optimum bagi sifat-sifat kertas.	109
Jadual 4.26 :	Aras faktor optimum bagi kombinasi sifat-sifat pulpa dan kertas.	109
Jadual 4.27 :	Kriteria sifat-sifat pulpa dan kertas serta nilai optimum faktor pemulpaan.	110
Jadual 4.28 :	Perbandingan antara nilai optimum yang dijangkakan dengan nilai yang diperolehi daripada eksperimen pengoptimuman.	111

SENARAI SINGKATAN DAN SIMBOL

%	peratus
g	gram
min	minit
°C	darjah celcius
±	lebih kurang
≈	nilai menghampiri
a.d.	berat kering udara
o.d.	berat kering oven
AHQ	antrahidrokuinon
AQ	antrakuinon
Soda-AQ	soda antrakuinon
CED	<i>Cupriethylenediamine</i>
EFB	<i>Empty Fruit Bunches</i> (Tandan Buah Kosong)
Na ₂ S	natrium sulfida
NaOH	natrium hidroksida
RSM	<i>Response Surface Methodology</i> (Metodologi Permukaan Sambutan)
F-value	Nilai-F
Prob. F	<i>Probability of a Larger F</i> (Kebarangkalian F yang Besar)
PRESS	<i>Predicted Residual Sums Of Squares</i> (Jangkaan Residu Hasil Tambah Kuasa Dua)
R ²	<i>Multiple Correlation Coefficient</i> (Koefisien Korelasi Berganda)
ANOVA	<i>Analysis of Variance</i> (Analisis Varians)

SMSS	<i>Sequential Model Sum of Squares</i> (Model Berjujuk Hasil Tambah Kuasa Dua)
LOF	<i>Lack of Fits Tests</i> (Ujian Ketidaksesuaian)
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i> (Bod Gentian Berketumpatan Sederhana)
MSS	<i>Model Summary Statistic</i> (Statistik Ringkasan Model)
A	Alkali
T	Suhu (Temperature)
t	Masa (time)
α	alfa
β	beta
γ	gamma
Bil. eksp.	Bilangan eksperimen
Kand.	Kandungan
Trt. eksp.	Turutan eksperimen
N.m/g	Newton meter per gram
kPa.m ² /g	kilopascal meter persegi per gram
mN.m ² /g	miliNewton meter persegi per gram
cP	<i>centi Poise</i>
N	Newton
log ₁₀	log sepuluh

KESAN FAKTOR – FAKTOR PEMULPAAN SODA – ANTRAKUINON KE ATAS SIFAT – SIFAT PULPA DAN KERTAS TANDAN BUAH KOSONG KELAPA SAWIT

ABSTRAK

Kesan faktor-faktor pemulpaan soda-AQ ke atas sifat-sifat pulpa dan kertas tandan buah kosong kelapa sawit telah dikaji menggunakan Metodologi Permukaan Sambutan berasaskan Rekabentuk Komposit Berpusat. Faktor-faktor pemulpaan yang dikaji ialah alkali (A), suhu pemulpaan (T) dan masa pemulpaan (t), dengan julat masing-masing antara 20 – 30%, 160 – 180°C dan 60 – 120 minit. Keputusan sifat-sifat pulpa yang terdiri daripada hasil keseluruhan, hasil penskrinan, nombor Kappa dan kelikatan didapati berada dalam julat 35.37 – 58.87%, 30.37 – 56.07%, 6 – 16 dan 5.43 – 16.02 cP. Manakala sifat-sifat kertas seperti indeks tensil, indeks koyakan, indeks pecahan, ketahanan lipatan, kekuatan tensil zero-span, kecerahan dan kelegapan pula masing-masing berjulat 14.95 – 30.95 N.m/g, 5.09 – 9.22 mN.m²/g, 4.17 – 5.80 kPa.m²/g, 0.67 – 2.36 log₁₀, 36.18 – 57.00 N, 39.58 – 56.40% dan 94.92 – 98.26%. Pengaruh faktor-faktor pemulpaan soda-AQ ke atas gentian tandan buah kosong kelapa sawit dapat difahami berdasarkan model regrasi yang diperolehi. Melalui persamaan matematik yang terhasil, pemulpaan optimum dijangkakan berlaku apabila faktor-faktor alkali, suhu pemulpaan dan masa pemulpaan diselaraskan pada 27.3%, 160°C dan 60 minit. Penggunaan kombinasi aras faktor pemulpaan yang rendah ini dapat menghasilkan 55.54% hasil keseluruhan, 53.20% hasil penskrinan, 10 nombor Kappa, 12.02 cP kelikatan, 26.77 N.m/g indeks tensil, 7.95 mN.m²/g indeks koyakan, 5.32 kPa.m²/g indeks pecahan, 1.70 log₁₀ ketahanan lipatan, 46.23 N kekuatan tensil zero-span, 51.80% kecerahan dan 95.84% kelegapan.

EFFECT OF SODA – ANTHRAQUINONE PULPING CONDITIONS ON PULP AND PAPER PROPERTIES OF OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCHES

ABSTRACT

Influence of soda-AQ pulping conditions on pulp and paper properties of oil palm empty fruit bunches were studied using Response Surface Methodology based on Central Composite Design. Alkali (A), pulping temperature (T) and pulping time (t) were among pulping factors that had been studied with their range between 20 - 30%, 160 - 180°C and 60 - 120 minutes respectively. Pulp properties evaluated based on total yield, screened yield, Kappa number and viscosity were in the range within 35.37 - 58.87%, 30.37 - 56.07%, 6 - 16 and 5.43 - 16.02 cP respectively. On the other hand, mechanical properties of handsheets produced namely tensile index, tearing index, bursting index, folding endurance, zero-span tensile strength and its optical properties, brightness and opacity ranged between 14.95 - 30.95 N.m/g, 5.09 - 9.22 mN.m²/g, 4.17 - 5.80 kPa.m²/g, 0.67 - 2.36 log₁₀, 36.18 - 57.00 N, 39.58 - 56.40% and 94.92 - 98.26% respectively. The effect of soda-AQ pulping conditions on oil palm empty fruit bunches fibers was clearly elucidated by the regression model obtained. The mathematical relationship generated showed that the optimum pulping condition was 27.30% alkali, 160°C and 60 minutes. This combination of low pulping conditions level produced 55.54% total yield, 53.20% screened yield, 10 Kappa number, 12.02 cP viscosity, 26.77 N.m/g tensile index, 7.95 mN.m²/g tearing index, 5.32 kPa.m²/g bursting index, 1.70 log₁₀ folding endurance, 46.23 N zero-span tensile strength, 51.80% brightness and 95.84% opacity.

1.1 Latar Belakang Penyelidikan

Kelapa sawit, *Elaeis guineensis* merupakan salah satu tanaman yang diusahakan secara komersial di Negara Malaysia khususnya dan di Asia amnya. Ia telah menjadi tanaman utama sumber ekonomi di Malaysia dan ladang-ladang kelapa sawit boleh didapati hampir di setiap negeri dalam negara ini.

Tujuan utama kelapa sawit ditanam ialah bagi mendapatkan minyaknya yang boleh dijadikan minyak masak, marjerin, sabun dan sebagainya. Terdapat kajian terbaru yang dijalankan untuk menggunakan minyak kelapa sawit sebagai sumber alternatif bagi mengurangkan penggunaan petroleum bagi menggerakkan kenderaan bermotor. Jika kajian ini berjaya, tentulah kepentingan minyak kelapa sawit akan meningkat secara mendadak berikutan kenaikan harga petrol baru-baru ini (Manirajan, 2006).

Setelah hasil buah daripada pokok kelapa sawit diperolehi, sisa-sisa pokok kelapa sawit seperti tandan buah kosong, pelepah dan batang akan dibuang begitu sahaja. Sisa-sisa ini jika dibiarkan berlonggokan tanpa pelupusan yang sempurna, akan mencemarkan alam sekitar. Masalah menjadi semakin rumit kerana proses pelupusan sisa-sisa ini memerlukan kos yang tinggi dan lazimnya pengusaha-pengusaha ladang akan mengambil jalan pintas dengan membiarkan sahaja sisa-sisa tersebut di kawasan terbuka. Ini memberikan kesan yang buruk kepada pemandangan dan kebersihan alam sekitar (ASEAN, 2003).

