

**KAEDAH OLAHAN FIZIKAL MENGGUNAKAN CAMPURAN MEDIA
ZEOLIT DAN BATU KAPUR DALAM MENYINGKIRKAN COD DAN
WARNA DARI LARUT LESAPAN SEMI-AEROBIK TAPAK PELUPUSAN
PULAU BURUNG**

Oleh

Rohalina Binti Ramli

Disertasi ini dikemukakan kepada

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat
keperluan untuk ijazah dengan kepujian

SARJANA MUDA KEJURUTERAAN (KEJURUTERAAN AWAM)

PENGHARGAAN

Pertama sekali, setinggi kesyukuran dipanjatkan kepada Allah S.W.T kerana mengurniakan nikmat kesihatan dan dengan izin-Nya juga projek tahun akhir ini dapat disiapkan tanpa ada aral yang melintang. Setulus ucapan terima kasih ditujukan kepada kedua ibu bapa, iaitu Rodziah Hashim dan Ramli Shafie di atas sokongan serta dorongan yang tidak pernah luak dari dulu, kini dan selamanya. Seterusnya setinggi penghargaan kepada Profesor Madya Dr. Hamidi Abdul Aziz selaku penyelia utama yang telah banyak membimbing dan tidak jemu memberi tunjuk ajar serta nasihat dalam menyempurnakan projek tahun akhir ini. Tidak dilupakan jutaan terima kasih kepada Encik Mohamed Shahrir Mohamed Zahari yang sanggup meluangkan masa memberi tunjuk ajar dalam menjalankan ujikaji makmal dari mula sehinggalah projek ini berakhir. Sekalung penghargaan kepada rakan seperjuangan iaitu Faisal Rasaik, Lee Ngan Siew dan Heng Mui Lee, yang telah banyak membantu, berkongsi pengetahuan dan bersama-sama bertungkus lumus dalam usaha menjayakan projek ini. Kepada juruteknik-juruteknik makmal dan mereka yang terlibat membantu secara langsung atau tidak langsung, ribuan terima kasih diucapkan.

ABSTRAK

Keperluan Oksigen Kimia (COD) dan warna merupakan di antara parameter larut lesapan yang boleh mencemarkan alam sekitar. Di negara kita, kajian terhadap rawatan larut lesapan adalah terhad, terutamanya rawatan secara penjerapan. Teknik rawatan larut lesapan melalui kaedah kimia dan biologi menelan belanja yang besar dan sehingga kini masih belum terbukti boleh mencapai standard yang ditetapkan. Beberapa kajian yang telah dijalankan sebelum ini telah membuktikan bahawa kaedah olahan fizikal seperti penggunaan arang kayu dan batu kapur mampu menangani tahap pencemaran larut lesapan. Kajian yang dijalankan ini adalah berkisar kepada penggunaan campuran media zeolit dan batu kapur dalam olahan fizikal untuk menyingkirkan COD dan warna dari larut lesapan semi-aerobik di Tapak Pelupusan Pulau Burung (TPPB). Pencampuran di antara batu kapur dan zeolit menguntungkan kerana kos batu kapur adalah rendah. Ujikaji-ujikaji kelompok telah dilakukan seperti penentuan masa-masa pengoncangan dan masa penganapan yang optimum, halaju kocakan (rpm), campuran optimum zeolit dan batu kapur, isoterma penjerapan serta penentuan mekanisma penyingkiran secara penjerapan melalui ujikaji kinetik. Dengan menggunakan masa pengoncangan dan penganapan masing-masing selama 2 jam dengan halaju kocakan 300 rpm, keputusan ujian menunjukkan bahawa campuran zeolit dan batu kapur pada nisbah 25:15 mampu menyingkirkan sebanyak 15% COD dan 50% warna. Isoterma penjerapan Freundlich menunjukkan bahawa nilai $1/n$ dan k_f bagi ujikaji COD masing-masing ialah 11.292 dan 2124. Nilai $1/n$ dan k_f bagi warna pula ialah ialah -2.2232 dan 10×10^{-6} . Penjerapan kimia berlaku dalam penyingkiran COD dan warna kerana graf yang terhasil memenuhi hukum kinetik kedua, di mana nilai R^2 bagi COD dan warna adalah masing-masing 0.937 dan 0.9927.

ABSTRACT

COD (Chemical Oxygen Demand) and color are among the main leachate parameter that may pollute the environment. There are limited studies in Malaysia on leachate treatment, especially by adsorption. Biological and chemical treatments are costly and to date no prove has been reported on their ability to achieve the standard. Previous research has indicated that physical treatments by using charcoal and limestone were capable of attenuating leachate pollution. This present research was carried to study the efficiency of physical treatment by using a mixture of both zeolites and limestone to remove color and COD in leachate generated from Pulau Burung Landfill Site (PBLs). The mixture between limestone and zeolite is advantageous as the cost of limestone is cheaper. Batch studies were conducted in laboratory to analyze the optimum shaking and settling times, shaking speed (rpm), optimum mixture of both materials (zeolites and limestone), isotherms and the adsorption mechanism. By using two hours of shaking and settling times, shaking speed of 300 rpm, the results showed that the combination of both zeolites and limestone at a mixture ratio of 25 : 15 was able to remove 15 % COD and 50 % color from leachate. Adsorption isotherm gave the values of $1/n$ and k_f for COD as 11.292 and 2124, respectively while the values of $1/n$ and k_f for color were -2.2232 and 10×10^{-6} , respectively. Results also indicated that the removal of COD and color was due to chemical sorption, following the pseudo second order kinetic with R^2 values for COD and color 0.937 and 0.9927, respectively.

KANDUNGAN

	Muka Surat
PENGHARGAAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KANDUNGAN	v
SENARAI RAJAH	x
SENARAI JADUAL	xii
SENARAI LAMPIRAN	xiii
BAB 1 PENGENALAN	1
1.1 Pengenalan	1
1.2 Objektif kajian	3
1.3 Skop kajian	3
BAB 2 SISA PEPEJAL DAN LARUT LESAPAN	5
2.1 SISA PEPEJAL	5
2.1.1 Definisi	5
2.1.2 Fenomena pengurusan sisa pepejal di Malaysia	5
2.1.3 Kepentingan pengurusan sisa pepejal	8
2.1.4 Komposisi sisa pepejal	9
2.2 LARUT LESAPAN	11
2.2.1 Definisi	11
2.2.2 Penghasilan larut lesapan	12
2.2.3 Komposisi larut lesapan	13
2.2.4 Faktor-faktor yang mempengaruhi kualiti larut lesapan	15

2.2.4.1	Masa	15
2.2.4.2	Suhu ambien	15
2.2.4.3	Kelembapan	15
2.2.4.4	Oksigen	16
2.2.5	Faktor-faktor yang mempengaruhi kuantiti larut lesapan	16
2.2.5.1	Hujan	16
2.2.5.2	Kelembapan sisa pelupusan	17
2.2.5.3	Rekabentuk lapisan penutup terakhir	17
2.2.6	Pencemaran akibat larut lesapan	17
2.2.7	Rawatan larut lesapan	19
2.2.7.1	Olahan biologi	19
2.2.7.1.1	Tindakbalas aerobik	19
2.2.7.1.2	Tindakbalas anaerobik	20
2.2.7.2	Olahan fizikal dan kimia	21
2.2.8	Penjerapan	22
2.2.9	Isoterma penjerapan	23
2.2.10	Kinetik penjerapan	24
2.2.10.1	Pseudo hukum kinetik pertama	24
2.2.10.2	Pseudo hukum kinetik kedua	25
2.2.10.3	Serapan intra-zarahan	26
BAB 3	COD DAN WARNA	27
3.1	COD (Keperluan Oksigen Kimia)	27
3.2	WARNA	28
3.2.1	Pengenalan	28
3.2.2	Pencemaran warna	29

