

**PENGGOMPOSAN SISA TAMAN MENGGUNAKAN KAEDAH TIMBUNAN
STATIK BERUDARA DAN DERAM BERPUTAR**

oleh

NOR HABSAH MD. SABIANI

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

OGOS 2008

PENGHARGAAN

Pertamanya, syukur yang tidak terhingga kepada Allah Subhana Wataala kerana dengan izinnya saya telah diberi kekuatan dan kesihatan yang baik untuk menyiapkan tesis ini. Di kesempatan ini juga saya ingin tujukan ucapan terima kasih ini kepada semua pihak dan individu yang terlibat sepanjang kajian ini dijalankan. Terima kasih yang tidak terhingga kepada penyelia utama saya; Prof Madya Dr Faridah A.H Asaari dan penyelia bersama Prof Dr Hamidi Abdul Aziz di atas segala bantuan, sokongan dan idea bernas yang telah diberikan. Jasa kalian tak mungkin saya lupakan. Ucapan terima kasih ini juga saya tujukan kepada mantan Pengerusi Rancangan Kejuruteraan Sumber Air dan Persekitaran; Prof Madya Dr Ismail Abustan dan Prof Madya Dr Ir Mohd Nordin Adlan yang telah banyak mendorong dan memberi peransang untuk saya menyiapkan tesis ini.

Saya juga ingin merakamkan penghargaan kepada pihak Universiti Sains Malaysia yang telah memberi bantuan dari segi kewangan dalam bentuk geran penyelidikan jangka pendek. Terima kasih juga saya ucapkan kepada pihak kontraktor Idaman Bersih Sdn Bhd (IBSB) serta Majlis Perbandaran Seberang Perai (MPSP) yang sudi memberi kebenaran untuk saya menjalankan kajian ini di Tapak Pelupusan Pulau Burung khususnya kepada Dr Nor Hisyam Ramly (bekas pengurus), Encik Nor Azman, Dr. Mohd Suffian, Encik Abu Hassan (Pak Abu) dan Encik Yassin. Buat juruteknik-juruteknik Makmal Alam Sekitar; Puan Nurul Akma Sunai, Puan Samsiah Mohamad Ali, Encik Junaidi Ramli dan Encik Muhammad Zaini, setinggi-tinggi terima kasih di atas segala bantuan yang telah diberikan.

Akhir sekali tidak saya lupakan untuk insan- insan yang amat saya sayangi dunia dan akhirat; emak (Puan Fatimah Din), arwah ayah (Encik Md. Sabiani Enoh), suami (Encik Azharuddin Harun) dan adik beradik (Abu Bakar, Mariyatul Kaptiah, Mohd Farizal dan Nurul Atiqah). Terima kasih di atas segala dorongan dan kasih sayang kalian. Buat semua; terima kasih yang tidak terhingga semoga Allah sahaja yang akan membalasnya.

JADUAL KANDUNGAN

	Muka surat
PENGHARGAAN	ii
JADUAL KANDUNGAN	iv
SENARAI JADUAL	viii
SENARAI RAJAH	x
SENARAI PLAT	xiv
SENARAI SINGKATAN	xvi
SENARAI LAMPIRAN	xviii
ABSTRAK	xxii
ABSTRACT	xxv
BAB 1 : PENDAHULUAN	
1.1 Pengenalan	1
1.2 Latar belakang dan kepentingan kajian	6
1.3 Objektif kajian	8
1.4 Skop kajian	10
BAB 2 : PROSES PENGKOMPOSAN	
2.1 Sejarah pengkomposan	12
2.2 Definisi pengkomposan	15
2.3 Pengkelasan proses pengkomposan	16
2.3.1 Proses pengkomposan aerobik	16
2.3.2 Proses pengkomposan anaerobik	18
2.4 Kaedah pengkomposan	19
2.4.1 Kaedah terbuka	20
a) Kaedah timbunan statik (<i>windrow</i>)	20
b) Kaedah timbunan statik berudara (<i>aerated static pile</i>)	22
2.4.2 Kaedah mekanikal	26
a) Reaktor pugak (<i>vertical reactor</i>)	27

