

**OLAHAN LARUT LESAPAN SEMI-AEROBIK TAPAK
PELUPUSAN SANITARI PULAU BURUNG MENGGUNAKAN
GABUNGAN KAEDAH PENGGUMPALAN-PENGELOMPOKAN
DAN PENURASAN**

oleh

ZAWAWI BIN DAUD

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

APRIL 2008

PENGHARGAAN

Alhamdulillah, setinggi-tinggi kesyukuran ke hadrat Allah S.W.T kerana dengan izinNya dapat saya menyiapkan penyelidikan ini dengan jayanya. Semoga tesis ini dapat memberi sumbangan yang berguna kepada bidang penyelidikan. Sesungguhnya penemuan ini hanyalah sebahagian kecil daripada hikmah-hikmahNya yang maha luas.

Ucapan penghargaan dan terima kasih yang tak terhingga kepada Prof. Dr. Hamidi Abdul Aziz sebagai penyelia utama dan Prof. Madya Ir. Dr. Mohd Nordin Adlan sebagai penyelia bersama di atas segala bimbingan, tunjuk ajar, bantuan, pandangan serta cadangan yang telah diberikan sepanjang pengajian sehingga selesainya penyelidikan ini. Ucapan terima kasih kepada seluruh kakitangan Pusat Pengajian Kejuruteraan Awam serta rakan-rakan seperjuangan di atas segala bantuan dan sokongan sepanjang penyelidikan ini dijalankan. Penghargaan kepada Universiti Sains Malaysia, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia dan Kementerian Pengajian Tinggi di atas penajaan dan geran penyelidikan sepanjang pengajian ini. Kesempatan ini juga saya ingin mengucapkan setinggi-tinggi penghargaan kepada Majlis Perbandaran Seberang Perai dan Syarikat Idaman Bersih Sdn. Bhd. di atas segala kerjasama serta bantuan sepanjang penyelidikan ini.

Akhir sekali, ucapan terima kasih yang tidak terhingga kepada ayahanda Daud Muda, ibunda Zaharah Abdullah dan keluarga tersayang khususnya isteri tercinta Halizah Awang serta anak-anak yang dikasihi Muhammad Amirul Haziq dan Siti Nurhuda Nabihah di atas segala dorongan, sokongan dan pengorbanan yang berpanjangan. Semoga dirahmati Allah di dunia dan akhirat.

SUSUNAN KANDUNGAN

	Muka surat
PENGHARGAAN	ii
JADUAL KANDUNGAN	iii
SENARAI JADUAL	ix
SENARAI RAJAH	xiii
SENARAI PLAT	xxi
SENARAI SINGKATAN	xxii
SENARAI LAMPIRAN	xxiii
SENARAI PENERBITAN DAN SEMINAR	xxiv
ABSTRAK	xxvi
ABSTRACT	xxviii
BAB SATU : PENDAHULUAN	
1.0 Pengenalan	1
1.1 Pernyataan Masalah	3
1.2 Kepentingan Kajian	7
1.3 Objektif Kajian	9
1.4 Skop Kajian	10
BAB DUA : OLAHAN LARUT LESAPAN	
2.0 Pengenalan	11
2.1 Tapak Pelupusan Kambus Tanah Sanitari	12
2.1.1 Tapak Pelupusan Kambus Tanah Anaerobik	12
2.1.2 Tapak Pelupusan Kambus Semi-Aerobik	14
2.1.3 Tapak Pelupusan Kambus Tanah Aerobik	15
2.2 Proses Penguraian di Tapak Pelupusan Kambus Tanah	17
2.2.1 Fasa Penyesuaian Awal (Fasa Aerobik)	17
2.2.2 Fasa Peralihan	19
2.2.3 Fasa Pembentukan Asid (Fasa Asidogenik)	20
2.2.4 Fasa Penapaian Metana (Fasa Metanogenik)	20

2.2.5	Fasa Pematangan (Fasa Pengurangan Metana)	22
2.3	Larut Lesapan	24
2.4	Komposisi Larut Lesapan	25
2.4.1	Kandungan Sebatian Organik Dalam Larut Lesapan	26
2.4.2	Kandungan Sebatian Tak Organik Dalam Larut Lesapan	30
2.4.3	Kandungan Ammonia Dalam Larut Lesapan	32
2.5	Faktor Mempengaruhi Kualiti Larut Lesapan	34
2.5.1	Komposisi Sisa Pepejal	34
2.5.2	Ketebalan Sisa Pepejal	35
2.5.3	Kandungan Lembapan	36
2.5.4	Kebolehsediaan Oksigen	38
2.5.5	Suhu Persekitaran	38
2.5.6	Usia Tapak Pelupusan Kambus Tanah	39
2.6	Olahan Larut Lesapan	40
2.7	Olahan Biologi	45
2.7.1	Lagun Berudara	46
2.7.2	Proses Enap Cemar Teraktif	46
2.7.3	Penyentuh Biologi Berputar (RBC)	47
2.7.4	Turas Cucur Aerobik	48
2.7.5	Reaktor Kelompok Berjjukan (SBR)	49
2.7.6	Hamparan Rumput Mensiang (Reed Beds)	50
2.7.7	Penuras Anaerobik	51
2.7.8	Reaktor Selimut Enapcemar Anaerobik Aliran Menaik (UASB)	53
2.7.9	Pencernaan Anaerobik Konvensional	55
2.8	Olahan Fizikal	55
2.8.1	Penurasan Selaput	56
2.8.1.1	Penurasan Mikro (MF)	56
2.8.1.2	Penurasan Ultra (UF)	57
2.8.1.3	Osmosis Balikan (RO)	57
2.8.1.4	Penurasan Nano (NF)	59
2.8.2	Penyejatan dan Pemeluapan	61
2.8.3	Perlucutan Ammonia	62
2.8.4	Penjerapan	63

2.9	Olahan Kimia	70
2.9.1	Pemendakan Kimia	70
2.9.2	Pengoksidaan Kimia	71
2.9.3	Penggumpalan dan Pengelompokan	75
2.10	Gabungan Olahan	77
2.10.1	Gabungan Olahan Fizikal-Kimia	78
2.10.2	Gabungan Olahan Fizikal-Kimia dan Olahan Biologi	82
2.11	Mekanisme Penggumpalan dan Pengelompokan	85
2.12	Penyahstabilan Partikel Koloid	91
2.12.1	Pemerangkapan Partikel Koloid	92
2.12.2	Pemampatan Lapisan Dubel	93
2.12.3	Peneutralan Cas	94
2.12.4	Pengikatan Melalui Polimer	95
2.13	Bahan Penggumpal	96
2.14	Polielektrolit	101
2.15	Penggumpalan dan Pengelompokan Dalam Olahan Air dan Air Sisa	104
2.16	Polielektrolit Sebagai Penggumpal dan Bahan Bantu Penggumpal	108
2.17	Pengurusan Enap cemar	112
2.17.1	Basuhan ke Belakang Penuras	113
2.17.2	Lagun Enap cemar	115
2.17.3	Penebalan dan Penyahairan Enap cemar	116
2.17.4	Pemulihan Bahan Penggumpal	117
2.17.5	Pelupusan Akhir Enap cemar	119

BAB TIGA : METODOLOGI

3.0	Pengenalan	128
3.1	Tapak Kajian	132
3.2	Reagen/Bahan Kimia	135
3.3	Media Penurasan	136
3.3.1	Batu Kapur	136
3.3.2	Butiran Karbon Teraktif (GAC)	137
3.3.3	Zeolit	137
3.3.4	Ketumpatan Batu Kapur, Butiran Karbon Teraktif (GAC) dan Zeolit	138

3.3.5	Peratus Lompang Batu Kapur, Butiran Karbon Teraktif (GAC) dan Zeolit	138
3.4	Peralatan dan Analisis	139
3.5	Olahan Penggumpalan dan Pengelompokan	140
3.5.1	Penentuan Tempoh dan Laju Optimum Pengacauan Cepat	140
3.5.2	Penentuan Tempoh dan Laju Optimum Pengacauan Perlahan	141
3.5.3	Penentuan Masa Pengenapan Optimum	142
3.5.4	Penentuan pH Optimum	142
3.5.5	Penentuan Dos Optimum	143
3.5.6	Penentuan Dos Bahan Bantu Penggumpal Optimum	143
3.5.7	Kajian Kesan Keliatan	144
3.6	Ujian Kelompok	145
3.6.1	Analisis Kelajuan Penggoncangan Optimum	146
3.6.2	Analisis Masa Penggoncangan Optimum	146
3.6.3	Analisis Penentuan Nisbah Campuran Media Penurasan Optimum	147
3.7	Ujian Turus Penurasan	147
3.8	Gabungan Olahan Fizikal-Kimia	149
3.8.1	Penggumpalan-Pengelompokan dan Penurasan	150
3.8.2	Penurasan dan Penggumpalan-Pengelompokan	150
3.9	Penilaian Parameter Kebolehenapan	151
3.9.1	Penentuan Peratus Enapcemar (SP)	152
3.9.2	Penentuan Halaju Enapan (V_s)	152
3.9.3	Penentuan Indeks Isipadu Enapcemar (SVI)	153
3.10	Penentuan Saiz Partikel Flok	153
3.11	Prosedur Analisis	154
3.11.1	pH	154
3.11.2	Pepejal Terampai	154
3.11.3	Warna	155
3.11.4	Keperluan Oksigen Kimia (COD)	155
3.11.5	Keperluan Oksigen Biokimia (BOD_5)	156
3.11.6	Analisis Keliatan	157
3.11.7	Nitrogen Ammonia	158
3.11.8	Analisis Logam	158

3.12	Kualiti Enap cemar	159
3.12.1	Penyahairan Air Dari Enap cemar	159
3.12.2	Analisis Kualiti Enap cemar	159
3.13	Analisis Statistik	160

BAB EMPAT : KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

4.0	Pengenalan	163
4.1	Kualiti Larut Lesapan	163
4.2	Ciri-ciri Media Penurasan	166
4.2.1	Batu Kapur	166
4.2.2	Butiran Karbon Teraktif (GAC)	166
4.2.3	Zeolit	167
4.3	Olahan Penggumpalan dan Pengelompokan	167
4.3.1	Penentuan Tempoh dan Kelajuan Optimum Pengacauan Cepat	168
4.3.2	Penentuan Tempoh dan Kelajuan Optimum Pengacauan Perlahan	173
4.3.3	Penentuan Masa Pengenapan Optimum	176
4.3.4	Penentuan pH Optimum	178
4.3.5	Penentuan Dos Optimum	186
4.3.6	Penentuan Dos Bahan Bantu Penggumpal Optimum	193
4.3.7	Kajian Kesan Keliatan	198
4.4	Ujian Kelompok	200
4.4.1	Analisis Kelajuan Penggoncangan Optimum	200
4.4.2	Analisis Masa Penggoncangan Optimum	203
4.4.3	Analisis Penentuan Nisbah Campuran Media Penurasan Optimum	206
4.5	Gabungan Olahan Fizikal-Kimia	209
4.5.1	Penggumpalan-Pengelompokan dan Penurasan	210
4.5.2	Penurasan dan Penggumpalan-Pengelompokan	225
4.6	Penilaian Parameter Kebolehenapan	244
4.6.1	Pengaruh Halaju Pengacauan Terhadap Parameter Kebolehenapan	244
4.6.2	Pengaruh Tempoh Pengacauan Terhadap Parameter Kebolehenapan	247
4.6.3	Pengaruh pH Terhadap Parameter Kebolehenapan	249

4.7	Penentuan Saiz Partikel	251
4.7.1	Kesan Dos Polimer Terhadap Agihan Saiz Partikel	252
4.7.2	Kesan pH Larut Lesapan Terhadap Agihan Saiz Partikel	254
4.8	Kualiti Enap cemar	255
4.8.1	Penyahairan Enap cemar	255
4.8.2	Analisis Kualiti Enap cemar	259
4.9	Rumusan	260
BAB LIMA : KESIMPULAN DAN CADANGAN		
5.0	Pengenalan	262
5.1	Kesimpulan	262
5.2	Cadangan Kajian Masa Hadapan	266
RUJUKAN		268

SENARAI JADUAL

	Muka surat
2.1 Komposisi larut lesapan dalam fasa pembentukan asid (Asidogenik)	21
2.2 Komposisi larut lesapan dalam fasa penapaian metana (Metanogenik)	22
2.3 Kepekatan logam dalam larut lesapan	23
2.4 Juzuk di dalam larut lesapan yang tidak dipengaruhi oleh perubahan penstabilan kabus tanah	24
2.5 Kompisisi larut lesapan kabus tanah	28
2.6 Komposisi larut lesapan baru, pertengahan dan matang	29
2.7 Standard pelepasan larut lesapan kabus tanah	42
2.8 Pengkelasan proses penurasan selaput	56
2.9 Ringkasan olahan penggumpalan dan pengelompokan untuk mengolah larut lesapan	79
2.10 Ringkasan gabungan olahan fizikal-kimia untuk mengolah larut lesapan	84
2.11 Ringkasan gabungan olahan fizikal-kimia dan biologi untuk mengolah larut lesapan	87
2.12 Pengkelasan saiz partikel di dalam air dan air sisa	89
2.13 Keberkesanan bahan penggumpal	99
2.14 Kelebihan dan kekurangan bahan penggumpal tak organik dalam olahan penggumpalan dan pengelompokan	102
2.15 Kepekatan maksimum logam berat yang dicadangkan untuk enapcemar berkualiti baik	124
3.1 Data parameter turus penuras	146
4.1 Ciri-ciri larut lesapan semi-aerobik dari Tapak Pelupusan Sanitari Pulau Burung	164
4.2 Komposisi kimia media batu kapur	166