Oleh itu, pelbagai langkah telah diambil bagi menukarkan sisa-sisa ini kepada sesuatu yang lebih bernilai. Banyak kajian telah dijalankan dalam usaha ini. Pada masa kini, kita dapat melihat produk-produk yang dihasilkan daripada sisa-sisa kelapa sawit, contohnya bod gentian berketumpatan sederhana (*Medium Density Fiberboard, MDF*), kertas, pulpa terlarut dan sebagainya (Kobayashi *et al.*, 1985; Ridzuan *et. al.*, 2002). Terdapat juga kajian yang telah menghasilkan xilatol iaitu sejenis pemanis daripada tandan buah kosong kelapa sawit (Jyoti *et al.*, 2004).

Dalam projek ini, penggunaan sisa-sisa kelapa sawit ditumpukan kepada tandan buah kosong kelapa sawit (*oil palm empty fruit bunches, EFB*) kerana ia lebih mudah diperolehi dan diproses (ASEAN, 2003). EFB yang diperolehi adalah dalam bentuk serabut dengan kandungan lembapannya antara 10 – 12 %.

Pemulpaan soda telah dipilih kerana bahan mentah yang digunakan ialah bahan bukan kayu (*non-wood*) dan ia tidak memerlukan peratus cas alkali yang tinggi (iaitu berjulat 20 – 30%) untuk dimasak (Wan Rosli *et al.*, 2003). Selain itu, pemulpaan soda kurang mencemarkan alam sekitar kerana hanya menggunakan natrium hidroksida (NaOH) sebagai agen pemulpaan, berbanding dengan pemulpaan sulfat yang akan mencemarkan udara melalui penghasilan bau busuk semasa proses pemulpaan kerana kehadiran sulfur (Feng & Alen, 2001). Berpandukan kajian-kajian yang telah dijalankan sebelum ini, pemulpaan soda menghasilkan peratusan hasil yang agak rendah berbanding pemulpaan kraft (Eckert *et al.*, 1984; Blain, 1993; Wan Rosli *et al.*, 2003). Oleh itu, suatu pemangkin atau pemecut iaitu antrakuinon (AQ) telah ditambah bagi menambahbaik proses pemulpaan soda. Berdasarkan kajian-

kajian lepas juga, AQ merupakan pemangkin yang baik dan dapat meningkatkan hasil pemulpaan (Eckert *et al.*, 1984; Finell & Nilsson, 2004; Feng & Alen, 2001).

1.2 Justifikasi

Pulpa yang diperolehi daripada bahan mentah bukan kayu hanya meliputi 10 – 11% pengeluaran keseluruhan pulpa (Lopez *et al.*, 1999). Pulpa daripada spesis bukan kayu diminati kerana ia menyediakan gentian yang baik untuk pembuatan kertas dengan sifat-sifat yang hampir menyamai gentian daripada spesis kayu (Lopez *et al.*, 1999). Pada sesuatu kawasan geografik, ia merupakan satu-satunya sumber yang boleh didapati sebagai bahan mentah berserat.

Contohnya di kawasan yang mengusahakan tanaman padi, sumber gentian boleh diperolehi daripada jerami padi. Manakala di kawasan felda yang mengusahakan tanaman kelapa sawit, sumber gentian boleh diperolehi daripada bahan buangan pokok kelapa sawit. Penggunaan bahan bukan kayu juga penting kerana ia membantu mengimbangi kekurangan sumber kayu hutan. Selain daripada itu, bahan bukan kayu seperti EFB merupakan bahan buangan yang boleh diperolehi sepanjang tahun berbanding bahan kayu yang memerlukan beberapa tahun tempoh pertumbuhan sebelum boleh dituai (Wan Rosli *et al.*, 2004).

Sejak 1980-an, pengeluaran dunia daripada pulpa jenis bukan kayu telah meningkat lebih tinggi berbanding pulpa daripada kayu. Perangkaan pengeluaran menjangkakan kenaikan lebih tinggi pada tahun-tahun akan datang, melihat akan peningkatan permintaan daripada negara-negara

berpopulasi tinggi yang menghasilkan kuantiti sisa tanaman pertanian dan tumbuhan cepat membesar yang sangat besar (Casey, 1990).

Tandan buah kosong kelapa sawit telah dipilih sebagai bahan mentah dalam kajian ini kerana ia merupakan salah satu sisa buangan yang banyak dihasilkan dan ia perlu digunakan semula bagi mengurangkan pencemaran yang bakal berlaku. EFB juga sesuai untuk menghasilkan pulpa dan kertas kerana keadaan fizikalnya yang lebih lembut berbanding pelepah dan batang kelapa sawit. EFB juga dapat menghasilkan kecerahan pulpa dan kertas yang lebih tinggi kerana mempunyai nombor Kappa yang rendah berbanding pelepah dan batang kelapa sawit (Wan Rosli *et al.*, 2004). Tambahan pula, ia adalah bahan bukan kayu yang boleh dijadikan sumber alternatif dalam penghasilan pulpa dan kertas memandangkan sumber kayu yang semakin berkurangan, kerana proses penanaman semula pokok-pokok kayu memakan masa yang lama dan ini akan merendahkan produktiviti kerana berkurangnya sumber.

Pemulpaan soda telah dipilih kerana bahan mentah yang digunakan adalah bahan bukan kayu (*non-wood*) dan pemulpaan soda sudah memadai untuk proses pemasakan bahan mentah tersebut kerana bahan bukan kayu mempunyai kandungan lignin yang lebih rendah berbanding bahan kayu (Zhao *et al.*, 2002; Feng & Alen, 2001). AQ digunakan sebagai bahan pemecut bagi menambahbaikkan hasil pemulpaan (Blain, 1993; Finel & Nilsson, 2001). Pemulpaan soda juga semakin banyak digunakan dalam industri (banyak industri yang telah beralih daripada pemulpaan sulfat kepada pemulpaan soda) kerana ia kurang mencemarkan alam sekitar berbanding pemulpaan sulfat dan sulfit.

Secara amnya, sifat-sifat pulpa dan kertas akan berubah sekiranya keadaan pemulpaan yang berlainan digunakan (Wan Rosli *et al.*, 2004; Finell & Nilsson, 2004; Feng & Alen, 2001; Khristova *et al.*, 2002; Antunes *et al.*, 2000). Sebagai contoh, pada peratus cas alkali yang tinggi sehingga had tertentu (dengan masa dan suhu pemulpaan yang tertentu), warna pulpa yang diperolehi adalah lebih cerah dengan hasil pemulpaan yang tinggi). Kekuatan kertas yang terhasil juga agak tinggi. Manakala, pada peratus alkali yang rendah, kecerahan pulpa menurun dan hasil penskrinan juga rendah kerana sebahagian daripada lignin tidak dapat dilarutkan akibat pemasakan yang tidak sempurna dan ini menghasilkan hasil tolakan yang tinggi. Kekuatan kertas pula semakin menurun kerana masih terdapat banyak kandungan lignin dalam kertas tersebut.

Walau bagaimanapun, sifat-sifat pulpa dan kertas turut dipengaruhi oleh suhu dan masa pemulpaan yang dikenakan. Hasil kombinasi antara alkali, suhu pemulpaan dan masa pemulpaan yang sesuai dapat menghasilkan pulpa dan kertas yang mempunyai sifat-sifat yang baik dan kuat. Oleh itu, kajian ini penting untuk mengkaji faktor-faktor pemulpaan yang diperlukan untuk menghasilkan sifat-sifat pulpa dan kertas yang dikehendaki daripada EFB.

Selain daripada itu, kajian ini juga bermatlamat menghasilkan sebuah model daripada hasil pemulpaan serta perkaitannya dengan sifat-sifat pulpa dan kertas bagi kegunaan industri. Industri yang berbeza memerlukan kombinasi material dan ciri-ciri yang berbeza. Sebagai contoh, industri pembuatan bod memerlukan hasil keseluruhan yang tinggi tetapi berlainan pula dengan industri pembuatan kertas yang memerlukan hasil penskrinan yang tinggi. Ini kerana hasil keseluruhan masih terdiri daripada hasil tolakan yang

akan menjejaskan proses pembentukan kertas. Oleh itu model ini boleh digunakan sebagai rujukan dalam pelbagai cabang industri berasaskan pulpa bagi menghasilkan produk akhir tertentu yang diinginkan.

