

**PENJERAPAN KUPRUM(II) DAN PLUMBUM(II) OLEH LIGNIN TANDAN
KOSONG KELAPA SAWIT**

NORLIYANA BINTI MOHD SALLEH

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

2010

**PENJERAPAN KUPRUM(II) DAN PLUMBUM(II) OLEH LIGNIN TANDAN
KOSONG KELAPA SAWIT**

Oleh

NORLIYANA BINTI MOHD SALLEH

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

PUSAT PENGAJIAN SAINS KIMIA

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

PULAU PINANG

OGOS 2010

PENGHARGAAN

Alhamdulillah, syukur ke hadrat Allah s.w.t di atas limpah kurnia-Nya, dapat saya menyiapkan projek penyelidikan ini dengan jaya. Saya ingin mengambil kesempatan ini untuk mengucapkan jutaan terima kasih dan setinggi-tinggi penghargaan kepada penyelia utama projek, Prof. Madya Mohamad Nasir Mohamad Ibrahim di atas tunjuk ajar dan nasihat yang dicurahkan secara langsung mahupun tidak langsung di sepanjang pengajian Ijazah Sarjana saya. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada penyelia bersama Prof. Madya Wan Saime Wan Ngah di atas sokongan dan bantuan tanpa jemu dalam melengkapkan penyelidikan ini. Tidak ketinggalan juga kepada penyelia bersama II Prof. Wan Rosli Wan Daud atas nasihat berguna dalam penyelidikan ini terutama berkaitan dengan sumber utama penyelidikan ini iaitu likuor hitam TKKS.

Sekalung penghargaan dan terima kasih buat Saudari Nor Nadiah Mohamad Yusof dan Norhidaya Zakaria di atas nasihat, kata-kata semangat dan bimbingan yang padu sepanjang masa. Tidak ketinggalan buat kak Azian, Azilawati, Mohd Firdaus, Yoga dan Rashid. Semangat kalian menghidupkan team 'Lignin Explorers' menjadi inspirasi buat diri saya. Kenangan sepanjang masa di makmal lignin akan sentiasa terpahat di sanubari. Ucapan penghargaan ini juga ditujukan kepada rakan-rakan seperjuangan, Fauziahanim, Aini, Husna, Ariza, Zati, Nani, Shila, Ain, Suriani, Siew Yean, Farhana, Muna dan Marina di atas kata-kata semangat yang tidak pernah putus.

Tidak ketinggalan juga terima kasih diucapkan kepada Dr. Megat, Dr. Rafat dan Cik Sharon di atas pandangan dan kritikan membina yang diberikan untuk penambahbaikan penyelidikan ini. Sekalung penghargaan juga buat semua staf akademik dan sokongan Pusat Pengajian Sains Kimia, Universiti Sains Malaysia terutama kepada pembantu makmal yang banyak memberi tunjuk ajar dan ilmu berguna

kepada saya yang antaranya Puan Syaripah, En. Muthu, Cik Jamilah, En. Johari, En. Siva, En Ali, En Sobri dan En Nazeef.

Di kesempatan ini juga saya ingin merakam rasa kasih dan penghargaan buat keluarga tersayang, bonda Hasiah Husin, ayahanda Mohd Salleh Ibrahim dan nenda Empah Mohamed yang sentiasa memberikan kekuatan dan doa yang tidak putus-putus untuk kejayaan anakanda. Buat Along, Uda, Abang Teh, Abang Fauzi dan Adik Fauzan, kehadiran kalian mewarnai kehidupan saya dan mendidik saya menjadi manusia lebih dewasa.

Akhir kata segala jasa baik daripada semua yang terlibat secara langsung mahupun tidak langsung akan saya kenang sepanjang hayat. Semoga usaha murni ini menjadi titik tolak kejayaan pada masa akan datang dan diberkati Allah S.W.T. Ameen.

SUSUNAN KANDUNGAN

	Muka surat
PENGHARGAAN	ii
SUSUNAN KANDUNGAN	iv
SENARAI JADUAL	viii
SENARAI RAJAH	xi
SENARAI SINGKATAN	xvi
ABSTRAK	xviii
ABSTRACT	xx
BAB SATU : PENGENALAN	
1.1 Pencemaran Air	1
1.2 Bahan pencemar logam berat	2
1.2.1 Logam kuprum	2
1.2.2 Logam plumbum	3
1.3 Tandan kosong kelapa sawit (TKKS)	5
1.4 Kitaran semula TKKS	6
1.5 Lignin	11
1.6 Ciri-ciri lignin	13
1.7 Kaedah perawatan bahan pencemar	17
1.8 Penjerap daripada bahan semulajadi	18
1.9 Prinsip asas mikroskop elektron pengimbas serta penyerakan tenaga sinar-X (SEM-EDX)	23
1.10 Penjerapan	25
1.11 Isotherma penjerapan	25
1.12 Model isotherma penjerapan	29

1.12.1	Model penjerapan Langmuir	30
1.12.2	Model penjerapan Freundlich	32
1.12.3	Model penjerapan Temkin	33
1.13	Kinetik penjerapan	34
1.13.1	Model kinetik tertib pseudo-pertama	34
1.13.2	Model kinetik tertib pseudo-kedua	35
1.13.3	Model kinetik pembauran intrapartikel	36
1.14	Penyaherapan ion logam berat daripada bahan penjerap	37
1.15	Objektif kajian	38

BAB DUA : EKSPERIMENTAL

2.1	Pengenalan	39
2.2	Proses pengekstrakan lignin TKKS	39
2.3	Penyediaan lignin TKKS-T	40
2.4	Pencirian lignin TKKS dan lignin TKKS-T	40
2.4.1	Analisis spektroskopi inframerah transformasi Fourier (FT-IR)	40
2.4.2	Analisis luas permukaan dan saiz liang	41
2.4.3	Analisis elemen karbon, hidrogen dan nitrogen (CHN)	41
2.4.4	Analisis mikroskop elektron pengimbas serta penyerakan tenaga sinar-X (SEM-EDX)	41
2.4.5	Penentuan elemen kalium (K^+), natrium (Na^+), magnesium (Mg^{2+}) dan kalsium (Ca^{2+})	41
2.4.6	Analisis pH_{buburan} dan pH_{zpc}	42
2.5	Kajian penjerapan ion Cu(II) dan ion Pb(II) ke atas lignin TKKS dan lignin TKKS-T	43
2.5.1	Penentuan pembentukan hidroksida	44

2.5.2	Penentuan nilai pH optimum	44
2.5.3	Penentuan kadar kelajuan pengacauan optimum	45
2.5.4	Penentuan jisim penjerap optimum	46
2.5.5	Penentuan masa penjerapan optimum dan kinetik penjerapan	46
2.5.6	Penentuan kesan kepekatan awal larutan ion Cu(II) dan Pb(II), isoterma penjerapan	47
2.6	Penyaherapan ion Cu(II) dan Pb(II) daripada lignin TKKS dan lignin TKKS-T	48
2.7	Penentuan mekanisme penukaran ion	48

BAB TIGA : KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

3.1	Pengekstrakan lignin TKKS dan lignin TKKS-T	50
3.1.1	Analisis lignin TKKS dan lignin TKKS-T melalui spektroskopi inframerah transformasi Fourier (FT-IR)	51
3.1.2	Analisis kandungan unsur karbon, hidrogen, nitrogen dan oksigen	54
3.1.3	Analisis mikroskop elektron pengimbas dengan penyerakan tenaga sinar-X (SEM-EDX)	55
3.1.4	Analisis luas permukaan dan saiz liang	58
3.1.5	Analisis kandungan ion natrium, magnesium, kalsium dan kalium	60
3.1.6	Analisis pH _{buburan} dan pH _{ZPC}	61
3.2	Penjerapan ion Cu(II) dan Pb(II) ke atas lignin TKKS dan lignin TKKS-T	64
3.2.1	Penentuan pembentukan mendakan hidroksida	64
3.2.2	Parameter pH	66
3.2.3	Parameter kadar pengacauan	69
3.2.4	Parameter jisim lignin TKKS dan lignin TKKS-T	71

3.2.5	Parameter masa penjerapan	75
3.3	Kinetik penjerapan ion Cu(II) dan Pb(II) ke atas lignin TKKS dan lignin TKKS-T	80
3.3.1	Kinetik tertib pseudo-pertama	80
3.3.2	Kinetik tertib pseudo-kedua	84
3.3.3	Model pembauran intrapartikel	88
3.4	Isoterma penjerapan	92
3.5	Penentuan isoterma penjerapan keseimbangan	95
3.5.1	Model isoterma Langmuir	96
3.5.2	Model isoterma Freundlich	101
3.5.3	Model isoterma Temkin	104
3.6	Kajian termodinamik proses penjerapan	108
3.7	Penentuan mekanisme yang terlibat dalam penjerapan ion Cu(II) dan Pb(II) ke atas lignin TKKS dan lignin TKKS-T	111
3.7.1	Analisis FT-IR lignin TKKS dan lignin TKKS-T sebelum dan selepas proses penjerapan	112
3.7.2	Analisis SEM-EDX lignin TKKS dan lignin TKKS-T sebelum dan selepas proses penjerapan	115
3.7.3	Analisis kandungan ion Na ⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺ dan Ca ²⁺ yang terjerap dan dikembalikan selepas proses penjerapan	118
3.8	Proses penyaherapan ion Cu(II) dan Pb(II) daripada lignin TKKS dan lignin TKKS-T	121
	BAB EMPAT : KESIMPULAN	126
	BAB LIMA : CADANGAN KAJIAN LANJUTAN	127
	SENARAI RUJUKAN	128
	SENARAI PENERBITAN DAN SEMINAR	139
	LAMPIRAN	141

SENARAI JADUAL

		Muka surat
Jadual 1.1	Nilai faktor pemisah dan jenis isoterma	31
Jadual 3.1	Kumpulan berfungsi bagi lignin TKKS dan lignin TKKS-T	52
Jadual 3.2	Peratus kandungan unsur karbon, hidrogen dan nitrogen pada lignin TKKS dan lignin TKKS-T	54
Jadual 3.3	Luas permukaan dan saiz liang lignin TKKS dan lignin TKKS-T	59
Jadual 3.4	Kandungan ion logam ringan dalam lignin TKKS dan lignin TKKS-T	60
Jadual 3.5	Nilai pH air suling sebelum dan selepas dicampurkan dengan lignin TKKS dan lignin TKKS-T	62
Jadual 3.6	Masa yang diperlukan bagi mencapai penjerapan maksimum bagi ion Cu(II) berkepekatan 5, 10 dan 20 mg L ⁻¹	77
Jadual 3.7	Masa yang diperlukan bagi mencapai penjerapan maksimum bagi ion Pb(II) berkepekatan 5, 10 dan 20 mg L ⁻¹	79
Jadual 3.8	Nilai q_e dan k_1 bagi penjerapan lignin TKKS dan lignin TKKS-T terhadap ion Cu(II) berdasarkan persamaan tertib pseudo-pertama	83
Jadual 3.9	Nilai q_e dan k_1 bagi penjerapan lignin TKKS dan lignin TKKS-T terhadap ion Pb(II) berdasarkan persamaan tertib pseudo-pertama	83
Jadual 3.10	Nilai q_e dan k_2 bagi penjerapan lignin TKKS dan lignin TKKS-T terhadap ion Cu(II) berdasarkan persamaan tertib pseudo-kedua	87
Jadual 3.11	Nilai q_e dan k_2 bagi penjerapan lignin TKKS dan lignin TKKS-T terhadap ion Pb(II) berdasarkan persamaan tertib pseudo-kedua	87