b) Reaktor mendatar (<i>horizontal reactor</i>)	28
c) Deram berputar (<i>rotary drum</i>)	29
2.4.3 Perbandingan di antara kaedah timbunan statik, timbunan statik berudara dan kaedah mekanikal	33
2.4.4 Pengkomposan vermi (<i>vermicomposting</i>)	35
2.4.5 Pengkomposan termofilik	38
2.5 Faktor-faktor yang mempengaruhi pengkomposan	41
2.5.1 Suhu	41
2.5.2 Kandungan lembapan	44
2.5.3 Nisbah C:N	47
2.5.4 pH	48
2.5.5 Keperluan pengudaraan	50
2.5.6 Kesan pembalikan	52
2.5.7 Saiz partikel	53
2.6 Organisma pengurai	54
2.7 Kualiti kompos	57
2.8 Faedah pengkomposan dan kegunaan kompos	60
2.9 Pemasaran kompos dan kos	67
2.10 Senario pengkomposan di Malaysia	70
2.10.1 Kajian pengkomposan usahasama Universiti Malaysia Sabah (UMS) bersama Syarikat Happy Soil Sdn Bhd	70
2.10.2 Teknologi vermikultur Universiti Sains Malaysia	72
2.10.3 Teknologi pengkomposan Syarikat Asia Green Environmental Sdn Bhd	75
2.11 Pelupusan sisa pepejal di Tapak Pelupusan Pulau Burung	76
 BAB 3 : METODOLOGI KAJIAN	
3.1 Pengenalan	82
3.2 Kajian penentuan ciri-ciri fizikal dan kimia sisa taman (Peringkat I)	85
3.3 Rekabentuk dan pembinaan tapak pengkomposan	88
3.4 Proses pengkomposan (Peringkat II)	91

3.4.1	Rekabentuk timbunan statik berudara (TSU)	91
3.4.2	Rekabentuk deram berputar (DB)	93
3.4.3	Penyediaan campuran sampel pengkomposan	95
3.4.4	Pemantauan proses pengkomposan	98
	a) Suhu	99
	b) Nisbah C:N	101
	c) Kandungan lembapan	103
	d) pH	104
	e) Kandungan nutrien	104
	f) Kandungan logam berat	105
	g) Ciri-ciri kompos akhir	106
3.5	Proses pengkomposan (Peringkat III)	106
3.5.1	Rekabentuk timbunan statik berudara (TSU)	107
3.5.2	Rekabentuk deram berputar (DB)	109
3.5.3	Penyediaan campuran sampel pengkomposan	111
3.5.4	Pemantauan proses pengkomposan	113
	a) Suhu	114
	b) Nisbah C:N	115
	c) Kandungan lembapan	116
	d) pH	116
3.6	Analisis statistik	116
3.6.1	Analisis varians (ANOVA)	117

BAB 4 : KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

4.1	Pengenalan	118
4.2	Kajian penentuan ciri-ciri fizikal dan kimia sisa taman (Peringkat I)	119
4.2.1	Komposisi sisa taman	120
4.2.2	Taburan saiz	121
4.2.3	Ketumpatan pukal	123
4.2.4	Kandungan lembapan	124
4.2.5	pH	126
4.2.6	Nisbah C:N	127

4.2.7	Kandungan logam berat	128
4.2.8	Kandungan nutrien	128
4.3	Pemantauan proses pengkomposan (Peringkat II dan III)	130
4.3.1	Suhu	131
4.3.2	Nisbah C:N	141
4.3.3	Kandungan lembapan	151
4.3.4	pH	159
4.3.5	Kandungan nutrien (Peringkat II)	167
	a) Nitrat	167
	b) Fosfat	170
	c) Kalium	172
	d) Sulfat	174
4.3.6	Kandungan logam berat (Peringkat II)	177
	a) Ferum (Fe)	179
	b) Zink (Zn)	182
	c) Kuprum (Cu)	185
	d) Kadmium (Cd)	187
4.4	Ciri-ciri kompos akhir (Peringkat II dan III)	190

BAB 5 : KESIMPULAN DAN CADANGAN

5.1	Kesimpulan	195
5.2	Cadangan	198

SENARAI RUJUKAN

Rujukan	200
---------	-----

LAMPIRAN	211
-----------------	-----

SENARAI JADUAL

		Muka surat
Jadual 2.1	Sistem pengkomposan yang dibangunkan di seluruh dunia pada tahun 1969	14
Jadual 2.2	Perbandingan di antara kaedah pengkomposan secara timbunan statik, timbunan statik berudara dan kaedah mekanikal	34
Jadual 2.3	Populasi mikrob semasa proses pengkomposan aerobik	44
Jadual 2.4	Harga pasaran kompos di Amerika Syarikat	69
Jadual 3.1	Nisbah campuran sisa organik (ST : NL) menurut jisim bagi kaedah timbunan statik berudara (TSU) dan deram berputar (DB)	97
Jadual 3.2	Ringkasan peralatan, kaedah dan reagen yang digunakan dalam ujikaji penentuan kandungan nitrat, fosfat, kalium dan sulfat.	105
Jadual 4.1	Perincian bilangan trip dan jisim sisa taman yang dihantar ke Tapak Pelupusan Pulau Burung (30 Jun 2003 – 18 Ogos 2003)	120
Jadual 4.2	Perincian data komposisi sisa taman dalam bentuk jisim (kg) dan peratusan bagi kelima-lima persampelan (30 Jun 2003 – 18 Ogos 2003)	121
Jadual 4.3	Taburan saiz sisa taman mengikut komposisi bagi 5 kali persampelan sisa taman (30 Jun 2003 – 18 Ogos 2003)	123
Jadual 4.4	Ketumpatan pukal sisa taman (daun dan ranting kecil sahaja) bagi kelima-lima persampelan dan nilai julat yang disyorkan (30 Jun 2003 – 18 Ogos 2003)	124
Jadual 4.5	Kandungan lembapan sisa taman bagi kelima-lima persampelan dan nilai julat yang disyorkan (30 Jun 2003 – 18 Ogos 2003)	125
Jadual 4.6	Nilai pH sisa taman bagi kelima-lima persampelan (30 Jun 2003–18 Ogos 2003)	126
Jadual 4.7	Kandungan karbon, nitrogen dan nisbah C:N bagi sisa taman dalam kelima-lima persampelan (30 Jun	128