4.3	Spesifikasi media GAC	167
4.4	Komposisi kimia media zeolit	168
4.5	Analisis ANOVA Satu Hala penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia pada pH 2 hingga 12 menggunakan PAC dan alum	180
4.6	Analisis ANOVA Satu Hala penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia di antara pH 2 hingga 12 menggunakan PAC dan alum pada 95% sela keyakinan	181
4.7	Analisis ANOVA Satu Hala penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia pada pH 7 menggunakan dos PAC dan alum yang berbeza	189
4.8	Analisis ANOVA Satu Hala penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia pada pH 7 menggunakan dos PAC dan alum yang berbeza pada 95% sela keyakinan	189
4.9	Analisis ANOVA Satu Hala bagi penyingkiran SS dan COD menggunakan bahan bantu penggumpal kationik, anionik dan nonionik dengan kehadiran 2000 mg/L PAC	193
4.10	Analisis ANOVA Satu Hala penyingkiran SS dan COD menggunakan bahan bantu penggumpal kationik, anionik dan nonionik dengan kehadiran 2000 mg/L PAC pada 95% sela keyakinan	194
4.11	Analisis ANOVA Satu Hala bagi penyingkiran SS dan COD menggunakan bahan bantu penggumpal kationik, anionik dan nonionik dengan kehadiran 9000 mg/L alum	196
4.12	Analisis ANOVA Satu Hala penyingkiran penyingkiran SS dan COD menggunakan bahan bantu penggumpal kationik, anionik dan nonionik dengan kehadiran 9000 mg/L alum pada 95% sela keyakinan	196
4.13	Analisis ANOVA Satu Hala bagi penyingkiran warna, SS, COD dan ammonia untuk gabungan kaedah olahan penggumpalan-pengelompokan menggunakan PAC dan penurasan menggunakan media yang berbeza	216
4.14	Analisis ANOVA Satu Hala bagi penyingkiran warna, SS, COD dan ammonia untuk gabungan kaedah olahan penggumpalan-pengelompokan menggunakan PAC dan penurasan menggunakan media yang berbeza pada 95% sela keyakinan	217

4.15	Analisis ANOVA Satu Hala bagi penyingkiran warna, SS, COD dan ammonia untuk gabungan kaedah olahan penggumpalan-pengelompokan menggunakan alum dan penurasan menggunakan media yang berbeza	223
4.16	Analisis ANOVA Satu Hala bagi penyingkiran warna, SS, COD dan ammonia untuk gabungan kaedah olahan penggumpalan-pengelompokan menggunakan alum dan penurasan menggunakan media yang berbeza pada 95% sela keyakinan	224
4.17	Analisis ANOVA Satu Hala penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia bagi larut lesapan yang dituras menggunakan batu kapur pada pH 7 menggunakan dos PAC dan alum yang berbeza	228
4.18	Analisis ANOVA Satu Hala penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia bagi larut lesapan yang dituras menggunakan batu kapur pada pH 7 menggunakan dos PAC dan alum yang berbeza pada 95% sela keyakinan	228
4.19	Analisis ANOVA Satu Hala penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia bagi larut lesapan yang dituras menggunakan GAC pada pH 7 menggunakan dos PAC dan alum yang berbeza	231
4.20	Analisis ANOVA Satu Hala penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia bagi larut lesapan yang dituras menggunakan GAC pada pH 7 menggunakan dos PAC dan alum yang berbeza pada 95% sela keyakinan	231
4.21	Analisis ANOVA Satu Hala penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia bagi larut lesapan yang dituras menggunakan zeolit pada pH 7 menggunakan dos PAC dan alum yang berbeza	234
4.22	Analisis ANOVA Satu Hala penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia bagi larut lesapan yang dituras menggunakan zeolit pada pH 7 menggunakan dos PAC dan alum yang berbeza pada 95% sela keyakinan	234
4.23	Analisis ANOVA Satu Hala penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia bagi larut lesapan yang dituras menggunakan batu kapur-zeolit (25:15) pada pH 7 menggunakan dos PAC dan alum yang berbeza	237
4.24	Analisis ANOVA Satu Hala penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia bagi larut lesapan yang dituras menggunakan batu kapur-zeolit (25:15) pada pH 7 menggunakan dos PAC dan alum yang berbeza pada 95% sela keyakinan	237

4.25	Analisis ANOVA Satu Hala penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia bagi larut lesapan yang dituras menggunakan batu kapur-GAC (25:15) pada pH 7 menggunakan dos PAC dan alum yang berbeza	240
4.26	Analisis ANOVA Satu Hala penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia bagi larut lesapan yang dituras menggunakan batu kapur-GAC (25:15) pada pH 7 menggunakan dos PAC dan alum yang berbeza pada 95% sela keyakinan	240
4.27	Analisis ANOVA Satu Hala penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia bagi larut lesapan yang dituras menggunakan zeolit-GAC (25:15) pada pH 7 menggunakan dos PAC dan alum yang berbeza	243
4.28	Analisis ANOVA Satu Hala penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia bagi larut lesapan yang dituras menggunakan zeolit-GAC (25:15) pada pH 7 menggunakan dos PAC dan alum yang berbeza pada 95% sela keyakinan	243
4.29	Agihan saiz flok menggunakan 800 mg/L PAC pada dos polimer kationik, anionik dan nonionik yang berbeza	253
4.30	Agihan saiz flok menggunakan 2500 mg/L alum pada dos polimer kationik, anionik dan nonionik yang berbeza	254
4.31	Agihan saiz flok menggunakan 800 mg/L PAC dan 2, 4, 6, 8 dan 10 mg/L polimer kationik Floerger FO 4400 SH pada pH berbeza	255
4.32	Analisis enapcemar PAC dan alum	259
4.33	Kandungan logam berat di dalam enapcemar PAC berbanding paras maksimum yang dibenarkan untuk enapcemar yang dianggap berkualiti baik untuk kegunaan pertanian	260
4.34	Rumusan kaedah olah penggumpalan-pengelompokan diikuti olahan penurasan menggunakan gabungan zeolit-GAC (25:15)	261

SENARAI RAJAH

	Muka surat	
2.1	Rekabentuk tapak pelupusan kambus tanah anaerobik	13
2.2	Lakaran struktur kambus tanah anaerobik	13
2.3	Rekabentuk tapak pelupusan kambus tanah semi-aerobik	14
2.4	Perbezaan di antara kambus tanah anaerobik dan semi-aerobik	15
2.5	Lakaran struktur kambus tanah semi-aerobik	15
2.6	Rekabentuk tapak pelupusan kambus tanah aerobik	16
2.7	Lakaran struktur kambus tanah aerobi	16
2.8	Fasa penstabilan kambus tanah (I = fasa penyesuaian awal, II = fasa peralihan, III = fasa pembentukan asid, IV = fasa penapaian metana dan V = fasa pematangan)	18
2.9	Mekanisme pembentukan larut lesapan di tapak kambus tanah	25
2.10	Spektrum saiz zarah dalam air dan liang penurasan	88
3.1	Carta Alir Olahan Penggumpalan-Pengelompokan	129
3.2	Carta Alir Olahan Penggumpalan-Pengelompokan diikuti Olahan Penurasan	130
3.3	Carta Alir Olahan Penurasan diikuti Olahan Penggumpalan-Pengelompokan	131
3.4	Lokasi Tapak Pelupusan Sanitari Pulau Burung (TPSPB)	133
3.5	Tapak Kambus Tanah Pulau Burung	134
3.6	Lakaran ujian turus penurasan	148
4.1	Peratus penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia terhadap masa pengacauan cepat pada 150 rpm, 1000 mg/L PAC, pH 7, pengacauan perlahan pada 20 rpm selama 20 minit dan masa pegenapan 30 minit	169

4.2	Peratus penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia terhadap masa pengacauan cepat pada 150 rpm, 4000 mg/L alum, pH 7, pengacauan perlahan20 rpm selama 20 minit dan masa penganapan 30 minit	170
4.3	Peratus penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia terhadap halaju pengacauan cepat selama 3 minit, 1000 mg/L PAC, pH 7, pengacauan perlahan 20 rpm selama 20 minit dan masa penganapan 30 minit	171
4.4	Peratus penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia terhadap halaju pengacauan cepat selama 3 minit, 4000 mg/L alum, pH 7, pengacauan perlahan 20 rpm selama 20 minit dan masa penganapan 30 minit	172
4.5	Peratus penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia terhadap masa pengacauan perlahan pada 20 rpm, 1000 mg/L PAC, pH 7, pengacau cepat 150 rpm selama 3 minit dan masa penganapan 30 minit	173
4.6	Peratus penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia terhadap masa pengacauan perlahan pada 20 rpm, 4000 mg/L alum, pH 7, pengacau cepat 150 rpm selama 3 minit dan masa penganapan 30 minit	174
4.7	Peratus penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia terhadap halaju pengacauan perlahan selama 20 minit, 1000 mg/L PAC, pH 7, pengacauan cepat 150 rpm selama 3 minit dan masa penganapan 30 minit	175
4.8	Peratus penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia terhadap halaju pengacauan perlahan selama 20 minit, 4000 mg/L alum, pH 7, pengacauan cepat 150 rpm selama 3 minit dan masa penganapan 30 minit	176
4.9	Peratus penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia terhadap masa penganapan menggunakan 1000 mg/L PAC, pH 7, halaju pengacauan cepat 150 rpm selama 3 minit dan halaju pengacauan perlahan 20 rpm selama 20 minit	177
4.10	Peratus penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia terhadap masa penganapan menggunakan 4000 mg/L alum, pH 7, halaju pengacauan cepat 150 rpm selama 3 minit dan halaju pengacauan perlahan 20 rpm selama 20 minit	177
4.11	Peratus penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia terhadap pH menggunakan 1000 mg/L PAC, halaju pengacauan cepat 150 rpm selama 3 minit, halaju pengacauan perlahan 20 rpm selama 20 minit dan masa penganapan 30 minit	178

4.12	Peratus penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia terhadap pH menggunakan 4000 mg/L alum, halaju pengacauan cepat 150 rpm selama 3 minit, halaju pengacauan perlahan 20 rpm selama 20 minit dan masa penganapan 30 minit	179
4.13	Perubahan SS terhadap pH akhir sampel larut lesapan semi-aerobik yang digumpal menggunakan 1000 mg/L PAC dan 4000 mg/L alum	185
4.14	Perhubungan di antara pH awal dan pH akhir sampel larut lesapan semi-aerobik yang digumpal menggunakan 1000 mg/L PAC dan 4000 mg/L alum	186
4.15	Perhubungan di antara dos penggumpal dan pH akhir sampel larut lesapan yang digumpal menggunakan PAC dan alum	186
4.16	Peratus penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia terhadap dos PAC pada pH 7, halaju pengacauan cepat 150 rpm selama 3 minit, halaju pengacauan perlahan 20 rpm selama 20 minit dan masa penganapan 30 minit	187
4.17	Peratus penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia terhadap dos alum pada pH 7, halaju pengacauan cepat 150 rpm selama 3 minit, halaju pengacauan perlahan 20 rpm selama 20 minit dan masa penganapan 30 minit	188
4.18	Perubahan peratus penyingkiran SS terhadap dos polimer kationik, anionik dan nonionik dengan kehadiran 2000 mg/L PAC	192
4.19	Perubahan peratus penyingkiran COD terhadap dos polimer kationik, anionik dan nonionik dengan kehadiran 2000 mg/L PAC	192
4.20	Perubahan peratus penyingkiran SS terhadap dos polimer kationik, anionik dan nonionik dengan kehadiran 9000 mg/L alum	195
4.21	Perubahan peratus penyingkiran COD terhadap dos polimer kationik, anionik dan nonionik dengan kehadiran 9000 mg/L alum	195
4.22	Perubahan peratus penyingkiran SS terhadap dos PAC bagi sampel larut lesapan semi-aerobik yang berbeza keliatan	199
4.23	Perubahan peratus penyingkiran SS terhadap dos alum bagi sampel larut lesapan semi-aerobik yang berbeza keliatan	199

4.24	Peratus penyingkiran COD dan ammonia terhadap halaju goncangan menggunakan batu kapur bersaiz 2.0-3.35 mm selama 3 jam dan 90 minit masa penganapan	201
4.25	Peratus penyingkiran COD dan ammonia terhadap halaju goncangan menggunakan zeolit bersaiz 2.0-3.35 mm selama 3 jam dan 90 minit masa penganapan	202
4.26	Peratus penyingkiran COD dan ammonia terhadap halaju goncangan menggunakan GAC bersaiz 2.0-3.35 mm selama 3 jam dan 90 minit masa penganapan	203
4.27	Peratus penyingkiran COD dan ammonia terhadap masa goncangan menggunakan batu kapur bersaiz 2.0-3.35 mm, 350 rpm halaju goncangan dan 90 minit masa penganapan	204
4.28	Peratus penyingkiran COD dan ammonia terhadap masa goncangan menggunakan zeolit bersaiz 2.0-3.35 , 350 rpm halaju goncangan dan 90 minit masa penganapan	205
4.29	Peratus penyingkiran COD dan ammonia terhadap masa goncangan menggunakan GAC bersaiz 2.0-3.35 , 350 rpm halaju goncangan dan 90 minit masa penganapan	205
4.30	Peratus penyingkiran COD dan ammonia terhadap nisbah campuran batu kapur-zeolit bersaiz 2.0-3.35 , 350 rpm halaju goncangan, 4 jam masa sentuhan dan 90 minit masa penganapan	207
4.31	Peratus penyingkiran COD dan ammonia terhadap nisbah campuran batu kapur-GAC bersaiz 2.0-3.35 , 350 rpm halaju goncangan, 4 jam masa sentuhan dan 90 minit masa penganapan	208
4.32	Peratus penyingkiran COD dan ammonia terhadap nisbah campuran zeolit-GAC bersaiz 2.0-3.35 , 350 rpm halaju goncangan, 4 jam masa sentuhan dan 90 minit masa penganapan	209
4.33	Kesan penurasan batu kapur, zeolit, GAC, batu kapur-zeolit (25 : 15), batu kapur-GAC (25 : 15) dan zeolit-GAC (25 : 15) ke atas larut lesapan yang digumpal menggunakan PAC pada dos yang berbeza terhadap penyingkiran warna	211
4.34	Kesan penurasan batu kapur, zeolit, GAC, batu kapur-zeolit (25 : 15), batu kapur-GAC (25 : 15) dan zeolit-GAC (25 : 15) ke atas larut lesapan yang digumpal menggunakan PAC pada dos yang berbeza terhadap penyingkiran SS	212