Jadual 3.12	Nilai-nilai pemalar pembauran intrapartikel (f) dan pekali korelasi bagi penjerapan ion Cu(II) ke atas lignin TKKS dan lignin TKKS-T berdasarkan persamaan pembauran intrapartikel	91
Jadual 3.13	Nilai-nilai pemalar pembauran intrapartikel (f) dan pekali korelasi bagi penjerapan ion Pb(II) ke atas lignin TKKS dan lignin TKKS-T berdasarkan persamaan pembauran intrapartikel	92
Jadual 3.14	Nilai-nilai Q_{max} , b , R_L dan R^2 berdasarkan persamaan model isoterma Langmuir terhadap penjerapan ion Cu(II) ke atas lignin TKKS dan lignin TKKS-T	99
Jadual 3.15	Nilai-nilai Q_{max} , b , R_L dan R^2 berdasarkan persamaan model isoterma Langmuir terhadap penjerapan ion Pb(II) ke atas lignin TKKS dan lignin TKKS-T	99
Jadual 3.16	Nilai-nilai K_F , n dan R^2 berdasarkan persamaan model isoterma Freundlich terhadap penjerapan ion Cu(II) ke atas lignin TKKS dan lignin TKKS-T	103
Jadual 3.17	Nilai-nilai K_F , n dan R^2 berdasarkan persamaan model isoterma Freundlich terhadap penjerapan ion Pb(II) ke atas lignin TKKS dan lignin TKKS-T	103
Jadual 3.18	Nilai-nilai B , K_T dan R^2 berdasarkan persamaan model isoterma Temkin terhadap penjerapan ion Cu(II) ke atas lignin TKKS dan lignin TKKS-T	107
Jadual 3.19	Nilai-nilai B , K_T dan R^2 berdasarkan persamaan model isoterma Temkin terhadap penjerapan ion Pb(II) ke atas lignin TKKS dan lignin TKKS-T	107
Jadual 3.20	Parameter termodinamik bagi penjerapan ion Cu(II) ke atas lignin TKKS dan lignin TKKS-T	110
Jadual 3.21	Parameter termodinamik bagi penjerapan ion Pb(II) ke atas lignin TKKS dan lignin TKKS-T	110

Jadual 3.22	Mekanisme pertukaran ion (kation yang terjerap dan dikembalikan) bagi penjerapan dalam larutan Cu(II) berkepekatan 10 mg L ⁻¹	119
Jadual 3.23	Mekanisme pertukaran ion (kation yang terjerap dan dikembalikan) bagi penjerapan dalam larutan Pb(II) berkepekatan 10 mg L ⁻¹	120
Jadual 3.24	Peratus penyaherapan ion Cu(II) menggunakan agen penyaherapan HCl, HNO ₃ dan EDTA	122
Jadual 3.25	Peratus penyaherapan ion Pb(II) menggunakan agen penyaherapan HCl, HNO ₃ dan EDTA	123

SENARAI RAJAH

		Muka surat
Rajah 1.1	Carta alir penghasilan kertas dan lignin daripada TKKS	10
Rajah 1.2	Struktur lignin yang terdapat pada dinding sel sekunder kayu lembut [Sarkanen dan Ludwig, 1971]	12
Rajah 1.3	(a) Dinding sel dan lamela tengah bagi tiga sel tumbuhan yang bersebelahan (b) Keratan rentas dinding sel melalui kawasan A-B menunjukkan pelbagai lapisan yang membina dinding sel [Lee dan Liew, 2000]	13
Rajah 1.4	Kedudukan lignin di dalam tumbuhan vaskular [Sarkanen dan Ludwig, 1971]	14
Rajah 1.5	Struktur monomer asas dalam lignin [Sarkanen dan Ludwig, 1971; Stephen dan Carlton, 1992]	15
Rajah 1.6	Mekanisme pergerakan alur elektron primer	24
Rajah 1.7	Pengelasan IUPAC isoterma-isoterma penjerapan [Sing, 1982]	27
Rajah 1.8	Pengelasan isoterma penjerapan bagi pepejal terhadap larutan [Giles et al., 1960]	28
Rajah 3.1	Spektrum inframerah bagi lignin TKKS dan lignin TKKS-T	53
Rajah 3.2	Imej SEM; (a) lignin TKKS (b) lignin TKKS-T pada pembesaran 2000 X	56
Rajah 3.3	Spektrum EDX; (a) lignin TKKS, (b) lignin TKKS-T	57
Rajah 3.4	Graf pH_i - pH_f (ΔpH) melawan pH_i KNO_3 untuk penentuan pH_{zpc} bagi lignin TKKS	63
Rajah 3.5	Graf pH_i - pH_f (ΔpH) melawan pH_i KNO_3 untuk penentuan pH_{zpc} bagi lignin TKKS-T	63
Rajah 3.6	Graf kesan pH terhadap pembentukan mendakan $Cu(OH)_2$	65

Rajah 3.7	Graf kesan pH terhadap pembentukan mendakan $Pb(OH)_2$	66
Rajah 3.8	Kesan muatan penjerapan ion $Cu(II)$ ke atas lignin TKKS dan lignin TKKS-T terhadap pH	68
Rajah 3.9	Kesan muatan penjerapan ion $Pb(II)$ ke atas lignin TKKS dan lignin TKKS-T terhadap pH	68
Rajah 3.10	Kesan muatan penjerapan ion $Cu(II)$ ke atas lignin TKKS dan lignin TKKS-T terhadap kadar pengacauan	70
Rajah 3.11	Kesan muatan penjerapan ion $Pb(II)$ ke atas lignin TKKS dan lignin TKKS-T terhadap kadar pengacauan	70
Rajah 3.12	Kesan muatan penjerapan dan peratus penyingkiran ion $Cu(II)$ terhadap jisim lignin TKKS	72
Rajah 3.13	Kesan muatan penjerapan dan peratus penyingkiran ion $Cu(II)$ terhadap jisim lignin TKKS-T	72
Rajah 3.14	Kesan muatan penjerapan dan peratus penyingkiran ion $Pb(II)$ terhadap jisim lignin TKKS	73
Rajah 3.15	Kesan muatan penjerapan dan peratus penyingkiran ion $Pb(II)$ terhadap jisim lignin TKKS-T	74
Rajah 3.16	Kesan penjerapan ion $Cu(II)$ ke atas lignin TKKS terhadap parameter masa penjerapan	76
Rajah 3.17	Kesan penjerapan ion $Cu(II)$ ke atas lignin TKKS-T terhadap parameter masa penjerapan	77
Rajah 3.18	Kesan penjerapan ion $Pb(II)$ ke atas lignin TKKS terhadap parameter masa penjerapan	78
Rajah 3.19	Kesan penjerapan ion $Pb(II)$ ke atas lignin TKKS-T terhadap parameter masa penjerapan	78
Rajah 3.20	Graf kinetik tertib pseudo-pertama bagi penjerapan ion $Cu(II)$ ke atas lignin TKKS pada 3 kepekatan berbeza	81

Rajah 3.21	Graf kinetik tertib pseudo-pertama bagi penjerapan ion Cu(II) ke atas lignin TKKS-T pada 3 kepekatan berbeza	81
Rajah 3.22	Graf kinetik tertib pseudo-pertama bagi penjerapan ion Pb(II) ke atas lignin TKKS pada 3 kepekatan berbeza	82
Rajah 3.23	Graf kinetik tertib pseudo-pertama bagi penjerapan ion Pb(II) ke atas lignin TKKS-T pada 3 kepekatan berbeza	82
Rajah 3.24	Graf kinetik tertib pseudo-kedua bagi penjerapan ion Cu(II) ke atas lignin TKKS pada 3 kepekatan berbeza	85
Rajah 3.25	Graf kinetik tertib pseudo-kedua bagi penjerapan ion Cu(II) ke atas lignin TKKS-T pada 3 kepekatan berbeza	85
Rajah 3.26	Graf kinetik tertib pseudo-kedua bagi penjerapan ion Pb(II) ke atas lignin TKKS pada 3 kepekatan berbeza	86
Rajah 3.27	Graf kinetik tertib pseudo-kedua bagi penjerapan ion Pb(II) ke atas lignin TKKS-T pada 3 kepekatan berbeza	86
Rajah 3.28	Graf pembauran intrapartikel bagi penjerapan ion Cu(II) ke atas lignin TKKS pada 3 kepekatan berbeza	89
Rajah 3.29	Graf pembauran intrapartikel bagi penjerapan ion Cu(II) ke atas lignin TKKS-T pada 3 kepekatan berbeza	89
Rajah 3.30	Graf pembauran intrapartikel bagi penjerapan ion Pb(II) ke atas lignin TKKS pada 3 kepekatan berbeza	90
Rajah 3.31	Graf pembauran intrapartikel bagi penjerapan ion Pb(II) ke atas lignin TKKS-T pada 3 kepekatan berbeza	90
Rajah 3.32	Isoterma penjerapan ion Cu(II) ke atas lignin TKKS pada 3 suhu berbeza	93
Rajah 3.33	Isoterma penjerapan ion Cu(II) ke atas lignin TKKS-T pada 3 suhu berbeza	93
Rajah 3.34	Isoterma penjerapan ion Pb(II) ke atas lignin TKKS pada 3 suhu berbeza	94

Rajah 3.35	Isoterma penjerapan ion Pb(II) ke atas lignin TKKS-T pada 3 suhu berbeza	94
Rajah 3.36	Isoterma penjerapan ion Cu(II) ke atas lignin TKKS pada 3 suhu berbeza berdasarkan model isoterma Langmuir	97
Rajah 3.37	Isoterma penjerapan ion Cu(II) ke atas lignin TKKS-T pada 3 suhu berbeza berdasarkan model isoterma Langmuir	97
Rajah 3.38	Isoterma penjerapan ion Pb(II) ke atas lignin TKKS pada 3 suhu berbeza berdasarkan model isoterma Langmuir	98
Rajah 3.39	Isoterma penjerapan ion Pb(II) ke atas lignin TKKS-T pada 3 suhu berbeza berdasarkan model isoterma Langmuir	98
Rajah 3.40	Isoterma penjerapan ion Cu(II) ke atas lignin TKKS pada 3 suhu berbeza berdasarkan model isoterma Freundlich	101
Rajah 3.41	Isoterma penjerapan ion Cu(II) terhadap lignin TKKS-T pada 3 suhu berbeza berdasarkan model isoterma Freundlich	102
Rajah 3.42	Isoterma penjerapan ion Pb(II) ke atas lignin TKKS pada 3 suhu berbeza berdasarkan model isoterma Freundlich	102
Rajah 3.43	Isoterma penjerapan ion Pb(II) ke atas lignin TKKS-T pada 3 suhu berbeza berdasarkan model isoterma Freundlich	103
Rajah 3.44	Isoterma penjerapan ion Cu(II) ke atas lignin TKKS pada 3 suhu berbeza berdasarkan model isoterma Temkin	105
Rajah 3.45	Isoterma penjerapan ion Cu(II) ke atas lignin TKKS-T pada 3 suhu berbeza berdasarkan model isoterma Temkin	106
Rajah 3.46	Isoterma penjerapan ion Pb(II) ke atas lignin TKKS pada 3 suhu berbeza berdasarkan model isoterma Temkin	106
Rajah 3.47	Isoterma penjerapan ion Pb(II) ke atas lignin TKKS-T pada 3 suhu berbeza berdasarkan model isoterma Temkin	107
Rajah 3.48	Plot van't Hoff bagi penjerapan ion Cu(II) ke atas lignin TKKS dan lignin TKKS-T	109