2003 – 18 Ogos 2003)

Jadual 4.8	Kandungan logam berat (Fe, Mn, Zn, Ni) bagi sisa taman dalam kelima-lima persampelan (30 Jun 2003 – 18 Ogos 2003)	129
Jadual 4.9	Kandungan nutrien (ion NO_3^- , PO_4^{3-} , K^+ , SO_4^{2-}) bagi sisa taman dalam kelima-lima persampelan (30 Jun 2003 – 18 Ogos 2003)	129
Jadual 4.10	Analisis varians terhadap data suhu bagi kompos yang dihasilkan menggunakan campuran sisa taman (ST) dan najis lembu (NL) dengan nisbah 3:2 untuk kaedah TSU dan DB (Peringkat III).	139
Jadual 4.11	Analisis varians terhadap data nisbah C:N bagi kompos yang dihasilkan menggunakan campuran sisa taman (ST) dan najis lembu (NL) dengan nisbah 3:2 untuk kaedah TSU dan DB (Peringkat III).	150
Jadual 4.12	Analisis varians terhadap data kandungan lembapan bagi kompos yang dihasilkan menggunakan campuran sisa taman (ST) dan najis lembu (NL) dengan nisbah 3:2 untuk kaedah TSU dan DB (Peringkat III).	158
Jadual 4.13	Analisis varians terhadap data pH bagi kompos yang dihasilkan menggunakan campuran sisa taman (ST) dan najis lembu (NL) dengan nisbah 3:2 untuk kaedah TSU dan DB (Peringkat III).	165
Jadual 4.14	Ciri-ciri fizikal kompos yang terhasil daripada kaedah timbunan statik berudara (TSU) dan kaedah deram berputar (DB) dalam Peringkat II	192
Jadual 4.15	Ciri-ciri fizikal kompos yang terhasil daripada kaedah timbunan statik berudara (TSU) dan kaedah deram berputar (DB) dalam Peringkat III	192

SENARAI RAJAH

		Muka surat
Rajah 2.1	Analisis input-output proses pengkomposan	17
Rajah 2.2	Kaedah timbunan statik (<i>windrow</i>)	22
Rajah 2.3	Kaedah timbunan statik berudara	23
Rajah 2.4	Aliran bahan organik dan aliran udara di dalam reaktor pugak	28
Rajah 2.5	Reaktor mendatar	29
Rajah 2.6	Deram berputar	31
Rajah 2.7	Profil suhu dan pertumbuhan mikrobial di dalam timbunan kompos	44
Rajah 2.8	Piramid pengguna primer, sekunder dan tertier di dalam timbunan kompos	56
Rajah 2.9	Jaringan makanan yang terdapat di dalam timbunan kompos	56
Rajah 2.10	Pembinaan <i>compost berm</i> bagi mengawal hakisan di kawasan bercerun	63
Rajah 2.11	Sistem pengkomposan menggunakan campuran sisa makanan dan <i>Happy Soil</i>	72
Rajah 2.12	Bekas plastik yang digunakan sebagai tempat pembiakan cacing dan penguraian bahan organik	74
Rajah 2.13	Vermikas yang terhasil berwarna hitam dan peroi	74
Rajah 2.14	Lokasi Tapak Pelupusan Pulau Burung (TPPB)	77
Rajah 2.15	Peratus (%) komponen sisa pepejal yang dilupuskan di Tapak Pelupusan Pulau Burung dari Januari – Disember 2003	80
Rajah 2.16	Peratus (%) komponen sisa pepejal yang dilupuskan di Tapak Pelupusan Pulau Burung dari Januari - Disember 2004	80
Rajah 2.17	Peratus (%) komponen sisa pepejal yang dilupuskan di Tapak Pelupusan Pulau Burung dari Januari -	81