4.35	Kesan penurasan batu kapur, zeolit, GAC, batu kapur-zeolit (25 : 15), batu kapur-GAC (25 : 15) dan zeolit-GAC (25 : 15) ke atas larut lesapan yang digumpal menggunakan PAC pada dos yang berbeza terhadap penyingkiran COD	213
4.36	Kesan penurasan batu kapur, zeolit, GAC, batu kapur-zeolit (25 : 15), batu kapur-GAC (25 : 15) dan zeolit-GAC (25 : 15) ke atas larut lesapan yang digumpal menggunakan PAC pada dos yang berbeza terhadap penyingkiran ammonia	214
4.37	Kesan penurasan batu kapur, zeolit, GAC, batu kapur-zeolit (25 : 15), batu kapur-GAC (25 : 15) dan zeolit-GAC (25 : 15) ke atas larut lesapan yang digumpal menggunakan alum pada dos yang berbeza terhadap penyingkiran warna	219
4.38	Kesan penurasan batu kapur, zeolit, GAC, batu kapur-zeolit (25 : 15), batu kapur-GAC (25 : 15) dan zeolit-GAC (25 : 15) ke atas larut lesapan yang digumpal menggunakan alum pada dos yang berbeza terhadap penyingkiran SS	219
4.39	Kesan penurasan batu kapur, zeolit, GAC, batu kapur-zeolit (25 : 15), batu kapur-GAC (25 : 15) dan zeolit-GAC (25 : 15) ke atas larut lesapan yang digumpal menggunakan alum pada dos yang berbeza terhadap penyingkiran COD	220
4.40	Kesan penurasan batu kapur, zeolit, GAC, batu kapur-zeolit (25 : 15), batu kapur-GAC (25 : 15) dan zeolit-GAC (25 : 15) ke atas larut lesapan yang digumpal menggunakan alum pada dos yang berbeza terhadap penyingkiran ammonia	221
4.41	Perubahan peratus penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia bagi larut lesapan yang dituras menggunakan batu kapur terhadap dos PAC pada pH 7, halaju pengacauan cepat 150 rpm selama 3 minit, halaju pengacauan perlahan 20 rpm selama 20 minit dan 30 minit masa penganapan	226
4.42	Perubahan peratus penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia bagi larut lesapan yang dituras menggunakan batu kapur terhadap dos alum pada pH 7, halaju pengacauan cepat 150 rpm selama 3 minit, halaju pengacauan perlahan 20 rpm selama 20 minit dan 30 minit masa penganapan	227
4.43	Perubahan peratus penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia bagi larut lesapan yang dituras menggunakan GAC terhadap dos PAC pada pH 7, halaju pengacauan cepat 150 rpm selama 3 minit, halaju pengacauan perlahan 20 rpm selama 20 minit dan 30 minit masa penganapan	229

4.44	Perubahan peratus penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia bagi larut lesapan yang dituras menggunakan GAC terhadap dos alum pada pH 7, halaju pengacauan cepat 150 rpm selama 3 minit, halaju pengacauan perlahan 20 rpm selama 20 minit dan 30 minit masa penganapan	230
4.45	Perubahan peratus penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia bagi larut lesapan yang dituras menggunakan zeolit terhadap dos PAC pada pH 7, halaju pengacauan cepat 150 rpm selama 3 minit, halaju pengacauan perlahan 20 rpm selama 20 minit dan 30 minit masa penganapan	232
4.46	Perubahan peratus penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia bagi larut lesapan yang dituras menggunakan zeolit terhadap dos alum pada pH 7, halaju pengacauan cepat 150 rpm selama 3 minit, halaju pengacauan perlahan 20 rpm selama 20 minit dan 30 minit masa penganapan	233
4.47	Perubahan peratus penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia bagi larut lesapan yang dituras menggunakan batu kapur-zeolit (25 : 15) terhadap dos PAC pada pH 7, halaju pengacauan cepat 150 rpm selama 3 minit, halaju pengacauan perlahan 20 rpm selama 20 minit dan 30 minit masa penganapan	235
4.48	Perubahan peratus penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia bagi larut lesapan yang dituras menggunakan batu kapur-zeolit (25 : 15) terhadap dos alum pada pH 7, halaju pengacauan cepat 150 rpm selama 3 minit, halaju pengacauan perlahan 20 rpm selama 20 minit dan 30 minit masa penganapan	236
4.49	Perubahan peratus penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia bagi larut lesapan yang dituras menggunakan batu kapur-GAC (25 : 15) terhadap dos PAC pada pH 7, halaju pengacauan cepat 150 rpm selama 3 minit, halaju pengacauan perlahan 20 rpm selama 20 minit dan 30 minit masa penganapan	238
4.50	Perubahan peratus penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia bagi larut lesapan yang dituras menggunakan batu kapur-GAC (25 : 15) terhadap dos alum pada pH 7, halaju pengacauan cepat 150 rpm selama 3 minit, halaju pengacauan perlahan 20 rpm selama 20 minit dan 30 minit masa penganapan	239
4.51	Perubahan peratus penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia bagi larut lesapan yang dituras menggunakan zeolit-GAC (25 : 15) terhadap dos PAC pada pH 7, halaju pengacauan cepat 150 rpm selama 3 minit, halaju pengacauan perlahan 20 rpm selama 20 minit dan 30 minit masa penganapan	241

4.52	Perubahan peratus penyingkiran SS, warna, COD dan ammonia bagi larut lesapan yang dituras menggunakan zeolit-GAC (25 : 15) terhadap dos alum pada pH 7, halaju pengacauan cepat 150 rpm selama 3 minit, halaju pengacauan perlahan 20 rpm selama 20 minit dan 30 minit masa penganapan	242
4.53	Pengaruh halaju pengacauan (V_m) terhadap Indeks Isipadu Enapcemar (SVI) untuk tempoh pengacauan 3 minit, 800 mg/L PAC, 2500 mg/L alum dan 4 mg/L polimer kationik	246
4.54	Pengaruh halaju pengacauan (V_m) terhadap Halaju Enapan (V_s) untuk tempoh pengacauan 3 minit, 800 mg/L PAC, 2500 mg/L alum dan 4 mg/L polimer kationik	246
4.55	Pengaruh halaju pengacauan (V_m) terhadap Peratus Enapcemar (SP) untuk tempoh pengacauan 3 minit, 800 mg/L PAC, 2500 mg/L alum dan 4 mg/L polimer kationik	247
4.56	Pengaruh tempoh pengacauan (t) terhadap Indeks Isipadu Enapcemar (SVI) untuk halaju pengacauan 150 rpm, 800 mg/L PAC, 2500 mg/L alum dan 4 mg/L polimer kationik	248
4.57	Pengaruh tempoh pengacauan (t) terhadap Halaju Enapan (V_s) untuk halaju pengacauan 150 rpm, 800 mg/L PAC, 2500 mg/L alum dan 4 mg/L polimer kationik	248
4.58	Pengaruh tempoh pengacauan (t) terhadap Peratus Enapcemar (SP) untuk halaju pengacauan 150 rpm, 800 mg/L PAC, 2500 mg/L alum dan 4 mg/L polimer kationik	249
4.59	Pengaruh pH terhadap Indeks Isipadu Enapcemar (SVI) untuk halaju pengacauan 150 rpm selama 3 minit, 800 mg/L PAC, 2500 mg/L alum dan 4 mg/L polimer kationik	250
4.60	Pengaruh pH terhadap Halaju Enapan (V_s) untuk halaju pengacauan 150 rpm selama 3 minit, 800 mg/L PAC, 2500 mg/L alum dan 4 mg/L polimer kationik	251
4.61	Pengaruh pH terhadap Peratus Enapcemar (SP) untuk halaju pengacauan 150 rpm selama 3 minit, 800 mg/L PAC, 2500 mg/L alum dan 4 mg/L polimer kationik	251
4.62	Perubahan rintangan spesifik terhadap kandungan pepejal terampai bagi enapcemar dari proses penggumpalan larut lesapan menggunakan 800 mg/L PAC, 2500 mg/L alum dan 4 mg/L kationik	257

4.63	Perubahan rintangannya spesifik terhadap isipadu turasan bagi enapcemar dari proses penggumpalan larut lesapan menggunakan 800 mg/L PAC, 2500 mg/L alum dan 4 mg/L kationik	258
4.64	Carta Alir Olahan Penggumpalan-Pengelompokan diikuti Olahan Penurasan yang Optimum	261

SENARAI PLAT

	Muka surat
3.1 Kolam takungan larut lesapan LP-01 TPSPB	134

SENARAI SINGKATAN

Alum	Aluminum sulfat
BOD	Keperluan Oksigen Biokimia
COD	Keperluan Oksigen Kimia
GAC	Butiran karbon teraktif
HRT	Masa tahanan hidraulik
MF	Penurasan Mikro
MW	Berat molekul
NF	Penurasan Nano
NH ₃ -N	Nitrogen Ammonia
PAC	Polialuminum klorida
RBC	Penyentuh Biologi Berputar
RO	Osmosis Balikan
SBR	Reaktor kelompok berjjukan
SP	Peratus Enapcemar
SS	Pepejal terampai
SVI	Indeks Isipadu Enapcemar
TOC	Jumlah Karbon Organik
TPSPB	Tapak Pelupusan Sanitari Pulau Burung
TSS	Jumlah Pepejal Terampai
UASB	Reaktor Selimut Enapcemar Anaerobik Aliran Menaik
UF	Penurasan Ultra
VFA	Asid lemak meruap
V _s	Halaju Enapan

SENARAI LAMPIRAN

Lampiran A	Kualiti larut lesapan TPSPB
Lampiran B	Penentuan tempoh dan kelajuan optimum pengacauan cepat
Lampiran C	Penentuan tempoh dan kelajuan optimum pengacauan perlahan
Lampiran D	Penentuan masa pegenapan optimum
Lampiran E	Penentuan pH optimum
Lampiran F	Penentuan dos optimum
Lampiran G	Penentuan dos bahan bantu penggumpal optimum
Lampiran H	Kajian kesan keliatan
Lampiran I	Analisis kelajuan penggoncangan optimum
Lampiran J	Analisis masa penggoncangan optimum
Lampiran K	Analisis penentuan nisbah campuran media penurasan optimum
Lampiran L	Gabungan olahan penggumpalan-pengelompokan dan penurasan
Lampiran M	Gabungan olahan penurasan dan penggumpalan-pengelompokan
Lampiran N	Kesan dos polimer terhadap agihan saiz partikel
Lampiran O	Kesan pH larut lesapan terhadap agihan saiz partikel

SENARAI PENERBITAN & SEMINAR

1. Zawawi Daud, Hamidi Abdul Aziz dan Mohd. Nordin Adlan, (2006) Application Of Coagulation And Flocculation Process On Semi-Aerobic Leachate in Removing Colour And COD by Polyaluminum Chloride (PAC), Proceeding of International Conference On Remediation And Management Of Contaminated Land, Kuala Lumpur, Malaysia, 5-7 Sept. 2006
2. Zawawi Daud, Hamidi Abdul Aziz dan Mohd. Nordin Adlan, (2006) Effectiveness of Polyaluminum Chloride (PAC) For The Removal Of Colour and COD From Semi-Aerobic Leachate, Proceeding Of 2nd Southeast Asian Natural Resources And Environmental Management Conference, Kota Kinabalu, Sabah, Malaysia, 21-23 Nov. 2006
3. Zawawi Daud, Hamidi Abdul Aziz dan Mohd. Nordin Adlan, (2006) The Effectiveness Of Combined Filtration And Coagulation-Flocculation On The Treatment Of Semi-Aerobic Leachate, Proceeding Of Malaysian Technical Universities Conference On Engineering And Technology, Batu Pahat, Johor, Malaysia, 19-20 Dis. 2006
4. Zawawi Daud, Hamidi Abdul Aziz dan Mohd. Nordin Adlan, (2007) Kajian Keberkesanan Penyingkiran Warna Dan COD Menggunakan Polialuminum Klorida (PAC) Dalam Olahan Larut Lesapan Semi-Aerobik Selepas Pra-Penapisan, Prosiding Persidangan Kebangsaan Kejuruteraan Awam 2007, Langkawi, Kedah, Malaysia, 28-31 Mei 2007
5. Azhar Abdul Halim, Hamidi Abdul Aziz, Zawawi Daud, M. Azmi M. Johari, Kamar Shah Ariffin, (2007) Olahan Ammonia Dan COD Dalam Larut Lesapan Semi-Aerobik Menggunakan Karbon Teraktif, Zeolit Dan Media Komposit: Satu Kajian Perbandingan, Prosiding Persidangan Kebangsaan Kejuruteraan Awam 2007, Langkawi, Kedah, Malaysia, 28-31 Mei 2007
6. Zawawi Daud, Hamidi Abdul Aziz dan Mohd. Nordin Adlan, (2007) Appropriate Combination Of Physical-Chemical Treatment (Coagulation-Flocculation And Filtration) For The Efficient Treatment Of Semi-Aerobic Leachate, Proceeding Of International Conference on Natural Resources and Environmental Management, Kuching, Sarawak, Malaysia, 27-29 Nov. 2007
7. Zawawi Daud, Hamidi Abdul Aziz, Mohd Nordin, (2007) Removal of colour and cod from semi-aerobic leachate using polyaluminum chloride (PAC), AUNSEED-NET Field Wise Seminar in Civil Engineering, Department of Civil Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, 1-2 November 2007, 252-260