Rajah 3.49	Plot van't Hoff bagi penjerapan ion Pb(II) ke atas lignin TKKS dan lignin TKKS-T	109
Rajah 3.50	Spektrum inframerah lignin TKKS sebelum dan selepas penjerapan ion Cu(II) dan Pb(II)	113
Rajah 3.51	Spektrum inframerah bagi lignin TKKS-T sebelum dan selepas penjerapan ion Cu(II) dan Pb(II)	114
Rajah 3.52	Imej SEM dan spektrum EDX [a (i) dan a (ii)] lignin TKKS, [b (i) dan b (ii)] lignin TKKS selepas penjerapan ion Cu(II) dan [c (i) dan c (ii)] lignin TKKS selepas penjerapan Pb(II)	116
Rajah 3.53	Imej SEM dan spektrum EDX [a (i) dan a (ii)] lignin TKKS-T, [b (i) dan b (ii)] lignin TKKS-T selepas penjerapan ion Cu(II) dan [c (i) dan c (ii)] lignin TKKS-T selepas penjerapan Pb(II)	117
Rajah 3.54	Struktur molekul EDTA	124

SENARAI SINGKATAN

ΔG°	perubahan tenaga bebas Gibbs
ΔH°	perubahan entalpi
ΔS°	perubahan entropi
AAS	spektrofotometri penyerapan atom
B	Pemalar berkaitan dengan haba penyerapan
b	pemalar keseimbangan bagi penyerapan ($L\ mg^{-1}$ atau $L\ mol^{-1}$)
BET	Brunauer, Emmet dan Teller
C_e	kepekatan zat terjerap pada keseimbangan ($mg\ L^{-1}$)
C_o	kepekatan awal ion logam ($mg\ L^{-1}$)
D	pembauran
EDTA	asid etilenadiaminatetraasetik
EDX	penyerakan tenaga sinar-X
f	pemalar pembauran intrapartikel ($mg\ g^{-1}\ min^{-1/2}$)
FRIM	Institut Penyelidikan dan Perhutanan Malaysia
FT-IR	Spektroskopi inframerah transformasi Fourier
IUPAC	International Union Pure and Applied Chemistry
k_1	pemalar tertib pseudo-pertama penyerapan (min^{-1})
k_2	pemalar tertib pseudo-kedua penyerapan ($g\ mg^{-1}\ min^{-1}$)
K_F	pemalar yang mencirikan muatan penyerapan (mg/g) (L/mg) ^{1/n}
K_T	pemalar pengikatan keseimbangan ($L\ mg^{-1}$)
m_o	jumlah zat terjerap (mg)
m_r	jumlah ion zat terjerap yang dikembalikan semula (mg)
n	pemalar yang menunjukkan keamatan penyerapan
pH_{zpc}	pH cas takat sifar

q_e	muatan penjerapan pada keseimbangan (mg g^{-1})
$q_{e, \text{cal}}$	muatan penjerapan pada keseimbangan berdasarkan pengiraan (mg g^{-1})
$q_{e, \text{exp}}$	muatan penjerapan pada keseimbangan berdasarkan eksperimen (mg g^{-1})
Q_{max}	muatan penjerapan maksimum (mg g^{-1})
q_t	muatan penjerapan pada masa t (mg g^{-1})
r	jejari partikel
R	pemalar gas ($8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$)
R^2	pekali korelasi
$R_{(\text{logam berat})}$	peratus penyingkiran logam berat
R_L	faktor pemisah tanpa dimensi
rpm	putaran per minit
SEM	Mikroskop elektron pengimbas
TKKS	tandan kosong kelapa sawit
TKKS-T	tandan kosong kelapa sawit terubahsuai
v/v	isipadu per isipadu
w/v	berat per isipadu
w/w	berat per berat
pH_i	pH awal
pH_f	pH akhir

PENJERAPAN KUPRUM(II) DAN PLUMBUM(II) OLEH LIGNIN TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT

ABSTRAK

Kajian ini membincangkan tentang potensi lignin tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan lignin TKKS terubahsuai (lignin TKKS-T) sebagai penjerap ion Cu(II) dan Pb(II) dalam larutan akueus. Lignin TKKS diperoleh melalui proses pengekstrakan likuor hitam TKKS menggunakan asid sulfurik berkepekatan 20 % v/v. Lignin TKKS-T pula dihasilkan melalui tindak balas antara lignin TKKS dengan NaOH yang berkepekatan 1 M. Pencirian lignin TKKS dan lignin TKKS-T dilakukan dengan menggunakan FT-IR, analisis luas permukaan dan saiz liang, SEM-EDX, CHNS/O, pH_{ZPC} dan $pH_{buburan}$. Keputusan analisis yang telah dijalankan mengesahkan bahawa lignin TKKS-T berjaya dihasilkan. Potensi lignin TKKS dan lignin TKKS-T sebagai penjerap ion Cu(II) dan Pb(II) kemudiannya dikaji menggunakan parameter seperti pH larutan Cu(II) dan Pb(II), jisim lignin TKKS dan lignin TKKS-T kadar pengacauan, masa penjerapan pada tiga kepekatan berbeza (5, 10 dan 20 mgL^{-1}) dan kepekatan awal larutan Cu(II) dan Pb(II) pada tiga suhu berbeza (27, 37 dan 47 °C). pH merupakan parameter paling dominan yang mempengaruhi kadar penjerapan ion Cu(II) dan Pb(II) terhadap lignin TKKS dan lignin TKKS-T. Data penjerapan ion Cu(II) dan Pb(II) ke atas lignin TKKS dan lignin TKKS-T mematuhi model kinetik pseudo-tertib kedua dengan baik. Berdasarkan persamaan Langmuir, lignin TKKS-T memberikan nilai muatan penjerapan maksimum yang tinggi bagi kedua-dua ion logam tersebut. Isotherma penjerapan ion Cu(II) dan Pb(II) ke atas lignin TKKS dan lignin TKKS-T masing-masing dapat diterangkan berdasarkan teori model isotherma Freundlich dan Langmuir. Berdasarkan kajian termodinamik, penjerapan ion Cu(II) dan Pb(II) ke atas lignin TKKS dan lignin TKKS-T merupakan penjerapan fizikal. Berdasarkan analisis FT-IR, SEM-EDX dan analisis

penukaran ion, mekanisme pengkompleksan dan penukaran ion berlaku semasa proses penjerapan tersebut. Penyaherapan ion Cu(II) dan Pb(II) daripada lignin TKKS dan lignin TKKS-T pula dapat dilakukan dengan menggunakan agen penyaherapan seperti HCl, HNO₃ dan EDTA.

ADSORPTION OF COPPER(II) AND LEAD(II) BY OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCH

LIGNIN

ABSTRACT

This research presents the potential of oil palm empty fruit bunch (OPEFB) lignin and modified OPEFB lignin as an adsorbent for Cu(II) and Pb(II) ions in aqueous solutions. OPEFB lignin was produced by extraction of OPEFB black liquor using sulfuric acid 20 % v/v. Modified OPEFB lignin was produced by reaction of OPEFB lignin with NaOH 1 M. The characterization of OPEFB lignin and modified OPEFB lignin was carried out by using FT-IR, surface area and average pore diameter analysis, SEM-EDX, CHNS/O, pH_{zpc} and pH_{slurry} . Results from the analyses proved that modified OPEFB lignin was successfully produced. The potential of OPEFB lignin and modified OPEFB lignin as adsorbents for Cu(II) and Pb(II) ions were then investigated using several parameters such as pH of Cu(II) and Pb(II) solutions, mass of OPEFB lignin and modified OPEFB lignin, agitation rate, adsorption contact time at three different concentrations (5, 10 and 20 mg L⁻¹) and initial concentration of Cu(II) and Pb(II) solutions at three different temperatures (27, 37 and 47 °C). pH is the most dominant parameter that affects the maximum adsorption ability of Cu(II) and Pb(II) ions onto OPEFB lignin and modified OPEFB lignin. The isothermal and kinetic adsorption were investigated using different concentration of Cu(II) and Pb(II) and adsorption contact time. The adsorption kinetic experimental data of Cu(II) and Pb(II) ions onto OPEFB lignin and modified OPEFB lignin fitted well with pseudo-second order model. According to Langmuir equation, modified OPEFB lignin giving highest adsorption capacity to both metals ions compared to OPEFB lignin. Therefore, the modification of EFB lignin with NaOH increased the ability of OPEFB lignin as an adsorbent. The adsorption isotherm data of the adsorption of Cu(II) and Pb(II) ions onto OPEFB lignin and modified OPEFB lignin could be well

interpreted by the Freundlich and Langmuir isotherm model theory respectively. Based on thermodynamic studies, the adsorption of Cu(II) and Pb(II) onto OPEFB lignin and modified OPEFB lignin were physical adsorption. Based on the FT-IR, SEM-EDX and ion exchange analysis, complexation and ion exchange were involved in the adsorption process. The desorption study of Cu(II) and Pb(II) ions from EFB lignin and modified EFB lignin were investigated using desorption agent such as HCl, HNO₃ and EDTA.

BAB SATU

PENGENALAN

1.1 Pencemaran Air

Pencemaran air berlaku apabila terdapat sesuatu bahan dalam takungan air seperti bahan organik atau bahan bukan organik berkepekatan melebihi kepekatan yang dibenarkan dan kebanyakannya berpunca daripada aktiviti manusia. Hal ini akan membawa kesan buruk kepada alam sekitar seperti tahap kesihatan, sumber hidup, sistem ekologi dan sebagainya. Bahan-bahan pencemar boleh terdiri daripada gas-gas terlarut (seperti oksigen, hidrogen sulfida, karbon dioksida dan ammonia), bahan organik (seperti bangkai dan daun) dan bahan tak organik (seperti nitrogen, klorin dan logam berat).

Air sisa buangan yang mengandungi logam berat seperti kadmium, zink, kuprum, nikel, plumbum, merkuri dan kromium kebiasaannya didapati di sekitar kawasan industri penyaduran, pembuatan besi dan keluli, aktiviti perlombongan dan penapisan petroleum. Kebanyakan sisa buangan organik mudah terurai secara biologi, sedangkan air sisa buangan tak organik seperti logam berat mengambil masa yang lama untuk terurai.