Disember 2005

Rajah 3.1	Carta alir penyelidikan	84
Rajah 4.1	Peratus (%) purata komposisi sisa taman mengikut jisim bagi kelima-lima persampelan (30 Jun 2003–18 Ogos 2003).	121
Rajah 4.2	Graf perubahan suhu ($^{\circ}\text{C}$) melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi sampel T1, T2 dan T3 (Peringkat II) dan T4 dan T5 (Peringkat III) bagi kaedah TSU.	136
Rajah 4.3	Graf perubahan suhu ($^{\circ}\text{C}$) melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi sampel D1, D2 dan D3 (Peringkat II) dan D4 dan D5 (Peringkat III) bagi kaedah DB.	138
Rajah 4.4	Plot kekotak untuk analisis data suhu bagi kompos yang dihasilkan menggunakan campuran sisa taman (ST) dan najis lembu (NL) dengan nisbah 3:2 untuk kaedah TSU dan DB (Peringkat III).	140
Rajah 4.5	Graf perubahan nisbah C:N melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi sampel T1, T2 dan T3 (Peringkat II) dan T4 dan T5 (Peringkat III) bagi kaedah TSU.	146
Rajah 4.6	Graf perubahan nisbah C:N melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi sampel D1, D2 dan D3 (Peringkat II) dan D4 dan D5 (Peringkat III) bagi kaedah DB.	149
Rajah 4.7	Plot kekotak untuk analisis data nisbah C:N bagi kompos yang dihasilkan menggunakan campuran sisa taman (ST) dan najis lembu (NL) dengan nisbah 3:2 untuk kaedah TSU dan DB (Peringkat III).	151
Rajah 4.8	Graf perubahan kandungan lembapan (%) melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi sampel T1, T2 dan T3 (Peringkat II) dan T4 dan T5 (Peringkat III) bagi kaedah TSU.	155
Rajah 4.9	Graf perubahan kandungan lembapan (%) melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi sampel D1, D2 dan D3 (Peringkat II) dan D4 dan D5 (Peringkat III) bagi kaedah DB.	157
Rajah 4.10	Plot kekotak untuk analisis data kandungan lembapan bagi kompos yang dihasilkan	159

menggunakan campuran sisa taman (ST) dan najis lembu (NL) dengan nisbah 3:2 untuk kaedah TSU dan DB (Peringkat III).

Rajah 4.11	Graf perubahan pH melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi sampel T1, T2 dan T3 (Peringkat II) dan T4 dan T5 (Peringkat III) bagi kaedah TSU.	163
Rajah 4.12	Graf perubahan pH melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi sampel D1, D2 dan D3 (Peringkat II) dan D4 dan D5 (Peringkat III) bagi kaedah DB.	164
Rajah 4.13	Plot kekotak untuk analisis data pH bagi kompos yang dihasilkan menggunakan campuran sisa taman (ST) dan najis lembu (NL) dengan nisbah 3:2 untuk kaedah TSU dan DB (Peringkat III).	166
Rajah 4.14	Graf perubahan kandungan nitrat (mg/kg) melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi sampel T1, T2 dan T3 untuk kaedah TSU.	169
Rajah 4.15	Graf perubahan kandungan nitrat (mg/kg) melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi sampel D1, D2 dan D3 untuk kaedah DB.	169
Rajah 4.16	Graf perubahan kandungan fosfat (mg/kg) melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi sampel T1, T2 dan T3 untuk kaedah TSU.	171
Rajah 4.17	Graf perubahan kandungan fosfat (mg/kg) melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi sampel D1, D2 dan D3 untuk kaedah DB.	171
Rajah 4.18	Graf perubahan kandungan kalium (g/kg) melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi sampel T1, T2 dan T3 untuk kaedah TSU.	173
Rajah 4.19	Graf perubahan kandungan kalium (g/kg) melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi sampel D1, D2 dan D3 untuk kaedah DB.	174
Rajah 4.20	Graf perubahan kandungan sulfat (mg/kg) melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi sampel T1, T2 dan T3 untuk kaedah TSU.	176
Rajah 4.21	Graf perubahan kandungan sulfat (mg/kg) melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi sampel D1, D2 dan D3 untuk kaedah DB.	176
Rajah 4.22	Graf perubahan kandungan Fe (mg/kg) melawan	181

	tempoh pengkomposan (hari) bagi sampel T1, T2 dan T3 untuk kaedah TSU.	
Rajah 4.23	Graf perubahan kandungan Fe (mg/kg) melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi sampel D1, D2 dan D3 untuk kaedah DB.	182
Rajah 4.24	Graf perubahan kandungan Zn (mg/kg) melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi sampel T1, T2 dan T3 untuk kaedah TSU.	184
Rajah 4.25	Graf perubahan kandungan Zn (mg/kg) melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi sampel D1, D2 dan D3 untuk kaedah DB.	184
Rajah 4.26	Graf perubahan kandungan Cu (mg/kg) melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi sampel T1, T2 dan T3 untuk kaedah TSU.	186
Rajah 4.27	Graf perubahan kandungan Cu (mg/kg) melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi sampel D1, D2 dan D3 untuk kaedah DB.	187
Rajah 4.28	Graf perubahan kandungan Cd (mg/kg) melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi sampel T1, T2 dan T3 untuk kaedah TSU.	189
Rajah 4.29	Graf perubahan kandungan Cd (mg/kg) melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi sampel D1, D2 dan D3 untuk kaedah DB.	189