1.3 Objektif Penyelidikan

Beberapa objektif yang ingin dicapai dalam penyelidikan ini ialah:

- I. Mengkaji kesan faktor-faktor pemulpaan terhadap sifat-sifat pulpa. Sifat-sifat pulpa yang dikaji ialah hasil keseluruhan, hasil penskrinan, nombor Kappa dan kelikatan.
- II. Mengkaji kesan faktor-faktor pemulpaan terhadap sifat-sifat kertas. Dari aspek mekanikal seperti indeks tensil, indeks koyakan, ketahanan lipatan, indeks pecahan dan kekuatan gentian itu sendiri melalui ujian zero-span. Seterusnya dari segi optikal iaitu kecerahan dan kelegapan.
- III. Mengenal pasti hubungan antara sifat-sifat pulpa dan kertas berdasarkan keadaan pemulpaan yang dilalui. Sama ada sifat-sifat pulpa berkadar langsung dengan sifat-sifat kertas atau pun tidak. Secara teorinya, pulpa yang kuat akan menghasilkan kertas yang kuat dan sebaliknya. Hipotesis ini perlu dibuktikan benar atau pun sebaliknya berdasarkan kajian yang dijalankan.

2.1 Kelapa Sawit

Elaeis guineensis atau lebih dikenali sebagai kelapa sawit, berasal dari hutan hujan tropika di Afrika Barat. Lazimnya didapati di kawasan pantai yang panjang dan sempit yang meliputi dari Senegal ke Angola, dan berterusan sepanjang Sungai Congo (Moll, 1987).

Ciri-ciri taksonomi bagi kelapa sawit adalah seperti berikut :

Order	:	Palmales
Famili	:	Palmaceae
Subfamili	:	Cocoideae
Genus	:	<i>Elaeis</i>
Spesies	:	<i>guineensis</i>
Nama latin	:	<i>Elaeis guineensis</i>

Seperti pokok kelapa, kelapa sawit ditanam untuk mendapatkan buahnya yang dapat menghasilkan minyak. Melihat kepada kepentingannya sebagai bahan komersil, aspek botanikal dan penanamannya telah dikaji secara meluas (Hartley, 1972 & 1977 ; Corley *et al.*, 1976).

Walaupun pertumbuhannya agak lambat, kelapa sawit mengeluarkan hasil minyak per unit kawasan yang lebih tinggi berbanding tumbuhan hasilan minyak yang lain (Ng, 1972). Menurut Khozirah & Khoo (1991), produk ekonominya yang utama ialah minyak sawit dan isirong sawit. Ia merupakan sumber pendapatan yang penting dalam pertukaran mata wang asing bagi kebanyakan negara membangun, terutamanya Asia Tenggara. Malaysia dan Indonesia merupakan pengeluar utama kelapa sawit. Pada mulanya, hasil kelapa sawit digunakan dalam pembuatan minyak masak dan sabun tetapi

pada masa kini kegunaanya telah diperluaskan. Bukan sahaja buah kelapa sawit, malah sisa buangan kelapa sawit turut dimanfaatkan dan pelbagai produk dapat dihasilkan daripada sisa buangan kelapa sawit contohnya perabut daripada MDF, kertas dan sebagainya (Kobayashi et al., 1985; Husin et al., 1985; Muthurajah, 1981 & Gabriele, 1995).

2.1.1 Industri Kelapa Sawit

Buruh perdagangan awal telah membawa kelapa sawit ke Amerika Selatan tetapi industri kelapa sawit mendapat perhatian yang serius di Asia Tenggara berikutan peluasan kawasan penanaman kelapa sawit yang besar di Sumatera dan Malaysia pada awal tahun 1900-an. Menurut Khozirah & Khoo, (1991), industri ini mempunyai banyak kepentingan dan penanamannya semakin meningkat selepas Perang Dunia Kedua berikutan peningkatan permintaan serta kestabilan harga lemak dan minyak dunia.

Pada masa ini, kelapa sawit turut ditanam sebagai tanaman komersil di Afrika, Kepulauan Pasifik dan Amerika Selatan. Malaysia merupakan pengeluar dan pengeksport minyak sawit yang terbesar di dunia, menyumbang 51% daripada pengeluaran minyak sawit dunia dan 62% daripada eksport dunia (MPOPC, 2004).

Pertama kali kelapa sawit diperkenalkan di Malaysia ialah pada tahun 1870 melalui Taman Botani di Singapura. Pada awalnya, kelapa sawit diminati kerana strukturnya yang menarik dan bersifat hiasan tetapi pada awal tahun 1900, minat kepada kelapa sawit semakin meningkat sebagai penggunaan komersil. Ini dibuktikan dengan penubuhan dua ladang, Tenamaran dan Estet Elmina di Kuala Selangor (Khozirah & Khoo, 1991). Pembangunan industri

kelapa sawit pada mulanya agak lambat, kerana penekanan yang lebih diberikan kepada penanaman getah sebagai hasil eksport utama.

Situasi ini telah berubah pada awal tahun 1960-an, berikutan pengeluaran getah sintetik yang telah mengakibatkan kejatuhan harga getah (Moll, 1987). Oleh itu, kerajaan Malaysia telah memulakan suatu usaha secara besar-besaran ke atas program pembangunan pertanian, dalam usaha mengurangkan pergantungan kepada getah sebagai pendapatan eksport. Akibatnya, tanah-tanah baru telah dibuka untuk penanaman kelapa sawit dan sebahagian estet-estet getah ditanam semula dengan kelapa sawit.

Semua ini telah menyebabkan pembesaran kawasan kelapa sawit dengan cepat dalam jangka masa yang pendek. Kawasan penanaman telah melebihi 2 juta hektar dalam tahun 1990 dan sekarang telah mencapai 3.8 juta hektar, dan mampu membekalkan lebih daripada 18.6 juta tan kelapa sawit mentah (Jadual 2.1).

Jadual 2.1 : Kawasan penanaman kelapa sawit di Malaysia (Hektar,1975-2004).
 Sumber – Jabatan Statistik, Malaysia (1975-1984) dan
 MPOB (1975-2004).

Tahun	Semenanjung Malaysia	Sabah	Sarawak	Jumlah
1975	568,561	59,139	14,091	641,791
1976	629,558	69,708	15,334	714,600
1977	691,706	73,303	16,805	781,814
1978	755,525	78,212	19,242	852,979
1979	830,536	86,683	21,644	938,863
1980	906,590	93,967	22,749	1,023,306
1981	983,148	100,611	24,104	1,107,863
1982	1,048,015	110,717	24,065	1,182,797
1983	1,099,694	128,248	25,098	1,253,040
1984	1,143,522	160,507	26,237	1,330,266
1985	1,292,399	161,500	28,500	1,482,399
1986	1,410,923	162,645	25,743	1,599,311
1987	1,460,502	182,612	29,761	1,672,875
1988	1,556,540	213,124	36,259	1,805,923
1989	1,644,309	252,954	49,296	1,946,559
1990	1,698,498	276,171	54,795	2,029,464
1991	1,744,615	289,054	60,359	2,094,028
1992	1,775,633	344,885	77,142	2,197,660
1993	1,831,776	387,122	87,027	2,305,925
1994	1,857,626	452,485	101,888	2,411,999
1995	1,903,171	518,133	118,783	2,540,087
1996	1,926,378	626,008	139,900	2,692,286
1997	1,959,377	758,587	175,125	2,893,089
1998	1,987,190	842,496	248,430	3,078,116
1999	2,051,595	941,322	320,476	3,313,393
2000	2,045,500	1,000,777	330,387	3,376,664
2001	2,096,856	1,027,328	374,828	3,499,012
2002	2,187,010	1,068,973	414,260	3,670,243
2003	2,202,166	1,135,100	464,774	3,802,040
2004	2,201,606	1,165,412	508,309	3,875,327

2.1.2 Lignoselulosik Kelapa Sawit

Kelapa sawit, *Elaeis guineensis*, berasal daripada Afrika Barat dan telah diperkenalkan di negara-negara Asia Tenggara terutamanya Malaysia dan Indonesia bagi mendapatkan buah yang dapat menghasilkan minyak (Wan Rosli *et al.*, 2003). Pada masa kini, Malaysia merupakan negara pengeluar kelapa sawit yang terbesar dan merangkumi 51% daripada pengeluaran minyak sawit dunia (MPOPC, 2004).