Beberapa kawasan seperti industri penyaduran besi dan keluli boleh dianggap sebagai kawasan berbahaya sekiranya terdedah kepada kandungan logam berat yang melebihi had yang telah ditetapkan oleh Akta Kualiti Alam Sekeliling (Akta 127) [Lembaga Penyelidikan Undang-undang, 2000]. Antara logam berat yang tersenarai dalam akta tersebut termasuklah logam kuprum, arsenik, merkuri, nikel, mangan dan plumbum. Walau bagaimanapun, perbincangan seterusnya akan lebih berfokus kepada

logam kuprum dan plumbum kerana penyelidikan yang dijalankan ini tertumpu kepada dua logam tersebut.

1.2 Bahan pencemar logam berat

Logam berat merujuk kepada logam yang mempunyai graviti tentu yang lebih tinggi dari 5 g cm^{-3} serta mempunyai nombor atom yang lebih tinggi dari 23 [Zamasky, 1974]. Logam berat seperti ferum, kobalt, kuprum, mangan, molibdenum dan zink merupakan mikronutrien yang diperlukan oleh hidupan [Bagheri et al., 2000]. Walau bagaimanapun, logam berat tersebut juga boleh menyebabkan pelbagai jenis penyakit dan merosakkan sistem keimunan manusia sekiranya ia melebihi paras yang ditentukan. Selain itu, terdapat juga beberapa logam berat yang langsung tidak diperlukan oleh hidupan. Antaranya ialah merkuri, plutonium dan plumbum. Logam berat ini diklasifikasikan sebagai logam toksik dan boleh memberi kesan buruk terhadap hidupan dan alam sekitar.

1.2.1 Logam kuprum

Logam kuprum atau simbol kimianya Cu merupakan salah satu unsur yang tersenarai sebagai logam berat. Ia mempunyai nombor atom 29 dan terletak dalam kumpulan 11 dalam jadual berkala. Kuprum mempunyai ciri-ciri seperti boleh ditempa dan juga merupakan pengalir elektrik yang baik. Kuprum boleh terdiri daripada beberapa keadaan pengoksidaan seperti $2+$ dan $3+$. Setiap keadaan pengoksidaan memberikan warna yang berbeza. Contohnya, kuprum dengan keadaan pengoksidaan $2+$ memberikan warna biru kehijauan. Kuprum tulen bersifat lembut dan berwarna merah muda atau merah kekuningan. Ia digunakan sebagai pengalir haba dan elektrik, bahan pembinaan dan sebahagian daripada logam keluli. Dalam bidang pembinaan, kuprum digunakan pada kepekatan yang rendah sebagai bahan bakteriostatik dan fungisid. Ia

bertindak sebagai anti-kuman yang ditambah pada bahan anti-bakteria dan anti-mikrob pada permukaan sesuatu bangunan seperti hospital.

Pencemaran air akibat logam berat seperti logam kuprum lazimnya berpunca daripada industri penyaduran logam. Bahan pencemar daripada industri ini berpunca daripada proses penyaduran logam dan proses bilasan penyaduran [Nriagu, 1979]. Pengaliran bahan pencemaran berpunca daripada industri ini merupakan antara penyumbang kepada pencemaran air di negara kita. Ia bukan sahaja menyebabkan pencemaran terhadap alam sekitar, malah ia boleh menyebabkan masalah kesihatan kepada hidupan. Hal ini disebabkan oleh bahan pencemar logam berat tidak terbiodegradasi dan berpotensi untuk berkumpul di dalam tisu organisma hidup yang menjadikan kepekannya semakin tinggi dalam rantai makanan.

Kuprum merupakan unsur surih yang diperlukan dalam tubuh badan manusia sebagai ko-faktor dalam enzim. Biasanya, terdapat sebanyak 1.4 hingga 2.1 mg kuprum pada setiap kilogram berat badan manusia [Hodges, 1977; Howell dan Gawthorne, 1987]. Walau bagaimanapun, kepekatan kuprum yang tinggi dalam badan manusia boleh menyebabkan pelbagai penyakit seperti anemia, kerosakan pada hati, buah pinggang dan perut serta boleh menyebabkan radang usus.

1.2.2 Logam plumbum

Secara umum, logam plumbum atau simbol kimianya, Pb mempunyai nombor atom 82 terletak dalam kumpulan 14 dalam jadual berkala. Plumbum tersenarai sebagai salah satu logam berat yang mempunyai ciri-ciri seperti lembut, bertoksik, sukar ditempa, konduktor elektrik yang lemah dan berwarna biru-putih apabila dipotong. Plumbum yang terdedah kepada udara diselaputi lapisan kelabu karbonat yang akan melindungi logam tersebut daripada bertindakbalas terhadap oksigen dan karbon

dioksida di udara. Plumbum digunakan dalam pelbagai bidang industri seperti pembuatan paip air, cat dan penyadur pewter. Kini, plumbum juga menjadi perhatian untuk dijadikan bahan utama dalam bateri asid-plumbum dan turut mendapat permintaan yang tinggi di Amerika Syarikat untuk dijadikan peluru [Needleman, 1992].

Plumbum merupakan logam berat yang mudah teroksida dan dapat membentuk siri logam oksida yang penting untuk pelbagai kegunaan. Siri plumbum oksida ini dapat menghasilkan pelbagai jenis warna dalam penghasilan cat. Contohnya, plumbum karbonat beralkali, $PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$, adalah pigmen yang digunakan untuk memberikan warna putih pada cat dalam keadaan tulen. Manakala, $PbCrO_4$ memberikan warna kuning dan memberikan warna merah apabila digabungkan dengan PbO . Plumbum oksida merah, $PbCrO_4 \cdot PbO$ ini merupakan salah satu bahan penting yang digunakan dalam pembuatan cat anti karat [Needleman, 1992; Singhal dan Thomas, 1980].

Pendedahan yang berlebihan kepada plumbum mampu mengakibatkan kerosakan kepada sistem saraf dan otak manusia [Needleman, 1992; Singhal dan Thomas, 1980]. Kanak-kanak yang sedang membesar merupakan insan yang paling mudah menjadi mangsa kerana tubuh mereka mudah menyerap plumbum berbanding orang dewasa. Kandungan paras plumbum yang tinggi dalam tubuh badan kanak-kanak juga berkemungkinan akan mengalami masalah tingkah laku, kadar pertumbuhan yang perlahan dan masalah pendengaran. Golongan dewasa pula akan mengalami masalah pencernaan, darah tinggi, gangguan pada sistem saraf, masalah kehamilan bagi wanita dan masalah kesuburan kepada lelaki dan wanita [Needleman, 1992; Singhal dan Thomas, 1980].

Menyedari akan kesan negatif logam-logam tersebut terhadap alam sekitar dan kesihatan organisma hidup khususnya kepada manusia, pelbagai inisiatif diambil bagi

merawat sisa buangan logam berat sebelum ia dialirkan ke saluran awam. Lantaran itu, pelbagai penyelidikan giat dijalankan untuk mendapatkan kaedah perawatan yang sesuai terhadap sisa buangan logam berat tersebut. Antara kaedah-kaedah tersebut termasuklah kaedah penjerapan menggunakan bahan penjerap seperti karbon teraktif dan zeolit. Selain menggunakan bahan komersial ini, bahan-bahan semulajadi seperti sekam padi [Bhattacharya et al., 2006], serbuk kayu keras dan lembut [Šćiban et al., 2006a,b], daun pokok getah [Hanafiah et al., 2006a,b], daun 'orach' [Sawalha et al., 2007a,b], kitin [Hall dan Yalpani, 1980] dan kitosan [Wan Ngah dan Musa, 1998; Wan Ngah et al., 2002; Qin et al., 2003] juga terbukti berpotensi sebagai bahan penjerap.

Lanjutan dari kajian-kajian ini, lignin yang diekstrak daripada tandan kosong kelapa sawit (TKKS) tidak ketinggalan untuk dikaji potensinya digunakan sebagai bahan penjerap terhadap logam berat. TKKS merupakan salah satu jenis sisa buangan lignoselulosik yang dihasilkan daripada industri kelapa sawit.

1.3 Tandan kosong kelapa sawit (TKKS)

Industri perladangan kelapa sawit merupakan industri pertanian terpenting di Malaysia. Kini, keluasan tanaman kelapa sawit merangkumi hampir 64 % kawasan pertanian negara [www.fibre-x.com, 2010]. Kelapa sawit merupakan sumber pendapatan utama bagi penduduk kawasan luar bandar dan berjaya menyediakan peluang pekerjaan kepada lebih 1.5 juta penduduk, sekali gus menjadi tulang belakang kepada kegiatan ekonomi luar bandar.

Walau bagaimanapun, tidak dinafikan kepesatan industri ini membawa kepada peningkatan penghasilan bahan buangan. Hal ini sekaligus mengundang kesan sampingan terutamanya dari segi pengurusan sisa buangan lignoselulosik seperti

batang, pelepah, daun dan TKKS. Sisa-sisa yang terhasil daripada aktiviti perladangan sawit serta pemprosesan minyak ini menyumbang kepada pencemaran alam sekitar.

TKKS yang tidak dilupuskan dengan betul akan menghasilkan bau busuk, menjadi habitat serangga perosak seperti lalat serta mengeluarkan air berlendir yang boleh mendatangkan ancaman kesihatan kepada manusia seperti taun dan sebagainya. Secara purata, sebanyak 18.50 tan metrik per hektar tandan sawit segar dihasilkan pada setiap tahun. Daripada jumlah tersebut, sebanyak 3.75 tan metrik per hektar minyak sawit dihasilkan. Selain itu, TKKS merupakan sisa lignoselulosik major yang terhasil dalam lingkungan 30 juta tan metrik daripada jumlah tandan sawit segar setiap tahun [www.fibre-x.com, 2010]. Lambakan TKKS ini telah menyebabkan masalah pencemaran alam sekitar yang serius terutamanya penghasilan bau yang tidak menyenangkan apabila dibiarkan pada satu jangka masa yang lama. Bagaimanapun, penyelidikan yang giat dijalankan oleh penyelidik-penyelidik tempatan telah menemui kaedah baru untuk melupuskan TKKS dengan lebih efektif.

1.4 Kitaran semula TKKS

Malaysia mempunyai potensi yang besar dalam mengitar semula bahan-bahan terbuang hasil daripada industri kelapa sawit kepada bahan-bahan yang lebih bernilai. TKKS mempunyai berat serat yang tinggi. Serat TKKS dapat dicirikan sebagai bersih, biodegradasi dan sangat sesuai dijadikan produk-produk yang mempunyai nilai tinggi di pasaran berbanding dengan serat-serat yang lain seperti kayu. Serat TKKS ini tergolong dalam kumpulan bahan buangan lignoselulosik yang mengandungi komponen polimer seperti hemiselulosa (20-21 %), selulosa (35-40 %) dan lignin (17-21 %) [Shawkataly dan Din, 2004].

Sebelum ini, hampas TKKS yang dikenali sebagai bungkil turut digunakan sebagai salah satu bahan pembuatan makanan bagi binatang ternakan seperti ayam. TKKS turut digunakan dalam aktiviti pertanian khususnya sebagai baja yang membekalkan nutrien kepada pokok serta melindungi anak-anak pokok dengan memberi kelembapan yang tinggi. Bagaimanapun, cara ini kurang efektif untuk mengitar semula sisa buangan tersebut. Hal ini disebabkan oleh aktiviti biodegradasinya yang perlahan, sekaligus akan menyebabkan terjadinya pencemaran pada alam sekitar. Oleh itu, lambakan TKKS kini dalam keadaan yang amat kritikal jika tidak dilupuskan dengan bijak atau dikitar semula.