3.2.3	Teknologi rawatan air sisa berwarna	29
3.2.3.1	Kerpasan	30
3.2.3.2	Penjerapan dengan karbon teraktif	30
3.2.3.3	Proses Katox	30
3.2.3.4	Pertukaran ion	30
3.2.3.5	Pengozonan	31
BAB 4	BATU KAPUR DAN ZEOLIT	32
4.1	BATU KAPUR	32
4.1.1	Pengenalan	32
4.1.2	Kegunaan batu kapur	32
4.1.2.1	Kegunaan batu kapur dalam industri air	33
4.1.2.2	Kegunaan batu kapur dalam industri membuat kertas	33
4.1.2.3	Kegunaan batu kapur dalam industri plastik	34
4.1.2.4	Kegunaan batu kapur dalam industri penghasilan cat	34
4.2	ZEOLIT	34
4.2.1	Pengenalan	34
4.2.2	Kegunaan zeolit	35
4.2.2.1	Kegunaan zeolit dalam industri air	35
4.2.2.2	Kegunaan zeolit dalam pertanian	36
4.2.2.3	Kegunaan zeolit dalam aktiviti penternakan	36
4.2.2.4	Kegunaan zeolit dalam aktiviti pembuangan sampah	37
4.2.2.5	Kegunaan zeolit dalam industri petrokimia	37
BAB 5	BAHAN DAN KAEDAH	38
5.1	OBJEKTIF	38
5.2	BAHAN DAN PERALATAN	38

5.2.1	Bahan	38
5.2.2	Peralatan	40
5.3	KAEDAH	40
5.3.1	Ujikaji warna	40
5.3.2	Ujikaji COD	40
5.3.3	Masa pengoncangan yang optimum	41
5.3.4	Masa penganapan yang optimum	42
5.3.5	Halaju kocakan yang optimum (rpm)	43
5.3.6	Campuran optimum media zeolit dan batu kapur	43
5.3.7	Isoterma penjerapan COD dan warna	45
5.3.8	Mekanisma penyingkiran secara penjerapan bagi COD dan warna	45
BAB 6	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	47
6.1	Ketumpatan dan jisim bagi zeolit dan batu kapur	47
6.2	Peratus penyingkiran COD dan warna	48
6.1	Masa pengoncangan yang optimum	50
6.2	Masa penganapan yang optimum	51
6.3	Halaju kocakan yang optimum (rpm)	51
6.4	Campuran optimum zeolit dan batu kapur	52
6.5	Isoterma penjerapan COD dan warna	53
6.6	Mekanisma penyingkiran secara penjerapan bagi COD dan warna	57
6.6.1	Pseudo hukum kinetik kedua dan serapan intra-zarahan bagi COD dan warna	58
6.7	Faktor-faktor yang mempengaruhi keputusan ujikaji	62

BAB 7	KESIMPULAN DAN CADANGAN	63
7.1	KESIMPULAN	63
7.2	CADANGAN	64

RUJUKAN

LAMPIRAN A	KAEDAH STANDARD MENGGUNAKAN SPEKTROFOTOMETER DR2010 (DR2010 SPECTROPHOTOMETER), JENIS HACH
LAMPIRAN B	PEMBETULAN BACAAN COD
LAMPIRAN C	JADUAL KEPUTUSAN UJIKAJI

SENARAI RAJAH

		Muka Surat
Rajah 2.1	Perkaitan antara beberapa elemen utama dalam pengurusan sisa pepejal	6
Rajah 2.2	Lakaran penghasilan larut lesapan di tapak kambus tanah	12
Rajah 2.3	Turutan proses olahan fizikal dan kimia	22
Rajah 3.1	Kepekatan COD larut lesapan (mg/L)	28
Rajah 6.1	Peratus penyingkiran COD dan warna melawan masa pengoncangan	50
Rajah 6.2	Peratus penyingkiran COD dan warna melawan masa penganapan	51
Rajah 6.3	Peratus penyingkiran COD dan warna melawan halaju kocakan(rpm)	52
Rajah 6.4	Peratus penyingkiran COD dan warna melawan masa campuran optimum zeolit dan batu kapur	53
Rajah 6.5	Peratus penyingkiran COD dan warna dalam ujikaji isoterma penjerapan melawan isipadu media	54
Rajah 6.6	Isoterma penjerapan COD	55
Rajah 6.7	Isoterma penjerapan warna	55
Rajah 6.8	Peratus perubahan COD dan warna dalam ujikaji mekanisme penyingkiran secara penjerapan melawan masa pengoncangan	58
Rajah 6.9	Hukum kinetik kedua bagi ujikaji COD	59

Rajah 6.10	Serapan intra-zarahan bagi ujikaji COD	59
Rajah 6.11	Hukum kinetik kedua bagi ujikaji warna	60
Rajah 6.12	Serapan intra-zarahan bagi ujikaji warna	60

SENARAI JADUAL

Muka Surat

Jadual 2.1	Taburan tipikal komponen di dalam sisa MSW dari kawasan perumahan untuk penduduk berpendapatan rendah, sederhana dan tinggi (tidak termasuk bahan kitaran semula)	10
Jadual 2.2	Ciri-ciri larut lesapan dari kolam tadahan lama Tapak Pelupusan Pulau Burung (TPPB)	11
Jadual 2.3	Data tipikal ke atas komposisi larut lesapan dari tapak pelupusan lama dan baru	14
Jadual 2.4	Kualiti air bumi bagi kemudahan sisa merbahaya baru	18
Jadual 5.1	Peratus komposisi zeolit dan batu kapur	38
Jadual 5.2	Ketumpatan dan jisim bagi zeolit dan batu kapur yang digunakan dalam ujikaji	39
Jadual 5.3	Nisbah campuran zeolit dan batu kapur dalam unit gram	44
Jadual 6.1	Ketumpatan dan jisim zeolit	47
Jadual 6.2	Ketumpatan dan jisim batu kapur	47
Jadual 6.3	Keputusan peratus penyingkiran COD dalam ujikaji masa pengoncangan yang optimum	49
Jadual 6.4	Keputusan isoterma penjerapan COD dan warna berdasarkan model isoterma Freundlich	56
Jadual 6.5	Nilai $\frac{1}{q_e}, \frac{1}{k_2 q_e^2}$ dan persamaan hukum kinetik kedua dalam ujikaji COD dan warna	61

SENARAI LAMPIRAN

Lampiran A:

KAEDAH STANDARD MENGGUNAKAN SPEKTROFOTOMETER DR2010
(DR2010 SPEKTROPHOTOMETER), JENIS HACH.