SENARAI PLAT

		Muka surat
Plat 3.1	Sisa taman yang dibawa oleh lori terbuka MPSP dilonggokkan di satu kawasan terbuka di tapak pelupusan.	87
Plat 3.2	Sisa taman yang dilonggokkan di satu kawasan terbuka disukukan beberapa kali sebelum diasingkan mengikut komposisi seperti batang, dahan, ranting dan daun.	88
Plat 3.3	Tapak pengkomposan di Tapak Pelupusan Pulau Burung	89
Plat 3.4	3 bahagian ruangan khas yang digunakan untuk pengkomposan sisa taman menggunakan kaedah timbunan statik berudara (TSU).	90
Plat 3.5	Longkang yang dibina untuk mengalirkan larut lesapan yang terhasil semasa proses pengkomposan.	90
Plat 3.6	Struktur yang berbentuk takungan (<i>sump</i>) yang dibina untuk mengumpul larut lesapan yang terhasil semasa proses pengkomposan.	91
Plat 3.7	Rangkaian paip PVC yang bersaiz 2.10 meter (panjang) x 1.0 meter (lebar)	93
Plat 3.8	Timbunan sisa taman yang bersaiz 2.10 meter (panjang) x 1.0 meter (lebar) x 0.3 meter (tinggi)	93
Plat 3.9	Reaktor deram berputar (DB) yang diperbuat daripada <i>plastic bunghole drum</i> yang berisipadu 250 liter	95
Plat 3.10	Campuran sisa taman dan najis lembu yang telah dimasukkan ke dalam deram.	95
Plat 3.11	Pengisar (<i>shredder</i>) yang disediakan oleh pihak MPSP untuk proses pengurangan saiz sisa taman	97
Plat 3.12	Sisa taman yang telah dikisar dengan menggunakan pengisar (<i>shredder</i>)	98
Plat 3.13	Kaedah pencerapan suhu kompos bagi kaedah TSU	100
Plat 3.14	Kaedah pencerapan suhu kompos bagi kaedah DB	100

Plat 3.15	Rangkaian paip PVC yang bersaiz 1.4 m (panjang) x 0.9 m (lebar)	108
Plat 3.16	Timbunan kompos yang bersaiz 1.5 m (panjang) x 1.0 m (lebar) x 1.0 m (tinggi)	108
Plat 3.17	Rajah skematik keseluruhan struktur pengkomposan menggunakan kaedah timbunan statik berudara (TSU)	108
Plat 3.18	Deram yang bersaiz 890 mm panjang dan berdiameter 560 mm	111
Plat 3.19	Rajah skematik struktur pengkomposan menggunakan kaedah deram berputar (DB)	111
Plat 3.20	Sisa taman yang telah dimesin dan dikecilkan saiz di antara 1-5 sm	112
Plat 3.21	Proses pencerapan suhu bagi kaedah TSU dengan membenamkan termometer ke bahagian tengah timbunan kompos	115
Plat 4.1	Kompos yang dihasilkan melalui kaedah timbunan statik berudara (TSU) dan kaedah deram berputar (DB) dengan nisbah campuran ST dan NL iaitu 1:1 (Peringkat II).	193
Plat 4.2	Kompos yang dihasilkan melalui kaedah timbunan statik berudara (TSU) dan kaedah deram berputar (DB) dengan dengan nisbah campuran ST dan NL iaitu 3 : 2 (Peringkat II).	193
Plat 4.3	Kompos yang dihasilkan melalui kaedah timbunan statik berudara (TSU) dan kaedah deram berputar (DB) dengan dengan nisbah campuran ST dan NL iaitu 7 : 3 (Peringkat II).	193
Plat 4.4	Kompos yang dihasilkan melalui kaedah timbunan statik berudara (TSU) dan kaedah deram berputar (DB) dengan nisbah campuran ST dan NL iaitu 3 : 2 (Peringkat III).	194

SENARAI SINGKATAN

ANOVA	<i>Analysis of Variance</i>
C:N	Nisbah karbon kepada nitrogen
ST	Sisa taman
NL	Najis lembu
COD	<i>Chemical Oxygen Demand</i>
TKN	<i>Total Kjeldhal Nitrogen</i>
TSU	Timbunan statik berudara
DB	Deram berputar
T1	Sampel kompos yang mengandungi campuran sisa taman (ST) dan najis lembu (NL) dengan nisbah 1 : 1 bagi kaedah TSU (Peringkat II)
T2	Sampel kompos yang mengandungi campuran sisa taman (ST) dan najis lembu (NL) dengan nisbah 3 : 2 bagi kaedah TSU (Peringkat II)
T3	Sampel kompos yang mengandungi campuran sisa taman (ST) dan najis lembu (NL) dengan nisbah 7 : 3 bagi kaedah TSU (Peringkat II)
T4	Sampel kompos yang mengandungi campuran sisa taman (ST) dan najis lembu (NL) dengan nisbah 3 : 2 bagi kaedah TSU (Peringkat III-Ulangan 1)
T5	Sampel kompos yang mengandungi campuran sisa taman (ST) dan najis lembu (NL) dengan nisbah 3 : 2 bagi kaedah TSU (Peringkat III-Ulangan 2)
D1	Sampel kompos yang mengandungi campuran sisa taman (ST) dan najis lembu (NL) dengan nisbah 1 : 1 bagi kaedah DB (Peringkat II)
D2	Sampel kompos yang mengandungi campuran sisa taman (ST) dan najis lembu (NL) dengan nisbah 3 : 2 bagi kaedah DB (Peringkat II)
D3	Sampel kompos yang mengandungi campuran sisa taman (ST) dan najis lembu (NL) dengan nisbah 7 : 3 bagi kaedah DB (Peringkat II)