Hasil penyelidikan yang berterusan, sektor biomas contohnya berupaya menghasilkan produk hiliran seperti kertas daripada pulpa dan perabot-perabot ringan seperti papan lembut daripada TKKS. Sektor ini dianggarkan mempunyai nilai pasaran antara RM 10-20 bilion dalam beberapa tahun akan datang [www.fibre-x.com, 2010]. Hal ini disebabkan kesan pengurangan sumber kayu-kayan yang semakin kritikal di seluruh dunia selaras dengan undang-undang ketat yang mengawal aktiviti pembalakan haram serta desakan daripada kumpulan pencinta alam.

Di Malaysia, kajian kerjasama syarikat Ecofibre Technology Sdn. Bhd., Selangor dengan Institut Penyelidikan dan Perhutanan Malaysia (FRIM) telah berjaya menghasilkan dua buah alatan yang canggih, iaitu Ecofibrez Super dan Ecofibrez Premier yang berupaya menghasilkan serat daripada TKKS yang digunakan untuk menghasilkan pelbagai produk bergantung kepada keperluan. Antara produk yang dapat dihasilkan ialah papan dengan kepadatan yang berbeza, pasu bunga dan pelbagai jenis bekas makanan [www.ecofibre.com, 2010].

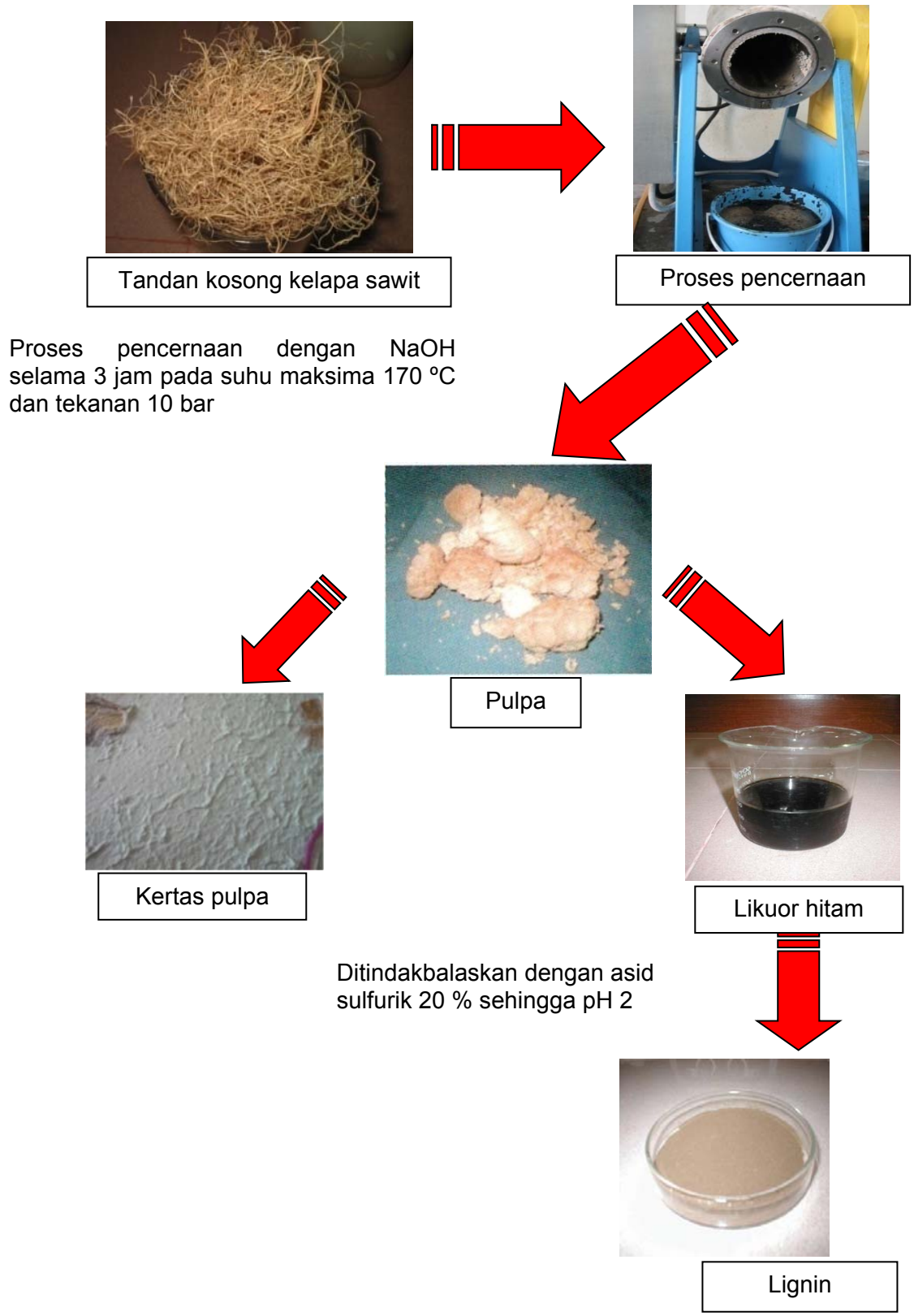
Kegigihan ahli sains dan penyelidik tempatan telah berjaya mengenalpasti potensi baru kegunaan TKKS iaitu sebagai bahan mentah alternatif bagi industri pulpa dan kertas. Serat TKKS ini diproses melalui proses pemulpaan untuk menghasilkan kertas [Wan Rosli et al., 2005; Leh et al., 2008]. Disebabkan serat TKKS yang tidak jauh berbeza daripada serat batang kelapa (jenis *Palmae*), maka seratnya digolongkan sebagai serat pendek. Justeru, kertas yang sesuai dibuat daripada bahan ini adalah kertas yang tidak memerlukan kekuatan atau kualiti yang tinggi seperti kertas tisu, kertas pembungkus dan kertas surat khabar [Sjöström, 1993].

Industri pulpa dan kertas di Malaysia wajar bergerak ke arah pembuatan kertas daripada gentian TKKS sebagai bahan asasnya. Hal ini kerana TKKS boleh didapati pada kos yang murah dan bekalannya juga berterusan. Di samping itu dengan adanya TKKS ini, ia mampu mengurangkan kebergantungan industri pulpa dan kertas terhadap kayu sekali gus membantu usaha pelestarian alam semula jadi. Dalam masa yang sama juga, dengan adanya kilang kertas di Malaysia, ia dapat mengurangkan import pulpa dan kertas negara. Daya maju teknikal untuk mengeluarkan pulpa dan kertas daripada gentian TKKS ini adalah tinggi dan aspek ekonominya sedang dikaji. Oleh itu, galakan serta sokongan daripada kerajaan dalam memacu industri pulpa dan kertas yang bersumberkan TKKS ini agar lebih berdaya saing seiring dengan industri-industri lain di negara kita wajar dipertingkatkan [Ismail, 2002].

Lignin diperolehi daripada serat TKKS setelah pencernaan serat tersebut bersama-sama natrium hidroksida selama 3 jam 30 minit pada tekanan 10 bar untuk mendapatkan pulpa. Hasil pencernaan tersebut iaitu pulpa dan likuor hitam kemudiannya dipisahkan. Pulpa seterusnya akan diproses menjadi kertas manakala likuor hitam pula akan diekstrak dengan asid sulfurik untuk mendapatkan lignin. Baki turasan yang dikeringkan itu dikenali sebagai lignin.

Walau bagaimanapun, Proses pemulpaan ini turut menghasilkan satu lagi sisa buangan, iaitu likuor hitam. Sisa buangan ini masih lagi tidak dapat diuruskan dengan baik oleh kilang-kilang yang memproses kertas. Terdapat pengusaha kilang yang tidak bertanggungjawab dengan mudahnya akan mengalirkan sisa tersebut ke sungai sebagai salah satu cara melupuskan sisa tersebut. Hal ini menyebabkan keadaan sungai tercemar akibat mendapan sisa tersebut.

Rajah 1.1 menunjukkan ringkasan proses penghasilan kertas dan lignin daripada TKKS. Melalui proses pembuatan kertas ini, TKKS akan menjadi bahan asasnya manakala sisa buangan toksik daripadanya iaitu likuor hitam boleh dikitar semula untuk mendapatkan lignin. Proses ini dianggap istimewa kerana masalah pelupusan TKKS yang berada di kilang pemprosesan minyak sawit dapat diatasi melalui penghasilan dua produk baru iaitu kertas dan juga lignin.