Selain kelapa sawit, industri ini juga menghasilkan sisa-sisa lignoselulosik dalam jumlah yang besar seperti batang dan pelepah semasa proses penanaman semula dan memetik hasil, serta tandan buah kosong dan gentian mesokap semasa proses pemerahan minyak. Sisa-sisa ini digunakan sebagai bahan makanan ternakan, dibakar sebagai bahan api atau dibakar begitu sahaja di kawasan ladang. Semua ini menghadkan nilai dan potensi yang boleh diketengahkan daripada sisa-sisa tersebut (Wan Rosli *et al.*, 2003).

Di kilang kelapa sawit, sisa-sisa buangan industri terdiri daripada tempurung (*shell*), tandan buah kosong (*empty fruit bunches*), gentian buah termampat (*pressed fruit fibers*) dan pengaliran keluar kumbahan kilang kelapa sawit (*palm oil mill effluent, POME*). Sisa-sisa tersebut boleh dan telah disalurkan kepada pelbagai kegunaan agronomik dan kilang, seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2.2. Pelepah daripada bahagian yang dipangkas dihasilkan secara berterusan dalam ladang dan hasil ini digunakan sebagai sungkupan antara barisan (Khozirah & Khoo, 1991).

Jadual 2.2 : Antara kegunaan sisa-sisa industri dan ladang kelapa sawit pada masa ini (Khozirah & Khoo, 1991).

Hasil sampingan	Kegunaan
Tempurung & isirong sawit	Bahan bakar yang murah. Beg-beg sungkupan. Lantai nurseri batang kayu yang dipotong di permukaan air dan lapik jalan laterit estet yang mengalami hakisan.
Tandan buah kosong	Dibakar hangus dalam potash-kaya abu sebagai baja kalium. Sungkupan kelapa sawit. Dipotong kecil-kecil dan dihidratkan sehingga kandungan lembapan 50% dan digunakan sebagai bahan bakar.
Gentian buah termampat	Bahan bakar. Nurseri sungkupan.
Pengaliran keluar kumbahan kelapa sawit	Dikeringkan dan dicampurkan dengan bahan tambahan lain sebagai makanan haiwan. Biogas daripada penghadaman anaerobik bagi penjanaan haba dan elektrik.
Pelepah	Sebagai sungkupan antara barisan untuk pengitaran semula nutrien, memelihara kelembapan tanah serta mengawal dan mengurangkan hakisan permukaan tanah.

Semakin banyak bilangan bahan buangan dalam bentuk batang kelapa sawit, dan pelepah yang dihasilkan di ladang kelapa sawit semasa aktiviti penanaman semula. Pada masa ini, tiada kegunaan ekonomi bagi batang kelapa sawit dan pelupusannya akan memberikan beban kewangan yang besar kepada pemilik ladang. Peningkatan program penanaman semula dijangka berlaku pada masa akan datang sudah pasti akan membawa masalah yang lebih besar berkenaan dengan pelupusan batang kelapa sawit yang dihasilkan dalam kuantiti yang banyak.

2.2 Kimia Gentian

Dalam kebanyakan kes, analisis kimia dimulakan dengan pengestrakan sampel. Semasa pengestrakan, kandungan ekstraktif dan bahan tak larut ditentukan. Pengestrakan boleh dijalankan dengan menggunakan pelarut organik contohnya diklorometana, klorofom, atau metil tertier butil eter (MTBE). Kebanyakan bahan resin yang wujud dalam kayu boleh melarut dalam pelarut ini.

Jika sampel merupakan bahan yang berberat molekul tinggi, maka pelarut yang lebih kuat boleh digunakan seperti tetrahidrofur (THF). Walaubagaimanapun, pelarut ini sukar didapatkan dalam bentuk yang tulen; ia juga perlu dikendalikan berhati-hati kerana ketoksikannya. Untuk meneruskan pemelarutan, sesuatu sampel yang dikehendaki, ia bolehlah dirawat di dalam kebuk ultrasonik.

Bahan-bahan terlarut boleh dianalisis menggunakan pelbagai kaedah yang berbeza. Untuk mendapatkan gambaran komposisi yang lebih terperinci, sampel perlu dipecahkan. Pemecahan sampel mengikut berat molekul boleh

dijalankan dengan kromatografi penyingkiran saiz. Mengikut prosedur pemecahan, sampel dibahagikan kepada monomer, oligomer dan polimer. Sebelum proses pemecahan, sampel perlu diterbitkan, contohnya, bergantung kepada pemetilan menggunakan diazometana dalam campuran dietil eter dan metana (Neimo, 1999).

Bagi mendapatkan maklumat terperinci tentang sesuatu bahan, kaedah gas kromatografi (GC) boleh digunakan. Satu kelebihan GC ialah ia boleh diubahsuai dengan mudah untuk analisis kuantitatif. Sebelum proses analisis, sampel perlu melalui beberapa perkara bagi membolehkan ia dianalisis. Selalunya sampel perlu diterbitkan, contohnya bagi menukarkan komponen-komponennya kepada pengubahsuaian meruap yang memadai (Neimo, 1999).

2.2.1 Selulosa

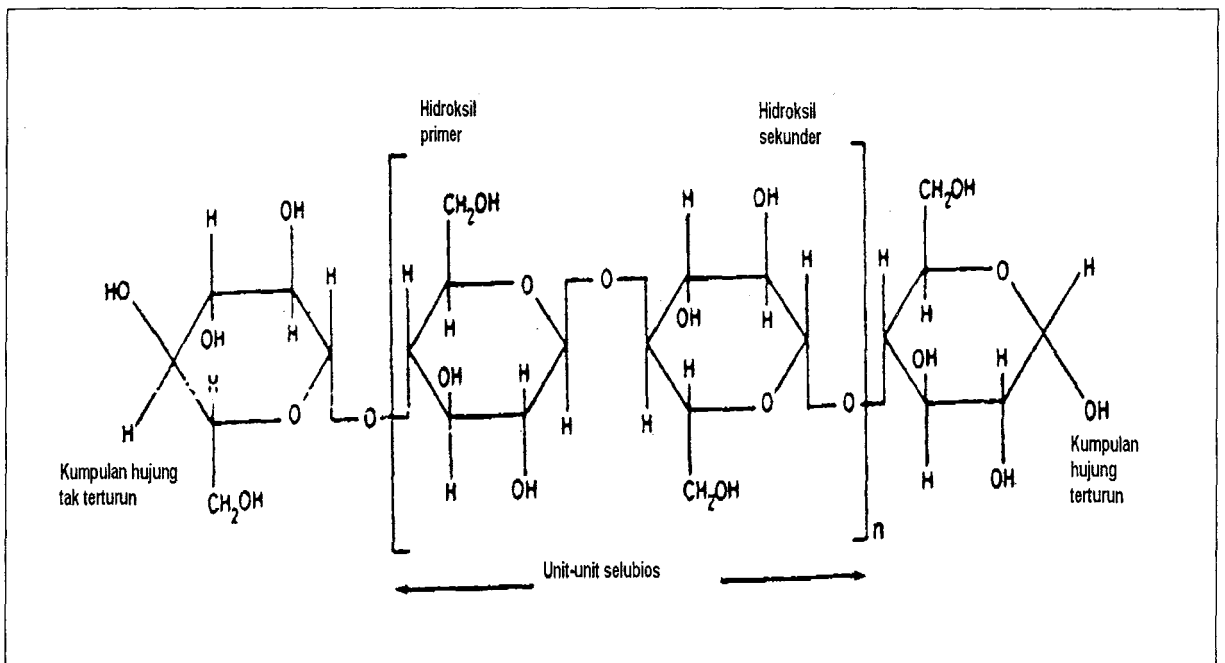
Menurut Smook (1992), selulosa merupakan bahan yang menentukan sifat-sifat gentian dalam tumbuhan dan membolehkan penggunaannya dalam pembuatan kertas. Selulosa adalah satu karbohidrat yang terdiri daripada elemen-elemen karbon, hidrogen dan oksigen. Seperti yang diketahui, elemen hidrogen dan oksigen adalah sama seperti kandungan dalam air. Selulosa juga merupakan polisakarida yang mengandungi banyak unit glukosa.

