

**KEBERKESANAN MEDIA TURASAN BATU KAPUR DALAM
MENYINGKIRKAN FERUM, COD DAN BOD DARIPADA LARUT LESAPAN:
KAJIAN KES DI TAPAK PELUPUSAN SEMI-AEROBIK PULAU BURUNG**

oleh

MOHD SUFFIAN BIN YUSOFF

**Tesis yang diserahkan untuk memenuhi keperluan bagi
Ijazah Doktor Falsafah**

JULAI 2006

PENGHARGAAN

“Katakanlah: sekiranya air laut dijadikan tinta untuk menulis kalimah-kalimah (ilmu) Tuhanku, akan habislah air laut sebelum selesai menulis kalimah-kalimah (ilmu) Tuhanku, meskipun didatangkan sebanyak itu pula.” Al-Kahfi:109

Alhamdulillah, setinggi-tinggi kesyukuran ke hadrat Allah kerana izinNya jua saya dapat menyiapkan kerja-kerja penyelidikan serta penulisan tesis Ijazah Doktor Falsafah ini setelah melalui pelbagai rintangan, dugaan dan ujian. Sesungguhnya penemuan ini hanyalah sebahagian kecil daripada hikmah-hikmahNya yang maha luas.

Ucapan terima kasih tidak terhingga kepada Prof Madya Dr. Hamidi Abd Aziz selaku penyelia pertama, Prof. Dato' Dr. Kamaruddin Husin dan Prof Madya Dr. Ir. Hj. Nordin Adlan sebagai penyelia bersama atas segala seliaan, perhatian, bantuan, pandangan serta cadangan membina sepanjang pengajian ini. Seterusnya kepada seluruh kakitangan Pusat Pengajian Kejuruteraan Awam terutamanya Prof. Madya Dr. Faridah Abu Hasan Asaari dan Dr. Nor Azam Ramly yang turut memberi sumbangan yang besar.

Penghargaan ini juga ditujukan kepada Kementerian Sains dan Teknologi Malaysia penajaan dan menganugerahkan biasiswa National Science Fellowship (NSF) serta bantuan geran penyelidikan IRPA sepanjang kerja-kerja penyelidikan. Kesempatan ini juga penulis ingin mengucapkan setinggi-tinggi penghargaan kepada Majlis Perbandaran Seberang Perai dan Syarikat Idaman Bersih Sdn. Bhd. atas segala kerjasama serta bantuan sepanjang kajian ini.

Akhirnya dengan penuh terharu jutaan terima kasih untuk mak, ayah serta seluruh keluarga juga khusus untuk isteriku tersayang, Norlia Yusof serta anak-anak Nurulhusna, Muhammad Ammar, Nurul'iffah, Nurulhuda, Nurulhana dan Nurul Iman atas segala dorongan, sokongan dan pengorbanan berpanjangan. Tidak lupa jua untuk sahabat-sahabat seperjuangan yang sentiasa sabar dalam penantian.

“JazakumulLahu Khairan Jaza”

KANDUNGAN

	Muka surat
PENGHARGAAN	i
JADUAL KANDUNGAN	ii
SENARAI JADUAL	ix
SENARAI RAJAH	xi
SENARAI PLAT	xv
SENARAI SINGKATAN	xvi
SENARAI LAMPIRAN	xviii
ABSTRAK	xix
ABSTRACT	xxi
BAB 1 : PENGENALAN	
1.0 Pendahuluan	1
1.1 Pengurusan Larut Lesapan	2
1.2 Kaedah Olahan Larut Lesapan	2
1.3 Kenyataan Masalah	4
1.4 Objektif Kajian	9
1.5 Skop Dan Faktor Penghad Kajian	9
1.6 Penyusunan Tesis	11
BAB 2 : PENGURUSAN DAN OLAHAN LARUT LESAPAN	
2.0 Pendahuluan	13
2.1 Mekanisma Pembentukan Larut Lesapan	13
2.2 Faktor Yang Mempengaruhi Kuantiti Larut Lesapan	14
2.2.1 Hujan	14
2.2.2 Penyusupan Air Bumi	15
2.2.3 Kandungan Lembapan Sisa Pepejal	15
2.2.4 Reka Bentuk Penutupan Akhir	15
2.3 Ciri-ciri Dan Komposisi Larut Lesapan	16
2.4 Komposisi Larut Lesapan	16
2.4.1 Sebatian Organik	21

2.4.2	Mikroorganisma	22
2.4.3	Logam Berat	22
2.4.4	Ammonia	25
2.5	Faktor Yang Mempengaruhi Kualiti Larut Lesapan	26
2.5.1	Komposisi Sisa Pepejal	26
2.5.2	Usia Tapak Pelupusan	26
2.5.3	Suhu Persekitaran	29
2.5.4	Kehadiran Oksigen	29
2.5.5	Kelembapan	29
2.6	Olahan Larut Lesapan	30
2.6.1	Olahan Secara Biologi	32
2.6.1.1	Proses Enap Cemar Teraktif	33
2.6.1.2	Turas Cucur Aerobik	35
2.6.1.3	Penyentuh Biologi Berputar (RBC)	36
2.6.1.4	Reaktor Kelompok Berjujukan (SBR)	39
2.6.1.5	Lagun Berudara	41
2.6.1.6	Hamparan Mensiang (reed beds)	44
2.6.2	Olahan Anaerobik	45
2.6.2.1	Pencerna Anaerobik Konvensional	49
2.6.2.2	Penuras anaerobik	50
2.6.2.3	Reaktor Selimut/Hamparan Enapcemar Anaerobik Aliran Menaik (UASB)	53
2.6.2.4	Proses Nitrifikasi / Denitrifikasi	55
2.6.2.5	Ringkasan Proses Olahan Biologi	58
2.6.3	Olahan Fizikal	58
2.6.3.1	Penjerapan Karbon Teraktif	60
2.6.3.2	Osmosis Berbalik	62
2.6.3.3	Pemeluapan	64

2.6.4	Olahan kimia	65
2.6.4.1	Penyejatan kimia	66
2.6.4.2	Pengoksidaan kimia	66
2.6.4.3	Proses Penggumpalan dan Pengelompokan	68
2.6.5	Pancaran Gamma	70
2.6.6	Pelucutan Ammonia	70
2.6.7	Gabungan Sistem-sistem Fizikal/Kimia/Biologi	72
2.6.8	Penyaluran Larut Lesapan	74
2.6.8.1	Pengitaran Semula Larut Lesapan	74
2.6.8.2	Penyaluran ke Tanah Bencah	76
2.6.8.3	Pengairan Secaran Semburan	77
2.6.9	Olahan Di Luar Tapak	78
2.6.10	Kesimpulan	79
2.7	Had Standard Untuk Pelepasan Larut Lesapan	81
2.8	Penggunaan Mineral Dalam Olahan Air Sisa	83
2.8.1	Jenis-jenis Mineral	84
2.8.2	Serapan Dan Mekanisma Penyingkiran Oleh Mineral	84
2.8.3	Media Batu Kapur sebagai Media Turasan	89
2.8.4	Kegunaan Batu Kapur	89
2.9	Rekabentuk Sebuah Penuras	91
2.9.1	Isoterma Penyingkiran	92
2.9.2	Isoterma Freundlich	92
2.9.3	Kinetik Penjerapan	94
2.9.3.1	Pseudo hukum kinetik pertama (<i>Pseudo first order kinetic</i>)	94
2.9.3.2	Pseudo hukum kinetik kedua (<i>Pseudo second order kinetic</i>)	95
2.9.3.3	Serapan Intra-Partikel	96

2.9.4	Lengkung Takad Bolos	96
2.9.5	Masa Tahanan EBCT	98
2.9.6	Penentuan MTZ	99
2.9.7	Profil MTZ	102
2.10	Pendekatan Dalam Merekabentuk	104
2.10.1	Pendekatan Kinetik	104
2.10.2	Pendekatan Pembesaran Skala	105

BAB 3: TAPAK PELUPUSAN PULAU BURUNG –TAPAK KAJIAN

3.0	Latar Belakang	106
3.1	Pembangunan TPPB	108
3.2	Kelengkapan dan Kemudahan Tapak	108
3.3	Pengurusan Sisa Pepejal Dan Larut Lesapan	109
3.4	Komposisi Sisa Pepejal TPPB	113
3.5	Pengurusan Larut Lesapan	113
3.5.1	Kuantiti Larut Lesapan	113
3.5.2	Kualiti Larut Lesapan	115
3.5.3	Olahan Larut Lesapan	115

BAB 4: BAHAN DAN METODOLOGI KAJIAN

4.0	Pengenalan	119
4.1	Bahan-bahan	119
4.2	Penentuan Kualiti Media	119
4.2.1	Komposisi Kimia	119
4.2.2	Ujian Pendaflour Sinar-X (XRF)	121
4.2.3	Analisis Pembelauan Sinar-X (XRD)	121
4.2.4	Ujian Kimia Basah	121

4.3	Penyediaan Sampel Sebagai Media Tapisan	122
4.3	Penentuan Ketumpatan Media	122
4.5	Penentuan Peratus Lompang	123
4.6	Penentuan Kualiti Larut Lesapan	124
4.7	Penentuan COD	127
4.8	Penentuan BOD	127
4.9	Kajian Kecekapan Media	129
4.10	Ujikaji Kelompok	129
4.11	Penentuan Nisbah Optimum Karbon Teraktif Batu Kapur	130
4.12	Penentuan Masa Pengoncangan Optimum	131
4.13	Penentuan Masa Enapan Optimum	132
4.14	Isoterma Penyingkiran Bahan Cemar oleh Media	132
4.15	Ujikaji Lapangan	133
4.16	Penentuan Jumlah Penyingkiran	136
4.17	Analisis Statistik	136
4.18	Kajian Keberkesanan Loji Rintis	140
4.19	Carta Alir Keseluruhan Kajian	143

BAB 5: KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

5.1	Kualiti Media Turasan Dan Larut Lesapan	144
	5.1.1 Kualiti Media Turasan	144
	5.1.2 Kualiti Larut Lesapan	145
5.2	Ujian Kelompok	149
	5.2.1 Kesan Nisbah Percampuran Batu Kapur-Karbon Teraktif	149
	5.2.2 Kesan Masa Pengoncangan Terhadap Penyingkiran COD	150
	5.2.3 Kesan Masa Enapan Terhadap Penyingkiran COD	150
	5.2.4 Kesan Masa Pengoncangan Terhadap Penyingkiran Ferum	151