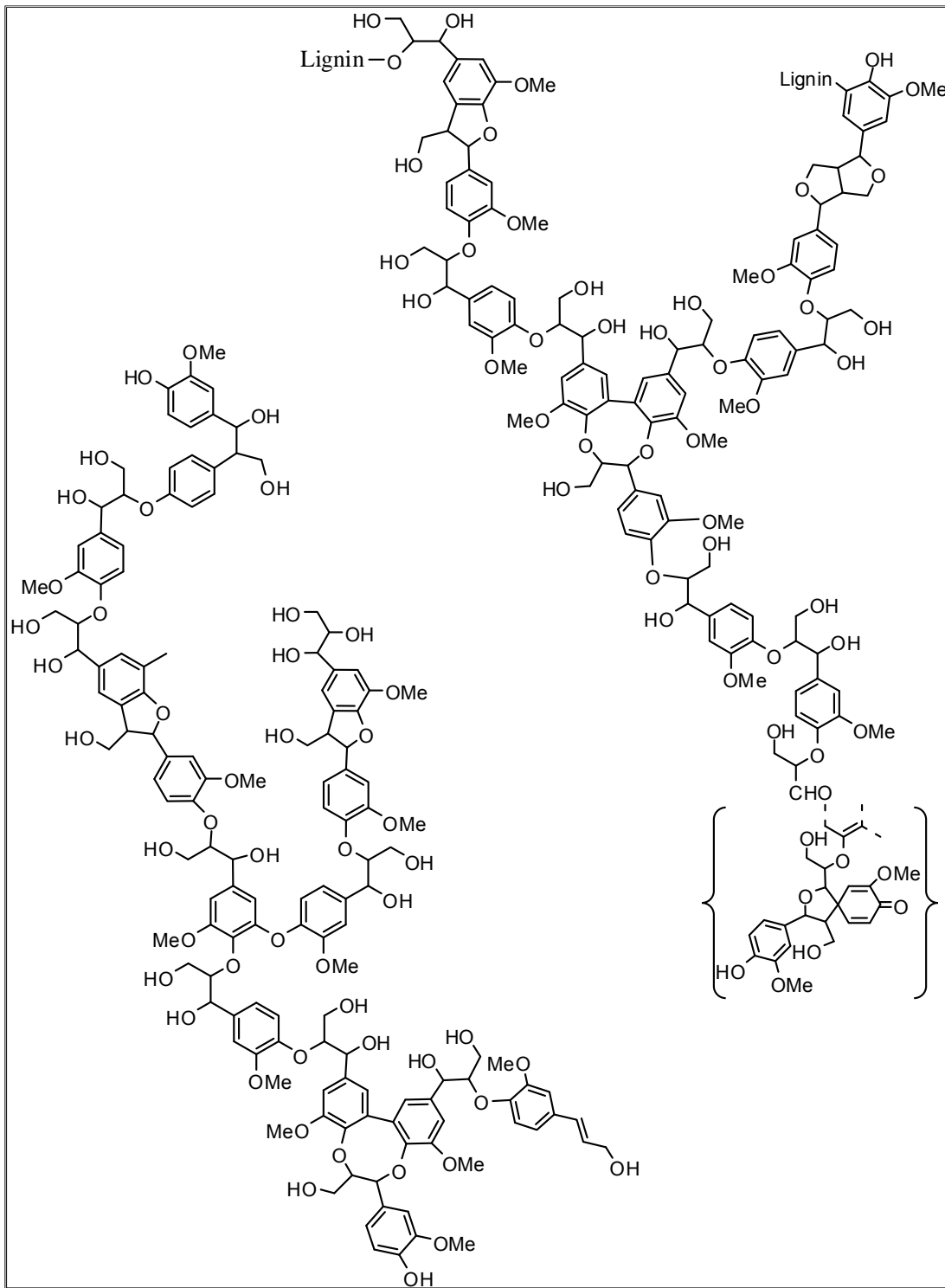


Rajah 1.1: Carta alir penghasilan kertas dan lignin daripada TKKS

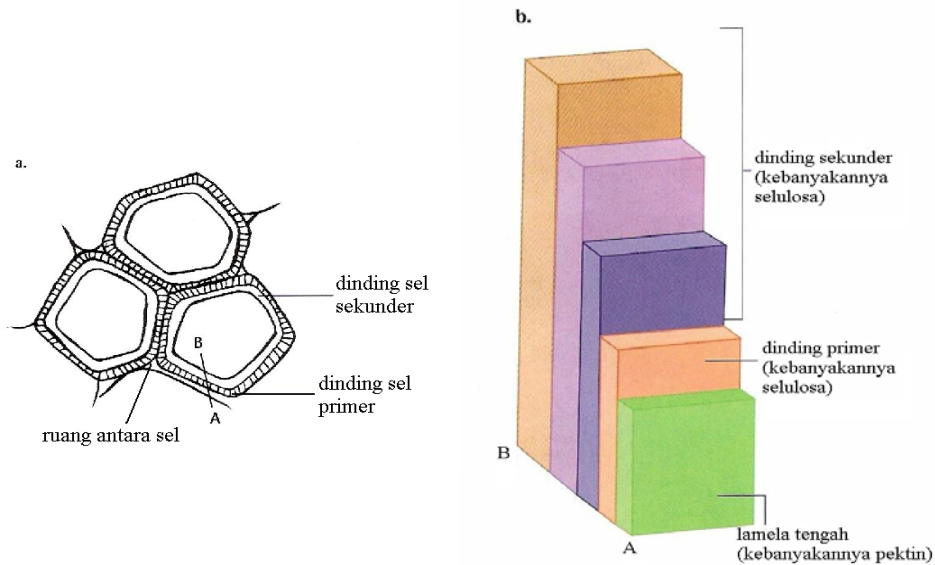
1.5 Lignin

Lignin merupakan suatu bahan organik berwarna perang yang diperoleh daripada struktur tumbuhan seperti pada kulit, batang dan tisu. Kandungan lignin berbeza-beza mengikut jenis tumbuhan dan biasanya dalam julat 17-30 % mengikut berat [Shawkataly dan Din, 2004]. Lignin bukan sahaja berfungsi sebagai komponen penyokong dan tisu pembawa dalam tumbuhan bahkan menjadi pelindung kepada tumbuhan terhadap serangan mikroorganisma. Ia terdapat pada lamina tengah dan dinding sel sekunder kayu. Salah satu faktor dinding sel tumbuhan menjadi tegar kerana dinding sel sekunder tersebut mengandungi lignin. Rajah 1.2 menunjukkan struktur lignin daripada kayu lembut [Sarkanen dan Ludwig, 1971].

Bahagian tumbuhan yang lebih keras dan berkayu biasanya terdiri daripada sel-sel yang mempunyai dinding sel sekunder. Dinding sel sekunder ini terdiri daripada beberapa lapisan yang dienap secara berturutan setelah pertumbuhan dinding sel primer terhenti. Ia lebih tebal berbanding dengan dinding sel primer dan terdiri daripada lapisan-lapisan padat atau lamela yang tersusun secara berturutan seperti yang dapat dilihat pada Rajah 1.3 [Lee dan Liew, 2000].



Rajah 1.2: Struktur lignin yang terdapat pada dinding sel sekunder kayu lembut [Sarkanen dan Ludwig, 1971]

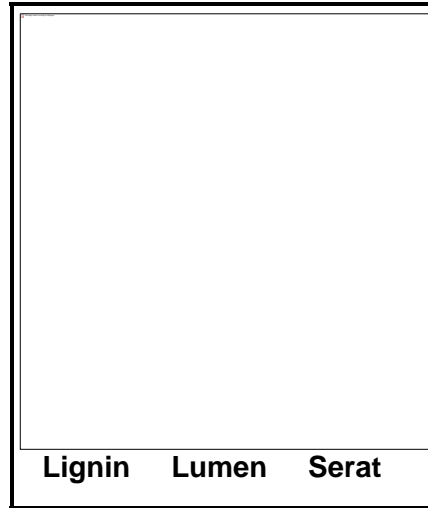


Rajah 1.3: (a) Dinding sel dan lamela tengah bagi tiga sel tumbuhan yang bersebelahan (b) Keratan rentas dinding sel melalui kawasan A-B menunjukkan pelbagai lapisan yang membina dinding sel [Lee dan Liew, 2000]

1.6 Ciri-Ciri lignin

Lignin didapati dalam semua jenis tumbuhan vaskular yang kebanyakannya ditemui di antara sel [Sarkanen dan Ludwig, 1971]. Ia juga terdapat di dalam sel tumbuhan dan pada dinding sel tumbuhan seperti dalam Rajah 1.4. Ia menjadikan tumbuhan kelihatan segar, tegar dan memberikan nilai serat dalam makanan.

Lignin merupakan polimer yang terdiri daripada struktur makromolekul kompleks. Oleh yang demikian, struktur sebenar lignin sukar ditentukan secara terus. Struktur lignin perlu dipecahkan sebelum dianalisis untuk mendapatkan gambaran yang lebih jelas tentang struktur sebenar lignin. Pemecahan struktur makromolekul lignin boleh dilakukan dengan pelbagai cara seperti pengoksidaan nitrobenzena, pengoksidaan kalium permanganat dan pengoksidaan kuprik oksida [Stephen dan Carlton, 1992].

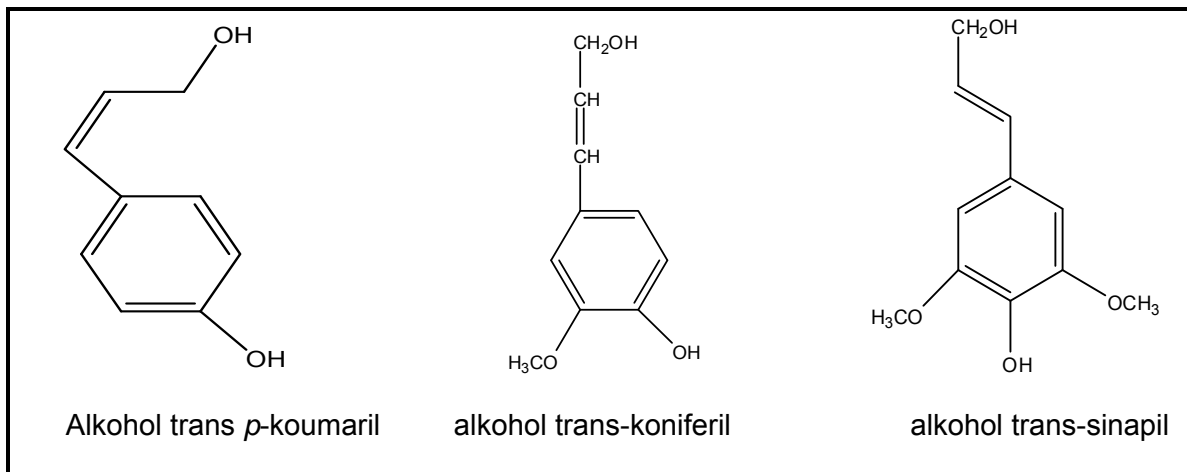


Rajah 1.4: Kedudukan lignin di dalam tumbuhan vaskular [Sarkanen dan Ludwig, 1971]

Lignin yang diekstrak daripada TKKS berbeza daripada segi ekstraktifnya, iaitu zat-zat selain daripada selulosa, hemiselulosa dan lignin yang terdapat dalam tumbuhan. Ciri-ciri ini berdasarkan sifat ketidaklarutan dalam air dan pelarut organik yang neutral. Ia juga tahan terhadap serangan asid dan enzim tetapi tindak balas kondensasi akan berlaku dengan kehadiran asid mineral yang kuat. Sebahagian daripada lignin terlarut dalam larutan akueus beralkali serta mudah diserang dan dilarutkan oleh agen pengoksidaan. Lignin memberi satu tindak balas warna apabila dikondensasikan dengan fenol.

Lignin merupakan jaringan polimer amorfus tiga dimensi yang terbentuk daripada unit-unit fenilpropana serta mempunyai darjah pempolimeran yang tinggi. Ia terdiri daripada 5 hingga 500 unit fenilpropana tertukar ganti dan terikat secara rawak kepada kumpulan hidroksil dan metoksil yang dianggap sebagai perintis dalam nisbah yang berbeza-beza. Hampir semua lignin semulajadi yang dijumpai terbentuk daripada tiga monomer asas iaitu alkohol trans *p*-koniferil, alkohol trans-koniferil dan alkohol trans-

sinapil [Stephen dan Carlton, 1992]. Rajah 1.5 menunjukkan struktur monomer-monomer tersebut.



Rajah 1.5: Struktur monomer asas dalam lignin [Sarkanen dan Ludwig, 1971; Stephen dan Carlton, 1992]

Selain itu, lignin juga boleh dibahagikan kepada tiga kumpulan berdasarkan nisbah ketiga-tiga unit fenilpropana iaitu:

- i) Lignin hidroksilfenil (H) yang terdapat pada lignin rerumput. Ia terbentuk daripada pemolimeran unit alkohol *p*-hidroksikoumaril.
- ii) Lignin guasil (G) yang terdapat dalam semua kayu lembut dan terdiri daripada hasil pemolimeran unit alkohol koniferil.
- iii) Lignin guasil-siringil terdapat pada kayu keras. Ia merupakan hasil pemolimeran daripada alkohol koniferil dan sinapil dengan nisbah yang berbeza-beza dalam julat dari 4:1 hingga 1:2.

Tumbuhan yang berbeza mempunyai ciri lignin yang berbeza. Contohnya, lignin dalam kayu lembut tidak sama dengan lignin dalam kayu keras. Peratusan lignin dalam setiap tumbuhan juga berbeza bergantung kepada jenis tumbuhan tersebut, contohnya TKKS mengandungi 17-21 % w/w lignin.