- D4 Sampel kompos yang mengandungi campuran sisa taman (ST) dan najis lembu (NL) dengan nisbah 3 : 2 bagi kaedah DB (Peringkat III-Ulangan 1)
- D5 Sampel kompos yang mengandungi campuran sisa taman (ST) dan najis lembu (NL) dengan nisbah 3 : 2 bagi kaedah DB (Peringkat III-Ulangan 2)

SENARAI LAMPIRAN

	Muka surat
LAMPIRAN A	
Data sisa pepejal yang telah dilupuskan di Tapak Pelupusan Pulau Burung (tan metrik)	211
Bahagian A	212
Sisa pepejal yang telah dilupuskan di Tapak Pelupusan Pulau burung (tan metrik): Jan-Dis 2003	
Bahagian B	213
Sisa pepejal yang telah dilupuskan di Tapak Pelupusan Pulau burung (tan metrik): Jan-Dis 2004	
Bahagian C	214
Sisa pepejal yang telah dilupuskan di Tapak Pelupusan Pulau burung (tan metrik): Jan-Dis 2005	
LAMPIRAN B	
Tatacara ujikaji di tapak dan di makmal	215
Bahagian A	216
Kaedah Pensukuan (<i>Quartering Method</i>)	
Bahagian B	216
Tatacara ujikaji makmal	
i) Tatacara penentuan kandungan lembapan	216
ii) Tatacara ujian penentuan pH	217
iii) Tatacara ujian keperluan oksigen kimia (<i>Chemical Oxygen Demand, COD</i>) (Peringkat II)	217
iv) Tatacara penentuan karbon (Peringkat III)	219
v) Tatacara penentuan nitrogen kjeldhal jumlah (<i>Total Kjeldhal Nitrogen, TKN</i>)	221
Bahagian C	223
Kaedah penyediaan larutan sampel bagi ujian kandungan nutrien	
i) Ujian nitrat (NO_3^-)	223
ii) Ujian fosfat (PO_4^{3-})	224
iii) Ujian kalium (K^+)	225
iv) Ujian sulfat (SO_4^{2-})	226

Bahagian D	Kaedah pencernaan asid-ujian penentuan logam berat (Fe, Zn, Cu, Cd)	227
LAMPIRAN C	Keputusan terperinci bagi proses pengkomposan sisa taman menggunakan kaedah timbunan statik berudara (TSU) dan deram berputar (DB)	229
	(Peringkat II)	
Bahagian A	Kaedah timbunan statik berudara (TSU)	230
	i) Data-data parameter fizikal dan kimia campuran T1 (ST : NL = 1:1)	230
	ii) Data-data parameter fizikal dan kimia campuran T2 (ST : NL = 3:2)	230
	iii) Data-data parameter fizikal dan kimia campuran T3 (ST : NL = 7 : 3)	231
	Data-data kandungan nutrien dan logam berat bagi kaedah TSU	231
	i) Kandungan nutrien dan logam berat di dalam campuran T1 (ST : NL = 1:1)	231
	ii) Kandungan nutrien dan logam berat di dalam campuran T2 (ST : NL = 3:2)	232
	iii) Kandungan nutrien dan logam berat di dalam campuran T3 (ST : NL = 7 : 3)	232
Bahagian B	Kaedah deram berputar (DB)	233
	i) Data-data parameter fizikal dan kimia campuran D1 (ST : NL = 1:1)	233
	iv) Data-data parameter fizikal dan kimia campuran D2 (ST : NL = 3:2)	233
	iii) Data-data parameter fizikal dan kimia campuran D3 (ST : NL = 7 : 3)	234
	Data-data kandungan nutrien dan logam berat bagi kaedah DB	234
	i) Kandungan nutrien dan logam berat di dalam campuran D1 (ST : NL = 1:1)	234