Formula kimia bagi selulosa ialah $(C_6H_{10}O_5)_n$, di mana n merupakan nombor bagi unit pengulangan glukosa atau darjah polimeran (DP). Nilai n adalah berbeza berdasarkan sumber selulosa dan perbezaan rawatan yang diterima seperti dalam Jadual 2.3. Kebanyakan gentian pembuatan kertas mempunyai nilai purata berpemberat DP dalam julat 600 – 1500.

Jadual 2.3 : Nilai purata berpemberat darjah pempolimeran (Smook, 1992).

Sumber-sumber selulosa	Darjah pempolimeran (DP)
Selulosa semulajadi	3500
Serabut kapas tertulen	1000 – 3000
Pulpa kayu komersil	600 – 1500
Selulosa terjana semula (seperti rayon)	200 – 600

Struktur selulosa ditunjukkan dalam Rajah 2.1. Unit pengulangan sebenarnya ialah dua unit glukosa anhidrida secara berturut-turut, dikenali sebagai unit selubiosa. Selulosa tulen boleh dihidrolisis dengan mudah kepada glukosa ($C_6H_{10}O_5$) di bawah keadaan berasid yang terkawal.



Rajah 2.1 : Struktur rantai selulosa (Smook, 1992).

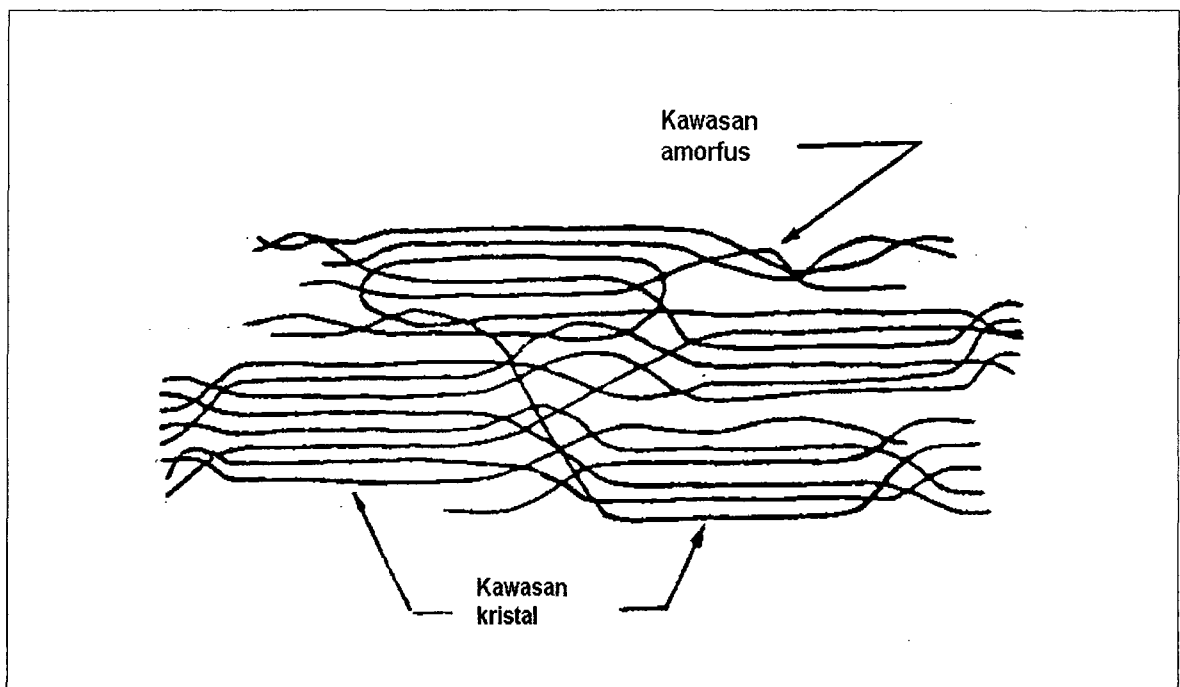
Browning (1967) melaporkan selulosa merupakan komponen asas dalam dinding sel kayu. Kandungan selulosa dalam gentian adalah penting sebagai kriteria utama pemilihan sumber pembuatan kertas dan pulpa terlarut.

Hemiselulosa boleh diasingkan secara analitikal daripada ekstrakatif berasaskan ketakterlarutannya dalam air dan pelarut organik. Kemudian selulosa diasingkan daripada hemiselulosa melalui ketakterlarutannya dalam

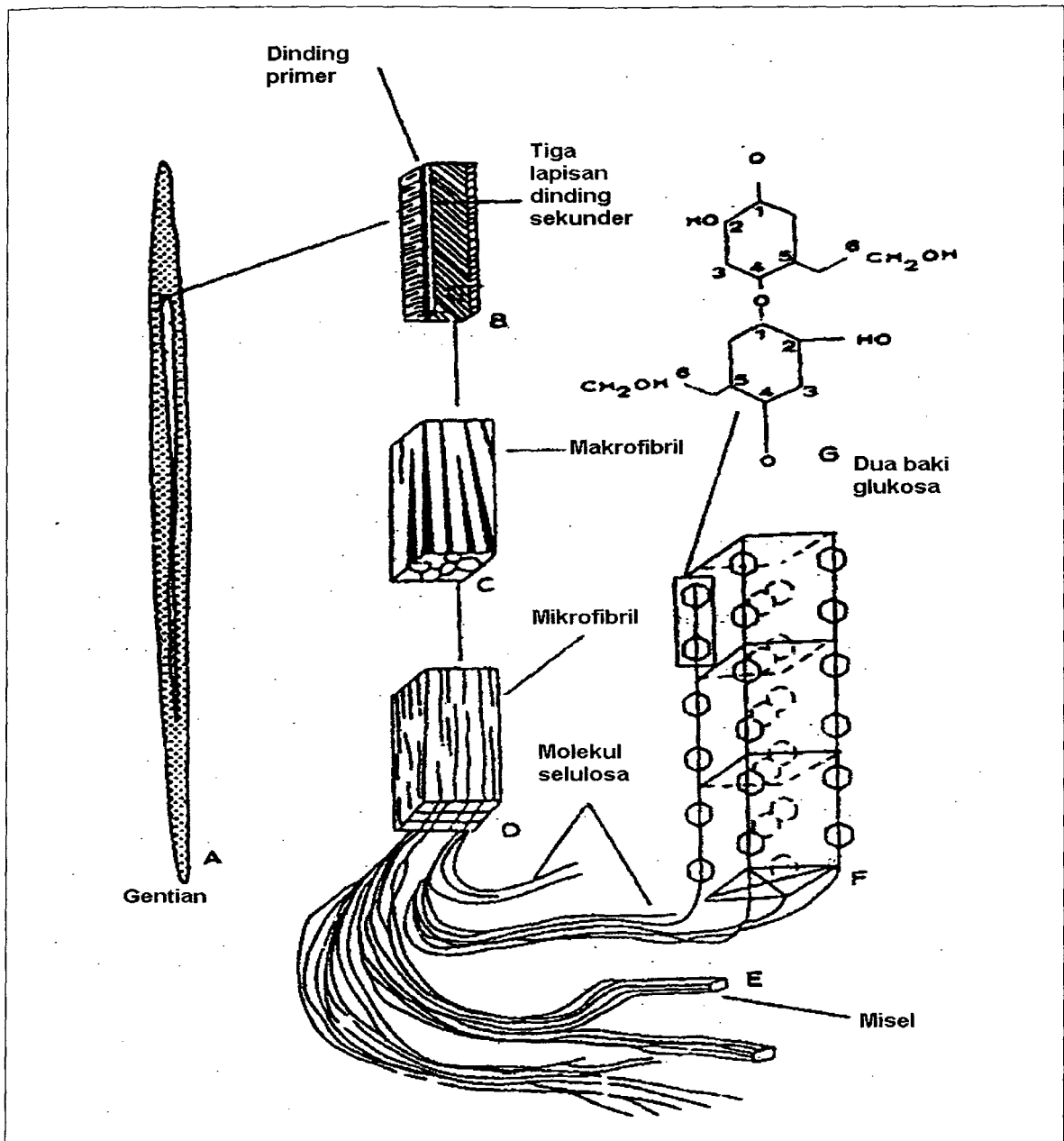
larutan akues alkali dan daripada lignin melalui ketahanan relatifnya terhadap agen pengoksidaan.