8. Zawawi Daud, Hamidi Abdul Aziz dan Mohd. Nordin Adlan, (2007) Penyingkiran Warna dan COD Menggunakan Polialuminium Klorida (PAC) Dalam Olahan Larut Lesapan Semi-Aerobik : Kajian Kes di Tapak Pelupusan Pulau Burung, Prosiding Seminar Penyelidikan Kejuruteraan Awam, Johor Bahru, Johor, Malaysia, 11-12 Dis. 2007
9. Zawawi Daud, Hamidi Abdul Aziz dan Mohd. Nordin Adlan, (2007) Treatment Of Semi-Aerobic Leachate By Combined Coagulation-Flocculation And Filtration Method, Proceeding Of International Congress of Environmental Research, Bhopal, India, 27-30 Dis. 2007
10. Zawawi Daud, Hamidi Abdul Aziz dan Mohd. Nordin Adlan, (2007) Treatment Of Semi-Aerobic Leachate By Combined Coagulation-Flocculation And Filtration Method, Journal of Environmental Research And Development (JERAD), Vol. 2, No. 2, Oktober – Disember.
11. Hamidi Abdul Aziz, Zawawi Daud, Mohd. Nordin Adlan dan Yung-Tse Hung, (2007) Application Of Combined Filtration And Coagulation For Semi-Aerobic Leachate Treatment, Int. J. Environment and Waste Management, USA – telah diterima untuk penerbitan.
12. Hamidi Abdul Aziz, Zawawi Daud, Mohd. Nordin Adlan dan Yung-Tse Hung, (2008) The Use Of Polyaluminium Chloride For Removing Colour, COD and Ammonia From Semi-Aerobic Leachate, Int. J. Environment and Waste Management, USA – telah diterima untuk penerbitan.
13. Zawawi Daud, Hamidi Abdul Aziz dan Mohd. Nordin Adlan, (2008) Removal of colour and ammoniacal nitrogen from semi-aerobic leachate using limestone and zeolite, Proceeding of International Conference On Remediation And Management Of Contaminated Land, Kuala Lumpur, Malaysia, 5-7 May. 2008

OLAHAN LARUT LESAPAN SEMI-AEROBIK TAPAK PELUPUSAN SANITARI PULAU BURUNG MENGGUNAKAN GABUNGAN KAEDAH PENGUMPALAN-PENGELOMPOKAN DAN PENURASAN

ABSTRAK

Olahan penggumpalan-pengelompokan meluas digunakan untuk mengolah air dan air sisa. Olahan penggumpalan-pengelompokan sangat berkesan untuk menyingkirkan pencemar organik dan logam berat dalam air dan air sisa. Namun keberkesanan olahan penggumpalan-pengelompokan ke atas larut lesapan semi-aerobik untuk menyingkirkan pepejal terampai (SS), warna, COD dan nitrogen ammonia amat terhad. Kajian ini bertujuan untuk menilai keberkesanan polialuminium klorida (PAC) sebagai bahan penggumpal tak organik untuk menyingkirkan SS, warna, COD dan nitrogen ammonia dalam larut lesapan semi-aerobik berbanding alum. Olahan gabungan yang terdiri dari olahan penggumpalan-pengelompokan dan olahan penurasan menggunakan batu kapur, zeolit, butiran karbon teraktif (GAC) dan gabungan antara media batu kapur-zeolit (25:15), batu kapur-GAC (25:15) dan zeolit-GAC (25:15) turut dikaji, bertujuan untuk menyediakan olahan yang lebih berkesan untuk larut lesapan semi-aerobik yang mengandungi kepekatan SS, warna, COD dan nitrogen ammonia yang tinggi. Larut lesapan semi-aerobik akan diolah menggunakan empat kaedah olahan yang terdiri dari olahan penggumpalan-pengelompokan, olahan penurasan, olahan penggumpalan-pengelompokan diikuti olahan penurasan dan olahan penurasan diikuti olahan penggumpalan-pengelompokan. Olahan penggumpalan-pengelompokan ke atas sampel larut lesapan semi-aerobik menggunakan polialuminium klorida (PAC) dan aluminium sulfat (alum) diuji pada dos yang berbeza-beza. PAC sebagai bahan penggumpal tak organik menunjukkan peratus penyingkiran SS, warna, COD dan nitrogen ammonia yang lebih baik berbanding alum. Dos optimum PAC dan alum adalah masing-masing

2000 mg/L dan 9000 mg/L. Pada dos optimum PAC, peratus penyingkiran SS, warna, COD dan nitrogen ammonia adalah masing-masing didapati 98%, 93%, 56% and 32% berbanding penyingkiran sebanyak 89%, 92%, 46% and 26% pada dos optimum alum. Penggunaan olahan penurasan menggunakan campuran zeolit-GAC (25:15) menunjukkan peratus penyingkiran SS, warna, COD dan nitrogen ammonia masing-masing sebanyak 67%, 76%, 74% dan 54%. Hasil kajian menunjukkan gabungan olahan penggumpalan-pengelompokan menggunakan dos optimum 800 mg/L PAC diikuti olahan penurasan menggunakan campuran zeolit-GAC (25:15) berkesan menyingkirkan SS, warna, COD dan nitrogen ammonia masing-masing sehingga 95%, 96%, 91% and 83% berbanding hanya masing-masing 92%, 97%, 93% and 72% pada 2500 mg/L dos optimum alum. Gabungan olahan penurasan menggunakan campuran zeolit-GAC (25:15) diikuti olahan penggumpalan-pengelompokan pada dos optimum 1200 mg/L PAC berkesan menyingkirkan SS, warna, COD dan nitrogen ammonia masing-masing sehingga 98%, 98%, 94% and 85% berbanding masing-masing 96%, 99%, 95% and 74% pada dos optimum 4000 mg/L dos optimum alum. Hasil kajian menunjukkan gabungan olahan penggumpalan-pengelompokan menggunakan PAC diikuti olahan penurasan menggunakan campuran zeolit-GAC (25:15) merupakan kaedah olahan yang terbaik untuk larut lesapan semi-aerobik.

TREATMENT OF SEMI-AEROBIC LEACHATE AT PULAU BURUNG SANITARY LANDFILL USING THE COMBINED METHOD OF COAGULATION-FLOCCULATION AND FILTRATION

ABSTRACT

Coagulation-flocculation are widely used in water and wastewater treatment. Coagulation-flocculation process is effective for removing high concentration organic pollutants and heavy metals in water and wastewater. However, limited information exists on the efficiency of this coagulation-flocculation process, when applied for the removal of suspended solid (SS), colour, COD and ammoniacal nitrogen from semi-aerobic leachates. This research examined the performance of polyaluminum chloride (PAC) as inorganic polymer coagulant on removal of SS, colour, COD and ammoniacal nitrogen from semi-aerobic leachate as compared with alum. An integrated technique consisted of coagulation-flocculation and filtration by limestone, zeolite, granular activated carbon (GAC) and a mixtures of limestone-zeolite (25 : 15), limestone-GAC (25 : 15) and zeolite-GAC (25 : 15) was studied, aiming to provide an efficient method for the treatment of semi-aerobic leachate containing high SS, colour, COD and ammoniacal nitrogen concentrations. Semi-aerobic leachate were treated by using four different processes consisted of coagulation-flocculation, filtration, coagulation-flocculation followed by filtration and filtration followed by coagulation-flocculation. The single coagulation-flocculation treatment of semi-aerobic leachate samples was studied by addition of polyaluminum chloride (PAC) or aluminum sulfate (alum) coagulant at various dosages. PAC as new inorganic polymer coagulant showed better SS, colour, COD and ammoniacal nitrogen removal efficiencies than alum. Optimum coagulant dose of PAC and alum were 2000 mg/L and 9000 mg/L respectively. At optimum coagulant dose of PAC, the removal of SS, colour, COD and ammoniacal nitrogen are 98%, 93%, 56% and 32% respectively as compared 89%, 92%, 46% and

26% were removed respectively at optimum dose of alum. The application of filtration by a mixture of zeolite-GAC (25:15) showed that about 67%, 76%, 74% and 54% of SS, colour, COD and ammoniacal nitrogen were removed, respectively. Results indicated that the coagulation-flocculation at optimum dosage of 800 mg/L PAC followed by filtration by a mixture of zeolite-GAC (25:15), was efficient to reduce SS, colour, COD and ammoniacal nitrogen up to 95%, 96%, 91% and 83% respectively as compared only 92%, 97%, 93% and 72% respectively at optimum dosage of 2500 mg/L alum. The application of filtration by a mixture of zeolite-GAC (25:15) followed by coagulation at optimum dosage of 1200 mg/L PAC, was efficient to reduce SS, colour, COD and ammoniacal nitrogen up to 98%, 98%, 94% and 85% respectively as compared 96%, 99%, 95% and 74% respectively at optimum dosage of 4000 mg/L alum. Results indicated that the coagulation-flocculation using PAC followed by filtration by a mixture of zeolite-GAC (25:15) was a better treatment for semi-aerobic leachate.

**OLAHAN LARUT LESAPAN SEMI-AEROBIK
TAPAK PELUPUSAN SANITARI PULAU BURUNG
MENGUNAKAN GABUNGAN KAEDAH
PENGUMPALAN-PENGELOMPOKAN DAN
PENURASAN**

ZAWAWI BIN DAUD

**UNIVERSITI SAINS MALAYSIA
2008**

BAB 1 PENDAHULUAN

1.0 Pengenalan

Peningkatan populasi, perkembangan ekonomi, perkembangan kawasan perbandaran yang disebabkan oleh migrasi luar bandar ke bandar, pembangunan perindustrian yang cepat dan peningkatan taraf hidup telah menyumbang kepada peningkatan sisa pepejal. Jumlah sisa pepejal yang dijana di Semenanjung Malaysia meningkat daripada 11,900 tan metrik sehari pada tahun 2000 kepada 16,000 tan metrik sehari pada tahun 2001 dan seterusnya meningkat kepada 19,100 tan metrik sehari pada tahun 2005 atau secara puratanya 0.8 kilogram per kapita sehari (Laporan Rancangan Malaysia Kesembilan 2006-2010). Mengikut perangkaan terkini Jabatan Perangkaan, Malaysia kini mempunyai penduduk berjumlah 26.38 juta orang. Berdasarkan bilangan itu, jumlah sisa pepejal di negara ini adalah 21,104 tan sehari atau 7.6 juta tan setahun.

Penjanaan sisa pepejal yang besar ini telah memberi kesan kepada pengurusan tapak pelupusan sedia ada, dan sebahagian besar daripada kawasan pelupusan dikelaskan sebagai tapak pelupusan bukan sanitari atau tapak pembuangan terbuka (Chenayah dan Takeda, 2005). Ketidakberkesanan pengurusan sisa pepejal menyebabkan masalah pencemaran air bumi dan air permukaan, seterusnya memberi kesan kepada kesihatan manusia dan hidupan akuatik. Oleh itu, pembangunan pengurusan sisa pepejal bersepadu dan mapan yang merangkumi enam peringkat utama iaitu penjanaan, penyimpanan dan pengasingan, pengutipan, pemindahan dan pengangkutan, pemprosesan dan rawatan dan pelupusan amat penting untuk mengurangkan tahap pencemaran tersebut.

Di antara keenam-enam peringkat pengurusan sisa pepejal tersebut, kambus tanah merupakan kaedah pelupusan sisa pepejal yang paling ekonomi (Rodrigues et al., 2004) dan meluas digunakan di dunia dan di Malaysia (Agamuthu, 2001). Kebanyakan tapak pelupusan kambus tanah dikelaskan sebagai tapak pelupusan bukan sanitari atau tapak pembuangan terbuka (Chenayah dan Takeda, 2005; Agamuthu, 2001). Sisa pepejal yang dilupuskan di tapak pelupusan akan melalui beberapa peringkat penguraian, seterusnya akan menghasilkan cecair di bahagian bawah tapak pelupusan yang dikenali sebagai larut lesapan.

Larut lesapan merupakan cecair berwarna coklat kehitaman yang mengalir keluar melepasi sisa pepejal di tapak pelupusan yang dikategorikan sebagai air sisa yang merbahaya dan tercemar (Tatsi et al., 2003). Larut lesapan juga mengandungi kepekatan bahan pencemar organik dan bukan organik, logam berat, pepejal terlarut dan koloid serta pelbagai jenis patogen yang berpotensi mencemari air bumi dan air permukaan (Poznyak et al., 2008; Vesilind et al., 2002; Bagchi, 1990). Pengurusan larut lesapan amat penting untuk memastikan ianya tidak memberikan kesan kepada alam sekitar dan kesihatan manusia. Larut lesapan meresap masuk kedalam tanah dan akan mencemarkan akuifer sekiranya tidak dikumpul dan diolah dengan sempurna sebelum ianya dilepaskan ke persekitaran (Tatsi et al., 2002; Aziz et al., 2004)

Oleh kerana jangka hayat rekabentuk sesuatu tapak pelupusan yang menjangkau usia bertahun-tahun, penjanaan larut lesapan akan terus berlaku walaupun selepas penutupannya. Pengurusan tapak pelupusan yang baik mempercepatkan proses penstabilan dan pengurusan larut lesapan yang efisien akan mengelakkan pencemaran air bumi dan permukaan yang mana kedua-duanya akan mengurangkan impak kepada

persekitaran (Pohland dan Harper, 1985). Oleh itu, adalah amat wajar pengurusan larut lesapan dijadikan satu agenda utama dalam strategi perancangan untuk membangunkan sesebuah tapak pelupusan. Ini termasuk pengawalan terhadap penghasilan larut lesapan, kaedah olahan larut lesapan yang sesuai dan kawalan pelepasan larut lesapan ke persekitaran (World Bank, 1999).

1.1 Pernyataan Masalah

Larut lesapan yang terjana apabila air meresap masuk ke dalam sisa pepejal di tapak pelupusan yang mengandungi bakteria, bahan pencemar kimia, bahan pencemar organik dan bukan organik, logam berat, pepejal terlarut dan koloid serta pelbagai jenis patogen berpotensi mencemari air bumi dan air permukaan (Puznyak et al., 2008; Vesilind et al., 2002). Kualiti larut lesapan adalah berbeza-beza dan perbezaan ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti komposisi dan kedalaman sisa pepejal, kebolehsediaan kandungan lembapan dan oksigen, rekabentuk dan operasi tapak pelupusan dan jangkahayat sisa pepejal.