Lampiran B:

PEMBETULAN BACAAN COD

Lampiran C:

- Jadual C1 Peratus penyingkiran COD dan warna dalam ujikaji masa pengoncangan yang optimum
- Jadual C2 Peratus penyingkiran COD dan warna dalam ujikaji masa penganapan yang optimum
- Jadual C3 Peratus penyingkiran COD dan warna dalam ujikaji halaju kocakan yang optimum (rpm)
- Jadual C4 Peratus penyingkiran COD dan warna dalam ujikaji campuran optimum media zeolit dan batu kapur
- Jadual C5 Peratus penyingkiran COD dan warna dalam ujikaji isoterma penjerapan
- Jadual C6 Isoterma penjerapan COD
- Jadual C7 Isoterma penjerapan warna
- Jadual C8 Peratus penyingkiran COD dan warna dalam ujikaji mekanisma penyingkiran secara penjerapan

- Jadual C9 Keputusan ujikaji mekanisma penyingkiran secara penjerapan bagi COD berdasarkan pseudo hukum kinetik kedua dan serapan intra-zarahan
- Jadual C10 Keputusan ujikaji mekanisma penyingkiran secara penjerapan bagi warna berdasarkan pseudo hukum kinetik kedua dan serapan intra-zarahan

BAB I

PENGENALAN

1.1 Pengenalan

Pada masa kini, kapasiti pembuangan sampah di sesuatu kawasan bandar semakin meningkat dari sehari ke sehari. Pembangunan, pambandaran, kecanggihan teknologi, kemajuan ekonomi, peningkatan jumlah penduduk dan kenaikan taraf hidup masyarakat merupakan di antara faktor yang menyumbang kepada peningkatan jumlah sampah yang dibuang setiap hari. Setiap orang dianggarkan menghasilkan sisa-sisa pejal dengan kadar penajanaan di antara 0.5 kg hingga 1.5 kg seorang sehari dengan hitung panjang 0.75 kg dalam sehari (Tchobanoglous, 1977). Sehingga kini, sistem pelupusan sampah di negara kita masih menjanakan masalah yang tersendiri akibat tiada teknologi yang spesifik dan sistematik dalam mengawal tahap pencemaran yang berlaku terhadap larut lesapan yang terhasil di tapak kambus tanah. Larut lesapan yang terhasil di tapak kambus tanah jelas menyumbang kepada pencemaran air permukaan dan air bumi. Oleh yang demikian, adalah penting untuk menitik beratkan kapasiti yang mampu ditanggung oleh sesebuah tapak kambus tanah yang menjanakan larut lesapan. Larut lesapan yang terhasil turut dikenalpasti sebagai salah satu punca utama yang menyumbang kepada pencemaran persekitaran, dan kajian yang pernah dijalankan sebelum ini membuktikan bahawa walau sekecil mana sekali pun saiz tapak pelupusan, ia tetap mendatangkan masalah kepada air bumi (Baghi, 1987). Di Malaysia, didapati bahawa kajian terhadap rawatan larut lesapan dalam menyingkirkan parameter-parameter penting seperti nitrogen ammonia, COD, warna, logam berat dan beberapa parameter lagi adalah terhad, terutamanya dalam rawatan penjerapan.

Menurut WHO (1971), kualiti air minuman yang selamat mestilah mematuhi beberapa piawai yang telah ditetapkan seperti tidak mengandungi bakteria patogen, tidak berbau, tidak mempunyai rasa, bebas daripada pepejal terampai yang dapat dilihat, bebas daripada bahan kimia yang merbahaya, tidak berwarna dan mempunyai kandungan keliatan yang rendah. Usaha mengawal tahap pencemaran air boleh dilakukan berdasarkan beberapa kaedah iaitu fizikal, kimia dan biologi. Beberapa kajian telah membuktikan bahawa kaedah biologi dan kimia tidak dapat menangani tahap pencemaran larut lesapan dengan berkesan. Sebagai contoh, kepekatan nitrogen ammonia di dalam larut lesapan dapat disingkirkan dalam kuantiti yang kecil melalui kaedah biologi jika dibandingkan dengan kaedah rawatan fizikal-kimia seperti penjaluran udara, osmosis berbalik, penyejatan kimia, pertukaran ion, penapisan membran, pengoksidaan dan penjerapan (Li dan Zhao 1999, Carrera *et. al.*, 2002, Ozturk *et. al.*, 2003). Kaedah olahan biologi dan kimia bukan sahaja belum terbukti mampu mematuhi standard, malah penggunaan kaedah ini tidak ekonomi kerana menelan belanja yang mahal (Aziz *et. al.*, 2004).

Terdapat kajian yang dijalankan untuk merawat larut lesapan dalam menyingkirkan nitrogen ammonia (N-NH_3) dengan menggunakan karbon teraktif, batu kapur dan campuran kedua-dua media tersebut sebagai media penapis. Menurut Aziz *et. al.*, (2004), kombinasi karbon teraktif dan batu kapur pada nisbah campuran 5 : 35 mampu menyingkirkan sebanyak 1000 mgL^{-1} kepekatan nitrogen ammonia dalam larut lesapan TPPB. Penggunaan arang dan karbon teraktif yang dicampurkan dengan zeolit dalam olahan fizikal juga mampu mencapai standard yang dikehendaki, contohnya seperti yang digunakan di Ampang Jajar (Aziz *et. al.*, 2004).

Fenomena pencemaran air, udara serta gangguan terhadap proses ekologi merupakan di antara risiko yang bakal dihadapi akibat ketidakcekan dalam sistem pelupusan sampah. Sisa buangan mesti diurus dengan sempurna dari proses mengumpul, memungut, memunggah, merawat dan seterusnya melupuskannya sedemikian rupa bagi mengelak daripada sebarang gangguan terhadap kehidupan manusia, penyebaran wabak penyakit serta pencemaran alam sekitar (Tchobanoglous, 1977).

1.2 Objektif kajian

Kajian ini adalah bertujuan untuk menguji keberkesanan kaedah olahan fizikal dengan menggunakan campuran media seperti zeolit dan batu kapur dalam menyingkirkan COD dan warna dari larut lesapan semi-aerobik Tapak Pelupusan Pulau Burung (TPPB) melalui:

- Penentuan masa pengoncangan dan masa penganapan yang optimum, halaju kocakan (rpm) dan campuran optimum media zeolit dan batu kapur dalam menyingkirkan COD dan warna.
- Penentuan isoterma penjerapan COD dan warna menggunakan model penjerap Freundlich.
- Mengenalpasti mekanisma penyingkiran secara penjerapan (jika hadir) untuk COD dan warna menggunakan hukum kinetik penjerapan kedua dan ketiga.

1.3 Skop kajian

Dalam kajian ini, penggunaan campuran media seperti zeolit dan batu kapur dalam menyingkirkan COD dan warna dari larut lesapan akan dikaji. Skop kajian ini meliputi:

- Hanya melibatkan penggunaan zeolit dan batu kapur.

- Batu kapur yang digunakan bersaiz 1.18 mm hingga 2 mm dan zeolit pula bersaiz 2 mm hingga 4.75 mm.
- Hanya menyingkirkan parameter COD dan warna dalam sampel larut lesapan yang diambil dari TPPB.
- Hanya mengkaji penentuan isoterma penjerapan melalui isoterma Freundlich.
- Hanya mekanisma penjerapan yang dikaji melibatkan penentuan pseudo hukum kinetik kedua dan serapan intra-zarahan.