Selulosa dengan ketulenannya yang tinggi boleh diperolehi dengan mudah daripada rerambut kapas. Apabila kapas mentah dirawat dengan alkali cair, diikuti dengan pembasuhan dan sedikit pelunturan, hampir kesemuanya terdiri daripada selulosa tulen.

Pembentukan rantai-rantai selulosa yang linear membolehkannya berada lebih rapat antara satu sama lain disebabkan ikatan hidrogen. Rajah 2.2 menunjukkan penyusunan rantai molekul-molekul selulosa membentuk bahagian kristal yang sukar ditembusi oleh pelarut atau bahan uji. Sebaliknya, bahagian yang secara relatifnya lebih bersifat amorfus adalah lebih senang ditembusi dan mudah dipengaruhi oleh tindak balas hidrolisis (Smook, 1992). Pembentukan struktur dinding gentian dengan penyusunan rantai-rantai selulosa diilustrasikan dalam Rajah 2.3.



Rajah 2.2 : Skematik pembentukan kawasan kristal dan amorfus rantai (Smook, 1992).



Rajah 2.3 : Struktur gentian kayu (Smook, 1992).

Sifat-sifat bahan selulosik adalah berkaitan dengan DP jujuk molekul selulosa. Penurunan berat molekul di bawah tahap tertentu akan menyebabkan pengurangan nilai dalam kekuatannya.

2.2.2 Hemiselulosa

Merujuk kepada Smook (1992), hemiselulosa adalah polimer yang mempunyai lima komponen gula yang berlainan (berbanding dengan selulosa yang merupakan polimer yang hanya terdiri daripada unit glukosa) :

Heksosa : glukosa, mannososa, galaktosa

Pentosa : xilosa, arabinosa

Bergantung kepada spesies tumbuhan, unit-unit gula ini bersama dengan asid-asid uronik membentuk pelbagai struktur rantai polimer yang bercabang. Semasa rawatan kimia terhadap kayu untuk menghasilkan pulpa, hemiselulosa lebih mudah terdegradasi dan larut berbanding selulosa, maka peratusnya selalu lebih rendah dalam pulpa berbanding dalam kayu asli.

2.3 Pemulpaan

2.3.1 Pemulpaan Alkali

Merujuk kepada Casey (1980), dua proses pemulpaan alkali yang utama ialah pemulpaan soda dan pemulpaan sulfat (kraft). Kedua-dua proses ini melibatkan sistem pemasakan alkali yang berlaku pada tekanan tinggi dan menggunakan NaOH sebagai bahan kimia utama. Tetapi dalam pemulpaan sulfat, ia turut melibatkan penggunaan bahan kimia Na_2S manakala pemulpaan soda hanya melibatkan penggunaan bahan kimia tunggal iaitu NaOH.

Fengel dan Wegener (1984) menyatakan bahawa tujuan utama proses rawatan (pemulpaan) bahan lignoselulosik ialah mendapatkan pulpa. Pada masa kini, penggunaan kaedah sulfat (kraft) dan sulfit merupakan kaedah yang paling banyak digunakan sehingga menjangkau dua pertiga pengeluaran pulpa kertas dunia. Tetapi pulpa kraft memerlukan pelunturan sebatian klorida untuk

mencapai kecerahan yang tinggi. Maka ini akan menimbulkan masalah pencemaran yang serius (Carrasco, 1989).

Bagi penghasilan pulpa daripada lignoselulosik kelapa sawit, didapati pemulpaan sulfat (Khoo & Lee, 1991), sulfit (Wan Rosli *et al.*, 1998) dan sulfit semi-kimia (Bin *et al.*, 1976) memberikan hasil pemulpaan yang rendah dan kualiti pulpa yang rendah. Bagaimanapun, pemulpaan kraft-AQ dan pemulpaan soda EFB telah menghasilkan kertas yang mempunyai sifat-sifat yang menyerupai atau lebih baik berbanding pulpa kayu keras (Akamatsu *et al.* 1987; Law & Jiang, 2001).

Sejak beberapa tahun yang lalu, berbagai-bagai usaha telah dijalankan ke arah penggunaan bahan-bahan lignoselulosik dengan kaedah yang berlainan, yang mana ia lebih menitikberatkan kesan terhadap alam sekitar (Iglesias *et al.*, 1996). Oleh itu, kaedah yang lebih baik dan sesuai digunakan ialah pemulpaan soda. Ini bersesuaian dengan kenyataan Wan Rosli *et al.* (1998) dalam kajiannya ke atas pemulpaan kimia bagi EFB untuk menghasilkan pulpa dan pembuatan kertas. Proses pemulpaan alkali yang hanya menggunakan NaOH menunjukkan hasil yang memberangsangkan apabila melihat kepada pemulpaannya yang efisien dan mesra alam jika dibandingkan dengan proses pemulpaan sulfit atau pun kraft.

2.3.2 Pemulpaan Soda-Antrakuinon

Pada masa ini, penggunaan AQ dalam pemulpaan alkali memfokuskan kepada peningkatan produktiviti pada penggunaan kos yang rendah dan tidak mengganggu alam sekitar.

Menurut Eckert *et al.* (1984), pemulpaan soda tanpa AQ memberikan hasil yang lebih rendah dibandingkan dengan pemulpaan kraft. Ia memerlukan lebih 40% alkali dan 100% faktor H yang lebih tinggi bagi mencapai nombor kappa yang dikehendaki, dengan hasil dan kelikatan yang lebih rendah berbanding pemulpaan kraft. Dengan penambahan 0.1% AQ dalam pemulpaan soda, ia menjadikan faktor H dikurangkan kepada tahap kraft, tetapi keperluan alkali masih tinggi. Penambahan AQ pada pada 0.15% pula dapat mengurangkan penggunaan alkali dan diikuti oleh penambahbaikan pada hasil serta kelikatan. Namun, keperluan alkali masih lagi tinggi berbanding pemulpaan kraft. Apabila melepasi 0.35% AQ, pengurangan alkali tidak berlaku sejajar dengan peningkatan dos AQ dan mungkin tindak balas adalah malar.

2.3.2(a) Penggunaan Antrakuinon

Hanya penambahan AQ yang sedikit dalam pemulpaan kraft dan soda akan menambahkan kadar delignifikasi dengan hasil yang lebih baik. Penambahan AQ dalam julat 0.05 – 0.15% berasaskan berat tanur bahan mentah sudah memadai bagi mendapatkan faedah tersebut (Fossum *et al.*, 1980; Holton, 1977; Holton & Chapman, 1977). Kesan pemangkinan antrakuinon lebih efektif dalam pemulpaan soda berbanding pemulpaan kraft (Fossum *et al.*, 1980; Kubes *et al.*, 1980).

Menurut Blain (1993), AQ mempunyai kombinasi sifat-sifat yang menguntungkan kerana ia dapat memenuhi kelayakan-kelayakan seperti berikut:

- semestinya stabil pada keadaan panas
- merupakan alkali kuat

- mudah mengalami proses penurunan oleh polisakarida-polisakarida berfungsi aldehyd untuk membentuk keadaan yang dapat mengurangkan kereaktifannya
- mempunyai struktur lignin yang tidak tetap
- terlarut dalam bentuk yang diturunkan dalam alkali panas

Pemangkin yang berjaya secara teknikal mestilah bersifat toksik sifar, tidak memberikan kesan yang merugikan kepada persekitaran dan kos yang efektif.