Larut lesapan yang terhasil daripada proses penguraian sisa pepejal mengandungi kepekatan COD, BOD, ammonia nitrogen dan logam berat seperti zink, tembaga, kadmium, plumbum, nikel, kromium dan merkuri yang tinggi (Jokela et al., 2002; Tyrell et al., 2002). Jika tidak diurus dan diolah dengan sempurna, larut lesapan akan meresap ke dalam bumi terutama untuk tapak pelupusan yang mempunyai lapisan tanah yang telap air, mempunyai pengurusan yang lemah, tidak mempunyai lapisan pengalasan atau yang mempunyai masalah kegagalan lapisan pengalasan (Raymond, 2006; Aziz et al., 2004a).

Pencemaran air bumi merupakan masalah utama yang wujud di tapak pelupusan sanitari dan dikenalpasti sebagai masalah utama di kebanyakan negara di dunia (Pujari et al., 2007). Berdasarkan kepada kajian yang dijalankan oleh Nasir dan Chong (1999) mendapati bahawa 71.4% pihak berkuasa tempatan menghadapi masalah pencemaran air bumi yang serius manakala 57.2% berhadapan dengan masalah pengurusan larut lesapan.

Di Malaysia, pencemaran larut lesapan merupakan masalah utama yang perlu ditangani dengan segera. Malangnya, sistem pengurusan dan olahan larut lesapan di Malaysia masih di peringkat awal pengoperasian dan kajian-kajian berkaitan dengan pengurusan dan olahan larut lesapan sedang giat dijalankan. Dalam usaha Malaysia untuk mencapai taraf negara maju menjelang 2020, pengurusan sisa pepejal yang mapan dan olahan larut lesapan yang efektif perlu diberi perhatian yang serius. Faktor kos olahan serta teknologi yang tinggi merupakan faktor utama menyebabkan pengabaian terhadap olahan larut lesapan di Malaysia. Oleh itu satu kajian untuk menghasilkan sebuah loji olahan yang mudah, murah serta bersepadu amat penting bersesuaian dengan persekitaran Malaysia.

Kualiti larut lesapan berubah-ubah dari satu tapak pelupusan ke tapak pelupusan yang lain. Oleh itu pemilihan kaedah olahan yang sesuai seperti olahan biologi, olahan fizikal-kimia atau gabungan kedua-dua olahan perlu ditentukan agar dapat meningkatkan kecekapan olahan larut lesapan (Tatsi et al., 2003). Kebanyakan proses olahan larut lesapan diadaptasi daripada teknologi olahan air dan air sisa seperti olahan biologi aerobik dan anaerobik, pengoksidaan kimia, penyerapan karbon teraktif,

pertukaran ion, penggumpalan dan pengelompokan, osmosis balikan, penapisan membran dan pemendakan kimia (Kreith, 1994; Lisk 1991).

Menurut Ozturk et al. (2003) dan Ozturk dan Bektas (2004), olahan larut lesapan sangat rumit, memerlukan kos pembinaan, kos operasi dan kos penyelenggaraan yang tinggi. Kos pembinaan biasanya bergantung kepada kualiti larut lesapan yang perlu diolah terutama larut lesapan yang mengandungi kepekatan pencemaran yang tinggi. Li et al. (1994) mendapati kos untuk menyingkirkan $\text{NH}_3\text{-N}$ menggunakan kaedah pemendakan kimia adalah 1/5 lebih tinggi berbanding menggunakan olahan perlucutan ammonia. Altinbas et al. (2002) mendapati kos olahan pemendakan kimia adalah di antara US\$2 – 4/ m^3 . Olahan larut lesapan menggunakan kaedah osmosis balikan memerlukan kos yang tinggi di antara US\$2 – 30/ m^3 (Peters, 1999). Gabungan olahan biologi dan fizikal-kimia yang dijalankan di German melibatkan kos yang tinggi iaitu melebihi US\$ 41/ m^3 (Kettern et al., 1995). Olahan larut lesapan menggunakan kaedah penyejatan dan pengoksidaan melibatkan kos yang lebih tinggi iaitu di antara US\$30 – 70/ m^3 berbanding olahan osmosis balikan (Guaiumi dan Loschi, 1995). Kadlec (1999) dan El-Gendi (2003) mendapati olahan menggunakan kaedah tanah lembap (*wetlands*) memerlukan kos di antara US\$990 - 50,000 ha^{-1} tahun⁻¹. Memandangkan kos olahan larut lesapan yang tinggi maka pemilihan kaedah olahan yang sesuai amat penting bagi mengurangkan kos operasi tanpa menjejaskan kualiti efluen larut lesapan.

Olahan biologi biasanya digunakan untuk olahan larut lesapan baru yang mengandungi kadar pembiorosotan yang tinggi. Larut lesapan baru mengandungi kandungan organik yang tinggi di peringkat awal di mana nisbah BOD/COD yang lebih tinggi (Rodriguez et al., 2004). Namun demikian terdapat beberapa parameter di dalam

larut lesapan muda menghalang keberkesanan dan kecekapan olahan biologi. Sebagai contohnya, kepekatan logam berat yang tinggi di dalam larut lesapan seperti tembaga, zink dan nikel akan merencatkan kecekapan olahan biologi. Oleh itu, pengurangan kepekatan sesuatu logam berat perlu dilakukan menggunakan olahan fizikal-kimia sebagai pra-olahan sebelum olahan biologi dilaksanakan (McBean et al., 1995).

Di antara olahan fizikal-kimia yang biasa digunakan untuk olahan larut lesapan ialah seperti penggumpalan-pengelompokan (Zouboulis et al., 2004; Tatsi et al., 2003) dan penjerapan (Geenens et al., 2001). Penggumpalan dan pengelompokan merupakan kaedah olahan yang mudah dan biasa digunakan untuk mengolah air dan air sisa (James et al., 2003). Oleh kerana penggumpalan dan pengelompokan merupakan olahan yang ringkas dan mudah maka olahan ini juga telah diaplikasi untuk olahan larut lesapan. Terdapat beberapa kajian yang dijalankan untuk melihat keberkesanan olahan penggumpalan dan pengelompokan mengolah larut lesapan (Tatsi et al. 2003). Olahan ini amat berkesan untuk menyingkirkan pepejal terampai, koloid, warna, COD dan ammonia dalam larut lesapan (Ntampou et al., 2005; Tatsi et al., 2003).

Selain daripada olahan penggumpalan dan pengelompokan, olahan penjerapan juga meluas digunakan sebagai olahan gabungan bersama-sama dengan olahan fizikal-kimia yang lain untuk mengolah larut lesapan seperti gabungan olahan di antara penggumpalan-pengelompokan dan penjerapan (Geenens et al., 2001) atau serentak dengan olahan biologi (Kargi dan Pamukoglu, 2003; Loukidou dan Zouboulis, 2001). Olahan penjerapan melibatkan penggunaan bahan atau media yang berupaya untuk menjerap bahan yang larut di dalam larut lesapan ke dalam permukaan bahan penjerap yang berongga. Bahan yang kerap digunakan sebagai bahan penjerap ialah butiran

karbon teraktif, serbuk karbon teraktif (Amokrane et al., 1997). Selain itu bahan penjerap lain yang biasa digunakan seperti batu kapur, zeolit, tanah gambut, bentonit, sepiolit dan alumina teraktif (Hussain et al., 2007; Isa et al., 2006).

Penggunaan olahan biologi hanya berkesan menyingkirkan bahan organik biorosot di dalam larut lesapan sebanyak 30% (Heyer et al., 1998). Menurut Amokrane et al. (1997), olahan yang paling berkesan bagi larut lesapan matang ialah gabungan kaedah penggumpalan – pengelompokan dan penjerapan. Secara umumnya, gabungan dua olahan fizikal-kimia atau gabungan olahan fizikal-kimia dan biologi adalah diperlukan untuk mengolah larut lesapan matang (Kurniawan et al., 2006; Kargi dan Pamukoglu, 2003). Oleh kerana olahan tunggal tidak berupaya untuk memenuhi standard pelepasan efluen yang dibenarkan, maka olahan gabungan perlu direkabentuk dan dikenalpasti bagi mengolah larut lesapan yang sesuai. Lantaran itu, penggunaan gabungan dua olahan fizikal-kimia yang terdiri daripada gabungan olahan penggumpalan-pengelompokan menggunakan polialuminium klorida (PAC) dan penjerapan menggunakan media penjerap seperti batu kapur, butiran karbon teraktif dan zeolit dan campuran antara media dipilih di dalam kajian ini.

1.2 Kepentingan Kajian

Kambus tanah merupakan kaedah yang paling banyak digunakan untuk melupuskan sisa pepejal di dunia (Tchobanoglous et al., 1993). Di Amerika Syarikat, dianggarkan 50% atau 128.3 juta tan sisa pepejal perbandaran dilupuskan di tapak kambus tanah (USEPA, 2002). Peningkatan ekonomi Malaysia yang memberangsangkan pada kadar 5.2% setahun (Agamuthu, 2001) secara tidak langsung telah meningkatkan kadar penjanaaan sisa pepejal dari 0.5 hingga 0.8 kg/orang/hari

kepada 1 hingga 1.7 kg/orang/hari (Kathirvale et al., 2003) menjadikan kaedah kambus tanah sebagai pilihan utama untuk pelupusan sisa pepejal dan sehingga kini terdapat lebih 230 buah tapak kambus tanah di Malaysia (Agamuthu, 2001).

Masalah utama yang wujud di tapak pelupusan kambus tanah ialah penghasilan larut lesapan. Larut lesapan mengandungi bahan pencemar yang tinggi seperti COD, BOD, ammonia nitrogen dan logam berat (Marttinen et al., 2002; Sisunno et al., 2000) dan memerlukan olahan yang berkesan agar ianya tidak mencemarkan alam sekitar. Olahan yang tidak sempurna menyebabkan larut lesapan meresap masuk ke dalam bumi terutama untuk tapak pelupusan yang mempunyai lapisan tanah yang telap air, seterusnya akan memberi kesan kepada pencemaran akuifer, air permukaan dan secara tidak langsung akan menjejaskan hidupan akuatik dan kesihatan masyarakat (Aziz et al., 2004).

Oleh itu larut lesapan perlu diolah dengan sempurna sebelum dilepaskan ke persekitaran. Beberapa olahan yang digunakan dalam olahan air sisa telah digunapakai untuk mengolah larut lesapan. Olahan fizikal-kimia (penggumpalan-pengelompokan dan penurasan) yang di jalankan dalam kajian ini diharapkan dapat meningkatkan kualiti larut lesapan khususnya di Tapak Pelupusan Sanitari Pulau Burung (TPSPB) dan Malaysia amnya. Hasil kajian ini diharap boleh dijadikan garis panduan oleh pihak berkuasa tempatan dalam mengurus sisa pepejal dengan lebih berkesan dan efektif dan seterusnya dapat menghindar dari wujudnya masalah pencemaran di tapak pelupusan kambus tanah.

1.3 **Objektif Kajian**

Objektif utama kajian ini ialah untuk melihat keberkesanan olahan larut lesapan semi-aerobik di TPSPB menggunakan olahan penggumpalan-pengelompokan menggunakan bahan penggumpal PAC dan beberapa jenis bahan bantu iaitu polimer anionik, kationik dan nonionik untuk menyingkirkan warna, pepejal terampai, COD dan ammonia nitrogen. Di samping itu kajian ini juga melihat keberkesanan gabungan dua olahan fizikal-kimia yang terdiri daripada gabungan olahan penggumpalan-pengelompokan menggunakan PAC dan penjerapan menggunakan media penjerap seperti batu kapur, butiran karbon teraktif dan zeolit dan campuran antara media tersebut. untuk menyingkirkan warna, pepejal terampai, COD dan ammonia nitrogen. Untuk mencapai objektif tersebut, maka kajian ini melalui beberapa peringkat merangkumi objektif-objektif berikut :

1. Menentukan keberkesanan Polialuminium Klorida (PAC) sebagai bahan penggumpal dalam olahan penggumpalan dan pengelompokan berbanding aluminium sulfat (alum) untuk mengolah larut lesapan semi-aerobik dengan atau tanpa kehadiran bahan bantu penggumpal (polimer kationik, anionik dan nonionik).
2. Menentukan keberkesanan gabungan olahan penggumpalan-pengelompokan diikuti olahan penurasan menggunakan media penurasan batu kapur, zeolit, butiran karbon teraktif (GAC) dan campuran di antara media penurasan seperti berikut :
 - i. Media penurasan batu kapur.
 - ii. Media penurasan zeolit.

- iii. Media penurasan butiran karbon teraktif (GAC)
 - iv. Campuran media penurasan batu kapur-zeolit.
 - v. Campuran media penurasan batu kapur-butiran karbon teraktif (GAC).
 - vi. Campuran media penurasan butiran karbon teraktif (GAC)-zeolit.
3. Menentukan keberkesanan gabungan olahan penurasan menggunakan batu kapur, zeolit, GAC dan campuran di antara media tersebut (batu kapur-zeolit, batu kapur-GAC dan zeolit-GAC) diikuti olahan penggumpalan-pengelompokan menggunakan PAC dan alum.
4. Menentukan kualiti enap cemar yang terhasil dari olahan penggumpalan dan pengelompokan dan mengenalpasti tahap kandungan logam berat seterusnya melihat kesesuaian penggunaannya.

1.4 Skop Kajian

Kajian ini menggunakan hanya dua bahan penggumpal sebagai perbandingan, iaitu polialuminium klorida (PAC) dan aluminium sulfat (alum). Tiga bahan bantu penggumpal sintetik digunakan sebagai perbandingan iaitu polimer kationik FO4400 SH, polimer anionik AN934 SH dan polimer nonionik FA920 SH. Hanya empat parameter yang diukur di dalam kajian ini ialah warna, COD, pepejal terampai (SS) dan ammonia nitrogen. Tiga media penurasan yang bersaiz di antara 2.00 mm – 3.35 mm digunakan dalam kajian ini iaitu batu kapur, butiran karbon teraktif (GAC) dan zeolit. Media penurasan batu kapur, zeolit, GAC dan hanya campuran optimum (campuran batu kapur-zeolit, batu kapur-GAC dan zeolit-GAC) digunakan dalam olahan gabungan fizikal-kimia dan hanya satu nilai kadaralir digunakan untuk ujian turus.