5.2.5	Kesan Masa Enapan Terhadap Penyingkiran Ferum	152
5.2.6	Kesan Masa Pengoncangan Terhadap Penyingkiran BOD	153
5.2.7	Kesan Masa Enapan Terhadap Penyingkiran BOD	154
5.3	Isoterma Penyingkiran COD Oleh Media	155
5.4	Isoterma Penyingkiran Ferum Oleh Media	159
5.5	Isoterma Penyingkiran BOD Oleh Media	162
5.5	Reka bentuk Turus Turasan Oleh Setiap Media	165
5.6	Kajian Berterusan Di Lapangan	169
5.6.1	Profil Penyingkiran COD Oleh Media Yang Berbeza	169
5.6.2	Analisis Varian (ANOVA) Penyingkiran COD oleh Media	170
5.6.3	Profil Penyingkiran Ferum Oleh Media Yang Berbeza	172
5.6.4	Analisis Varian (ANOVA) Penyingkiran Ferum oleh Media	173
5.6.5	Perbandingan Profil Penyingkiran Oleh Media	174
5.6.6	Profil Penyingkiran COD dan Ferum oleh Karbon Teraktif	175
5.6.7	Profil Penyingkiran Oleh Media Campuran Batu Kapur-Karbon Teraktif (5:1)	177
5.6.7	Profil Penyingkiran COD dan Ferum Oleh Pasir Silika	178
5.7	Perbandingan Kecekapan Antara Media	178
5.7.1	Profil Takat Bolos Penyingkiran Ferum Oleh Media	179
5.7.2	Profil Takat Bolos Penyingkiran COD Oleh Media	180
5.8.1	Pengaruh Beban COD Ke Atas Penyingkiran	181
5.8.2	Pengaruh Beban Ferum Terhadap Penyingkiran	182
5.9	Jumlah Penyingkiran Organik dan Logam	182
5.10	Kajian Loji Skala Rintis	183
5.11	Mekanisma Penyingkiran COD Dan Ferum Oleh Batu Kapur	185
5.11.1	Perubahan Fizikal Media Batu Kapur	185
5.11.2	Mekanisma Penyingkiran Ferum oleh Media Batu kapur	187
5.11.3	Mekanisma Penyingkiran COD Oleh Batu Kapur	191

5.12	Ujian Kinetik Terhadap Penyingkiran Ferum	194
------	---	-----

BAB 6: KESIMPULAN DAN CADANGAN

6.1	Pengenalan	197
-----	------------	-----

6.2	Kasimpulan	197
-----	------------	-----

6.3	Cadangan	200
-----	----------	-----

6.4	Penutup	201
-----	---------	-----

RUJUKAN	202
----------------	------------

SENARAI PENERBITAN & SEMINAR	229
---	------------

SENARAI JADUAL

		Muka surat
Jadual 2.1	Parameter Larut Lesapan Bagi Beberapa Negara	17
Jadual 2.2	Ciri-ciri Larut Lesapan Daripada Fasa Kematangan Yang Berbeza	28
Jadual 2.3	Kelebihan Dan Kekurangan Sistem Anaerobik	48
Jadual 2.4	Penyingkiran Nitrogen Dan Organik Melalui Proses Nitrifikasi-Dinitrifikasi	57
Jadual 2.5	Keberkesanan Sistem-Sistem Olahan Biologi	59
Jadual 2.6	Standard Pelepasan Efluen Larut Lesapan Bagi Beberapa Negara Asia dan Eropah	82
Jadual 2.7	Penggunaan Batu Kapur Dalam Olahan Air Sisa	90
Jadual 3.1	Perancangan Pembangunan TPPB Selama 4 Tahun	108
Jadual 3.2	Komposisi Sisa Pepejal TPPB	113
Jadual 3.3	Pengeluaran Larut Lesapan di TPPB	114
Jadual 4.1	Bahan Media Turasan dan Bahan Kimia Yang Digunakan	120
Jadual 4.2	Kaedah-Kaedah Yang Digunakan Dalam Ujikaji	125
Jadual 4.3	Nisbah Campuran Batu Kapur-Karbon Teraktif Dalam Penyingkiran COD	131
Jadual 4.4	Data Parameter Turus Penuras	134
Jadual 4.5	ANOVA Satu Hala	138
Jadual 4.6	Data Parameter Hampanan Batu Kapur	141
Jadual 5.1	Kualiti Media Batu Kapur	144
Jadual 5.2	Kualiti Media Pasir Silika	144
Jadual 5.3	Kualiti Karbon Teraktif.	145
Jadual 5.4	Kualiti Larut Lesapan TPPP	146
Jadual 5.5	Pemalar isoterma Freundlich Untuk Penyingkiran COD	156
Jadual 5.6	Pemalar Isoterma Freundlich Dalam Penyingkiran Ferum	159
Jadual 5.7	Pemalar isoterma Freundlich Untuk Penyingkiran BOD	162

Jadual 5.8	Data Parameter Reka Bentuk Turus Turasan	166
Jadual 5.9	Jumlah Skor untuk Media Dalam Mengolah Larut Lesapan	168
Jadual 5.10	ANOVA Satu Hala Penyingkiran COD Oleh Media Yang Berlainan	171
Jadual 5.11	ANOVA Satu Hala Penyingkiran Fe Oleh Media Yang Berlainan	173
Jadual 5.12	Jumlah Penyingkiran Organik Dan Ferum Oleh Media	183
Jadual 5.13	Prestasi Batu Kapur dan Karbon Teraktif Dalam Penyingkiran Parameter Terpilih	184
Jadual 5.14	Jisim Ferum Dalam Sampel Mendakan Mengikut Kedalaman Turus.	187
Jadual 5.15	Pengkelasan Pecahan COD	192

SENARAI RAJAH

		Muka surat
Rajah 2.1	Keseimbangan Air dan Hidrologi Tapak Pelupusan	14
Rajah 2.2	Perkembangan Larut Lesapan dan Gas Dalam Tapak Pelupusan Mengikut Peringkat Usia	18
Rajah 2.3	Perjalanan Logam Berat ke Tapak Pelupusan	23
Rajah 2.3	Perubahan Nisbah BOD/COD, COD/TOC, VS/FS Dan VFA/TOC Berbanding Usia Tapak	27
Rajah 2.5a	Sebuah Loji RBC di tapak pelupusan	37
Rajah 2.5b	Kepingan Cakera Penyentuh Biologi.	37
Rajah 2.6	Loji SBR, Tapak Pelupusan Arthurstown	40
Rajah 2.7	Lagun Berudara	43
Rajah 2.8	Hampan Mensiang Untuk Olahan Larut Lesap Di Tapak Pelupusan Bukden, UK	45
Rajah 2.9	Struktur Karbon Teraktif	60
Rajah 2.9	Loji Pemeluapam Larut Lesapan di Kujala Landfill	65
Rajah 2.11	Loji Pelucutan Ammonia Di Nent, Hong Kong	72
Rajah 2.12	Lakaran Skematik Yang Menunjukkan Fenomena Penyingkiran Logam Oleh Mineral	86
Rajah 2.13	Cas Permukaan Mineral Pada pH Larutan Berbeza	86
Rajah 2.14	Keratan Rentas Batu Kapur Selepas Kajian Penyingkiran Logam Kuprum Selama 30 Hari	87
Rajah 2.15	Mekanisma Serapan Logam Di Atas Mineral	88
Rajah 2.17	Lengkung Takat Bolos Tipikal Berbentuk 'S'	97
Rajah 2.18	Mekanisma Pembentukan MTZ pada Turus Penjerap	100
Rajah 2.19	Lengkung Takat Bolos	101
Rajah 2.20	Profil MTZ	102

Rajah 3.1	Kedudukan Pulau Burung (50 24'U, 1000 24'S)	107
Rajah 3.2	Profil Tanah Sekitar Kawasan TPPB (KPKT,1994)	110
Rajah 3.3	Paip Pengumpulan Larut Lesapan	111
Rajah 3.4	Paip Pengumpulan Gas	111
Rajah 3.5	Keratan Rentas Tapak Pelupusan Sisa Pepejal Pulau Burung	112
Rajah 3.6	Carta Alir Pengurusan Larut lesapan Bersepadu	116
Rajah 4.1	Kedudukan Fasa 1 dan Sistem Pengumpulan Larut Lesapan	124
Rajah 4.2	Kolam Pengumpulan Larut Lesapan	126
Rajah 4.3	Keratan Rentas Kolam Pengumpulan Larut Lesapan	126
Rajah 4.4	Fasa 1 Tapak Pelupusan Pulau Burung	135
Rajah 4.5	Skematik Dan Turus Turasan Larut Lesapan	135
Rajah 4.6	Carta Alir Keseluruhan Kajian	143
Rajah 5.1	Kesan Nisbah Campuran Batu Kapur-Karbon Teraktif Terhadap Penyingkiran COD dan Perubahan pH.	149
Rajah 5.1	Kesan Masa Pengoncangan Ke Atas Penyingkiran COD	150
Rajah 5.3	Kesan Masa Enapan Terhadap Penyingkiran COD	151
Rajah 5.4	Kesan Masa Pengoncangan Terhadap Penyingkiran Ferum	152
Rajah 5.5	Kesan Masa Enapan Terhadap Penyingkiran Ferum	153
Rajah 5.6	Kesan Masa Pengoncangan Terhadap Penyingkiran BOD	154
Rajah 5.7	Kesan Masa Enapan Terhadap Penyingkiran BOD	155

Rajah 5.8	Isoterma Penyingkiran COD Oleh Batu Kapur	157
Rajah 5.9	Isoterma Penyingkiran COD Oleh Media Karbon Teraktif	157
Rajah 5.10	Isoterma Penyingkiran COD Oleh Media Campuran Batu Kapur–Karbon Teraktif (Nisbah 5:1)	158
Rajah 5.11	Isoterma Penyingkiran COD Oleh Media Silika	158
Rajah 5.12	Isoterma Penyingkiran Ferum oleh Media Batu Kapur	160
Rajah 5.13	Isoterma Penyingkiran Ferum Oleh Media Karbon Teraktif	160
Rajah 5.14	Isoterma Penyingkiran Ferum Oleh Media Campuran Batu Kapur-Karbon Teraktif (Nisbah 5:1)	161
Rajah 5.15	Isoterma Penyingkiran Ferum Oleh Media Silika	161
Rajah 5.16	Isoterma Penyingkiran BOD Oleh Media Batu Kapur	163
Rajah 5.17	Isoterma Penyingkiran BOD Oleh Media Karbon Teraktif	163
Rajah 5.18	Isoterma Penyingkiran BOD Oleh Media Campuran Batu Kapur-Karbon Teraktif (Nisbah 5:1)	164
Rajah 5.19	Isoterma Penyingkiran BOD Oleh Media Silika	164
Rajah 5.20	Profil Penyingkiran COD Oleh Media	170
Rajah 5.21	Plot Kekotak Penyingkiran COD Oleh Media	171
Rajah 5.22	Profil Penyingkiran Ferum Oleh Media	172
Rajah 5.23	Plot Kekotak Penyingkiran Fe Oleh Media	173
Rajah 5.24	Profil Penyingkiran COD dan Ferum oleh Media Batu Kapur	175
Rajah 5.25	Profil Penyingkiran COD dan Ferum oleh Media Karbon Teraktif	176
Rajah 5.26	Profil Penyingkiran COD dan Ferum oleh Media Campuran	177

Rajah 5.27	Profil Penyingkiran COD dan Ferum oleh Media Silika	178
Rajah 5.28	Graf Lengkung Takatbolos Penyingkiran Ferum Oleh Media	179
Rajah 5.29	Lengkung Takat Bolos Penyingkiran COD Oleh Media	180
Rajah 5.30	Pengaruh Beban COD Terhadap Penyingkiran COD Oleh Media	181
Rajah 5.31	Pengaruh Beban COD terhadap Penyingkiran COD Oleh Media	182
Rajah 5.32	Perubahan Warna Pada Lapisan Turus Turasan. Sampel 1 (Lapisan Paling Bawah) dan Sampel 9 (lapisan paling atas). Media Kawalan Tanpa Rawatan (0).	186
Rajah 5.33	Jisim Mendakan Pada Setiap Aras Dalam Turus	186
Rajah 5.34	Graf Peratus Kandungan Logam Pada Butiran Media Batu Kapur Melawan Aras Ketinggian Turus.	188
Rajah 5.35	Peratus Kandungan Logam Dalam Sampel Mendakan	189
Rajah 5.36	Graf Hukum Pseudo Kinetik Pertama Penyingkiran Ferum Oleh Batu Kapur	195
Rajah 5.37	Graf Hukum Pseudo Kinetik Kedua Penyingkiran Ferum Oleh Batu Kapur	195
Rajah 5.38	Serapan Intra-Partikel terhadap Penyingkiran Fe Oleh Batu Kapur	196