BAB 2

SISA PEPEJAL DAN LARUT LESAPAN

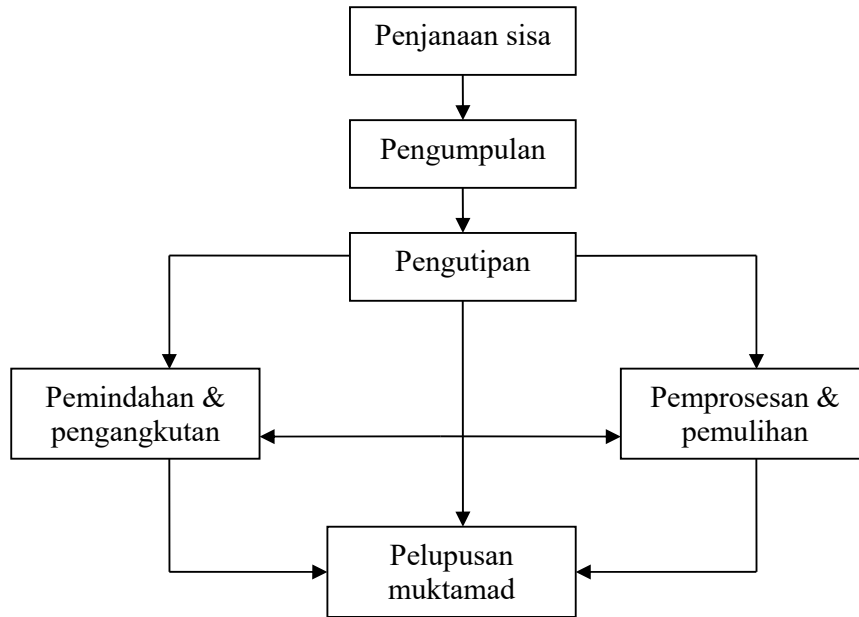
2.1 SISA PEPEJAL

2.1.1 Definisi

Sisa pepejal atau dikenali sebagai sampah-sarap boleh didefinisikan sebagai bahan yang berbentuk pejal, bukan cecair yang dibuang oleh masyarakat kerana tidak berguna lagi. Sisa pepejal dikatakan meliputi sampah sarap perbandaran enap cemar sisa industri dan sisa merbahaya (Fadil Othman, 1996). Menurut Faridah *et. al.*, (1996), sisa pepejal boleh dikategorikan kepada beberapa sumber, iaitu sisa pepejal domestik atau perumahan, sisa pepejal dari bangunan komersial dan institusi, sisa pepejal dari tapak pembinaan dan pemusnahan atau perobohan bangunan-bangunan lama, sisa pepejal Majlis Perbandaran (*Municipal Solid Waste, MSW*), sisa industri, sisa pertanian dan sisa khas (*special waste*).

2.1.2 Fenomena pengurusan sisa pepejal di Malaysia

Di Malaysia, sisa pepejal yang dibuang dari sumber-sumber seperti perumahan, bangunan komersial dan sebagainya akan dikutip oleh kenderaan khas yang disediakan oleh Majlis Perbandaran Tempatan di setiap negeri dan dibawa ke tapak pembuangan sampah untuk dilupuskan. Antara aktiviti yang terlibat sebelum proses pelupusan sisa tersebut dilakukan, ditunjukkan dalam Rajah 2.1.



Rajah 2.1: Perkaitan antara beberapa elemen utama dalam pengurusan sisa pepejal.

Sumber: Faridah *et. al.*, (1996)

Menurut Glosari Alam Sekitar (1995), kaedah utama pelupusan sisa pepejal di Malaysia ialah menggunakan tapak kambus tanah (*landfill*), iaitu satu kaedah pelupusan dengan cara memampatkan sisa pepejal serta ditutup dengan tanah untuk mengurangkan bau, menghalang kebakaran dan wabak penyakit. Sisa pepejal yang dilupuskan di tapak kambus tanah akan mengalami proses fizikal, kimia dan biologi sebaik sahaja ditimbusi dengan bahan penutup perantara.

Sehingga kini masih belum terdapat teknologi yang spesifik untuk menguruskan sistem pelupusan sampah secara cekap dan efektif. Setiap tan sampah memerlukan belanja kira-kira RM30,000 (Abu Bakar, 1978). Pada tahun 1986, di Kuala Lumpur sahaja, sebanyak RM42 juta telah dibelanjakan untuk mengurus sampah sarap (Fadil

Othman, 1996). Selain menelan belanja yang mahal, sistem pelupusan sampah yang ada kini gagal mencapai piawai yang dikehendaki. Terdapat beberapa katogeri tapak pelupusan yang ada, iaitu:

Tahap I: Pelupusan secara terbuka, di mana tapak tidak berpagar dan sampah sarap dibuang secara terus.

Tahap II: Pelupusan terkawal, iaitu tapak dipagar dan ditimbus dengan pasir, tanah atau runtuhan batu. Tahap pelupusan jenis ini melibatkan tanah penutup harian dan tanah penutup akhir.

Tahap III: Tapak dipagar dan terdapat penutup serta menghasilkan larut resapan. Ia melibatkan kitar sisa dan larut resapan dipam semula ke kolam pertama. Tapak pelupusan direkabentuk dengan baik, di mana terdapat penentuan jenis tanah di dasar tapak sama ada jenis telap atau tidak telap air. Terdapat jaringan salur paip menegak dan mendatar untuk menyalirkan gas dan larut lesapan dari tapak. Bagi mengumpul larut lesapan, kolam-kolam dibina di tapak berkenaan.

Tahap IV: Terdapat pengumpulan larut lesapan seperti tahap III, tetapi proses rawatan adalah lengkap. Terdapat dua kaedah yang digunakan, iaitu kaedah FOKUOKA dan JICA. Kaedah ini tidak terdapat di Malaysia.

Di Malaysia, kebanyakan tapak pelupusan terdiri daripada tahap I dan tahap II. Manakala tahap III hanya terdapat di beberapa kawasan seperti Ampang Jajar, Pulau Burung, Puchong, Kuantan dan Alor Setar. Setiap tahap sistem pelupusan sampah yang sedia ada tetap menyumbang masalah yang tersendiri. Selain dari pencemaran udara, sisa pepejal yang dikambus akan menghasilkan proses penguraian yang

melibatkan tindakbalas kimia dan biokimia, lalu menghasilkan cecair di bahagian bawah tapak kambus tanah yang dikenali sebagai larut lesapan.

Tapak Pelupusan Pulau Burung dibina secara semi-aerobik, iaitu katogeri pelupusan tahap II dengan membentuk satu sistem pelupusan terkawal pada tahun 1991. Ia kemudiannya di naikkan taraf kepada kaedah pelupusan tahap III pada tahun 2001. Di Tapak Pelupusan Pulau Burung (TPPB) terdapat larut lesapan daripada sistem semi-aerobik yang mengandungi jumlah organik yang kurang berbanding dengan tapak pelupusan anaerobik dalam istilah COD dan BOD (Basri *et. al.*, 2000 dan Aziz *et. al.*, 2001). Setiap hari, tapak pelupusan ini menerima sebanyak 1300 tan sisa pepejal dan menghasilkan larut lesapan yang dikumpul melalui paip pengumpul yang disalurkan ke dalam kolam tadahan (Aziz *et. al.*, 2004). Larut lesapan yang terhasil ini secara langsung boleh menyebabkan pencemaran air permukaan dan air bumi tanpa kehadiran lapisan pelapik. Adalah penting untuk merawat larut lesapan sama ada melalui kaedah fizikal, kimia atau biologi (Stegmann *et. al.*, 1983).

2.1.3 Kepentingan pengurusan sisa pepejal

Pengurusan sisa pepejal adalah penting kerana bahan sisa tidak boleh dibuang begitu sahaja ke tanah atau dilepaskan ke dalam sistem air, seperti longkang, parit, sungai, tasik atau pun laut. Kesan pembuangan sedemikian akan menyebabkan longkang tersumbat, banjir kilat, atau sampah yang dibuang ke dalam tasik dan laut akan memperlihatkan tasik dan laut yang kotor dan tidak dapat lagi dijadikan tempat rekreasi serta menjejaskan ekosistem (Fadil Othman, 1996).

Sisa pepejal yang dibuang sebagai sampah-sarap akan menyebabkan bau busuk apabila ia terkumpul lama tanpa dipungut. Selain mencacatkan pemandangan, bau busuk akibat sampah-sarap akan menyebabkan ketidakselesaan dan risiko perebakan penyakit adalah tinggi. Menurut Vesilind *et. al.*, (1994), hubungan sisa pepejal dan penyakit manusia adalah jelas, tetapi susah untuk dibuktikan.