Rajah 1.2 pada Bahagian 1.5 menunjukkan struktur makromolekul lignin hasil daripada rangkaian-rangkaian monomer tersebut. Walau bagaimanapun, struktur tersebut bukanlah struktur yang tepat bagi lignin kerana ia telah mengalami sedikit degradasi akibat pemencilan lignin daripada kayu atau serat. Selain itu, sifat polimer lignin juga turut bergantung kepada lokasi lignin tersebut di dalam dinding sel [Henry, 1974].

Merujuk kepada struktur dalam Rajah 1.2 pada Bahagian 1.5, lignin berpotensi sebagai penjerap terhadap logam berat seperti kuprum dan plumbum. Hal ini kerana, lignin terdiri daripada pelbagai kumpulan berfungsi yang dapat berkompleks dengan logam berat tersebut. Antara kumpulan berfungsi tersebut termasuklah hidroksil, eter dan karbonil. Tambahan pula, kumpulan berfungsi hidroksil mempunyai keafinitian yang tinggi iaitu daya elektron yang kuat [Ahmad, 2004; Parajuli et al., 2004]. Oleh itu, hidroksil dicadangkan sebagai kumpulan berfungsi utama yang terikat dengan logam berat dalam proses penjerapan [Mohd Firdaus, 2006].

Oleh itu, kajian ini bersifat serampang dua mata kerana selain bertujuan untuk menyelesaikan masalah berkaitan dengan pelupusan TKKS di ladang-ladang kelapa sawit dan sisa pemulpaan dan kertas iaitu likuor hitam, kajian ini juga dapat menghasilkan bahan baru (lignin) yang berguna dan mesra alam. Selain itu, salah satu aplikasi lignin diterokai iaitu sebagai penjerap logam berat dari alam semulajadi yang melibatkan kos yang minimum. Sekiranya kajian ini berjaya, ia boleh diaplikasikan dalam perawatan air tercemar akibat logam berat.

1.7 Kaedah perawatan bahan pencemar

Terdapat pelbagai kaedah yang digunakan untuk merawat bahan pencemar industri yang mengandungi logam berat. Antaranya termasuklah kaedah penggumpalan [Semerjian dan Ayoub, 2003], penukar ion [Papadopoulos et al., 2004], pemisahan membran dan osmosis berbalik [Benito dan Ruiz, 2002], pengekstrakan pelarut, pemendakan kimia [Mirbagheri dan Hosseini, 2004] dan elektropengapungan [Khelifa et al., 2005].

Kaedah-kaedah tersebut telah dibuktikan berjaya merawat air buangan penyudah logam. Kajian terhadap kaedah penukaran ion secara individu yang telah dijalankan oleh Papadopoulos dan rakan-rakan (2004) contohnya berjaya menyingkirkan 74.8 % nikel daripada air buangan penyudah logam. Peratus penyingkiran nikel meningkat kepada 94.2 hingga 98.3 % apabila kaedah penukaran ion tersebut digabungkan dengan kaedah pemendakan. Manakala kajian yang telah dijalankan oleh Benito dan Ruiz (2002) berjaya menyingkirkan 75-95 % logam berat yang terkandung dalam air buangan penyudah logam. Selain itu, kaedah ini berjaya mengitar semula air buangan dan ia dapat digunakan semula semasa proses pembuatan dan seterusnya dapat mengurangkan jumlah air yang perlu dibuang.

Walau bagaimanapun, kaedah-kaedah tersebut bergantung kepada beberapa faktor seperti ekonomi, kesesuaian industri, kesan kepada alam sekitar, jenis, bentuk dan kepekatan logam berat. Selain itu, kaedah ini memerlukan kos yang tinggi dan lebih berkesan dilakukan untuk perawatan bahan pencemar yang mengandungi logam berat pada kepekatan yang tinggi. Manakala, perawatan bahan pencemar pada kepekatan logam berat kurang daripada 100 mg L^{-1} , kaedah penjerapan merupakan kaedah yang lebih sesuai [Wan Ngah dan Hanafiah, 2008a].

Pelbagai kajian telah dan sedang giat dijalankan berkaitan penjerapan logam berat. Bahan penjerap seperti karbon teraktif merupakan bahan penjerap yang paling banyak didapati dan telahpun diaplikasikan sebagai penjerap logam berat. Karbon teraktif mempunyai kemampuan penjerapan yang baik terhadap bahan-bahan organik dan ion-ion logam berat [El-Shafey et al., 2002]. Namun, bahan penjerap tersebut bersifat tidak selektif dan mempunyai kebolegunaan semula yang rendah [Mitani et al., 2003]. Tambahan pula ia melibatkan kos penghasilan yang tinggi.

Pada masa ini penyelidikan untuk mencari alternatif bahan penjerap yang murah dan berkesan dalam merawat bahan pencemar industri sedang giat dijalankan. Kajian tersebut tertumpu kepada penggunaan bahan buangan atau sampingan aktiviti pertanian dan perikanan seperti sekam padi, hampas tebu, tanah liat, kitin dan kitosan. Hal ini demikian kerana ia mudah didapati, melibatkan kos yang minimum atau tidak memerlukan kos langsung malah, ia berpotensi setanding dengan bahan penjerap komersial seperti zeolit dan karbon teraktif.

1.8 Penjerap daripada bahan semulajadi

Sejak kebelakangan ini, beberapa kajian yang dijalankan terhadap penjerapan logam berat tertumpu kepada penghasilan penjerap daripada bahan semula jadi atau lebih dikenali sebagai biopenjerap sekaligus menjadi bahan alternatif kepada karbon teraktif [Wan Ngah dan Hanafiah, 2008a]. Selain kos penghasilan yang murah dan mudah didapati di persekitaran, proses penghasilan biopenjerap tidak melibatkan langkah penyediaan yang panjang dan rumit. Di samping itu juga, prestasi bahan tersebut sebagai penjerap logam berat dan kebolegunaan semula logam berat daripada bahan tersebut juga adalah sangat baik.

Penjerapan logam berat menggunakan biopenjerap telah dijalankan oleh ramai penyelidik. Antaranya termasuklah serbuk daun getah (*Hevea brasiliensis*) [Hanafiah et al., 2006a,b], serbuk daun lalang (*Imperata cylindrica*) [Hanafiah et al., 2007], batang pokok betik [Saeed et al., 2005], daun jagung [Babarinde et al., 2006], serbuk daun jati [King et al., 2006] dan palet kulit kacang [Johnson et al., 2002]. Kajian-kajian yang telah dijalankan ini menunjukkan bahawa penjerap daripada bahan semulajadi setanding dengan penjerap komersial. Selain itu, terdapat beberapa kebaikan penggunaan biopenjerap ini. Antaranya ialah langkah penyediaan yang mudah dan ringkas, muatan penjerapan yang tinggi, kos yang murah atau tiada langsung, mudah diperolehi dan mudah untuk dikembalikan semula.

Selain itu, pengubahsuaian terhadap penjerap juga telah dijalankan untuk meningkatkan muatan penjerapan biopenjerap terhadap logam berat. Beberapa agen pengubahsuaian telah diaplikasikan bagi tujuan ini. Baru-baru ini, Wan Ngah dan Hanafiah (2008b) telah menjalankan tinjauan terhadap biopenjerap yang telah diubahsuai dengan beberapa bahan kimia. Antara agen pengubahsuaian tersebut termasuklah larutan asid mineral dan asid organik (asid tartarik, asid hidroklorik, asid nitrik, asid sulfurik, asid tioglikolik dan asid sitrik), larutan bes (natrium hidroksida, natrium karbonat dan kalsium hidroksida), agen pengoksidaan (hidrogen peroksida) dan sebatian organik (etilena diamina, formaldehid, metanol dan epiklorohidrin). Biopenjerap terubahsuai tersebut telah terbukti sebagai bahan penjerap yang berjaya menyingkirkan logam-logam berat pada muatan penjerapan yang tinggi.

Biopenjerap mempunyai beberapa kumpulan berfungsi seperti karboksil, hidroksil, sulfat, fosfat, eter dan kumpulan amino yang bertindak sebagai tapak pengikatan bagi logam berat. Kajian yang telah dijalankan oleh Šćiban dan rakan-rakan (2006a,b) serta Chubar dan rakan-rakan (2004) mendapati bahawa serbuk kayu dan

serbuk gabus yang diubahsuai dengan natrium hidroksida mempunyai potensi yang baik untuk menyerap logam kuprum. Kajian yang dijalankan oleh Min dan rakan-rakan (2004) mendapati bahawa natrium hidroksida yang digunakan sebagai bahan pengubahsuaian terhadap serat juniper sebagai biopenjerap dapat menyingkirkan bahan berbes yang tidak larut dan menukarkan kumpulan ester pada biopenjerap tersebut kepada kumpulan karboksilat iaitu kumpulan berfungsi yang lebih efektif untuk penjerapan ion logam berat. Kajian ini juga mendapati bahawa semakin tinggi kepekatan natrium hidroksida yang digunakan, semakin kurang jumlah ester pada serat juniper manakala jumlah karboksilat pula akan meningkat.

Selain itu, bahan semulajadi seperti lignin juga tidak ketinggalan dijadikan sebagai bahan penjerap logam berat. Terdapat beberapa kajian tertumpu kepada penghasilan lignin yang diekstrak daripada kayu lembut dan keras sebagai penjerap logam berat [Demirbas, 2004; Guo et al., 2008; Wu et al., 2008; Harmita et al., 2009]. Melalui kajian yang telah dijalankan, lignin berpotensi dijadikan bahan penjerap terhadap logam berat.

Wu dan rakan-rakan (2008) telah menjalankan kajian penjerapan lignin terhadap logam kromium (III). Lignin yang digunakan dalam proses penjerapan ini diekstrak daripada likuor hitam yang diperolehi daripada hasil sampingan pemulpaan kayu keras. Lignin yang digunakan sebagai penjerap kepada logam berat ini tidak melalui sebarang pengubahsuaian dan hanya dicuci dengan air suling selepas proses pemendakan likuor hitam dengan sulfur dioksida. Penjerapan dijalankan di dalam tiub poliuretana dan digoncang menggunakan alatan pengempar pada suhu 20 °C selama 24 jam. Melalui kajian yang telah dijalankan, sebanyak 17.97 mg kromium berjaya dijerap oleh 1 g lignin kayu keras.

Guo dan rakan-rakan (2008) pula telah menjalankan penjerapan lignin kayu keras terhadap plumbum(II), kuprum(II), kadmium(II), zink(II) dan nikel(II). Lignin yang digunakan sebagai bahan penjerap dalam kajian ini diekstrak daripada likuor hitam yang terhasil melalui proses pemulpaan kayu keras untuk menghasilkan kertas di Yunnan Province, Selatan China. Langkah penyediaan lignin adalah sama seperti yang telah dijalankan oleh Wu dan rakan-rakan (2008). Afiniti penjerapan lignin kayu keras terhadap logam-logam tersebut meningkat mengikut susunan $Pb(II) > Cu(II) > Cd(II) > Zn(II) > Ni(II)$. Kajian ini mendapati bahawa, karboksilik dan fenolik merupakan kumpulan berfungsi utama pada lignin kayu keras yang memainkan peranan dalam proses penjerapan terhadap logam-logam berat tersebut. Walau bagaimanapun kumpulan fenolik mempunyai afiniti yang tinggi berbanding kumpulan karboksilik. Analisis kualitatif ini juga menerangkan bahawa pengkompleksan logam berat terhadap kumpulan berfungsi fenolik pada lignin kayu keras merupakan mekanisme dominan penjerapan logam tersebut selain kumpulan karboksilik.