SENARAI PLAT

		Muka surat
Plat 3.1	Paip Pengumpulan larut Lesapan	117
Plat 3.2	Kolam Pengumpulan Larut Lesapan	117
Plat 3.3	Pengitaran Semula Larut Lesapan	117
Plat 3.4	Tangki Percampuran	117
Plat 3.5	Tangki Enapan	117
Plat 3.6	Tangki media turasan	117
Plat 3.7	Tangki Pencucian akhir	117
Plat 3.7	Tangki Pencucian akhir	117
Plat 4.1	Sebuah ruang hampan penuras batu kapur dilengkapi dengan saluran paip berliang mengalirkan larut lesapan yang telah dituras.	142
Plat 4.2	Pelantar besi untuk menampung bebanan media batu kapur.	142
Plat 4.3	Media batu kapur sedang dimasukkan ke dalam ruang hampan.	142
Plat 4.4	Hampan media turasan batu kapur sedia untuk digunakan.	142
Plat 4.5	Larut lesapan (influen) dimasukkan daripada tangki penendapan primer melalui injap masuk	142
Plat 4.6	Larut lesapan (efluen) keluar daripada hampan turasan batu kapur melalui injap keluar.	142

SENARAI SINGKATAN

	Bahasa Malaysia	Bahasa Inggeris
AKAS	Akta Kualiti Alam Sekitar	Environmental Quality Act.
AUR	Kadar Penggunaan Media	Adsorbent Usage Rate
BCOD	COD Biorosot	Biodegradable COD
BET	Brunauer-Emmett-Teller	Brunauer-Emmett-Teller
BOD	Keperluan Oksigen Biokimia	Biochemical Oxygen Demand
BOD/COD	Nisbah BOD:COD	BOD:COD ratio
COD	Keperluan Oksigen Kimia	Chemical Oxygen Demand
CSTR	Reaktor Tangki Percampuran Menyeluruh	Contact Stirred Tank Reactor
EBCT	Masa Sentuhan Hamparan Kosong	Empty Bed Contact Time
EDX	X-ray Serakan Tenaga	Energy Dispersive X-ray
F-RBCOD	COD Biorosot Tertapai	Fermentable Readily Biodegradable COD
HAB	Biojisim Heterotrof Aktif	Heterotrophic Active Biomass
HRT	Masa Tahanan Hidraulik	Hdraulic Retention Time
KPKT	Kementerian Perumahan Dan Kerajaan Tempatan	Ministry of Housing and Local Government
MTZ	Zon Aliran Jisim	Mass Transfer Zone
PCOD	COD Berpartikel	Particulate COD
PZC	Titik Tanpa Cas	Point Of Zero Charge
RBC	Penyentuh Biologi Berputar	Rotating Biological Contactor
RBCOD	COD Tersedia Biorosot -	Readily Biodegradable COD
SBCOD	COD Biorosot Perlahan	Slowly Biodegradable COD
SBR	Reaktor Kelompok Berjjukan	Sequencing Batch Reactor
SCOD	COD Terlarut	Soluble COD
SCVA	Asid Lemak Rantai Pendek Meruap	Short-Chain Volatile Fatty Acid
SEM	Mikroskop Imbasan Elektron	Scanning Electron Microscope
SPM	Model Pemendakan Permukaan	Surface Precipitation Model
SRT	Masa Tahanan Enap Cemar	Sludge Retention Time
TDS	Jumlah Pepejal Terlarut	Total Dissolve Organic
TOC	Karbon Organik Jumlah	Total Organik Carbon
TPPB	Tapak Pelupusan Pulau Burung	Pulau Burung Sanitary Landfill
UASB	Reaktor Selimut Enapcemar Anaerobik Aliran Menaik	Upflow Anaerobic Sludge Blanket

UCOD	COD Tak Biorosot	Unbiodegradable COD
UPCOD	COD Tak Biorosot Berpartikel	Unbiodegradable Particulate COD
USCOD	COD Tak Biorosot Terlarut	Unbiodegradable Soluble COD
VFA	Asid Lemak Meruap	Volatile Fatty Acid
XPS	Spektroskop Foto-elektron Sinar-x	X-ray Photoelectron Spectroscopy
XRD	Pembelauan Sinar-X	X-ray diffraction (XRD)
XRF	Pendaflour Sinar-X	X-ray Flourecence

SENARAI LAMPIRAN

		Muka Surat
LAMPIRAN A	Pengkelasan Tahap Tapak Kambus Sanitari	230
LAMPIRAN B	THIRD SCHEDULE ENVIRONMENTAL QUALITY ACT., 1974, PARAMETERS LIMITS OF EFFLUENT DISCHARGE	233
LAMPIRAN C	Data Parameter Ujikaji Penentuan Nisbah Optimum Campuran Batu Kapur-Karbon Teraktif	235
LAMPIRAN D	Kesan Masa Pengoncangan dan Enapan Terhadap Penyingkiran COD, BOD dan Ferum Oleh Media	237
LAMPIRAN E	Parameter Isoterma Freundlich (Penyingkiran COD, BOD dan Ferum)	240
LAMPIRAN F	Data Ujikaji Lapangan Penyingkiran COD dan Ferum Oleh Media	244
LAMPIRAN G	Jisim Mendakan Daripada Media Batu Kapur	257
LAMPIRAN H	Keputusan Ujian XRF Terhadap Sampel Butiran Batu Kapur Selapas Ujikaji Lapangan	259
LAMPIRAN I	Fotomikrograf SEM- Mendakan Pada Media Batu Kapur dan Ringkasan Keputusan Untuk Ujian EDX Mendakan	261
LAMPIRAN J	Penggunaan DR2010 Untuk Menentukan COD	268

KEBERKESANAN MEDIA TURASAN BATU KAPUR DALAM MENYINGKIRKAN FERUM, COD DAN BOD DARIPADA LARUT LESAPAN: KAJIAN KES DI TAPAK PELUPUSAN SEMI-AEROBIK PULAU BURUNG

ABSTRAK

Kajian ini dilakukan untuk mengkaji kesesuaian batu kapur sebagai media olahan larut lesapan yang lebih murah berbanding olahan sediaada dengan memfokuskan kajian kepada larut lesapan semi-aerobik yang terdapat di Tapak Pelupusan Pulau Burung, Nibong Tebal (TPPB). Pencirian larut lesapan dilakukan selama satu tahun sebelum kajian kelompok dilakukan di makmal diikuti kajian turus di lapangan serta kajian perbandingan di loji olahan larut lesapan secara fizikal sediaada di TPPB. Parameter larut lesapan yang difokuskan adalah ferum (Fe), Keperluan Oksigen Kimia (COD) dan Keperluan Oksigen Biokimia (BOD), memandangkan kesemuanya hadir pada kepekatan yang tinggi di tapak ini. Keberkesanan batu kapur juga dibandingkan dengan media-media lain iaitu karbon teraktif, pasir silika dan campuran batu kapur-karbon teraktif pada nisbah 5:1 secara isipadu. Ujikaji kelompok melibatkan penentuan masa pengoncangan dan enapan yang optimum, nisbah campuran optimum, penentuan isoterma Freundlich yang sesuai serta ujikaji kinetik penjerapan. Kajian olahan larut lesapan berterusan dilakukan di lapangan menggunakan turus turasan yang mengandungi media yang berbeza sehingga takat bolos dicapai. Kajian dilakukan pada kadar alir 50 mL/min dan julat masa tahanan 40 ke 50 minit. Hasil kajian menunjukkan kualiti larut lesapan di TPPB berada pada tahap separa matang dengan nilai pH antara 7.4-8.8, nisbah BOD/COD yang rendah dan sukar dibiorosotkan (purata 0.1), dan mengandungi kepekatan Fe yang tinggi sebanyak 9.5 mg/L. Ujikaji kelompok memberikan masing-masing masa pengoncangan dan enapan optimum 60 dan 90 minit. Nisbah campuran optimum antara media batu kapur dan karbon teraktif adalah 5:1 (mengikut isipadu). Proses penjerapan berlaku bagi penyingkiran COD oleh karbon teraktif ($K_f=9.39 \times 10^{-4}$, $n=0.7313$) dan media campuran batu kapur-karbon

teraktif ($K_f=3.28 \times 10^{-5}$, $n=0.6239$). Proses penjerapan juga berlaku bagi penyingkiran Fe oleh semua media dengan media campuran batu kapur-karbon teraktif pada nisbah 5:1 secara isioadu memberikan nilai penjerapan yang lebih baik ($K_f=8.25 \times 10^{-2}$, $n=0.8432$) diikuti oleh media silika ($K_f = 1.37 \times 10^{-2}$, $n = 1.2721$), batu kapur ($K_f = 3.74 \times 10^{-2}$, $n = 1.3497$) dan karbon teraktif ($K_f = 2.91 \times 10^{-2}$, $n = 2.2331$). Batu kapur berupaya menyingkir sehingga 80% Fe tetapi penyingkiran COD nya adalah di bawah 30%. Penggunaan media campuran (nisbah isipadu 5:1) sebagai media turasan larut lesapan adalah pilihan yang lebih baik memandangkan lebih 90% Fe dan lebih 50% COD berjaya disingkirkan. Campuran media ini dapat mengurangkan kos kerana memerlukan karbon teraktif yang sedikit. Kajian juga menunjukkan bahawa keputusan ujian turus berterusan di lapangan adalah selari dengan keputusan loji sebenar. Ujian kinetik terhadap penyingkiran Fe oleh batu kapur menunjukkan bahawa penjerapan kimia lebih dominan daripada penjerapan fizikal serta berlakunya penjerapan intra-partikel. Penyingkiran Fe secara pemendakan dan penjerapan secara langsung akan turut mengurangkan nilai bacaan COD.