Proses penguraian biologi di dalam sampah sarap akan berlaku dengan cepat akibat kehadiran suhu yang tinggi, terutamanya seperti iklim di negara kita Malaysia. Sampah sarap yang terbiar akan mengundang lalat, lipas, tikus, burung dan binatang liar seperti anjing dan kucing. Sisa pepejal sentiasa terjana berterusan selagi manusia hidup. Oleh yang demikian, pengurusan sisa pepejal adalah penting agar tidak menimbulkan gangguan terhadap persekitaran kehidupan manusia (Fadil Othman, 1996).

2.1.4 Komposisi sisa pepejal

Komposisi sisa pepejal adalah komponen yang hadir di dalam sisa pepejal dan taburan relatif berdasarkan peratus berat. Di setiap negara, komposisi sisa pepejal adalah berbeza di antara satu sama lain, bergantung kepada beberapa faktor seperti iklim, kekerapan pengumpulan sisa, adat resam dan budaya sesebuah masyarakat, pendapatan per kapita, perubahan teknologi, tahap perindustrian dan perbandaran dan penggunaan pengisar sisa di rumah. Taburan tipikal komponen di dalam sisa MSW dari kawasan perumahan adalah berbeza di antara penduduk berpendapatan tinggi dan penduduk berpendapatan rendah (Tchobanoglous, 1993). Jadual 2.1 menunjukkan perbezaan taburan tipikal komponen di dalam sisa MSW yang bergantung kepada taraf pendapatan penduduk.

Sejarah telah membuktikan bahawa ciri-ciri sisa pepejal adalah tidak tetap. Ia sentiasa berubah dari semasa ke semasa dan perubahan ini akan sentiasa berlaku serta menyebabkan kualiti larut lesapan sisa pepejal perbandaran sentiasa berubah dalam julat yang besar.

Jadual 2.1: Taburan tipikal komponen di dalam sisa MSW dari kawasan perumahan untuk penduduk berpendapatan rendah, sederhana dan tinggi (tidak termasuk bahan kitaran semula).

Komponen	Negara berpendapatan rendah (%)	Negara berpendapatan sederhana (%)	Negara berpendapatan tinggi (%)
Organik:			
Sisa makanan	40-85	20-65	6-30
Kertas, kadbod	1-10	8-30	20-45
Plastik	1-5	2-6	2-8
Tekstil	1-5	2-10	0-2
Getah, kulit	1-5	1-4	10-20
Sisa tanaman, kayu	1-5	1-10	1-4
Bahan organik yang lain	-	-	-
Tak organik:			
Kaca	1-10	1-10	4-12
Makanan dalam tin			2-8
Aluminium	1-5	1-5	0-1
Lain-lain logam			1-4
Habuk, debu dsb.	1-40	1-30	0-10

Sumber: Tchobanoglous, (1993)

2.2 LARUT LESAPAN

2.2.1 Definisi

Menurut Glosari Alam Sekitar (1995), larut lesapan adalah air yang mengalir keluar melewati sisa pepejal di tapak pelupusan dan merupakan air kotor dari sisa pepejal yang dimampatkan melalui timbusan tanah yang mengalir secara telus di dalam bumi. Larut lesapan ini mengandungi bahan-bahan organik dan tak organik dalam bentuk terampai, larut serta terdapat campuran terlarut bahan kimia yang menyumbang kepada pencemaran air permukaan dan air bawah tanah (Britz, 1995). Jadual 2.2 menunjukkan ciri-ciri utama larut lesapan di TPPB berdasarkan 30 hari bacaan.

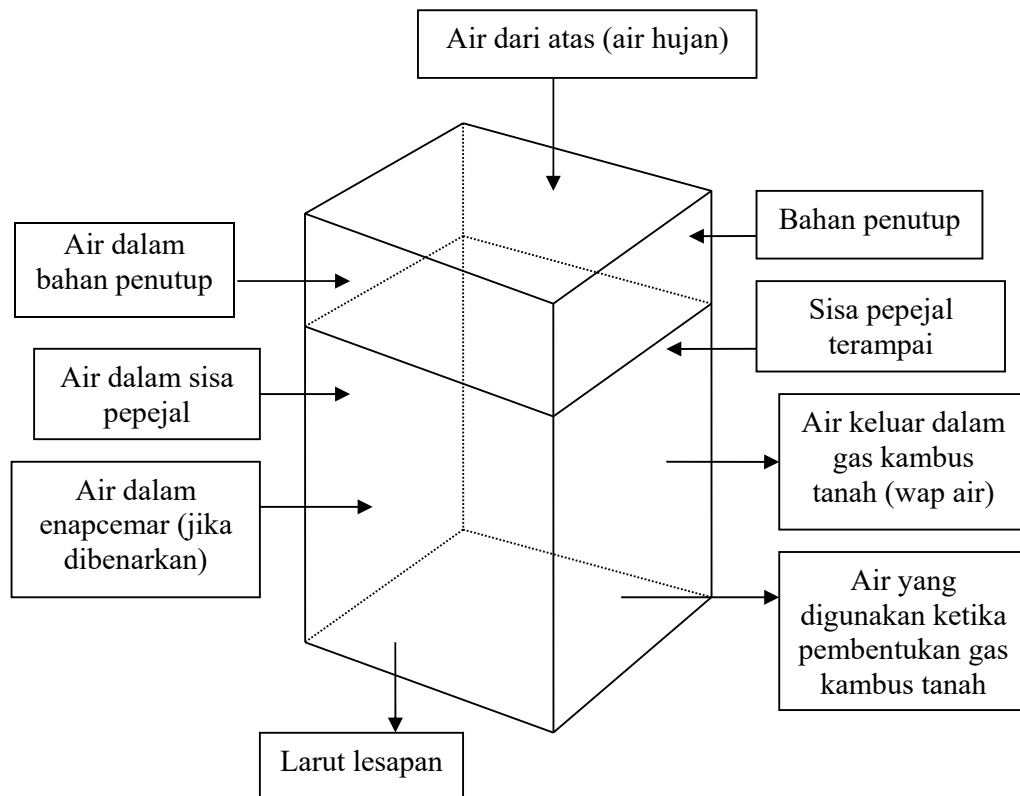
Jadual 2.2: Ciri-ciri larut lesapan dari kolam tadahan lama di Tapak Pelupusan Pulau Burung (TPPB).

Parameter	Unit	Nilai Purata
BOD5	mg/L	48-105
COD	mg/L	1533-2580
Pepejal terampai	mg/L	159-233
Kekeruhan	mg/L	61-198
pH	mg/L	7.5-9.4
Zink	mg/L	0.1
Mangan	mg/L	15.5
Logam	mg/L	4.1-19.5
Copper	mg/L	4.6
Kromium (VI)	mg/L	0.6
Warna	Unit Platinum, Pto	1000-4000

Menurut Aziz et. al., (2004), kandungan BOD, COD dan logam berat di dalam larut lesapan adalah tinggi. Nitrogen ammonia di dalam larut lesapan wujud akibat proses lesapan secara perlahan dan dibebaskan daripada cairan nitrogen daripada sisa pepejal di tapak pelupusan sejak berdekad lamanya (Hoilijoki et. al., 2000, Jokela et. al., 2002, Tyrel et. al., 2002).

2.2.2 Penghasilan larut lesapan

Larut lesapan terhasil daripada proses penyerapan air yang melalui sisa pepejal sampah sarap dan proses mampatan akibat berat sisa tersebut. Air hujan yang menyerap masuk ke kawasan tapak pelupusan sampah akan bertindakbalas dengan sisa pepejal lalu menghasilkan bahan kimia yang terlarut dalam larut lesapan. Selain itu, terdapat kajian yang menyatakan bahawa terdapat aktiviti mikroorganisma di dalam sisa pepejal yang membentuk larut lesapan (Caffrey & Ham, 1974). Menurut Vesilind *et. al.*, (1994), larut lesapan merupakan pencemar utama air dan air tanah, terutamanya apabila berlaku hujan lebat dan penelusan cepat melalui tanah. Rajah 2.2 menunjukkan lakaran penghasilan larut lesapan.