	ii) Kandungan nutrien dan logam berat di dalam campuran D2 (ST : NL = 3:2)	235
	iii) Kandungan nutrien dan logam berat di dalam campuran D3 (ST : NL = 7 : 3)	235
	Keputusan terperinci bagi proses pengkomposan sisa taman menggunakan kaedah timbunan statik berudara (TSU) dan deram berputar (DB)	236
	(Peringkat III)	
	Nisbah campuran ST : NL = 3 : 2	
Bahagian A	Kaedah timbunan statik berudara (TSU)	236
	(i) Suhu	236
	(a) Campuran T4 (Ulangan 1)	236
	(b) Campuran T5 (Ulangan 2)	237
	(ii) Nisbah C:N	239
	(a) Campuran T4 (Ulangan 1)	239
	(b) Campuran T5 (Ulangan 2)	240
	(iii) Kandungan lembapan	240
	(a) Campuran T4 (Ulangan 1)	240
	(b) Campuran T5 (Ulangan 2)	240
	(iv) pH	241
	(a) Campuran T4 (Ulangan 1)	241
	(b) Campuran T5 (Ulangan 2)	241
Bahagian B	Kaedah deram berputar (DB)	242
	(i) Suhu	242
	(a) Campuran D4 (Ulangan 1)	242

(b) Campuran D5 (Ulangan 2)	243
(ii) Nisbah C:N	245
(a) Campuran D4 (Ulangan 1)	245
(b) Campuran D5 (Ulangan 2)	245
(iii) Kandungan lembapan	246
(a) Campuran D4 (Ulangan 1)	246
(b) Campuran D5 (Ulangan 2)	246
(iv) pH	247
(a) Campuran D4 (Ulangan 1)	247
(b) Campuran D5 (Ulangan 2)	247

PENGGOMPOSAN SISA TAMAN MENGGUNAKAN KAEDAH TIMBUNAN STATIK BERUDARA DAN DERAM BERPUTAR

ABSTRAK

Kajian ini melibatkan proses pengkomposan sisa taman dari Tapak Pelupusan Pulau Burung. Dalam kajian ini, dua kaedah pengkomposan telah dikaji iaitu kaedah timbunan statik berudara (TSU) dan kaedah deram berputar (DB). Dalam kaedah TSU, proses pengudaraan dilakukan secara mekanikal dengan menggunakan penghembus udara (*blower*) dan proses pembalikan secara manual. Sementara itu, udara dibekalkan dengan melakukan proses pembalikan secara putaran bagi kaedah DB. Terdapat dua jenis substrat yang digunakan iaitu sisa taman (ST) dan najis lembu (NL). Kajian ini dibahagikan kepada tiga peringkat iaitu Peringkat I hingga III. Peringkat I melibatkan kajian penentuan ciri-ciri fizikal dan kimia ke atas sisa taman seperti penentuan jisim, komposisi, taburan saiz, ketumpatan pukal, kandungan lembapan, pH, nisbah karbon kepada nitrogen (C:N), kandungan nutrien dan logam berat. Dalam Peringkat II, kajian pengkomposan dilakukan terhadap campuran sisa taman (ST) dan najis lembu (NL) dengan nisbah 1:1, 3:2 dan 7:3. Kuantiti sisa organik yang digunakan ialah 70 kg / 0.6 m³ (TSU) dan 20 kg / 0.10 m³ (DB). Dalam Peringkat II, parameter yang mempengaruhi proses pengkomposan bagi setiap nisbah tersebut telah dikaji iaitu suhu, nisbah C:N, kandungan lembapan dan pH. Kajian pada peringkat ini juga turut memantau kandungan nutrien (nitrat, fosfat, kalium, sulfat) dan kandungan logam berat (Fe, Zn, Cu, Cd) di dalam kompos yang terhasil. Kajian Peringkat III (menggunakan kuantiti sisa organik sebanyak 355 kg / 1.5 m³-TSU dan 100 kg / 0.14 m³- DB) melibatkan proses pengkomposan terhadap

campuran ST : NL dengan nisbah 3:2 sahaja. Nisbah ini merupakan nisbah campuran sisa taman (ST) dan najis lembu (NL) yang optimum yang diperolehi dari Peringkat II. Parameter seperti suhu, nisbah C:N, kandungan lembapan dan pH sahaja yang dikaji pada Peringkat III. Hasil kajian menunjukkan fasa termofilik ($> 50\text{ }^{\circ}\text{C}$) telah dicapai dalam kaedah TSU dan DB semasa kajian dijalankan dalam Peringkat III. Suhu tertinggi yang direkodkan dalam kaedah TSU dan DB masing-masing ialah $57.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (T4), $58.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (T5), $55.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (D4) dan $53.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dalam Peringkat II, tiada peningkatan suhu yang ketara dan fasa termofilik tidak dapat dicapai. Nisbah C:N bagi kompos yang terhasil dalam Peringkat III adalah lebih kecil daripada 20:1 bagi kaedah TSU (13:1 –T4 dan 14:1 – T5) dan DB (16:1-D4 dan 17:1 –D5). Sementara itu, nisbah C:N bagi kompos yang terhasil dalam Peringkat II adalah lebih besar daripada 20:1. Peratus kandungan lembapan bagi kompos yang terhasil dalam Peringkat III berada di sekitar 40 % bagi kaedah TSU (44.3 % -T4 dan 42.6 % - T5) dan DB (47.4 % - D4 dan 43.5 % - D5). Sementara itu, kandungan lembapan bagi kompos yang dihasilkan melalui kaedah TSU dan DB dalam Peringkat II ialah di antara 20-50 %. Variasi pH bagi kompos yang terhasil dalam Peringkat III berada dalam julat yang diterima iaitu 7.5 - 8.5 berbanding kompos yang dihasilkan dalam Peringkat II yang mempunyai pH yang bersifat terlalu berasid seperti di dalam kompos T1 (4.90) dan kompos D1 (4.77). Berdasarkan pemerhatian dalam Peringkat II dan III, didapati kompos yang terhasil daripada kedua-dua kaedah berwarna gelap (coklat kehitaman atau hitam), peri dan tidak bergumpal serta berbau seakan-akan tanah. Secara keseluruhan, kaedah timbunan statik berudara (TSU) dilihat paling sesuai untuk menukarkan sisa organik (sisa taman dan najis lembu) kepada produk yang lebih bermanfaat iaitu kompos. Ini adalah kerana ia mampu mengekalkan suhu termofilik ($> 50\text{ }^{\circ}\text{C}$) yang lebih panjang bagi proses pemusnahan patogen dan parasit.