**THE EFFECTIVENESS OF LIMESTONE FILTER MEDIA TO REMOVE IRON, COD
AND BOD FROM LEACHATE: A CASE STUDY AT PULAU BURUNG SEMI-
AEROBIC LANDFILL**

ABSTRACT

This study was undertaken to determine suitability of limestone to be used as a low cost media in semi-aerobic leachate treatment at Pulau Burung Landfill Site (PBLs), Nibong Tebal as compared to the present treatment systems. Leachate characterization was conducted for 1 year prior to the batch experiment followed by column studies on site and comparative study with the existing physical treatment at PBLs. The focused parameters were iron (Fe), Chemical Oxygen Demand (COD) and Biological Oxygen Demand (BOD) as their concentrations were high at this site. The effectiveness of limestone was also compared with the other media namely activated carbon, silica and a combination of limestone and activated carbon at volume ratio 5:1. Batch experiments involved determinations of the optimum contact and settling times, optimum mixture of media, appropriate Freundlich's isotherm and the adsorption kinetics study. Continuous filtration study in the field involved different filtration columns containing all the media which were run until breakthrough. The experiments were run at flowrates 50 mL/min and contact time 40 to 50 minutes. The results indicated that leachate at PBLs was partially matured with pH range between 7.4-8.8, low BOD/COD ratio which indicates its difficulties to be further degraded (average 0.1), and high Fe concentration of 9.5 mg/L. Batch experiments had given optimum contact and settling times of 60 and 90 minutes, respectively. The optimum mixture between limestone and activated carbon was 5:1 by volume. Adsorption occurred in COD removals by activated carbon ($K_f = 9.39 \times 10^{-4}$, $n = 0.7313$) and a mixture of limestone and activated carbon ($K_f = 3.28 \times 10^{-5}$, $n = 0.6239$). Adsorption also present for Fe removals by all media with higher degree of adsorptions occurred by a mixture of

limestone and activated carbon at ratio 5:1 ($K_f = 8.25 \times 10^{-2}$, $n = 0.8432$) followed by silica ($K_f = 1.37 \times 10^{-2}$, $n = 1.2721$) and limestone ($K_f = 2.91 \times 10^{-2}$, $n = 2.2331$). Limestone had removed Fe over than 80% however COD removal was less than 30%. The use of a mixture of limestone and activated carbon (volume ratio 5:1) was the better choice of leachate treatment as it was able to remove over than 90% Fe and over than 50% COD. Combinations of this media may save the cost of treatment as lower amount of activated carbon are needed. Column study exhibited similar results as achieved by the actual plant. Kinetic study on Fe removal by limestone suggested that chemisorption was dominant than the physisorption, though intra-particles adsorption were also present. Fe removal by precipitation and adsorption had direct relations with COD reductions.

BAB 1

PENGENALAN

1.0 Pendahuluan

Sisa pepejal yang dihasilkan di Malaysia semakin hari semakin meningkat selari dengan peningkatan penduduk Malaysia iaitu sebanyak 2 % setahun. Pada tahun 2000 setiap penduduk dianggarkan telah menjana sebanyak 0.9 kg sisa pepejal/hari. Hanya 70 % sahaja daripada sisa tersebut dikutip oleh pihak pengurusan kerajaan tempatan (KPKT, 2000). Adalah dianggarkan bahawa pada tahun 2000, 532,000 tan (665,000 m³) sampah akan diuruskan oleh PBT di Semenanjung Malaysia setiap bulan. Sekiranya sampah yang dikutip ini dikumpulkan di padang Dataran Merdeka Kuala Lumpur selama 6 bulan, longgokan sampah ini akan mencapai ketinggian 421m, iaitu menyamai ketinggian Menara Kuala Lumpur, menara telekomunikasi keempat tertinggi di dunia (KPKT , 1999).

Sisa pepejal yang diuruskan oleh setiap kerajaan tempatan kemudiannya akan dikumpulkan di suatu tapak khas. Menurut laporan KPKT yang dikemaskini pada April 2002 terdapat sebanyak 161 tapak pelupusan di Malaysia. Namun demikian masih terdapat sebanyak 77 (48 %) buah tapak pelupusan mengamalkan kaedah longgokan terbuka dan hanya 16 (10 %) buah sahaja yang mempunyai sistem pengurusan larut lesapan.

Larut lesapan merupakan cecair hasil pencernaan sisa pepejal dengan bantuan kehadiran air hujan. Kepelbagaian komposisi sisa pepejal menyumbang kepada pencemaran larut lesapan dengan peningkatan paras COD serta BOD dan logam terlarut. Peningkatan ketoksidan akan berlaku dengan meningkatnya kandungan nitrogen, logam, bahan organik, dan pertukaran pH. Larut lesapan yang mengalir keluar dari timbunan

atau longgokan sampah akan mencemarkan sumber air persekitaran sama ada air bumi atau air permukaan.

1.1 Pengurusan Larut Lesapan

Reka bentuk sesebuah tapak pelupusan termasuk kemudahan pengumpulan dan olahan larut lesapan memainkan peranan penting terhadap kawalan pencemaran sistem pengurusan larut lesapan. Di sesebuah tapak pelupusan sanitari, larut lesapan ini dikumpul dengan meletakkan lapisan tidak telap air sebagai alas pada dasar tapak pelupusan. Kebiasaannya bahan yang digunakan sebagai pengalas lapisan ini adalah tanah lempung dan geotekstil. Kemudian paip-paip pengumpulan dipasang secara mendatar di atas lapisan tersebut untuk memudahkan pengaliran larut lesapan disalurkan ke sebuah tangki tahanan melalui satu paip utama. Saluran paip ini juga akan bertindak sebagai paip saluran pengudaraan dan menjadikan tapak pelupusan ini sebagai semi-aerobik. Di samping itu juga paip-paip ventilasi gas dipasang secara menegak pada setiap sambungan paip pengumpulan larut lesapan bertujuan menyalurkan bio-gas ke udara.

1.2 Kaedah Olahan Larut Lesapan

Larut lesapan yang terhasil dan terkumpul perlu diolah terlebih dahulu sebelum dilepaskan sebagai efluen ke persekitaran. Terdapat pelbagai teknik olahan larut lesapan yang diamalkan, iaitu lagun pengudaraan, enap cemar teraktif, osmosis berbalik, tapisan dan lain-lain (Robinson *et al.*, 1992; Qasim & Chiang, 1994; Johannessen, 1999; Pohland & Kim, 1999; Doyle *et al.*, 2001; Clabaugh, 2001; Tatsi & Zouboulis, 2002).

Kebiasaannya loji olahan mempraktikkan gabungan antara teknik-teknik tersebut dan bergantung kepada tujuan serta keperluan olahan. Teknik yang digunakan di beberapa tempat di Malaysia seperti di Air Hitam Puchong, Jinjang Selangor dan Ampang

Jajar Seberang Perai adalah tangki pengudaraan, tangki enapan diikuti dengan tapisan dan penggilapan akhir (THE STAR 15 April 1995, Ramly 1993). Tapak-tapak pelupusan lain di Malaysia hanya menyediakan kolam tahanan tanpa sebarang olahan lanjutan.

Kaedah turasan merupakan salah satu kaedah yang diamalkan untuk mengurangkan kandungan BOD, COD dan logam berat. Antara media tapisan yang digunakan ialah karbon teraktif dan mineral lempung seperti zeolite, montmorillonite, kaolinite, geothite dan lain-lain (Crocket & Winchester, 1966; Tsusue & Holland, 1966; Lorens, 1981; Aziz et al., 2001; Wang & Reardon, 2001 dan Sanchez & Ayuso, 2002; Jbauer, 1956). Namun demikian kos penggunaan media tersebut adalah agak tinggi dan perlu disediakan satu alternatif lain bagi mengatasi masalah tersebut tanpa mengurangkan kualiti larut lesapan yang dihasilkan.

Batu kapur merupakan antara pilihan yang sesuai kerana ia berkemampuan menyingkirkan logam berat dari air sisa industri. Jika dibandingkan dengan karbon teraktif, batu kapur dapat menyaingi karbon teraktif untuk menyingkir beberapa logam berat daripada air sisa (Aziz & Smith, 1992).

Mineral lempung pula digunakan sebagai media tapisan untuk mengurangkan kandungan BOD dan COD daripada air sisa industri khususnya industri pulpa. Batu kapur mempunyai beberapa sifat yang sama pada mineral lempung seperti keporosan, luas permukaan, cas permukaan dan kandungan kimia dan ianya sesuai digunakan sebagai media tapisan. Batu kapur mudah diperolehi dari hasil sampingan industri marmar.

1.3 Kenyataan Masalah

Menurut perangkaan Kementerian Perumahan dan Kerajaan Tempatan bertarikh 22 April 2002, masih terdapat 77 daripada 161 tapak pelupusan yang dikategorikan sebagai tidak sanitari di seluruh Malaysia. Tapak pelupusan sanitari merupakan tapak yang dilengkapi dengan kemudahan sistem pengumpulan larut lesapan, paip ventilasi gas dan sampah akan dilitupi dengan bahan penutup, misalnya tanah setiap hari. Pelbagai masalah akan berlaku pada sesebuah tapak pelupusan yang tidak sanitari antaranya:

1. Menjadi tempat pembiakan lalat dan serangga
2. Mengeluarkan bau busuk
3. Bio-gas yang boleh mengakibatkan kebakaran di tapak pelupusan
4. Pencemaran air bumi
5. Pencemaran air permukaan

Berdasarkan pengkelasan tapak pelupusan sisa pepejal dalam Lampiran A, hanya terdapat 16 buah daripada 161 tapak pelupusan sisa pepejal mempunyai kelengkapan pengumpulan dan pengawalan larut lesapan (Matsufuji, 1990 ; KPKT, 2001). Hanya 6 buah (10 %) tapak pelupusan sahaja daripada jumlah tersebut yang dilengkapi dengan sistem olahan larut lesapan. Faktor kos olahan serta teknologi yang tinggi merupakan faktor utama yang menyebabkan pengabaian terhadap olahan larut lesapan.

Menurut Jabatan Alam Sekitar Pulau Pinang (Star Online, 2002) masih belum terdapat di Malaysia sebuah loji olahan larut lesapan yang mengamalkan konsep bersepadu dengan teknologi serta kos yang munasabah. Oleh itu satu kajian untuk menghasilkan sebuah loji yang mudah, lagi murah serta bersepadu amat perlu, sesuai dengan persekitaran dan tenaga kerja yang ada di Malaysia.

Beberapa kajian sebelum ini menunjukkan keupayaan batu kapur dalam menyingkirkan logam berat daripada air sisa industri serta menjimatkan kos olahan (Aziz & Smith, 1992). Oleh yang demikian, kajian ini dilakukan untuk mengkaji kesesuaian batu kapur dalam olahan larut lesapan.

Kandungan organik yang tinggi dalam larut lesapan dari tapak kambus tanah muda lebih mudah diolah menggunakan olahan biologi (Venkataramani et.al. 1974; Bagchi, 1990). Lema et.al., (1998) pula mendapati kaedah olahan biologi sangat cekap dalam mengurai sebatian berat molekul yang rendah yang biasanya hadir dalam larut lesapan muda. Walau bagaimana pun terdapat beberapa parameter dari larut lesapan muda yang menghalang atau mengganggu olahan biologi. Kaedah kimia fizikal diperlukan untuk mengatasi masalah ini. Sebagai contoh logam berat kepekatan yang tinggi seperti kuprum, zink dan nikel boleh menghalang tindakbalas biologi. Pemendakan secara kimia fizikal boleh digunakan untuk mengurangkan kepekatan logam berat ini (McBean, et al., 1995).

Manakala kaedah kimia fizikal juga sangat cekap digunakan untuk mengolah larut lesapan dari tapak kambus matang atau larut lesapan yang secara biologinya telah stabil (Qasim & Chiang, 1994). Pada dasarnya proses kimia fizikal diperlukan sebagai pra olahan larut lesapan muda sebelum melalui olahan secara biologi.

Menurut McBean, *et al.*, (1995), penjerapan karbon teraktif terhadap larut lesapan muda akan menghasilkan penyingkiran TOC yang rendah kerana daya tarikan karbon teraktif yang lemah terhadap asid-asid lemak meruap. Walau bagaimanapun, penjerapan karbon teraktif menunjukkan keberkesanan yang tinggi apabila mengolah bahan organik tegar yang sukar biorosot dan asid humik yang terdapat di dalam larut lesapan matang.