Rajah 2.2: Lakaran penghasilan larut lesapan di tapak kabus tanah.

Sumber: Faridah *et. al.*, (1996)

Menurut Caffrey & Ham (1974), di kebanyakan tapak pelupusan sampah, terdapat gas metana, karbon dioksida ammonia dan hidrogen sulfida yang terbentuk akibat penguraian sisa melalui tindakbalas aerobik. Gas-gas tersebut kemudiannya melarut ke dalam tanah apabila bertindakbalas dengan air atau bahan terlarut lain, lalu membentuk satu isipadu kecil cecair tercemar akibat tindakbalas biologi dan kimia.

2.2.3 Komposisi larut lesapan

Kandungan bahan tercemar di dalam larut lesapan boleh dikategorikan kepada empat kumpulan, iaitu bahan organik terlarut, bahan bukan organik, logam berat dan sebatian organik xenobiotic (Kjeldsen *et. al.*, 2002). Komposisi larut lesapan adalah bergantung kepada sejauh mana penguraian berlaku serta jumlah sisa buangan yang terdapat di tapak kabus tanah. Menurut Aziz *et. al.*, (2004), komposisi larut lesapan bergantung kepada beberapa faktor seperti komposisi sisa buangan, hidrologi tapak pelupusan, terdapatnya kandungan kelembapan dan oksigen, umur tapak pelupusan itu sendiri serta rekabentuk dan operasi tapak pelupusan. Kepekatan bahan tercemar yang terkandung di dalam larut lesapan sukar ditentukan kerana komposisi sisa buangan yang berbeza dia antara satu sama lain. Selain itu, komposisi kimia yang terkandung di dalam larut lesapan juga adalah bergantung kepada usia tapak pelupusan itu (Tchobanoglous, 1993). Larut lesapan yang masih baru biasanya mengandungi asid lemak yang meruap. Namun, secara keseluruhannya tidak terdapat pebezaan dalam unsur-unsur utama larut lesapan kecuali nisbah komposisinya yang bergantung kepada jenis sisa yang dilupuskan serta faktor-faktor persekitaran yang lain. Pengawasan parameter fizikal, kimia dan biologi yang digunakan untuk menggambarkan ciri-ciri larut lesapan adalah seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2.3.

Jadual 2.3: Data tipikal ke atas komposisi larut lesapan dari tapak pelupusan lama dan baru.

Unsur-unsur	Nilai (mg/L)		
	Tapak pelupusan baru (melebihi 2 tahun)		Tapak pelupusan lama
	Julat	Tipikal	(melebihi 10 tahun)
BOD ₅	2000-30 000	10 000	100-200
TOC	1500-20 000	6000	80-160
COD	3000-60 000	18 000	100-500
Pepejal terampai jumlah	200-2000	500	100-400
Nitrogen organik	10-800	200	80-120
Nitrogen ammonia	10-800	200	20-40
Nitrat	5-40	25	5-10
Fosforus jumlah	5-100	30	5-10
Ortho fosforus	4-80	20	4-8
Kealkalian sbg CaCO ₃	1000-10 000	3000	200-1000
pH *(tiada unit)	4.5-7.5	6	6.6-7.5
Jumlah keliatan sbg CaCO ₃	300-10 000	3500	200-500
Kalsium	200-3000	1000	100-400
Magnesium	50-1500	250	50-200
Kalium	200-1000	300	50-400
Natrium	200-2500	500	100-200
Klorida	200-3000	500	100-400
Sulfat	50-1000	300	20-50
Jumlah logam	50-1200	60	20-200

Sumber: Tchobanoglous, (1993)

2.2.4 Faktor-faktor yang mempengaruhi kualiti larut lesapan

Kualiti larut lesapan di tapak pelupusan sampah menggambarkan tahap pencemaran air permukaan bumi dan air bumi yang berlaku serta mempunyai kaitan rapat dengan komposisi yang terkandung di dalam sisa pepejal yang dilupuskan. Antara faktor yang mempengaruhi kualiti larut lesapan adalah seperti berikut:

2.2.4.1 Masa

Masa memainkan peranan penting dalam mempengaruhi perubahan kualiti larut lesapan di tapak pelupusan. Pada peringkat awal, kualiti larut lesapan yang terhasil adalah lemah jika dibandingkan dengan kualiti larut lesapan pada peringkat seterusnya. Kualiti larut lesapan mencapai satu nilai optimum selepas beberapa tahun kemudiannya dan menurun secara perlahan-lahan (Faridah *et. al.*, 1996).

2.2.4.2 Suhu ambien

Suhu mempengaruhi tindakbalas kimia dan pertumbuhan bakteria dan organisma. Tindakbalas kimia dan aktiviti organisma di dalam tapak pelupusan akan menjadi lebih cepat apabila suhu tinggi. Keadaan ini akan meningkatkan lagi kualiti larut lesapan.

2.2.4.3 Kelembapan

Proses larutlesap bahan kimia di dalam sisa pelupusan amat bergantung kepada air. Kualiti larut lesapan berbeza di antara sisa yang dilupuskan dalam keadaan lembab dengan sisa yang dilupuskan dalam keadaan kering.

2.2.4.4 Oksigen

Kehadiran oksigen amat mempengaruhi sisa pepejal yang boleh biorosot. Penguraian aerobik akan menghasilkan bahan kimia yang berbeza daripada penguraian oleh tindakbalas anaerobik. Keadaan anaerobik akan berlaku apabila sisa yang dilupuskan kerap ditutup dengan tanah atau sisa-sisa baru. Sifat larut lesapan yang dihasilkan dalam keadaan penguraian anaerobik akan berkurangan berbanding dengan yang dihasilkan melalui penguraian aerobik. Ini berlaku kerana kebanyakan daripada hasil anaerobik adalah dalam bentuk gas, iaitu karbon dioksida, metana dan hidrogen sulfida.

2.2.5 Faktor-faktor yang mempengaruhi kuantiti larut lesapan

Secara umumnya, kuantiti larut lesapan yang dihasilkan bergantung kepada cuaca, jenis sisa pepejal dan juga jenis operasi yang dilakukan di tapak pelupusan (Faridah *et. al.*, 1996). Antara faktor yang mempengaruhi kuantiti larut resapan ialah seperti berikut:

2.2.5.1 Hujan

Jumlah air hujan yang diterima oleh tapak pelupusan turut mempengaruhi kuantiti larut lesapan. Semakin banyak hujan yang turun maka semakin banyak kuantiti larut lesapan. Selain itu, kadar resapan air bumi juga akan meningkatkan kuantiti larut lesapan yang dijanakan di tapak pelupusan sampah. Ini bermakna jenis tanah di tapak pelupusan memainkan peranan penting dalam menentukan kadar lesapan tersebut. Faktor lokasi tapak pelupusan serta bentuk muka bumi turut mempengaruhi jumlah air hujan yang diterima.

2.2.5.2 Kelembapan sisa pelupusan

Berat sendiri sisa dan aktiviti pemadatan yang dilakukan akan mempengaruhi kuantiti larut lesapan. Proses pemadatan akan meminimumkan liang-liang udara di dalam sisa-sisa tersebut. Sisa yang kering akan mengurangkan kuantiti larut lesapan. Sistem perpaipan yang dibina akan menyebabkan air mengalir dalam saluran paip tanpa berlakunya penyerapan oleh sisa tersebut. Kuantiti larut lesapan juga akan meningkat sekiranya terdapat pelupusan enap cemar atau sisa cecair.