BAB 2

OLAHAN LARUT LESAPAN

2.0 Pengenalan

Kambus tanah merupakan kaedah paling asas dan meluas digunakan untuk pelupusan sisa pepejal perbandaran di dunia dan Malaysia (Agamuthu, 2001). Sehingga 95% sisa pepejal perbandaran yang dikumpul di seluruh dunia dilupuskan di tapak pelupusan kambus tanah (El-Fadel et al., 2003). Selepas sisa pepejal ditempatkan di tapak kambus tanah, sisa pepejal melalui proses perubahan fizikal, kimia dan biologi. Proses perubahan ini menyebabkan berlakunya penguraian sisa pepejal, seterusnya membentuk cecair di bahagian bawah tapak pelupusan kambus tanah yang dikenali sebagai larut lesapan. Selepas sisa pepejal ditempatkan di tapak pelupusan kambus tanah, proses penguraian sisa pepejal berlaku bermula dengan fasa penyesuaian awal (aerobik) yang pendek kepada fasa asidogenik dan metanogenik yang melibatkan tempoh masa yang panjang.

Semasa fasa asidogenik, larut lesapan mengandungi kadar kepekatan asid lemak meruap (VFA) yang tinggi dan ini akan membolehkan kandungan bahan organik di dalam sisa pepejal mudah untuk membiorosot (Ehrig, 1984). Nisbah BOD/COD lasut lesapan dalam fasa ini adalah tinggi iaitu di antara 0.4 hingga 0.5 (Lo, 1996). Semasa fasa metanogenik, bakteria menguraikan VFA dan mengurangkan kekuatan larut lesapan, seterusnya meningkatkan nilai pH melebihi 7. Selepas proses penguraian, hanya komponen yang mengandungi berat molekul yang tinggi kekal di dalam larut lesapan (Harmsen et al., 1983). Semasa fasa ini, pengurangan BOD adalah lebih cepat jika dibandingkan dengan COD, menyebabkan nisbah BOD/COD dalam larut lesapan kurang dari 0.1 (Tatsi dan Zouboulis, 2002).

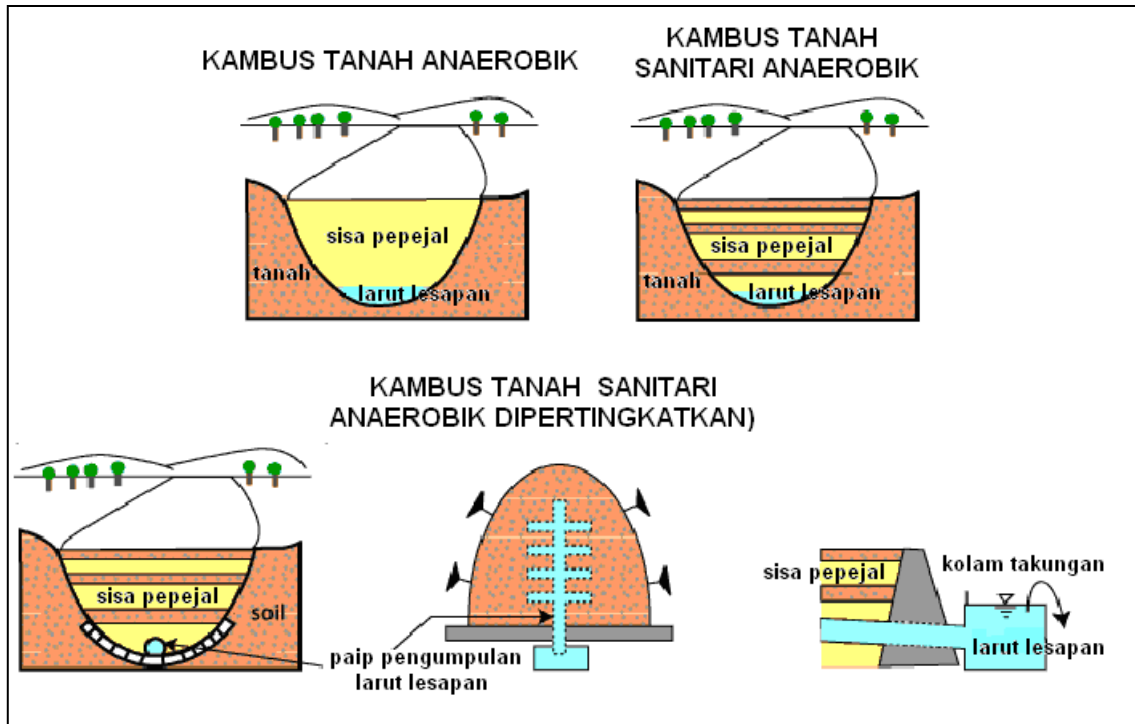
Pengurusan larut lesapan amat penting untuk memastikan ianya tidak memberi kesan jangka panjang kepada alam sekitar dan kesihatan manusia. Larut lesapan meresap ke dalam tanah dan seterusnya mencemarkan akuifer (Mor et al., 2006a). Oleh itu, larut lesapan perlu diolah dengan sempurna sebelum ianya dilepaskan ke persekitaran untuk mengelakkan kesan pencemaran kepada kualiti air bumi, air permukaan dan mengakibatkan kesan buruk kepada kesihatan manusia dan hidupan akuatik.

2.1 Tapak Pelupusan Kambus Tanah Sanitari

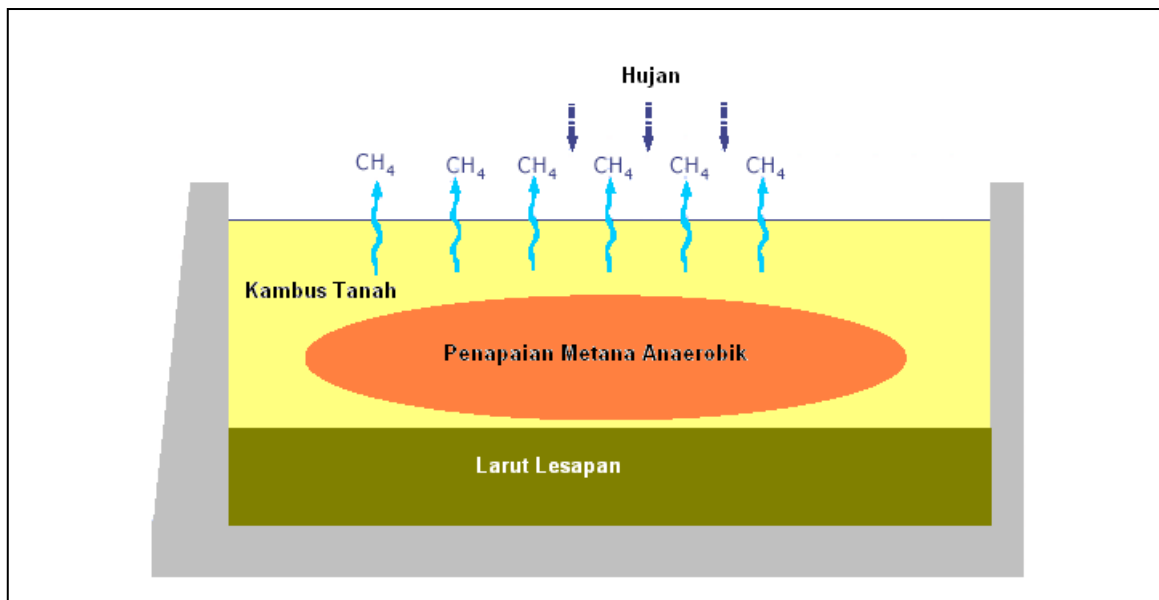
Terdapat tiga jenis tapak pelupusan kambus tanah sanitari yang biasa digunakan iaitu kambus tanah anaerobik, kambus tanah semi-aerobik dan kambus tanah aerobik (Shimaoka et al., 2000).

2.1.1 Tapak Pelupusan Kambus Tanah Anaerobik

Tapak pelupusan kambus tanah anaerobik merupakan tapak tapak pelupusan yang biasa digunakan untuk penguraian sisa pepejal (Matsufuji, 1990). Tapak pelupusan jenis ini memberi kesan buruk kepada alam sekitar serta masalah kesihatan kepada masyarakat kerana sistem ini menghasilkan bahan toksid dan bahan organik berkepekatan tinggi. Selain dari itu, kaedah ini mengeluarkan gas metana dan karbon dioksida dalam kuantiti yang banyak mengakibatkan pemanasan global. Tapak pelupusan kambus tanah anaerobik boleh dibahagikan kepada tiga jenis iaitu tapak pelupusan kambus tanah anaerobik, tapak pelupusan kambus tanah sanitari anaerobik dan tapak pelupusan kambus tanah sanitari anaerobik dinaik taraf seperti ditunjukkan dalam Rajah 2.1 (Matsufuji et al., 1993) manakala Rajah 2.2 menunjukkan lakaran struktur kambus tanah anaerobik secara umum.



Rajah 2.1 : Rekabentuk tapak pelupusan kambus tanah anaerobik
(Sumber : Matsufuji et al., 1993)

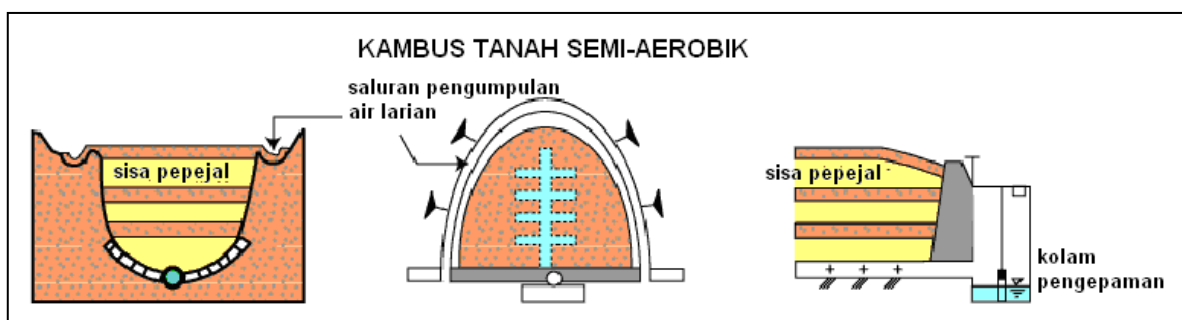


Rajah 2.2 : Lakaran struktur kambus tanah anaerobik
(Sumber : Matsufuji et al., 1993)

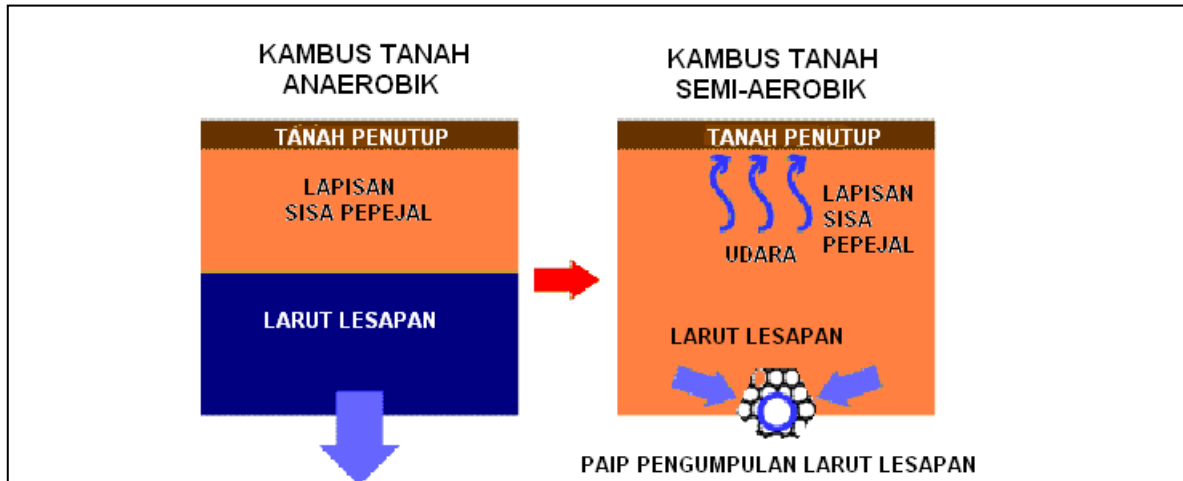
2.1.2 Tapak Pelupusan Kambus Tanah Semi-Aerobik

Tapak pelupusan kambus tanah semi-aerobik direkabentuk dengan menyediakan paip pengumpulan larut lesapan (paip tertebuk) di dasar tapak, bertujuan untuk mengumpul larut lesapan yang terhasil dan seterusnya mengalirkan keluar dari tapak pelupusan secepat mungkin. Ini bertujuan untuk mengelakkan dari larut lesapan meresap masuk ke dalam tanah tanpa membenarkan larut lesapan kekal di dalam lapisan. Selain itu paip pengumpulan tertebuk juga berfungsi sebagai laluan kemasukan udara dari luar memasuki ke dalam lapisan sisa pepejal yang tertimbus di tapak pelupusan (Shimaoka et al., 2000; Matsufuji et al., 2000).