Kedua-dua bahan pengoksida iaitu ozon dan hidrogen peroksida lebih digemari dari klorin untuk mengoksidakan larut lesapan kerana tidak menghasilkan hasil sampingan berklorin (Enzminger, *et al.*, 1987). Pengoksidaan kimia adalah kaedah olahan yang paling mahal untuk digunakan dan hanya berkesan dari segi kos apabila mengolah larut lesapan dengan nisbah BOD:COD yang rendah atau dengan kepekatan bahan organik yang rendah (Harris & Gaspar, 1989). Kaedah tersebut juga menggunakan tenaga yang intensif dan memerlukan langkah pencegahan yang khas (Enzminger, *et al.*, 1987).

Gabungan sistem biologi aerobik-anaerobik juga telah dibuktikan sebagai kaedah yang berkesan untuk mengolah larut lesapan (Dienemann, *et al.*, 1990; Venkataramani, *et al.*, 1988). Venkataramani, *et al.*, (1988) telah mengesyorkan teknik pra-olahan anaerobik disusuli dengan langkah penggilapan aerobik sebagai suatu pendekatan yang optimum. Gabungan sistem-sistem anaerobik-aerobik juga telah dibuktikan berkesan untuk menguraikan secara menyeluruh kebanyakan sebatian alifatik berklorin, propena dan etana di dalam larut lesapan.

Olahan-olahan biologi juga telah digabungkan dengan jayanya dengan kaedah-kaedah fizikal/kimia (Pohland, *et al.*, 1985; Kettern, 1991; Ahlert & Kosson, 1990; Albers & Kayser, 1987). Keenan, *et al.*, (1984) telah merumuskan bahawa tiada satupun di antara kaedah olahan berasingan yang dapat mencapai keberkesanan penyingkiran bahan-bahan pencemar dalam larut lesapan dengan baiknya. Mereka menganjurkan supaya kaedah gabungan perlu diguna pakai di mana kaedah fizikal-kimia digunakan untuk menyingkirkan logam berat dan menghidrolisis sebahagian dari pecahan organik, manakala kaedah biologi pula digunakan untuk menstabilkan bahan organik yang boleh terurai.

Satu permasalahan yang serius yang dihadapi semasa mengolah larut lesapan adalah berkaitan dengan penyingkiran ammonia-nitrogen. Walau bagaimanapun, kaedah fizikal-kimia boleh digunakan sebagai langkah pra-olahan untuk menyingkirkan ammonia-nitrogen sebelum olahan biologi dimulakan (Robinson & Maris, 1979). Namun denitrifikasi pada peringkat aerobik pula biasanya tidak lengkap kerana kandungan karbon yang rendah. Untuk mendapatkan denitrifikasi yang lengkap (Abeling & Seyfried, 1992), sumber karbon dari luar seperti metanol dan biogas perlu sentiasa ditambahkan ke dalam sistem.

Sebagaimana yang dinyatakan oleh Kennedy, *et al.*, (1988), kesemua pilihan kaedah olahan adalah mahal tetapi analisis ekonomi akan menunjukkan bahawa kos senggaraan yang agak tinggi adalah lebih murah daripada kos kendalian yang semakin meninggi. Sementara itu, sesuatu strategi olahan yang sesuai untuk sesebuah tapak mungkin tidak sesuai untuk tapak yang lain.

Ciri-ciri larut lesapan yang sentiasa berubah dari segi kuantiti dan kualitinya juga perlu diambil kira dalam reka bentuk dan aturcara pengendalian. Daripada literatur, didapati kaedah olahan biologi merupakan kaedah yang paling kos efektif untuk tujuan penyingkiran bahan organik, di mana proses aerobik adalah paling mudah untuk dikawal, manakala proses anaerobik pula tidak memerlukan tenaga yang tinggi dan kadar penghasilan enap cemar adalah lebih rendah.

Kaedah olahan fizikal-kimia pula telah dibuktikan berkesan dalam menyingkirkan logam berat dan bahan berkoloid. Walau bagaimanapun, kaedah tersebut tidak kos efektif kerana memerlukan kadar dos bahan kimia yang tinggi dalam pengendaliannya (Harrington & Maris, 1986). Selain itu, ia juga menjanakan enap cemar yang berpotensi

berbahaya (Harris & Gaspar, 1988; Saint-Fort, 1992) yang perlu dilupuskan mengikut peraturan yang disyaratkan.

Penggunaan olahan biologi hanya akan menyingkirkan bahan organik biosot pada kadar maksimum 30 % sahaja (Hayer *et al*, 1998). Menurut Amokrane *et.al* (1997) pula kaedah yang paling baik bagi larut lesap yang matang adalah kaedah penggumpalan dan pengelompokan bersepadu dengan kaedah penjerapan karbon teraktif serta osmosis berbalik. Manakala penggunaan kaedah biologi, pengoksidaan kimia dan pemendakan kimia adalah sederhana baik. Qasim dan Chiang (1994) tidak mencadang olahan biologi terhadap larut lesapan daripada fasa metanogenik, bahkan mereka lebih cenderung untuk memilih olahan secara fizikal dan kimia.

Oleh kerana tidak terdapat satupun proses tunggal untuk mengolah larut lesapan yang berupaya untuk mematuhi syarat-syarat pelepasan efluen yang minimum, dengan yang demikian, proses gabungan yang direka bentuk khusus bagi mengolah larut lesapan yang spesifik adalah pilihan yang paling sesuai. Oleh kerana pencirian larut lesapan yang pelbagai dan sentiasa berubah mengikut usianya, tiada di antara alternatif olahan samada secara fizikal, kimia mahupun biologi yang dijalankan secara bersendirian dapat memberikan penyingkiran yang menyeluruh terhadap bahan pencemar dalam larut lesapan. Penggunaan satu proses sahaja akan menjadikan pengolahannya kurang cekap terhadap perubahan kualiti larut lesapan (McBean, *et al.*, 1995). Lantaran itu, pilihan olahan yang paling berkesan adalah gabungan di antara sistem-sistem fizikal, kimia dan biologi di mana setiap sistem tersebut akan memainkan peranan yang spesifik dalam pengolahan larut lesapan.

1.4 Objektif Kajian

1. Melaksanakan kajian pencirian larut lesapan untuk 15 parameter utama seperti dalam senarai standard B Akta Kualiti Alam Sekeliling (AKAS)
2. Menentukan keberkesanan media batu kapur dalam menyingkirkan 3 parameter utama larut lesapan iaitu Ferum (Fe), Keperluan Oksigen Kimia (COD) dan Keperluan Oksigen Biokimia (BOD) secara ujian kelompok. Keberkesanan media ini juga akan dikaji melalui ujian turus, melibatkan parameter terbaik daripada ujian kelompok.
3. Membandingkan keupayaan media batu kapur dan media lain iaitu karbon teraktif, pasir silika dan campuran batu kapur-karbon teraktif (nisbah campuran 5:1) dalam menyingkirkan COD, BOD dan Ferum secara ujian kelompok dan ujian turus.
4. Menguji kewujudan proses penjerapan yang mungkin berlaku melalui ujian isoterma Freundlich dan seterusnya menentukan kinetik penjerapan yang hadir untuk media batu kapur.
5. Menentukan mekanisma penyingkiran Fe dan COD oleh turas batu kapur.

1.5 Skop dan Faktor Penghad Kajian

Skop kajian ini adalah merangkumi pencirian larut lesapan di TPPB serta kajian keboleholahan menggunakan batu kapur sebagai media turasan dalam sistem olahan larut lesapan berbanding media lain, iaitu karbon teraktif, pasir silika dan campuran batu kapur-karbon teraktif. Parameter-parameter optimum reka bentuk sebuah loji olahan larut lesapan di Tapak Pelupusan Pulau Burung juga akan ditentukan melalui kajian ini. Pada masa yang sama kajian turut bertujuan untuk menentukan mekanisma yang berlaku di sebalik penyingkiran logam ferum dan sebatian organik yang dikaji.

Fokus kajian adalah tentang turas batu kapur dalam menyingkirkan Fe dari larut lesapan memandangkan kajian sebelum ini menunjukkan bahawa batu kapur amat cemerlang dalam menyingkirkan logam berat (Lorens, 1981; Yang et.al 1999; Wang & Reardon, 2001; Aziz et al., 2001; Garcia-Sanchez & Ayuso, 2002). Dalam melaksanakan kajian ini parameter COD dan BOD juga dikaji secara ringkas. Isoterma penjerapan dilakukan untuk kesemua media dan ketiga-tiga parameter. Walau bagaimanapun kiraan rekabentuk penuras adalah berdasarkan parameter yang menunjukkan keupayaan penjerapan.

Kecekapan batu kapur dalam menyingkirkan parameter-parameter di atas juga dibandingkan dengan 3 media yang lain, iaitu karbon teraktif, silika serta campuran antara batu kapur-karbon teraktif pada nisbah yang berbeza. Perbandingan keupayaan loji skala makmal dan loji sebenar adalah untuk batu kapur sahaja. Begitu juga kajian penentuan mekanisma penjerapan hanya melibatkan turas batu kapur sahaja.

Hanya isoterma Freundlich sahaja digunakan dalam kajian ini untuk mengenalpasti kecekapan penjerapan bahan cemar oleh media. Penggunaan isoterma Langmuir tidak digunakan memandangkan isoterma Langmuir biasanya digunakan dalam penyingkiran bahan jerapan daripada gas manalaka isoterma Freundlich biasanya digunakan untuk penyingkiran bahan jerapan daripada cecair (USACE,2001; NCCES, 2001).

Mekanisma penyingkiran hanya melibatkan turas batu kapur sahaja kerana batu kapur adalah media yang terbaik untuk penyingkiran logam (Fe) daripada air sisa industri (Aziz & Smith, 1992). Berdasarkan kajian lapangan kadar penyingkiran lebih lama. Loji sebenar di lapangan hanya mempunyai turas penuras batu kapur dan keputusan di antara loji dan makmal boleh dilakukan. Proses regenerasi tidak dilakukan

memandangkan kajian ini hanya untuk menentukan takad bolos dan mekanisma penyingkiran ferum dan bahan organik sahaja.

1.6 Penyusunan Tesis

Tesis ini terdiri dari 6 bab. Bab 1 merupakan bab pertama, iaitu pendahuluan kepada kajian ini. Bab 2 merupakan kajian literatur tentang pengurusan serta olahan larut lesapan, kajian tentang penggunaan batu kapur sebagai media turasan serta keperluan-keperluan dalam mereka bentuk sesebuah sistem turasan.

Pada Bab 3 memfokuskan tentang Tapak Pelupusan Pulau Burung yang menjadi lokasi kes kajian. Latar belakang tapak kajian dihuraikan secara ringkas dan rasional pemilihan tapak kajian ini juga dibincangkan. Selain itu sistem yang digunakan dalam pengurusan tapak pelupusan tersebut juga diperincikankan yang menjadi salah satu kajian kes terhadap hasil sistem tersebut, iaitu kualiti larut lesapan.

Bab 4 pula membincangkan metodologi kajian termasuk kajian kelompok berserta kaedah-kaedah yang digunakan. Seterusnya kaedah ujian berterusan yang dijalankan di lapangan menggunakan larut lesapan segar dibincangkan. Kajian perbandingan antara batu kapur dan 3 jenis media lain juga diperincikan dalam bab ini. Kajian kecekapan media batu kapur pada skala sebenar juga dilakukan.