2.3.2(b) Mekanisme Tindakbalas Antrakuinon

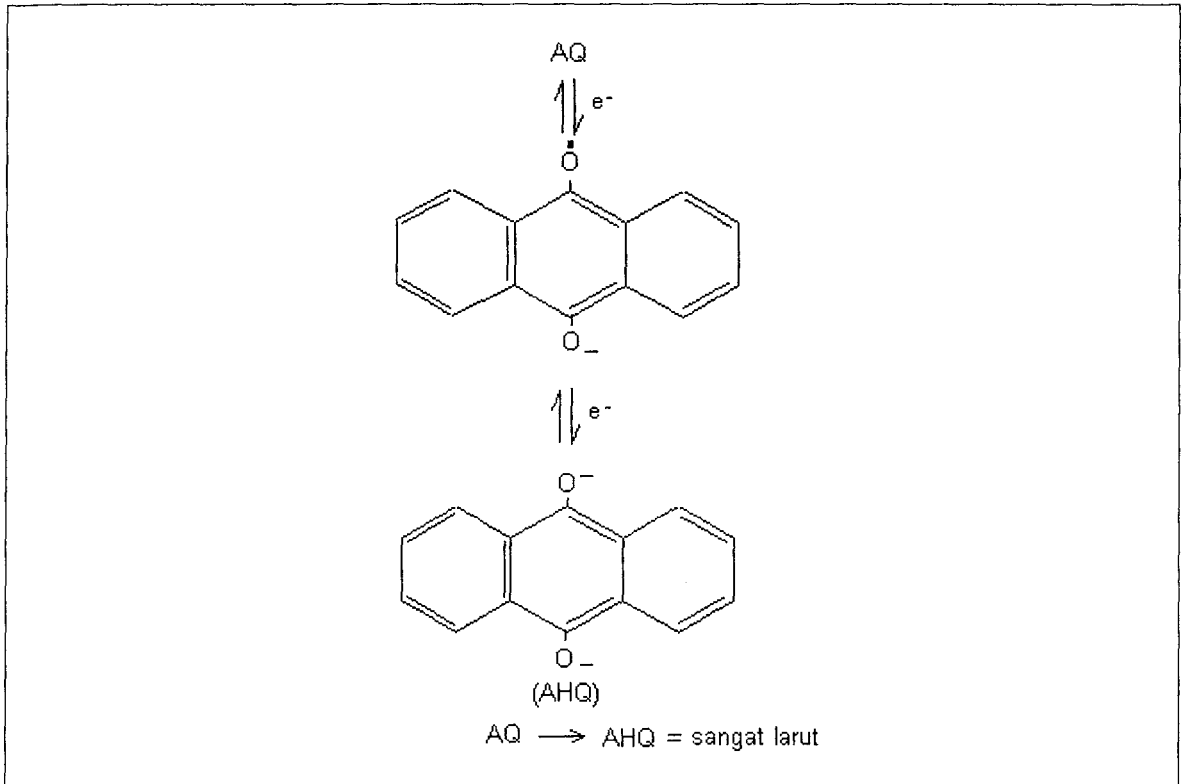
Terdapat dua kesan yang mungkin diperolehi dalam penggunaan AQ iaitu pemecutan pemulpaan alkali dan penstabilan karbohidrat dengan pemeliharaan hasil.

Terdapat variasi yang luas berkenaan kegunaan AQ daripada kedua-dua kesan di atas. Pada mulanya, AQ tidak larut dalam likur pemasakan. Seolah-olah ia tidak memiliki apa-apa fungsi pemangkin. Bagi membolehkannya menjadi efektif, setiap molekul AQ mestilah bebas dan tidak bergantung kepada likur pemulpaan. Dengan ini, barulah setiap molekul boleh bertindakbalas dengan bahagian-bahagian aktif molekul lignin apabila ia terhasil atau terdedah dalam likur pemulpaan (Blain, 1993).

Pemelarutan AQ terjadi melalui penurunan elektrokimia. Elektron daripada kumpulan aldehyd pada bahagian hujung polisakarida gentian berpindah kepada molekul AQ. Kehilangan elektron pada kumpulan aldehyd telah menukarkannya kepada kumpulan karboksilik. Perpindahan ini secara tidak langsung telah menstabilkan molekul-molekul polisakarida daripada tindak balas degradasi karbohidrat (kehilangan hasil) yang dikenali sebagai

pengupasan. Ini merupakan pemisahan dan pemusnahan kumpulan-kumpulan gula pada hujung rantai polisakarida (Blain, 1993).

Perpindahan elektron kepada molekul AQ menukarkannya kepada bentuk penurunan, kemungkinan adalah antrahidrokuinon (AHQ), seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.4.

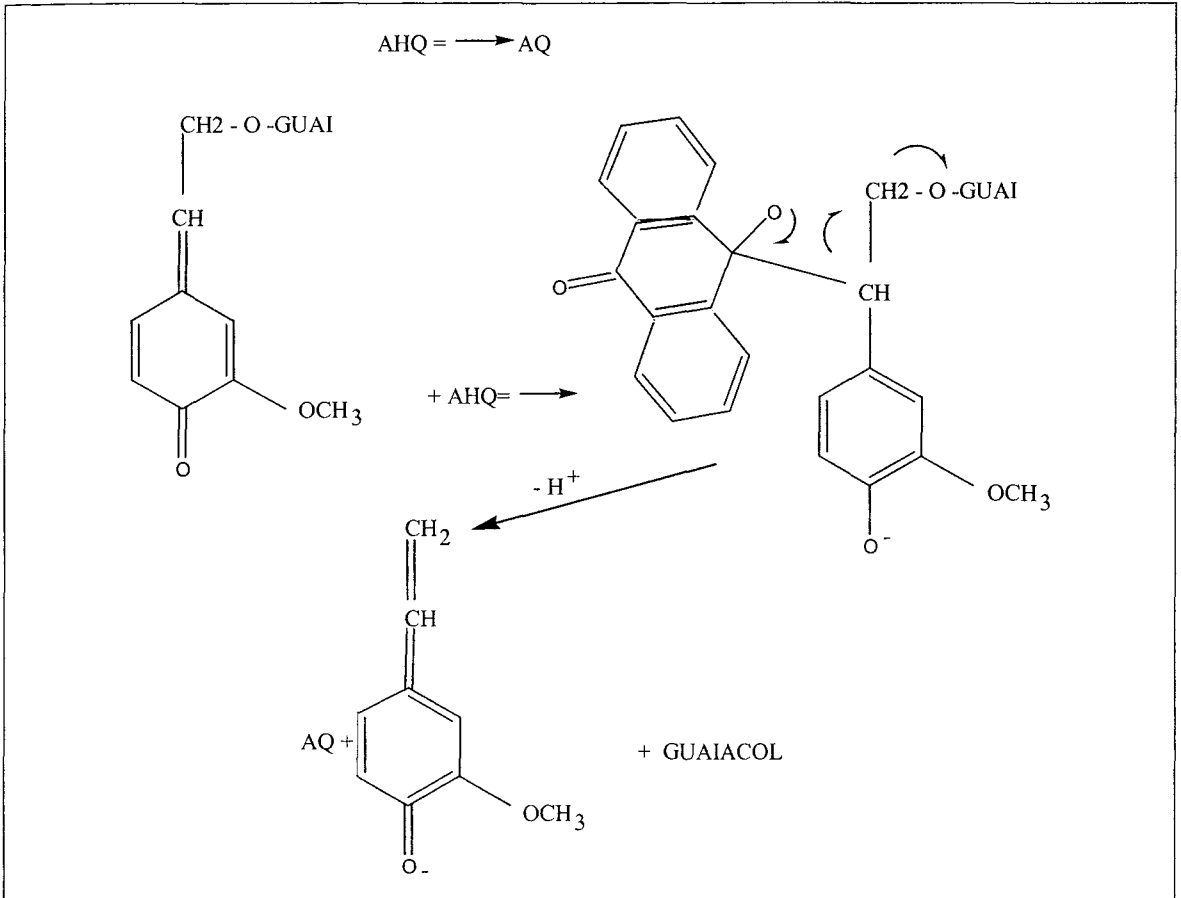


Rajah 2.4 : Penurunan elektrokimia dalam pemulpaan AQ.

Mekanisme yang telah diterima umum bagi pemecutan pemulpaan AQ melibatkan serangan AHQ yang tidak tetap pada struktur lignin yang reaktif. Ini terbentuk semasa keadaan pemasakan dengan tindakbalas alkali pada struktur fenolik dalam lignin semulajadi. Elektron berpindah daripada AHQ kepada struktur lignin dan mengakitkannya terbelah.