Manakala, Harmita dan rakan-rakan (2009) pula, telah menjalankan kajian penjerapan lignin kraf dan organosolv yang diekstrak daripada kayu keras dan lembut ke atas logam kuprum(II) dan kadmium(II). Kajian ini menyatakan bahawa, parameter seperti pH larutan logam berat dan kekuatan ion elektrolit (NaCl) memainkan peranan penting dalam proses penjerapan. Perbezaan kecenderungan penjerapan logam terhadap bahan-bahan penjerap tersebut adalah seperti berikut: lignin organosolv kayu lembut < lignin organosolv kayu keras < lignin kraf kayu keras < lignin kraf kayu lembut. Kajian ini mencadangkan bahawa kumpulan berfungsi karboksilik yang terdapat pada keempat-empat bahan penjerap tersebut memainkan peranan utama dalam proses penjerapan logam kuprum dan kadmium selain kumpulan fenolik dan karbonil.

Selain itu, terdapat juga kajian terhadap penjerapan lignin yang terubahsuai sebagai penjerap logam berat. Demirbas (2004) telah menjalankan penjerapan logam plumbum(II) dan kadmium(II) terhadap lignin yang terubahsuai daripada proses penyahlignin sampel kayu beech dan poplar dengan gliserol dalam keadaan beralkali. Gliserol bertindak sebagai agen penyahlignin yang baik terhadap sampel kayu lembut [Demirbas, 1998]. Penyahlignin tersebut akan menghasilkan lignin sebagai hasil utama selain hemiselulosa dan selulosa sebagai hasil sampingan. Muatan penjerapan plumbum dan kadmium ke atas lignin kayu beech dan poplar meningkat dengan peningkatan suhu penjerapan.

Manakala, kajian awal oleh Mohd Firdaus (2006) mendapati lignin yang diekstrak daripada likuor hitam tandan kosong kelapa sawit (TKKS) berpotensi sebagai penjerap logam berat kuprum. Parameter yang telah dikaji ialah pH, masa penjerapan dan dos penjerap. Kajian ini mendapati bahawa lignin mampu menjerap logam berat kuprum sehingga 80.30 % apabila 1.6 g lignin dibiarkan bertindakbalas dengan 10 mL logam kuprum yang berkepekatan 4 ppm selama 12 hari tanpa digoncang atau dikacau menggunakan pengacau bermagnet. Lignin berpotensi sebagai penjerap logam berat disebabkan kehadiran beberapa kumpulan berfungsi seperti hidroksil, eter dan karboksil dalam struktur lignin yang bertindak sebagai tapak pengikatan bagi logam berat.

Seterusnya kajian tersebut dikembangkan lagi dalam kajian ini dengan memendekkan masa tindak balas, meningkatkan isipadu dan kepekatan logam berat (kuprum dan plumbum) serta merendahkan jisim bahan penjerap dalam proses penjerapan tersebut. Selain itu, lignin yang diekstrak daripada likuor hitam TKKS juga diubahsuai dengan natrium hidroksida untuk meningkatkan muatan penjerapan lignin ke atas logam berat kuprum dan plumbum. Isotherma penjerapan dikaji dengan menggunakan model penjerapan Langmuir, Freundlich dan Temkin manakala kinetik

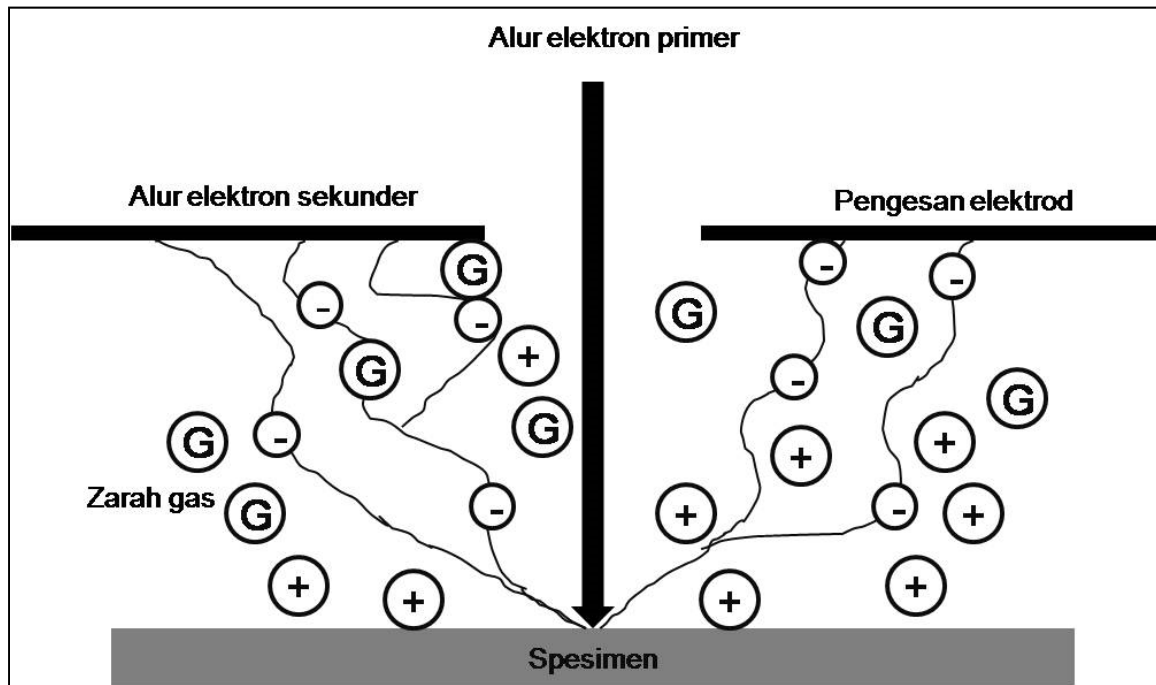
tindak balas dikaji menggunakan model kinetik tertib pseudo-pertama, pseudo-kedua dan pembauran intrapartikel. Setelah itu, penyaherapan ion Cu(II) dan Pb(II) daripada lignin TKKS dan lignin TKKS terubahsuai (lignin TKKS-T) juga dikaji menggunakan agen-agen penyaherapan iaitu asid nitrik (HNO_3), asid hidroklorik (HCl) dan garam asid etilenadiaminatetraasetik (EDTA).

Menariknya tentang kajian ini, lignin TKKS dan lignin TKKS-T yang digunakan sebagai penjerap logam berat Cu(II) dan Pb(II) dihasilkan daripada sisa proses penghasilan pulpa dan kertas daripada TKKS iaitu likuor hitam yang bersifat toksik. Oleh itu, kajian ini bukan sahaja dapat menghasilkan bahan baru yang bermutu tinggi bahkan dapat menguruskan pelupusan likuor hitam dengan lebih baik. Selain itu juga, kos penghasilan yang murah dan proses pengendalian yang mudah dipercayai lignin TKKS dan lignin TKKS-T mampu dijadikan sebagai bahan yang efektif untuk perawatan sisa buangan industri yang mengandungi logam berat pada masa akan datang.

1.9 Prinsip asas mikroskop elektron pengimbas serta penyerakan tenaga sinar-X (SEM-EDX)

Dalam kajian ini, alatan SEM digunakan untuk mengkaji corak morfologi permukaan bahan penjerap manakala EDX digunakan untuk menganalisis komponen yang terdapat pada permukaan bahan penjerap sebelum dan proses penjerapan. Berdasarkan analisis SEM, sumber elektron primer akan menghentam spesimen sehingga menyebabkan spesimen memancarkan elektron sekunder seperti yang ditunjukkan pada Rajah 1.6. Elektron yang terbentuk ditarik ke arah elektrod pengesan negatif. Pelanggaran yang berlaku antara elektron dengan zarah gas akan mengakibatkan penambahan pemancaran elektron dan pengionan molekul gas. Zarah gas yang bercas positif ditarik ke arah spesimen yang bercas negatif yang seterusnya

membatalkan kesan cas. Jika bilangan elektron yang tinggi dipancarkan dari sesuatu lokasi pada sampel semasa imbasan, isyarat yang tinggi diperolehi. Perbezaan dalam isyarat keamatan dari beberapa lokasi pada sampel akan membentuk imej [Goodhew et al., 2001].



Rajah 1.6: Mekanisme pergerakan alur elektron primer

Spektrometer penyerakan tenaga sinar-X pula mengesan tenaga sinar-X yang terhasil apabila elektron yang dipancarkan menghentam permukaan sampel. EDX terdiri daripada suatu pengesan semikonduktor yang dihubungkan kepada FET (*field effect transition*) yang bertindak sebagai preamplifier. Pengesan yang biasa digunakan dalam SEM-EDX adalah Si(Li) iaitu hablur silikon litium. Hasil analisis yang dijalankan memberikan satu plot intensiti melawan tenaga elektron. Puncak-puncak yang terhasil tersebut dapat digunakan untuk mengecam dan mengenalpasti unsur-unsur yang wujud.

1.10 Penjerapan

Istilah penjerapan telah diperkenalkan oleh Kayser pada tahun 1881. Ia didefinisikan sebagai pengkayaan atau susutan satu atau lebih komponen pada lapisan di antara muka. Penjerapan merupakan satu kaedah iaitu molekul, ion atau atom yang disebut sebagai zat terjerap tertarik kepada permukaan zat penjerap melalui interaksi fizikal atau kimia. Proses penjerapan biasanya diklasifikasikan berdasarkan suatu fasa yang melalui suatu fasa yang lain seperti cecair/gas, pepejal/gas, pepejal/cecair dan cecair/cecair. Selain itu, penjerapan juga diklasifikasikan berdasarkan daya yang bertindak terhadap permukaan seperti penjerapan fizikal dan penjerapan kimia.

Penjerapan fizikal berlaku apabila wujud daya van der Waals di antara zat terjerap dan zat penjerap [Cárdenas et al., 2001]. Zat terjerap tidak menembusi dan tidak terlarut campur ke dalam zat penjerap tetapi ia hanya kekal pada bahan penjerap. Selain daya van der Waals, interaksi yang wujud ini juga disebabkan oleh faktor dwikutub. Di samping itu, penjerapan fizikal berlaku dengan pantas dan berbalik.

Penjerapan kimia atau teraktif berlaku apabila wujud daya interaksi secara kimia yang kuat seperti pemindahan elektron antara zat terjerap dengan bahan penjerap yang membentuk suatu sebatian kimia antara zat terjerap dan lapisan paling luar atom-atom bahan penjerap. Penjerapan kimia melibatkan tenaga pengaktifan dan haba penjerapan daripada tindak balas kimia dan merupakan penjerapan tak berbalik [Oscik, 1982]. Selain itu, konsep asas sains penjerapan boleh diterangkan melalui isoterma penjerapan [Dabrowski, 2001].

1.11 Isoterma Penjerapan

Isoterma penjerapan menerangkan hubungan keseimbangan antara kuantiti zat terjerap dengan kepekatan di dalam fasa bendalir pukal pada suhu tetap. Ia juga