Bab 5 menyenarai dan membincangkan keputusan daripada kajian kelompok dibincangkan termasuk aspek penentuan isoterma penjerapan. Perbincangan tentang keberkesanan ujian skala makmal dan skala sebenar juga dibuat dalam bab ini, iaitu untuk menyingkirkan COD dan Ferum. Seterusnya bab ini membincangkan tentang reka bentuk sebuah turus penuras bagi setiap media untuk untuk menyingkirkan bahan cemar.

Pada akhir bab ini membicarakan tentang ujian yang dijalankan terhadap media batu kapur bagi menentukan mekanisma penyingkiran yang berlaku dan kajian kinetic terhadap penyingkiran ferum oleh batu kapur. Bab 6 merupakan bab terakhir yang menyenaraikan kesimpulan dan cadangan hasil daripada kajian yang dijalankan.

BAB 2

PENGURUSAN DAN OLAHAN LARUT LESAPAN

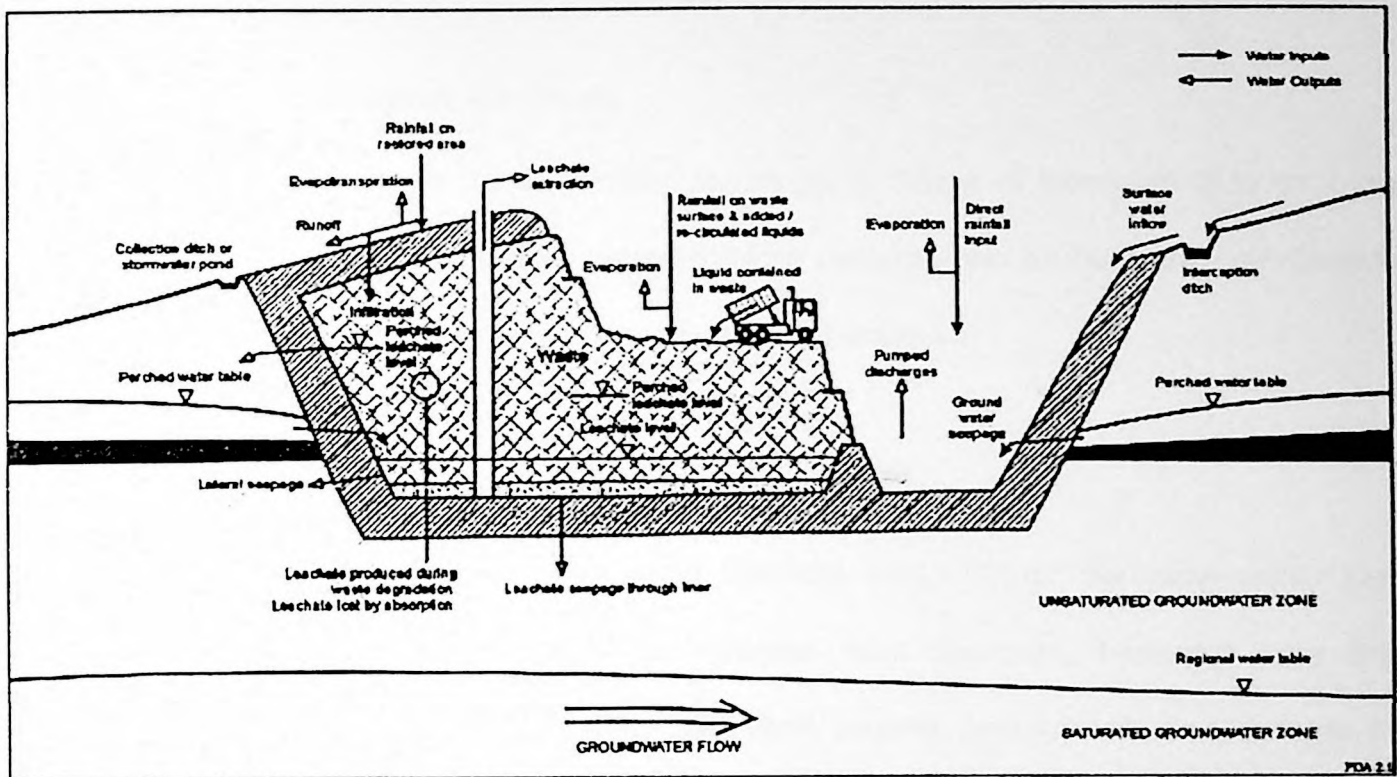
2.0 Pendahuluan

Larut lesapan merupakan cairan yang mengalir keluar melepasi sisa pepejal di sesebuah tapak pelupusan (Glosari Alam Sekitar, 1995). Ia dihasilkan oleh proses biologi, kimia dan fizikal yang berlaku dalam sesebuah tapak pelupusan. Larut lesapan ini adalah berbeza dari segi kuantiti dan kualitinya yang bergantung kepada banyak faktor. Dua aspek utama dalam pengurusan larut lesapan adalah pengumpulan dan olahan larut lesapan. Reka bentuk sesebuah tapak pelupusan sisa pepejal mempengaruhi kaedah pengumpulan dan olahan larut lesapan. Oleh itu kajian ke atas kuantiti dan kualiti larut lesapan memainkan peranan penting dalam membina sebuah sistem olahan.

2.1 Mekanisma Pembentukan Larut Lesapan

Proses biologi, kimia dan fizikal yang berlaku dalam sesebuah tapak kabus tanah akan menghasilkan larut lesapan. Ketahanan lembapan dalam sisa adalah akibat daya pegangan daripada tekanan kapilari dan ketegangan permukaan. Pelepasan air berlaku apabila magnitud daya graviti mengatasi daya pegangan (El-Fadel, 2002) di mana kelembapan air yang tinggi melebihi daya serapan oleh sisa pepejal. Air yang membasahi tapak kabus tanah adalah berpunca daripada air hujan, air bumi, sisa cecair, proses penguraian, lembapan bahan penutup dan cecair daripada sisa itu sendiri (Tchobanoglous et al., 1993). Penyusupan ke bawah melalui sisa pepejal serta pencernaan bahan cecair akan menghasilkan larutan yang tercemar oleh bahan organik, logam berat serta lain-lain.

Secara amnya mekanisma pembentukan larut lesapan adalah melalui beberapa langkah seperti diperincikan dalam Rajah 2.1.



Rajah 2.1: Keseimbangan Air dan Hidrologi Tapak Pelupusan (Sumber: PA, 2001)

2.2 Faktor Yang Mempengaruhi Kuantiti Larut Lesapan

. Menurut Farquhar (1989) dan El-Fadel *et al.*, (2002) kadar hujan, penyusupan air bumi, kandungan lembapan sisa pepejal dan reka bentuk penutupan akhir sangat mempengaruhi kadar pengeluaran larut lesapan.

2.2.1 Hujan

Kuantiti larut lesapan banyak dipengaruhi oleh jumlah hujan yang membasahi permukaan tapak kambus tanah. Oleh itu, kuantiti larut lesapan yang dihasilkan selepas hari hujan adalah melebihi daripada hari kering. Begitu juga terdapat perbezaan yang jelas jika dibandingkan dengan kuantiti larut lesapan

yang dihasilkan di kawasan dengan purata hujan tahunan yang tinggi berbanding purata hujan tahunan yang rendah.

2.2.2 Penyusupan Air Bumi

Terdapat juga tapak kambus tanah yang dibina di kawasan aras air bumi yang tinggi. Keadaan ini akan menyebabkan penyusupan air bumi dan merupakan penyumbang kepada peningkatan kuantiti larut lesapan.

2.2.3 Kandungan Lembapan Sisa Pepejal

Selain sisa pepejal, sisa yang biorosot, enap cemar dan sisa cecair juga banyak menyumbang ke arah peningkatan larut lesapan. Terdapat juga sisa pepejal yang menyerap lembapan sebelum proses penguraian dan sampai ke tahap tepu (Jenkins & Pettus, 1985; Emberton, 1986; dan Kruempelbeck, 1999). Lembapan ini akan keluar sebagai larut lesapan seiring dengan penguraian sisa.

2.2.4 Reka Bentuk Penutupan Akhir

Reka bentuk penutupan akhir sesebuah tapak kambus tanah akan mempengaruhi kuantiti larut lesapan berdasarkan beberapa faktor iaitu kecerunan, lapisan penutup dan tumbuhan litup. Kecerunan lapisan penutup akan membantu air larian untuk memasuki sistem perparitan. Jenis lapisan penutup seperti tanah juga akan mempengaruhi penyusupan air hujan dan pemelupuan air dari tapak pelupusan.

2.3 Ciri-Ciri Dan Komposisi Larut Lesapan

Kualiti utama larut lesapan biasanya ditentukan oleh kehadiran kepekatan kandungan organiknya. Kandungan organik ini diwakili oleh parameter BOD₅, COD dan TOC. Menurut Henry & Prasad (2000) kualiti larut lesapan dibahagikan kepada 3 julat kepekatan berdasarkan kandungan COD dan BOD₅, iaitu larut lesapan berkekuatan rendah (COD < 2,000 mg/L atau BOD₅ < 200 mg/L), larut lesapan berkekuatan sederhana (COD antara 2,000 - 5,000 mg/L atau BOD₅ antara 200-500 mg/L) dan larut lesapan berkekuatan tinggi (COD melebihi 5,000 mg/L atau BOD₅ melebihi 500 mg/L). Selain itu kualiti larut lesapan juga dinilai berdasarkan kandungan ammonia, logam berat, kekeruhan dan pepejal terampai. Ciri-ciri dan komposisi larut lesapan akan berbeza dari satu tapak dengan satu tapak yang lain seperti yang diperincikan dalam Jadual 2.1.