Rajah 2.5 menggambarkan model komponen yang mewakili kuinon-methide, struktur pertengahan lignin yang reaktif yang akan dibentuk semasa

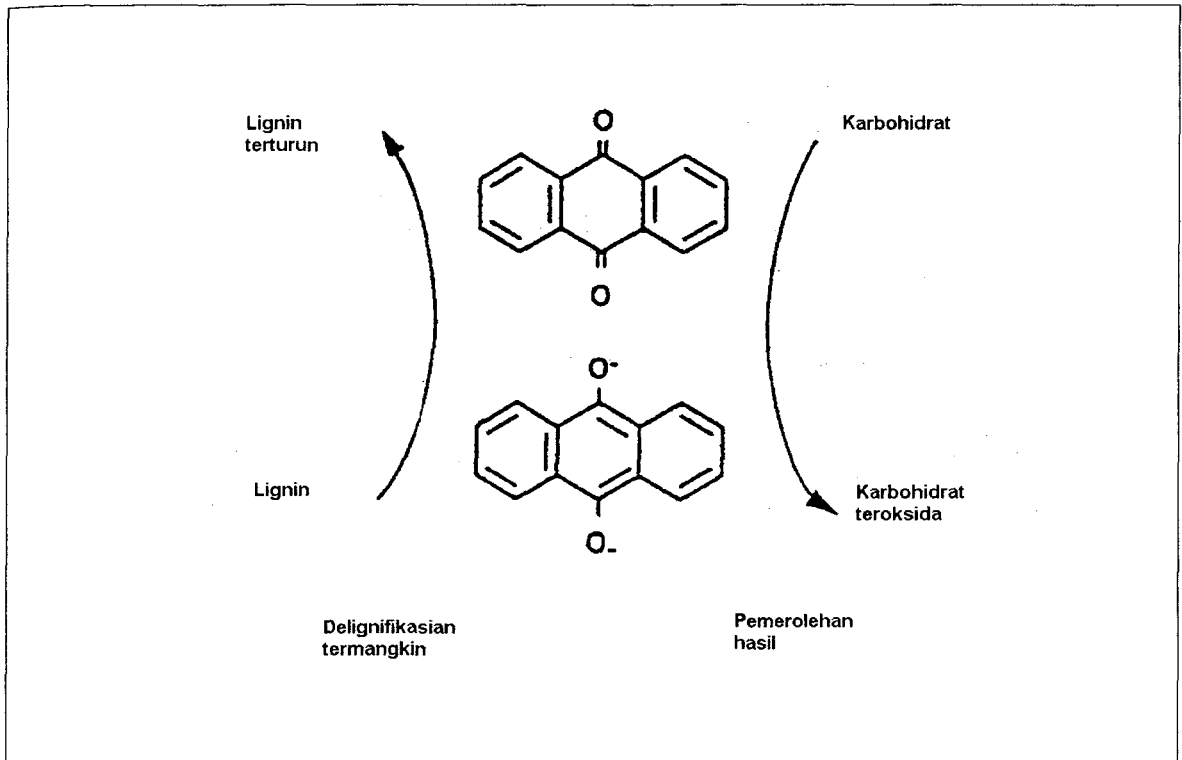
pemulpaan alkali. Antara tindakbalas yang tidak diinginkan pada kuino-methide ialah pelekatannya pada bahagian lignin adalah tidak terbalikkan lagi dan ia kekal sebagai sebahagian daripada gentian.



Rajah 2.5 : Proses pengoksidaan dalam pemulpaan AQ.

Rajah 2.6 memberi gambaran keseluruhan fungsi AQ. Kitaran semulajadi proses ini mencadangkan bahawa molekul-molekul AQ yang sama menyebabkan kedua-dua pemecutan delignifikasi dan penstabilan polisakarida. Teori ini secara umum diterima dan menjelaskan mengapa hanya sedikit AQ boleh memberi kesan yang besar. Terdapat laporan yang mencadangkan AQ mungkin juga mengambil bahagian dalam tindakbalas lain selain yang diterangkan di atas. Terdapat bukti yang mencadangkan AQ turut

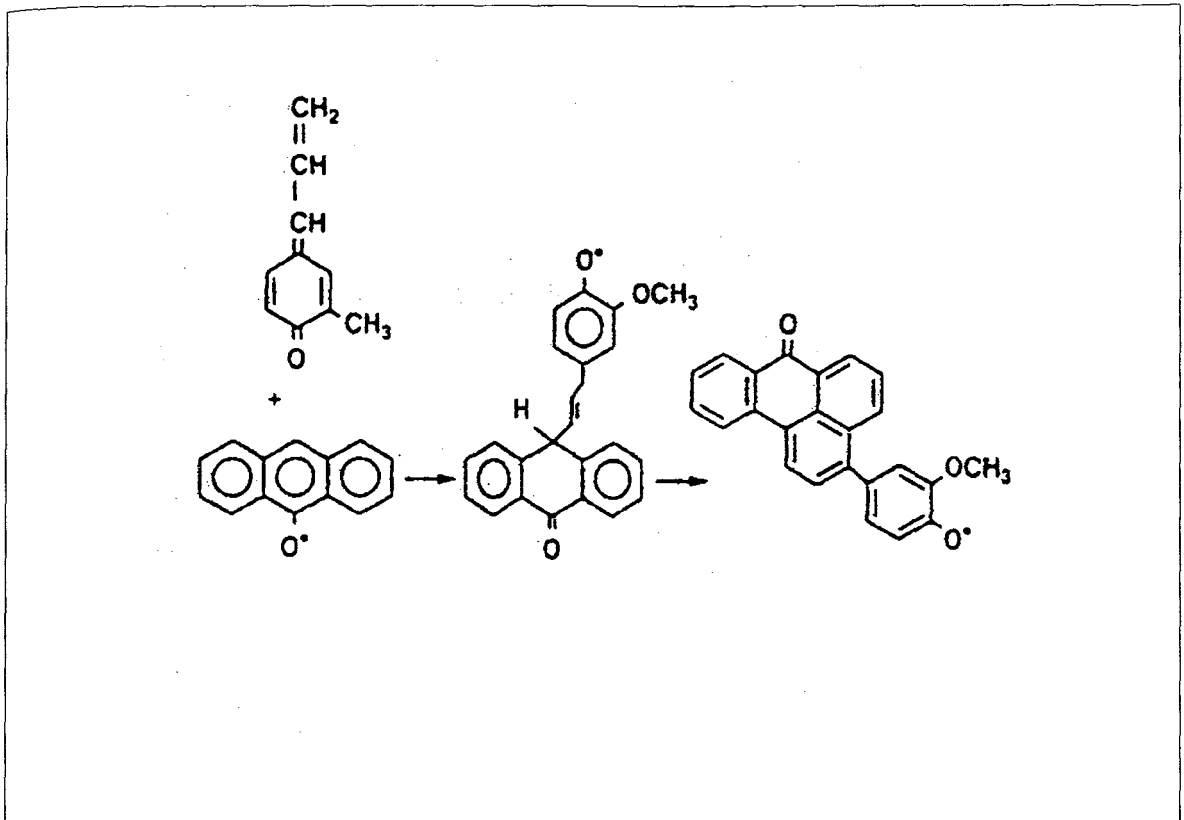
mengoksidakan beberapa bahagian lignin. AHQ mungkin menurunkan bahagian polisakarida-polisakarida.



Rajah 2.6 : Tindak balas katalik AQ.

Mekanisme di atas menunjukkan AQ mestilah hadir pada awal operasi pemulpaan bagi mendapatkan kesan yang maksimum. AQ tidak kekal dalam larutan pemulpaan selama-lamanya. Ia bergabung secara kimia tak terbalik dengan bahagian-bahagian reaktif struktur lignin.

Rajah 2.7 menggambarkan jalan yang mungkin untuk menyingkir AQ oleh tindakbalas yang membentuk pengganti benzathrone. Struktur AQ yang terterbit ini telah dipisahkan daripada pulpa dalam larutan pemulpaan. Kebanyakan AQ terdapat dalam likur hitam pada akhir proses pemulpaan. Hampir semuanya bergabung secara kimia dengan lignin dalam larutan tersebut.



Rajah 2.7 : Penyingkiran AQ dalam pemulpaan.

2.3.3 Kesan Parameter Faktor-Faktor Pemulpaan

2.3.3(a) Suhu

Dalam proses pemulpaan, faktor suhu akan mempengaruhi hasil pemulpaan iaitu melalui proses pendeligninan. Apabila suhu pemulpaan berubah, proses delignifikasi turut berubah bergantung kepada tinggi rendahnya suhu yang digunakan.

Menurut Hamilton (1987), tekanan yang digunakan dalam pemulpaan ialah atmosferik dan suhu dihadkan pada 100°C atau pun lebih rendah berdasarkan kaedah pemanasan. Tetapi sesetengah peralatan direkabentuk untuk dikendalikan di bawah tekanan, maka ia akan menghasilkan suhu melebihi 100°C. Dengan meningkatnya suhu, hasil akan berkurang terutamanya