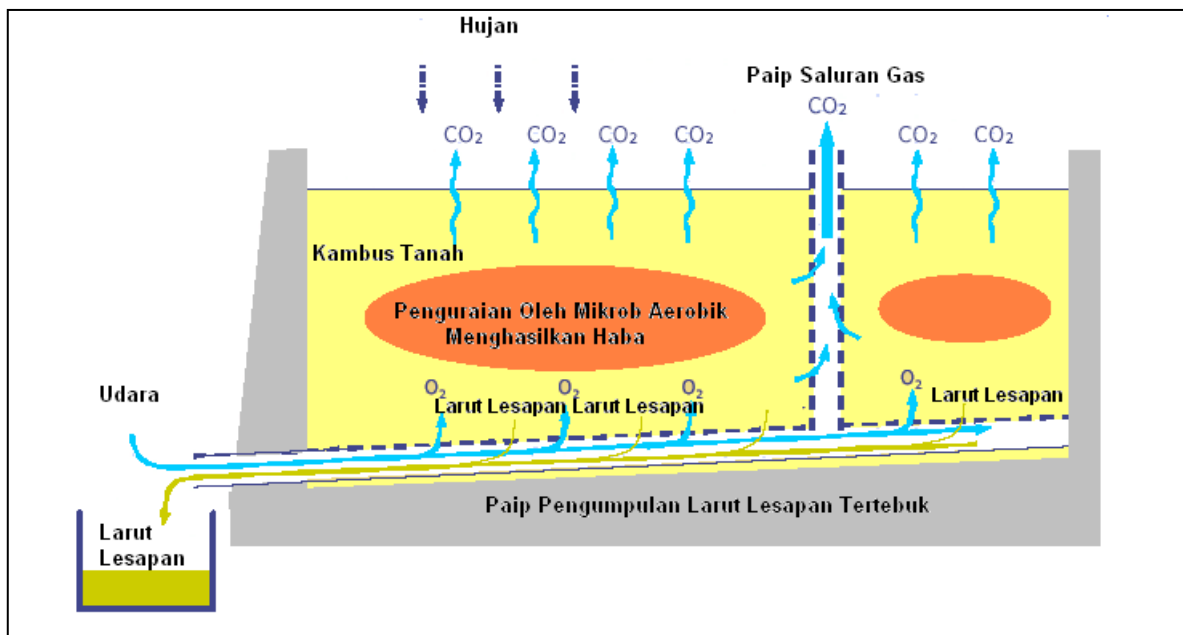
Di tapak pelupusan semi-aerobik, suhu di tapak pelupusan kambus tanah meningkat disebabkan oleh pemanasan yang terhasil dari pembiorosotan sisa pepejal (Lee et al., 1994). Oksigen dari luar dibenarkan memasuki tapak pelupusan melalui paip pengumpulan secara perolakan haba menghasilkan perbezaan tekanan udara di luar dan di dalam paip (Hanashima et al., 1981). Konsep kambus tanah semi-aerobik seperti ditunjukkan dalam Rajah 2.3, Rajah 2.4 dan Rajah 2.5.



Rajah 2.3 : Rekabentuk tapak pelupusan kambus tanah semi-aerobik (Sumber : Matsufuji et al., 1993)



Rajah 2.4 : Perbezaan di antara kambus tanah anaerobik dan semi-aerobik
(Sumber : Matsufuji et al., 1993)

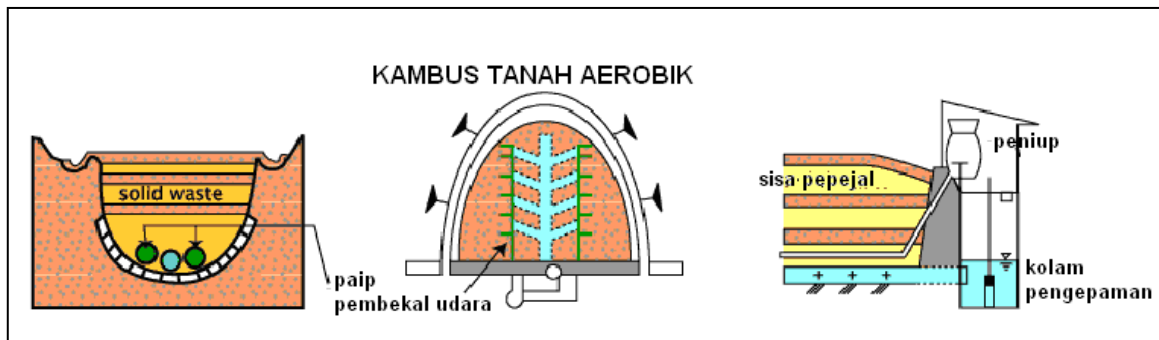


Rajah 2.5 : Lakaran struktur kambus tanah semi-aerobik
(Sumber : Matsufuji et al., 1993)

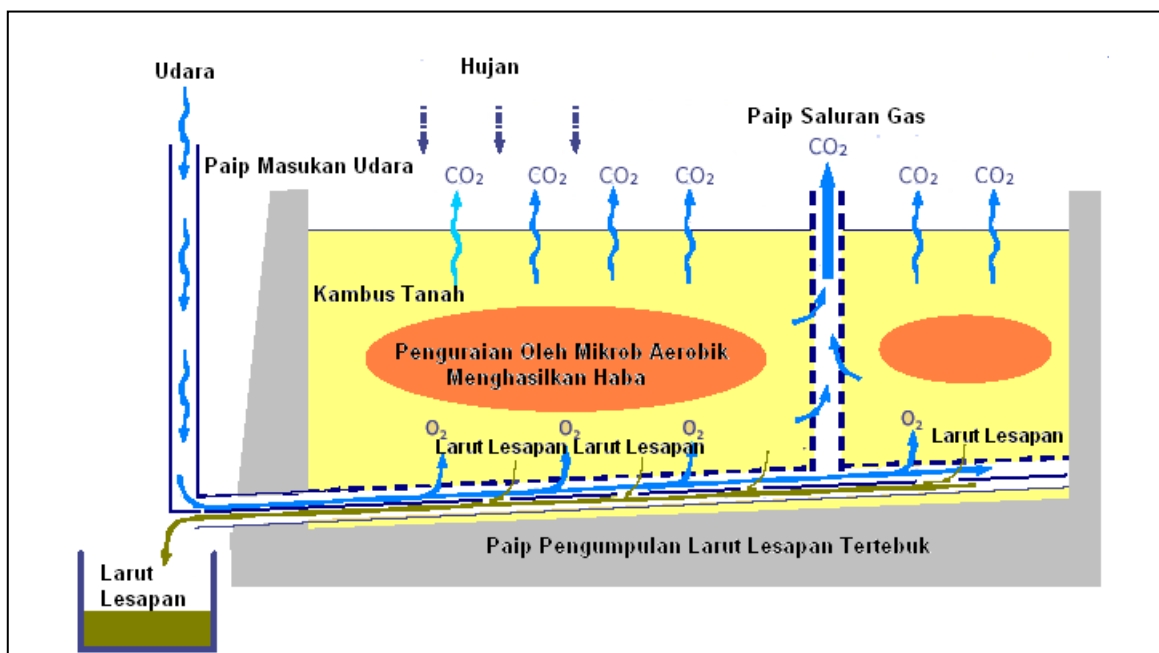
2.1.3 Tapak Pelupusan Kambus Tanah Aerobik

Kambus tanah aerobik direkabentuk dengan dengan menyediakan paip pengumpulan larut lesapan (paip tertebuk) di dasar tapak, bertujuan untuk mengumpul larut lesapan yang terhasil dan seterusnya mengalirkan keluar dari tapak pelupusan secepat mungkin (Shimaoka et al., 2000). Selain dari itu paip pengudaraan disediakan

untuk membekalkan udara memasuki lapisan sisa pepejal dan kitaran semula larut lesapan dilakukan bertujuan untuk mengekalkan kelembapan udara serta membekalkan nutrient untuk proses pembiorosotan oleh mikroorganisme. Keadaan beroksigen membantu mikroorganisme aktif menukarkan sisa biorosot dan bahan organik kepada humus. Kambus tanah aerobik dapat meningkatkan kualiti larut lesapan, menghasilkan gas metana yang rendah dan meningkatkan proses penstabilan sisa pepejal. Dengan peningkatan proses penguraian maka proses penstabilan menjadi lebih cepat dan seterusnya dapat memanjangkan jangka hayat tapak kambus tanah (Shimaoka et al., 1993). Rajah 2.6 dan Rajah 2.7 menunjukkan konsep kambus tanah aerobik.



Rajah 2.6 : Rekabentuk tapak pelupusan kambus tanah aerobik (Sumber : Matsufuji et al., 1993)



Rajah 2.7 : Lakaran struktur kambus tanah aerobik (Sumber : Matsufuji et al., 1993)

2.2 Proses Penguraian di Tapak Pelupusan Kambus Tanah

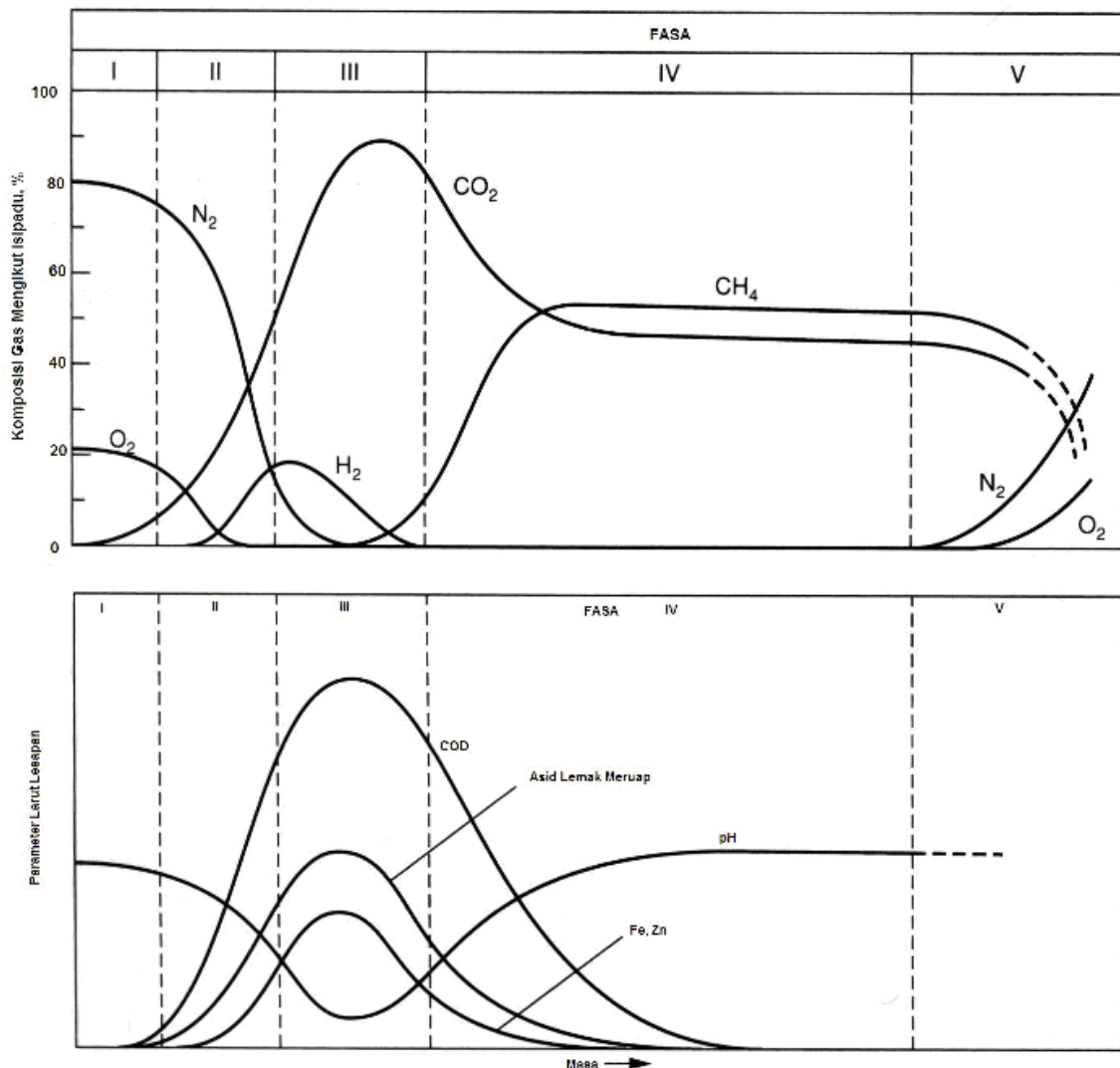
Proses penguraian sisa pepejal di tapak kambus tanah adalah kompleks dan berbeza dari satu tapak ke satu tapak yang lain dan bergantung kepada pelbagai faktor seperti komposisi sisa pepejal, operasi tapak kambus tanah, keadaan cuaca, keadaan hidrologi tapak kambus tanah, perubahan musim, umur tapak kambus tanah, suhu, kandungan lembapan dan pH (Trankler et al., 2001). Perubahan dalam penguraian sisa pepejal amat penting untuk rekabentuk, operasi dan kawalan loji olahan larut lesapan.

Proses penguraian di tapak pelupusan kambus tanah boleh dibahagikan kepada lima fasa iaitu fasa penyesuaian awal (fasa aerobik), fasa peralihan, fasa pembentukan asid, fasa penapaian metana dan fasa pematangan (Barlaz dan Ham, 1993). Ciri-ciri dan kadar penghasilan sisa dan pengeluaran gas dari tapak kambus tanah adalah berbeza untuk setiap fasa dan berkait rapat dengan proses tindakbalas mikrobiologi yang berlaku pada setiap fasa di dalam kambus tanah terbabat. Kadar penguraian di setiap fasa adalah bergantung kepada faktor fizikal, kimia dan mikrobiologi terhadap masa di tapak kambus tanah (Pohland et al., 1985). Rajah 2.8 menunjukkan urutan fasa penstabilan kambus tanah (Tchobanoglous et al., 1993). Melalui perbezaan fasa ini, kadar alir dan sifar-sifat larut lesapan yang terhasil berubah-ubah dari masa ke semasa melalui penurunan aerobik dan anaerobik yang berlaku di sepanjang fasa-fasa tersebut (Tchobanoglous et al., 1993).

2.2.1 Fasa Penyesuaian Awal (Fasa Aerobik)

Fasa ini bermula apabila sisa pepejal ditempatkan di tapak pelupusan kambus tanah. Timbunan sisa pepejal menyerap kandungan lembapan. Sisa pepejal terurai secara aerobik kerana terdapat udara yang terperangkap di dalam lapisan sisa pepejal.