2.4 Komposisi Larut Lesapan

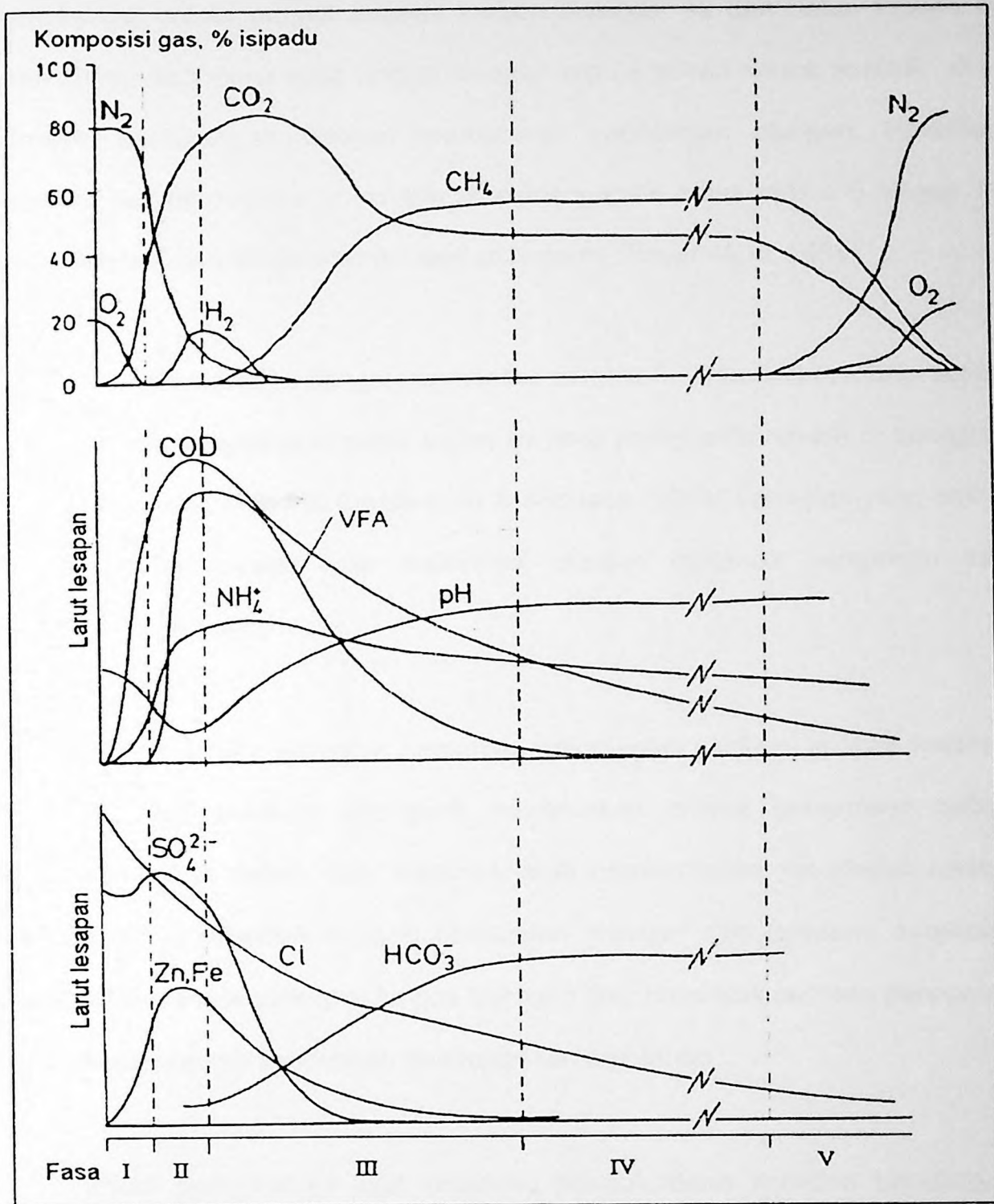
Komposisi larut lesapan juga menggambarkan kualitinya dan juga akan berbeza berdasarkan faktor-faktor yang mempengaruhi kualitinya. Pohland *et.al* (1990) dan Christensen *et al.*, (2001) telah membahagikan kehadiran pelbagai elemen dalam komposisi larut lesapan kepada 5 fasa seperti dalam Rajah 2.2, mengikut turutan perbezaan usia tapak kambus tanah iaitu:

Fasa I (penguraian awalan) menunjukkan satu penurunan paras oksigen (O₂) dan Nitrogen (N₂) dalam fasa gas, manakala karbon dioksida (CO₂) merupakan komponen yang utama. Fenomena ini berlaku akibat penggunaan oksigen oleh mikroorganisma aerobik dan fakultatif yang mengoksidakan bahan organik kepada karbon dioksida. Sisa yang baru dan segar biasanya mengandungi bahan yang mudah mereput. Satu peningkatan kandungan organik yang mendadak diukur sebagai keperluan oksigen kimia (COD) akibat penguraian dan pelarutan pepejal.

Jadual 2.1: Parameter Larut Lesapan Bagi Beberapa Negara

	Turki ¹		China ²		Thailand ³			India ⁴		Sri Lanka ⁵		Malaysia ⁶			Hong Kong ⁸		USA ⁹	
	Istanbul	Shenzhen xiaping	Datianshan	Phitsanulok	Pathumthani	Nonthaburi	Okhla, New Delhi	Chennai	Sabak Bernam	Taman Beringin	Air Hitam ⁷	Nent	Went	Florida	Road Island			
Umur (Tahun)	6	2	10	1	9	20	9	16	7	16	<1	6	10	1	16			
Kealkalian (mg/L)	3800-13040			300-4700	6,620	1140-5800	8.4		1200-1550	3750-9375	450-3700	10,700-11,700	3230-4940	800-4,000	2,250			
pH	6.2-8.4	7.8		7.1-8.3	8.1	8.1-8.5		7.3-9.3	8.0-8.1	7.8-8.7	5.4-7.7	8.1-8.6	7.6-8.1	5.2-6.4				
Klorida	725-8500	-	-	-	2530	3600-4200	16000	119-5856	420-1820	875-2875	-	2320-2740	522-853	600-800	70			
SS	670-2720	250	358.63	1950	12.5	150-746	-	-	111-920	420-1150	1875	40-53	3-124	-	-			
TS	-	-	-	6700	484	767-2155	-	-	-	10300-13680	4568-6786	-	-	100-7-	-	-		
COD	5850-47800	13040	3670	4900-11000	3200	8800-17600	23306	71-5100	1250-2570	1960-5500	-	2460-2830	641-873	10000-40000	400			
BOD	3500-28500	3220	1205	3000-7150	280	800-1800	1848	3-207	726-1210	562-1990	5000-15000	-	-	7500-28000	80			
TKN	1550-3590	-	-	-	1256	154-2540	450	-	-	104-1014	-	2219-2860	889-1180	-	-	-		
NH3-N	-	2090	845	150-1250	-	-	745	-	3-8	2-47	-	1190-2700	784-1156	-	-	-		
Ni	0.16-4.6	0.39	-	0.02-1.56	0.25	0.2-0.66	0.17	0.026-1.05	-	0-0.6	-	-	-	-	-	-	-	
Cd	1.0	0.01	0.126	0.037	0.002	0.001	-	0.001-0.05	0-0.001	0-0.15	-	-	-	-	-	-	<0.05	
Pb	0.78	0.08	3.25	0.03-0.45	-	0.06	0.72	0.009-0.646	0-0.03	0.345	-	-	-	-	-	-	1.0	
Cr	0.52	0.046	0.269	-	0.07	0.06-1.16	16.9	0.001-0.898	-	0.04-0.70	-	-	-	-	-	-	-	
Hg	-	-	-	0.50-1.70	-	-	0.4	0.002-0.018	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Sumber: 1. Calli et. al (2004) 2. NRI China (2003); 3. Pollution Control Department (2000) dan Sivapornpun (2000); 4. NRI India (2003); 5. NRI Sri Lanka (2003) 6. Agamuthu (1999); 7. World wide Landfill (1997); 8. Robinson & Luo (1991); 9. Qasim & Chiang (1994)



Rajah 2.2: Perkembangan Larut Lesapan dan Gas Dalam Tapak Pelupusan Mengikut Peringkat Usia (Pohland *et.al*, 1990 dan Christensen *et.al*, 2001)

Proses penguraian pada peringkat ini adalah secara aerobik di mana penggunaan oksigen yang cekap oleh mikrob berlaku. Bakteria aerobik akan

menukarkan bahan organik kepada karbon dioksida, air dan haba. Proses ini akan mengambil masa yang singkat di mana segala aktiviti mikrob aerobik akan semakin berkurangan dengan merosotnya kandungan oksigen. Peralihan keadaan aerobik kepada aneorobik akan mengambil masa antara 6 hingga 18 bulan selepas sisa dilupuskan di tapak pelupusan (Hayer et. al, 1998)

Keaktifan proses penguraian secara aerobik ini juga berbeza bagi setiap lapisan tapak pelupusan di mana kawasan yang paling aktif adalah di bahagian yang paling atas. Menurut Christensen & Kjeldsen (2001) bahagian yang paling atas tapak pelupusan akan menerima oksigen daripada pengaliran dan penyusupan air hujan.

Fasa II (asidogenik) terbentuk berikutan kekurangan oksigen apabila bakteria penapaian dan bakteria asidogenik meneruskan proses penguraian bahan mudah terurai di dalam sisa. Hasilnya ialah pembentukan mendadak karbon dioksida (CO_2) serentak dengan kehilangan nitrogen dan keadaan anaerobik akan berlaku. Pada peringkat ini gas hidrogen (H_2) terbentuk semasa penapaian boleh meningkatkan kandungan gas tapak kambus tanah.

Pada peringkat ini juga sebarang pengoksidaan sebatian bernitrogen akan diturunkan kepada sama ada nitrogen atau ammonia (NH_3). pH larut lesapan akan menjadi rendah kerana kehadiran hasil penapaian berasid iaitu, asid lemak meruap (VFA). Kepekatan ion ammonium (NH_4^+) dalam larut lesapan juga akan meningkat akibat daripada penguraian bahan-bahan berprotein. Logam berat juga akan larut pada peringkat awal fasa ini tetapi ianya akan termendap akibat pemendakan apabila sulfat (SO_4^{2-}) diturunkan ke sulfida (S^{2-}).

Fasa III (metanogenik awalan) dicirikan oleh aktiviti bakteria metanogenik. Kehadiran bakteria ini merupakan titik tolak apabila hidrogen yang terbentuk digunakan dan bakteria penurun-proton bergabung menyumbang kepada penguraian hasil penapaian. Keadaan ini berlaku pada kepekatan hidrogen yang sangat rendah. Gas metana dan karbon dioksida akan stabil pada paras tetap untuk biogas tipikal, iaitu apabila ia memenuhi kira-kira 50 % gas tapak kambus tanah.

Fasa ini akan berakhir dalam jangka masa 15 hingga 60 tahun apabila bahan organik yang mudah terurai akan habis digunakan dan hidrolisis bahan polimerik yang lebih kompleks seperti selulos akan menghentikan proses penguraian. Selagi VFA masih lagi digunakan, pH dan kealkalian akan meningkat. Ion ammonium tidak akan ditukarkan dalam keadaan anaerobik dan akan terus berada dalam bentuk ion larut lesapan.

Fasa IV (metanogenik stabil) menunjukkan satu tahap pengeluaran gas metana dan karbon dioksida yang stabil. pH larut lesapan akan meningkat ke paras alkali dan ammonium dan bikarbonat akan menjadi ion utama. Perubahan dan peralihan daripada keadaan berasid kepada neutral akan menyebabkan proses pelarutan logam menjadi semakin perlahan (Christensen *et.al.*, 2001)). Oleh itu komposisi logam berat di dalam larut lesapan juga akan berkurangan. Fasa ini akan berlaku selepas satu dekad dan mungkin juga berlanjutan sehingga berabad lamanya.

Fasa V (fasa pasca komposisi) merupakan peringkat terakhir hayat sesebuah tapak kambus tanah di mana bahan organik telah atau hampir sempurna dicerna. Ammonium telah dinitrifikasi dan semakin berkurangan. Penghasilan gas metana semakin berkurangan dan udara akan menyusup masuk semula memenuhi ruang dalaman tapak kambus tanah menjadikannya berkeadaan aerobik semula. Pada peringkat ini juga penghasilan larut lesapan semakin berkurangan dan kandungan bahan organik dalam larut lesap juga berkurangan disebabkan hampir keseluruhan sisa pepejal organik telah terurai sepenuhnya.