2.2.5.3 Rekabentuk lapisan penutup terakhir

Rekabentuk penutup terakhir yang menutupi tapak pelupusan akan menyebabkan berlakunya pengurangan isipadu larut lesapan. Tumbuhan seperti rumput yang tumbuh pada permukaan tanah kambusan akan menyerap kandungan air dan kelembapan. Lapisan yang mempunyai kadar kebolehtelapan yang rendah dapat mengurangkan larut lesapan. Kuantiti larut lesapan yang dijanakan akan berkurangan apabila penutup akhir tapak pelupusan direkabentuk secara efektif.

2.2.6 Pencemaran akibat larut lesapan

Larut lesapan di tapak pelupusan merupakan penyumbang yang amat ketara kepada pencemaran air permukaan bumi dan air bumi (Peavy, 1986). Keadaan ini berlaku akibat daripada kebocoran pada pelapik, kurangnya mampatan yang dikenakan kepada lapisan pelapik dan kualiti pelapik itu sendiri. Jumlah hujan yang diterima turut memainkan peranan yang besar terhadap pencemaran air bumi kerana semakin banyak air hujan yang meresap masuk ke dalam tapak pelupusan maka semakin tinggi kadar larut lesap yang terhasil. Pencemaran air permukaan dan air bumi meninggalkan implikasi yang buruk kepada sumber air minuman dan kegunaan

manusia apabila ia mengalir atau menyerap masuk ke sungai-sungai, kolam-kolam, laut serta takungan-takungan air yang lain (Smith & Weber, 1990). Kualiti air bumi dianggap tercemar apabila terdapat kandungan kepekatan bahan pencemar melebihi had seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2.4.

Jadual 2.4: Kualiti air bumi bagi kemudahan sisa merbahaya baru.

Bahan kimia	Had maksimum (mg/L)
Arsenik	0.05
Barium	1.0
Kadmium	0.01
Kromium	0.05
Plumbum	0.05
Raksa	0.002
Selenium	0.01

Sumber: *Federal Environmental Protection Agency Regulation of The Code of Federal Regulation, United State of America, 1985.*

Umumnya, air larut lesapan merupakan air sisa yang merbahaya kerana mempunyai ciri-ciri kualiti air sisa seperti BOD (*Biological Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan TOC (*Total Organic Carbon*) yang sangat tinggi terutamanya di negara-negara maju seperti United Kingdom dan United State of America, di mana nilai COD dan BOD mencapai sehingga puluhan ribu (mg/L), jika dibandingkan dengan negara kita Malaysia yang mempunyai nilai BOD dan COD dalam lingkungan ratusan hingga seribu (mg/L) sahaja (Fadil Othman, 1996). Sungguhpun begitu, tahap pencemaran larut lesapan perlu dipandang serius dan langkah-langkah rawatan yang sewajarnya mestilah dikenalpasti sebagai persediaan jangka panjang.

2.2.7 Rawatan larut lesapan

Menurut Tebbutt (1983), air mempunyai sifat-sifat kimia yang penting seperti pH, potensi oksidasi, kealkalian, keasidan, kekerasan, oksigen terlarut, keperluan oksigen nitrogen dan klorid. Terdapat pelbagai kaedah rawatan yang boleh dijalankan terhadap larut lesapan, bergantung kepada komposisi kimia yang terkandung di dalam sisa pelupusan di tapak. Biasanya, kaedah rawatan yang dijalankan ialah olahan fizikal, kimia dan biologi sama ada secara aerobik dan anaerobik. Antara lain ialah dengan cara kitar semula dan menyalirkan semula larut lesapan ke loji rawatan kumbahan perbandaran atau kombinasi sebarang cara di atas.

2.2.7.1 Olahan biologi

Olahan biologi tertumpu kepada larut lesapan yang mengandungi unsur-unsur organik. Unit olahan fizikal hanya boleh menyingkirkan sehingga 45% BOD₅ di dalam air tercemar, selebihnya perlu disingkirkan secara biologi. Olahan biologi sama ada secara aerobik atau anaerobik merupakan pilihan utama sekiranya nisbah BOD kepada COD larut lesapan tersebut melebihi 0.4 (McBean *et. al.*, 1995). Olahan biologi juga dapat menyingkirkan pepejal terampai secara pegenapan, menstabilkan bahan organik larut, mengoksidakan komponen nitrogen dalam air sisa dalam proses nitrifikasi dan penyingkiran ammonia secara pengambilan-bio (*bio-uptake*). Terdapat dua kaedah tindakbalas utama iaitu aerobik dan anaerobik.

2.2.7.1.1 Tindakbalas aerobik

Di tapak pelupusan sampah, kehadiran oksigen dalam proses penguraian aerobik akan menghasilkan asid lemak di dalam larut lesapan. Pelupusan yang sempurna penting untuk menyingkirkan enapcemar yang terkandung di dalam larut lesapan. Oksigen

yang digunakan perlu disesuaikan mengikut kuantiti beban organik yang ada kerana beban organik akan berubah mengikut masa. Kehadiran logam toksik seperti kuprum, zink dan nikel akan menghalang proses nitrifikasi, lalu mempengaruhi keberkesanan rawatan aerobik (McBean *et. al.*, 1995). Proses-proses rawatan yang terlibat adalah seperti lagun berudara, kemudahan enap cemar teraktif, penyentuh biologi enap cemar berputar (RBCs) dan penapis cucur.

2.2.7.1.2 Tindakbalas anaerobik

Proses anaerobik merupakan proses penguraian semulajadi di tapak kambusan tanah sanitari yang berlaku tanpa kehadiran oksigen. Rawatan larut lesapan menggunakan kaedah ini dilakukan dengan tapaian (*fermented*) oleh bakteria kepada asid lemak meruap. Kaedah ini amat sesuai untuk mengolah air larut lesapan yang berkepekatan organik yang tinggi (McBean *et. al.*, 1995). Bakteria metaorganik pula akan menghasilkan gas metana dan karbon dioksida di dalam proses seterusnya. Proses ini menghasilkan produk sampingan seperti gas metana yang boleh dikomersialkan sebagai salah satu sumber tenaga. Masalah yang timbul dalam proses ini ialah, suhu tinggi diperlukan untuk rawatan yang optimum iaitu antara 15°C sehingga 35°C. Masa tahanannya adalah panjang serta penyingkiran organiknya yang kurang sempurna (McBean *et. al.*, 1995). Efluen dari rawatan biologi anaerobik adalah serupa dengan larut lesapan 'tua', iaitu mempunyai nilai COD yang tinggi (1000-4000 mg/L) dan nisbah BOD kepada COD lebih besar dari 0.3 (Stegmann *et. al.*, 1989). Oleh itu, selepas rawatan anaerobik, larut lesapan selalunya dirawat dalam keadaan aerobik sebelum dilepaskan sebagai efluen.