Kehadiran oksigen dan bakteri aerobik menguraikan sisa pepejal kepada kompaun bahan organik larut yang berfungsi sebagai sumber tenaga dan nutrien karbon bagi membantu proses pembentukan dan pembiakan sel baru (Barlaz dan Ham, 1993). Selain dari itu, bakteria aerobik menukarkan bahan organik lain seperti karbon dioksida (CO_2), air (H_2O) dan haba (McBean et al., 1995). Memandangkan kuantiti oksigen yang terhad di dalam sisa pepejal, maka penguraian aerobik memainkan peranan yang amat kecil dalam proses pembiorosotan di tapak kambus tanah (McBean et al., 1995).



Rajah 2.8 : Fasa penstabilan kambus tanah (I = fasa penyesuaian awal, II = fasa peralihan, III = fasa pembentukan asid, IV = fasa penapaian metana dan V = fasa pematangan (Sumber : Tchobanoglous et al., 1993).

Fasa ini biasanya mengambil masa beberapa hari sahaja dan seterusnya aktiviti bakteria merosot disebabkan oleh penyusutan dan pengurangan oksigen apabila sisa pepejal ditutup (Kjeldsen dan Christoffersen, 2001). Namun begitu, fasa aerobik ini berterusan di tapak kambus tanah terutama pada lapisan atas sisa pepejal kerana masih terdapat oksigen daripada resapan dan penyusupan air hujan (Cristensen dan Kjeldsen, 1989). Larut lesapan yang terhasil dalam fasa ini adalah sedikit dan kebanyakannya disebabkan oleh kandungan lembapan yang keluar semasa proses pepadatan sisa pepejal di tapak kambus tanah (Barlaz dan Ham, 1993). Larut lesapan yang terhasil adalah akibat pemerangkapan jirim-jirim zarah, pelarutan garam boleh larut yang tinggi dan kehadiran spesis organik (McBean et al., 1995). Larut lesapan yang terhasil biasanya mempunyai nilai pH yang melebihi neutral (Lagerkvist, 1994).

2.2.2 Fasa Peralihan

Peralihan dari fasa aerobik ke fasa anaerobik memakan masa di antara 6 bulan hingga 18 bulan selepas sisa pepejal mula ditimbunkan di tapak pelupusan kambus tanah (Stegen et al., 1987). Apabila bekalan oksigen di tapak kambus tanah habis atau berkurangan, fasa anaerobik bermula dan seterusnya membantu tindakbalas penapaian (Reinhart dan Grosh, 1998). Organisma aerobik akan mati dan bakteria fakultatif serta bakteria anaerobik menjadi pengurai utama. Bakteria anaerobik menguraikan bahan yang dihasilkan oleh bakteria aerobik kepada asid asetik, asid laktik, asid formik dan alkohol seperti metanol dan etanol (Cristensen dan Kjeldsen, 1989). Kebanyakan asid yang terhasil dalam fasa ini menyebabkan penurunan nilai pH dalam larut lesapan (Barlaz dan Ham, 1993). Di akhir fasa ini kepekatan COD di dalam larut lesapan adalah di antara 480 mg/L hingga 18000 mg/L dan asid organik meruap (VOA) di antara 100 mg/L hingga 3000 mg/L (Reinhart dan Grosh, 1998).

2.2.3 Fasa Pembentukan Asid (Fasa Asidogenik)

Proses hidrolisis (pelarutan) sisa pepejal yang berterusan diikuti dengan perubahan mikrobiologi terhadap jirim organik boleh biorosot menghasilkan VOA, ammonia, hidrogen dan CO₂ yang tinggi (Tchobanoglous et al., 1993). Penurunan pH biasanya terus berlaku dalam fasa ini, menyebabkan pertambahan larutan berasid dan seterusnya kandungan logam berat seperti kromium, besi dan mangan terlarut di dalam larut lesapan. Keperluan nutrient seperti nitrogen dan fosforus menjadi amat penting kepada bakteria anaerobik menyebabkan populasi bakteria ini berkembang dan seterusnya menguraikan sisa pepejal.

Semasa fasa ini berbagai jenis bakteria anaerobik wujud dan sesetengah bakteria tersebut menggunakan asid yang terbentuk untuk memelihara kestabilan persekitaran dengan mencegah pH dari terus menurun (Lu et al., 1985). Bacteria penapai menukarkan asid organik, alkohol, hidrogen dan CO₂ kepada asetat. Kadar kepekatan BOD dan COD adalah tinggi semasa fasa ini (Reinhart dan Grosh, 1998). Nilai BOD adalah di antara 1000 mg/L hingga 57700 mg/L, COD di antara 1500 mg/L hingga 71100 mg/L dan kealiran tentu di antara 1600 µmhos/cm hingga 17100 µmhos/cm sepanjang fasa ini (McBean et al., 1995). Nisbah BOD/COD semasa fasa ini adalah di antara 0.4 hingga 0.7 (Robinson, 1995; McBean et al., 1995). Jadual 2.1 menunjukkan komposisi larut lesapan semasa fasa pembentukan asid dari beberapa penyelidik.

2.2.4 Fasa Penapaian Metana (Fasa Metanogenik)

Permulaan berlakunya fasa penapaian metana terjadi apabila metana terbentuk (Cristensen et al., 1994). Perubahan dari fasa pembentukan asid ke fasa penapaian metana berlaku dalam tempoh antara 4 hingga 10 tahun selepas sisa pepejal

Jadual 2.1 : Komposisi larut lesapan dalam fasa pembentukan asid (Asidogenik).
Unit mg/L, kecuali pH dan nisbah BOD/COD

Parameter	Purata ^a	Purata ^b	Julat nilai ^c	Julat nilai ^d
pH	6.1	6.7	4.5 – 7.8	4.5 – 7.8
BOD ₅	13000	18632	4000 – 68000	500 – 68000
COD	22000	36817	6000 – 152000	400 – 152000
TOC	T.D	12217	1010 – 29000	350 – 29000
BOD/COD	0.58	0.51	0.45 – 0.65	T.D
VFA	T.D	8197	963 – 22414	T.D
SO ₄	500	676	<5 – 1750	4 – 2800
Ca	1200	2241	10 – 6240	T.D
Mg	470	384	25 – 1150	T.D
Fe	780	654	20 – 2300	0.1 – 2300
Mn	25	33	0.3 – 164	T.D
Zn	5	17	0.1 – 140	0.02 – 200

Sumber :

^a Ehrig (1989)

^b Robinson dan Gronow (1993)

^c Ehrig (1989), Kettunen (1997), Kruempelbeck dan Ehrig (1999)

^d Marttinen et al. (2000), Robinson (1995) dan Tchobanoglous et al. (1993)

T.D – tidak diperolehi

ditempatkan di tapak pelupusan dan mungkin memerlukan tempoh masa yang lebih panjang iaitu dalam tempoh 8 tahun hingga 10 tahun (Robinson dan Gronow, 1993; Krug dan Ham 1997). Sebahagian penyelidik mendapati bahawa fasa penapaian metana ini mungkin berlaku hanya dalam beberapa tahun (Krumpelbeck dan Ehrig, 1999). Sepanjang fasa ini, asid yang terbentuk semasa fasa pembentukan asid ditukar kepada metana dan karbon dioksida (CO₂) oleh bakteria metanogenik (Reinhart dan Grosh, 1998).

Kepekatan COD dan BOD menurun kerana kebanyakan bahan telah ditukarkan kepada gas (McBean et al., 1995) dan nilai pH meningkat (Reinhart dan Gosh, 1998) apabila asid yang terbentuk habis atau digunakan. Pengurangan pH ini menyebabkan logam berat bertukar sifat kimianya seterusnya menyingkirkan logam berat di dalam larut lesapan. Nisbah BOD/COD menjadi kurang dari 0.1 (Pacey, 1999). Bakteria

metanogenik bertindak secara perlahan tetapi berkesan untuk tempoh yang panjang dan menjangkau sehingga 60 tahun (Kjeldsen dan Cristophersen, 2001). Jadual 2.2 menunjukkan komposisi larut lesapan semasa fasa penapaian metana (metanogenik) dari beberapa penyelidik.

Jadual 2.2 : Komposisi larut lesapan dalam fasa penapaian metana (Metanogenik).
Unit mg/L, kecuali pH dan nisbah BOD/COD

Parameter	Purata ^a	Purata ^b	Julat nilai ^c	Julat nilai ^d
pH	8	7.5	6.8 – 9.0	6.4 – 9.0
BOD ₅	180	374	20 – 1770	<0.5 – 1770
COD	3000	2307	500 – 8000	<1 – 8000
TOC	T.D	733	184 – 2270	14 – 2270
BOD/COD	0.06	0.16	0.04 – 0.20	T.D
VFA	T.D	18	<5 – 146	T.D
SO ₄	80	67	<5 – 420	<1 – 1190
Ca	60	151	20 – 600	T.D
Mg	180	250	40 – 478	T.D
Fe	15	27	1.6 – 280	0.3 – 330
Mn	0.7	0.5	0.03 – 45	T.D
Zn	0.6	1.1	0.03 – 6.7	<0.005 – 9

Sumber :

^a Ehrig (1989)

^b Robinson dan Gronow (1993)

^c Ehrig (1989), Kettunen (1997), Kruempelbeck dan Ehrig (1999)

^d Marttinen et al. (2000), Robinson (1995) dan Tchobanoglous et al. (1993)

T.D – tidak diperolehi

2.2.5 Fasa Pematangan (Fasa Pengurangan Metana)

Di peringkat fasa pematangan atau fasa pengurangan penapaian metana, nilai pH akan berterusan meningkat berdasarkan kepada pengurangan kepekatan asid karboksilik di bawah 100 mg/L (Barlaz dan Ham, 1993). Sebahagian COD kekal di dalam larut lesapan (Cristensen et al., 1994). Nisbah BOD/COD menurun kepada sifar (Robinson, 1995).

Perbezaan kepekatan logam semasa fasa pembentukan asid (asidogenik) adalah kecil berbanding fasa penapaian metana (metanogenik). Sebahagian logam mempunyai kepekatan yang tinggi semasa fasa pembentukan asid (asidogenik) berbanding fasa penapaian metana (metanogenik) seperti ditunjukkan dalam Jadual 2.1 dan Jadual 2.2. Namun, kebanyakan logam, tidak terdapat perbezaan yang ketara untuk kedua-dua fasa tersebut seperti ditunjukkan dalam Jadual 2.3. Bahan organik dan sebahagian logam mempunyai perbezaan yang ketara dalam kedua-dua fasa pembentukan asid (asidogenik) dan fasa penapaian metana (metanogenik). Nutrien dan elemen lain seperti sodium, klorida dan halogen organik boleh jerap (AOX) tidak bergantung kepada perubahan fasa tersebut. Ini ditunjukkan dalam Jadual 2.4.

Jadual 2.3 : Kepekatan logam dalam larut lesapan. Unit : $\mu\text{g/L}$

Parameter	Fasa Asidogenik ^a	Fasa Metanogenik ^a	Fasa Asidogenik ^b	Fasa Metanogenik ^b
As	24	34	T.D	T.D
Cd	20	15	<0.2 – 100	<0.01 – 900
Co	T.D	T.D	T.D	T.D
Ni	420	170	<10 – 1800	36 – 600
Pb	280	200	<1 – 900	<0.1 – 1900
Cr	130	90	<10 – 1500	<0.01 – 700
Cu	130	130	3 – 1100	<0.7 – 600
Hg	0.4	0.2	T.D	T.D

Sumber :

^a Robinson dan Gronow (1993)

^b Ehrig (1989), Kettunen (1997), Kruempelbeck dan Ehrig (1999), Marttinen et al. (2000), Robinson (1995) dan Tchobanoglous et al. (1993)

T.D – tidak diperolehi

Jadual 2.4 : Juzuk di dalam larut lesapan yang tidak dipengaruhi oleh perubahan fasa penstabilan kambus tanah. Unit mg/L, kecuali alkaliniti (mgCaCO₃/L) dan AOX (µg Cl/L)

Parameter	Nilai Purata Asidogenik ^a	Julat nilai Metanogenik ^a	Julat nilai Asidogenik ^b	Julat nilai Metanogenik ^b
Cl	2100	100 – 5000	8.5 – 5000	<1 – 5000
Na	1350	50 – 4000	29 – 3000	4 – 3650
K	1100	10 – 2500	T.D	T.D
Alkaliniti	6700	300 – 11500	160 – 15870	100 – 11500
NH ₄ -N	750	30 – 3000	8.5 – 3610	<1 – 2040
Org-N	600	10 – 4250	T.D	T.D
Tot-N	1250	50 – 5000	T.D	T.D
NO ₃ -N	3	0.1 – 50	<0.2 – 18	<0.1 – 64
NO ₂ -N	0.5	0 – 25	<0.01 – 1.4	<0.01 – 7.2
Tot-P	6	0.1 – 30	T.D	T.D
PO ₄ -P	T.D	T.D	<0.05 – 22.6	<0.01 – 18.4
AOX	2000	320 - 3500	T.D	T.D

Sumber :

^a Heyer dan Stegmann (1998)

^b Ehrig (1989), Kettunen (1997), Kruempelbeck dan Ehrig (1999), Marttinen et al. (2000), Robinson (1995) dan Tchobanoglous et al. (1993)

T.D – tidak diperolehi

2.3 Larut Lesapan

Larut lesapan merupakan cecair berwarna coklat kehitaman yang terbentuk apabila berlaku penyusupan air hujan atau air larian permukaan ke dalam lapisan sisa pepejal yang sedang mengalami proses penguraian biologi, kimia dan fizikal. Penyusupan air berlaku apabila magnitud daya graviti mengatasi daya pegangan, di mana kelembapan air yang tinggi melebihi daya serapan oleh lapisan sisa pepejal (Al-Fadel, 2002). Larut lesapan akan mengalir keluar melepasi sisa pepejal di tapak pelupusan dan mengandungi kepekatan pencemar yang tinggi seperti bahan pencemar organik dan bukan organik, logam berat, pepejal terlarut dan koloid serta pelbagai jenis patogen yang berpotensi mencemar alam sekitar, air permukaan dan air bumi (Tatsi et al., 2003; Aluko et al., 2003).