2.4.1 Sebatian Organik

Sebatian organik merupakan hasil sebahagian proses larutan sampah dan hasil bahan biorosot sisa. Oman & Hynning (1993) menyatakan terdapat kira-kira 150 sebatian organik yang berbeza yang dikenal pasti dari beberapa kajian. Walau bagaimanapun hanya 29 sahaja yang dikenalpasti ditemui lebih daripada sekali. Sebatian organik yang dikesan dari larut lesapan dan air bumi yang tercemar dari tapak kambus tanah termasuklah asid organik, keton, sebatian aromatik, sebatian klorin aromatik, eter, ftalat, sebatian halogen alifatik, alkohol, sebatian amino-aromatik, sebatian nitro-aromatik, fenol, sebatian hidrosiklik, racun serangga, hidrokarbon poliaromatik, bifenil poliklorin dan organofosfat (Brown & Donnelly, 1988).

Kelas sebatian organik yang ditemui paling tinggi kepekannya adalah VFA seperti asetik, propionik dan butirik yang terhasil semasa penguraian lipid, protin dan karbohidrat (Albaigges et al., 1986; Schultz & Kjeldsen, 1986). Terdapat juga beberapa spesis hidrokarbon aromatik yang kerap ditemui dalam kepekatan yang rendah seperti benzena, xilena dan toluena. Sebatian ini merupakan penyumbang kepada gasolin dan minyak (Harmsen, 1983).

Terdapat tiga kaedah untuk mengukur kandungan sebatian organik dalam larut lesapan iaitu karbon organik terjumlah (TOC), keperluan oksigen biokimia (BOD) dan keperluan oksigen kimia (COD) serta nisbah BOD/COD (Reinhart & Grosh, 1998). Penurunan paras kepekatan ketiga-tiga parameter ini adalah serentak dengan terurainya sisa pepejal. Walau bagaimanapun kepekatan BOD akan menurun lebih pantas sehingga boleh mencapai sifar manakala paras kepekatan COD dan TOC akan terus bertahan dalam larut lesapan yang terdiri daripada sebatian humik dan fulvik (Christensen et al., 1994).

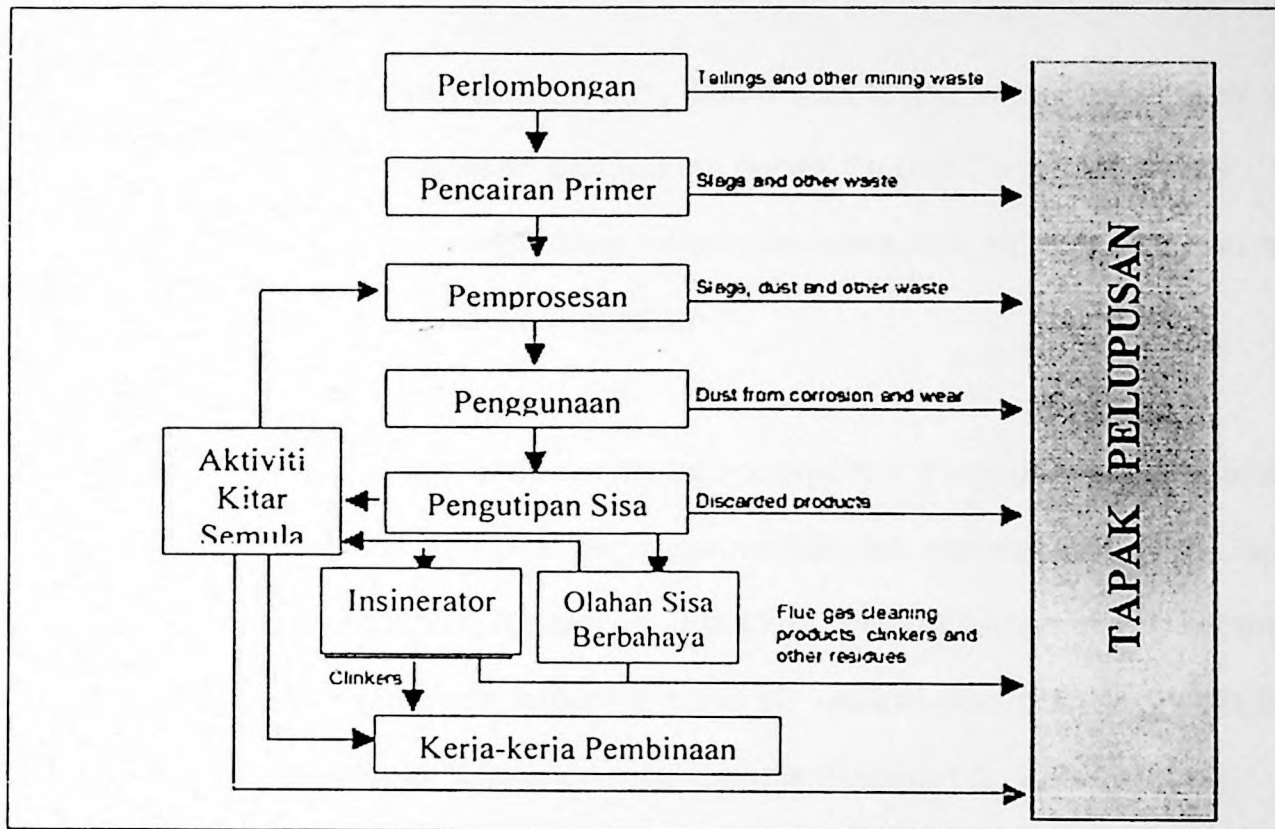
2.4.2 Mikroorganisma

Sisa pepejal perbandaran mengandungi populasi mikrobial yang sangat besar dan mungkin telah dicemari dengan mikroorganisma patogen (Gaby, 1975). Sisa biologi termasuk najis haiwan peliharaan, bangkai, lampin pakai buang serta sisa klinikal yang semuanya ini berpotensi untuk membahayakan kesihatan (Lu et.al, 1985). Petunjuk kehadiran organisma ini yang biasanya ditentukan adalah berdasarkan bilangan jumlah kolifom, kolifom fekal, streptokokki faekal dan jumlah kiraan plat (Senior & Shibani, 1990). Pada dasarnya pencapaian suhu yang tinggi pada peringkat aerobik semasa biodegradasi akan menghalang pertumbuhan dan pembiakan bakteria. Lu et.al (1985) mendapati bahawa sangat kurang penyelidik yang melaporkan penemuan virus dalam larut lesapan.

2.4.3 Logam Berat

Terdapat banyak kajian yang melaporkan tentang kehadiran kandungan logam berat sama ada pada tapak kambus tanah skala penuh, sel-sel ujian dan kajian makmal. Aliran logam ke tapak kambus tanah juga boleh dibahagikan kepada beberapa sumber seperti ditunjukkan dalam Rajah 2.3. Kepekatan logam berat dalam larut lesapan

daripada tapak kambus tanah dikawal oleh empat proses, iaitu pengkompleksan, tindakbalas pengoksidaan-penurunan, penjerapan dan pemendakan (Christensen et.al, 1994; Revans et.al, 1999; Flyhammar & Hakanson, 1999 dan Christensen et al, 2001).



Rajah 2.3: Perjalanan Logam Berat ke Tapak Pelupusan

Sposito (1984) dan Christensen et.al., (2001) mendefinisikan serapan termasuklah penjerapan, penyerapan, pengkompleksan permukaan dan pertukaran ion. Penjerapan dan penyerapan berlaku apabila molekul gas, cecair atau bahan terlarut dan partikel "melekat" antara satu sama lain. Proses ini pada dasarnya merupakan penurunan kepekatan logam dalam larutan. Kation logam divalensi cenderung untuk bertindak dengan permukaan bercas negatif seperti partikel koloid, kalsit, mineral lempung, bahan organik dan logam oksida seperti Fe, Mn, Al dan Si.

Pengkompleksan merupakan kombinasi antara ion logam dan ligan bukan logam oleh ikatan kovalen (Lu et.al, 1985). Pada umumnya, kebanyakan logam terlarut akan hadir secara pengkompleksan dengan bahan organik jika dibandingkan dengan kehadiran dalam bentuk ion logam bebas (Jensen *et.al*,1999; Jensen & Christensen, 1999 dan Christensen *et.al.*,2001).

Penemuan Christensen *et al.*, (2001) dalam satu kajian terhadap air bumi yang dicemari larut lesapan menunjukkan bahawa ion bebas Cu dan Pb membentuk 1 – 2 % daripada keseluruhan logam yang diukur, manakala untuk Cd, Ni dan Zn paras yang agak tinggi sedikit iaitu 7-17 % telah direkodkan.

Pemendakan berlaku apabila spesis logam berubah daripada bentuk larutan ke bentuk pepejal. Sulfida dan karbonat berupaya membentuk mendakan Cd, Ni, Zn, Cu dan Pb. Kadang kala fosfat dan hidroksida juga akan memendakkan logam seperti Fe dan Mn. Pemendakan hidroksida terbentuk pada pH neutral atau pH yang lebih tinggi dan biasanya berlaku pada larut lesapan metanogenik (Reinhart & Grosh, 1998).

Sulfida terbentuk daripada sulfat semasa penguraian sisa di tapak kambus tanah. Walaupun dalam kepekatan yang rendah, sulfida akan memendakkan logam berat kecuali kromium. Namun demikian, pemendakan kromium biasanya dalam bentuk hidroksida (Revans *et al.*, 1999; Christensen *et al.*, 2001).

Revans *et al.*, (1999) telah menggunakan model kelarutan logam PHREEQEC untuk melihat kehadiran Zn, Cd dan Cr dalam tapak kambus tanah. Model ini menunjukkan dalam sesebuah tapak kambus tanah anaerobik, Zn dan Cd hadir dalam

bentuk mendakan sulfida, manakala Cr membentuk mendakan hidroksida. Sementara dalam tapak kambus tanah aerobik, ia membentuk mendakan karbonat.

Menurut Rooker (2000), secara teorinya kandungan logam berat akan berkurangan sekiranya keadaan tapak kambus tanah menjadi aerobik atau apabila usia tapak mencapai fasa metanogenik. Namun demikian pada pengalamannya, tiada laporan menunjukkan sesebuah tapak kambus tanah itu menjadi aerobik. Penghasilan karbon dioksida dalam sebuah tapak kambus tanah menyebabkan penurunan pH sisa (Revans et al., 1999).

2.4.4 Ammonia

Para penyelidik merumuskan ketoksikan larut lesapan bukan hanya berlaku disebabkan bahan organik tetapi juga oleh kehadiran ammonia (Wong, 1989; Cheung et al., 1993; Lambolez et al., 1994; Assmuth & Pentillae, 1995; Clement et al., 1997). Ammonia nitrogen termasuk ammonia dan ion ammonium juga merupakan salah satu masalah pencemaran dalam larut lesapan. Menurut Robinson (1983 & 1985), ion ammonium merupakan unsur yang paling banyak hadir dalam larut lesapan yang mempunyai pH antara 5-8. Ammonia juga menggunakan oksigen dan menyumbang kepada kehadiran nitrogen yang menggalakkan nitrifikasi.

Kajian yang dilakukan oleh Krumpelbeck & Ehrig (1999) terhadap 50 tapak kambus tanah di Jerman menunjukkan bahawa kepekatan ammonia masih tidak menunjukkan tanda-tanda berkurangan walaupun selepas 30 tahun tapak ditutup. Ehrig (1998) melaporkan bahawa tidak banyak perbezaan kepekatan ammonia antara fasa asidogenik dan metanogenik. Purata kepekatan ammonia adalah 750 mgN/L.