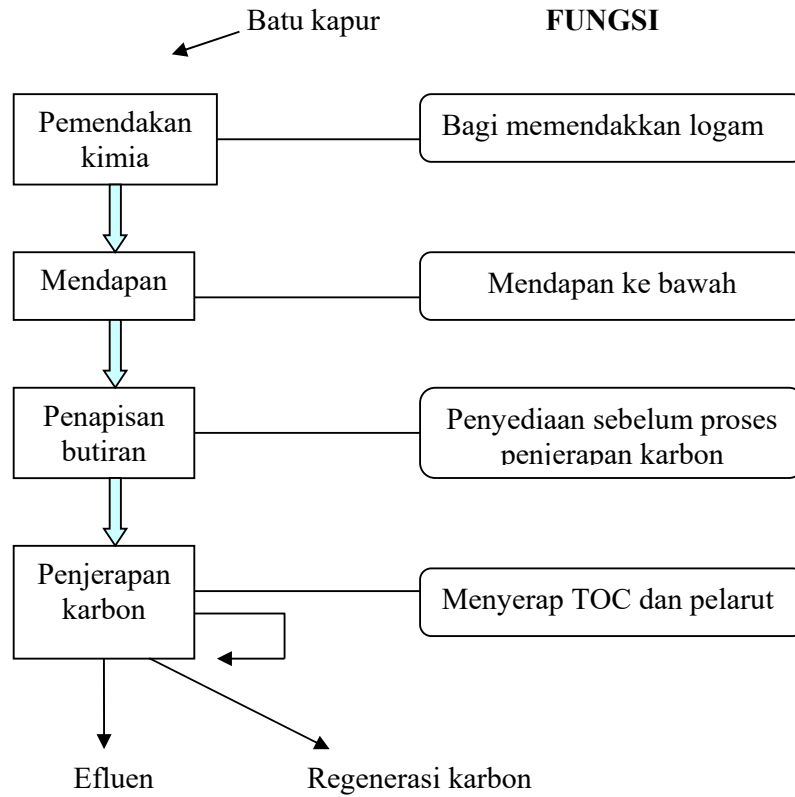
2.2.7.2 Olahan fizikal dan kimia

Olahan fizikal dan kimia merupakan kaedah olahan yang paling sesuai untuk merawat larut lesapan (Aziz *et. al.*, 2004). Sebatian organik mudah terurai akan menjadi kurang apabila tapak kambusan tanah menjadi stabil. Keadaan ini menyebabkan kesan olahan biologi adalah berkurangan. Olahan fizikal dan kimia melibatkan penggunaan bahan kimia untuk aktiviti pemendapan, kongulasi dan pengoksidaan bahan organik dan tak organik, penukaran, penyerapan dan penggunaan resin penukar ion. Antara lain ialah rawatan melalui teknik membran osmosis salingan, iaitu proses pemisahan menggunakan membran sebagai media.

Penapisan butiran merupakan kaedah yang dapat mengeluarkan pepejal terampai. Ia digunakan sebelum karbon teraktif bagi mengelakkannya tersumbat akibat pepejal terampai. Bagi proses penjerapan karbon, media penapis seperti serbuk arang dan karbon teraktif amat sesuai digunakan dalam merawat larut lesapan yang mengandungi bahan organik yang sukar dibiorosotkan, pestisid dan pelarut (Aziz *et. al.*, 2004). Selain itu, kaedah penjerapan karbon adalah sesuai untuk mengurangkan COD dalam larut lesapan ‘tua’ serta mampu mengeluarkan warna dan bahan organik tahan panas yang menyumbang kepada baki COD (Stegmann *et. al.*, 1989).

Menurut Faridah *et. al.*, (1996), proses mengitar semula larut lesapan pula dilakukan dengan mengumpulkan semula larut lesapan di dasar tapak dan menyalirkannya semula ke atas sisa. Melalui kaedah ini, kepekatan kimia larut lesapan dapat dikurangkan serta meningkatkan kestabilan tapak. Selain proses kitar semula, rawatan di luar tapak sangat popular digunakan, di mana kaedah ini dilakukan dengan

menyalurkan larut lesapan ke loji rawatan kumbahan perbandaran. Turutan proses olahan fizikal dan kimia ditunjukkan dalam Rajah 2.3.



*TOC = Karbon Organik Jumlah (*Total Organic Carbon*)

Sumber: Faridah *et. al.*, (1996)

Rajah 2.3: Turutan proses olahan fizikal dan kimia.

2.2.8 Penjerapan

Secara umumnya, penjerapan merupakan proses pengumpulan bahan terlarut dalam bentuk larutan kepada jasad yang sesuai. Jasad ini boleh terdiri dalam bentuk cecair dan gas, pepejal atau bentuk-bentuk cecair yang lain (Metcalf & Eddy, 1991). Fasa penjerapan sebatian gas atau wap yang berbau serta kesan pencemaran organik boleh

juga digunakan dalam pelbagai operasi rawatan air sisa. Sebelum ini, proses penjerapan tidak digunakan dengan meluas di dalam rawatan air sisa, tetapi keperluan kepada peningkatan kualiti bagi air yang dirawat adalah bergantung kuat terhadap kajian yang berterusan dan penggunaan karbon teraktif. Karbon teraktif biasanya digunakan dalam rawatan air sisa sebagai media untuk memperbaiki keberkesanan proses rawatan biologi yang sedia ada. Dalam kes ini, karbon digunakan untuk menyingkirkan partikel-partikel organik terjerap.

2.2.9 Isoterma Penjerapan

Isoterma penjerapan merupakan model persamaan matematik yang digunakan untuk menunjukkan kaitan di antara kepekatan bahan dalam larutan dan jumlah bahan terlarut pada suhu yang tetap. Terdapat tiga formula isoterma penjerapan, iaitu isoterma penjerapan yang diterbitkan oleh Freundlich, isoterma penjerapan yang diterbitkan oleh Langmuir dan isoterma penjerapan yang diterbitkan oleh Brunauer, Emmet dan Teller (BET isotherm). Daripada ketiga-tiga ini, isoterma penjerapan Freundlich paling popular digunakan (Metcalf & Eddy, 1991).

Ujian penjerapan dilakukan dengan mencampurkan sejumlah bahan penjerap tertentu ke dalam larutan yang berkepekatan dan isipadunya. Pencampuran tersebut dilakukan dalam jangka masa tertentu sehingga mencapai keseimbangan antara bahan terjerap pada permukaan penjerap. Jumlah bahan terjerap diketahui dengan cara menyukat kepekatan larutan setelah keseimbangan tercapai. Jumlah bahan terjerap berbanding kuantiti bahan penjerap yang ditandakan sebagai x/m berkadaran terhadap kepekatan keseimbangan bahan yang masih tertinggal dalam larutan. Ini dijadikan asas dalam

penentuan perlakuan penjerapan yang berpandukan kepada beberapa model isoterma penjerapan.

Formula isoterma Freundlich yang diterbitkan secara empirik adalah seperti berikut:

$$x/m = K_f C_e^{1/n} \dots\dots\dots (2.1)$$

di mana, x/m = Jumlah bahan terjerap per unit berat penjerap (karbon)

C_e = Keseimbangan kepekatan bahan terjerap dalam larutan selepas penjerapan

K_f, n = Pemalar empirik

Pemalar di dalam isoterma Freundlich boleh dikenalpasti dengan memplotkan x/m melawan C dan dengan menggunakan persamaan (5.1), ditulis semula sebagai:

$$\log (x/m) = \log K_f + 1/n \log C_e \dots\dots\dots (2.2)$$

2.2.10 Kinetik Penjerapan

Terdapat pelbagai cubaan telah dilakukan untuk menghasilkan satu formula umum bagi menjelaskan tentang kinetik penjerapan bahan pepejal kepada sistem fasa serapan cecair-pejal. Model kinetik terdiri daripada pseudo hukum pertama dan pseudo hukum kedua. Data kinetik biasanya digunakan untuk menerangkan tentang mekanisma penjerapan dan pemahaman tentang dinamik tindakbalas serapan dalam istilah julat yang tetap.

2.2.10.1 Pseudo hukum kinetik pertama (*Pseudo first order kinetic*)

Formula persamaan pseudo hukum pertama penjerapan ditunjukkan seperti di bawah:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \dots\dots\dots (2.3)$$

di mana, q_e = Jumlah logam berat yang terjerap pada keadaan