Di samping itu, kompos yang dihasilkan juga mempunyai nisbah C:N yang lebih kecil berbanding kaedah deram berputar.

COMPOSTING OF YARD WASTE USING AERATED STATIC PILE AND ROTARY DRUM METHODS

ABSTRACT

The present work studied the composting of yard waste from Pulau Burung Sanitary Landfill. In this study, the two methods of composting that were analyzed are aerated static pile (ASP) and rotary drum (RD). In the ASP method, aeration was carried out both mechanically by an air blower and by manual turning. While in the RD method, air was supplied by manual turning (rotation). Yard waste (YW) and cow manure (CM) were used as substrates. The study was divided into three stages i.e Stage I to III. Stage I involved the study to determine the physical and chemical characterization of yard waste such as weight, composition, size distribution, bulk density, moisture content, pH, C:N ratio, nutrient and heavy metal content. In Stage II, composting of yard waste and cow manure was performed at different combination ratios i.e 1:1, 3:2 and 7:3. The amount of organic waste used were 70 kg / 0.6 m³ (ASP) and 20 kg / 0.10 m³ (RD). In Stage II, parameters that influenced the composting process such as temperature, C:N ratio, moisture content and pH were determined for each ratios. The study at this stage also observed the nutrient (nitrate, phosphate, potassium, sulfate) and heavy metal contents (Fe, Zn, Cu, Cd) in the final compost. In Stage III, composting was performed only for combination ratio of 3:2. The amount of organic waste used were 355 kg / 1.5 m³ (ASP) and 100 kg / 0.14 m³ (RD). This ratio was found to be the most suitable combination of yard waste and cow manure from Stage II. In Stage III, the study only focused on the parameters such as temperature, C:N ratio, moisture content and pH. The results showed that the thermophilic phase was achieved (> 50 °C) in Stage III using both methods. The

highest temperatures recorded in ASP and RD methods were 57.4 °C (T4), 58.7 °C (T5), 55.2 °C (D4) and 53.5 °C (D5), respectively. In Stage II, the rise of temperature was not obvious and thermophilic phase was not achieved. The final C:N ratio measured in Stage III was lower than 20:1 in ASP (13:1 –T4 and 14:1 – T5) and RD method (16:1-D4 and 17:1 –D5). Meanwhile, the final C:N ratio obtained in Stage II was greater than 20:1. The final moisture content in compost obtained in Stage III was around 40 % for ASP (44.3 % -T4 and 42.6 % - T5) and RD method (47.4 % - D4 and 43.5 % - D5). In Stage II, it was found that the moisture content of the compost produced from ASP and RD methods varied from 20 % to 50 %. The variation of pH in the compost produced in Stage III was in the acceptable range i.e 7.5-8.5 compared to compost produced in Stage II which was too acidic such as compost T1 (pH 4.90) and compost D1 (pH 4.77). Based on the observations in Stage II and III, it was found that the final compost obtained was dark colored (dark brown or black), porous and had an earthy smell. In conclusion, aerated static pile (ASP) was found to be the better method to convert the organic waste (yard waste and cow manure) into value-added product i.e compost. This is due to its ability to sustain the thermophilic condition (> 50 °C) for pathogen and parasite destruction in a long period. In addition, the final C:N ratio in the compost produced was much lower compared to rotary drum method.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Pengenalan

“Setiap hari kita menghasilkan 15,000 tan sampah tetapi kita semakin kesempitan ruang untuk melupuskan sisa”. Ayat ini sering kali didengari di kaca televisyen mahu pun di corong-corong radio ketika Kementerian Perumahan dan Kerajaan Tempatan (KPKT) giat menggalakkan aktiviti kitar semula dilaksanakan oleh semua peringkat di seluruh negara. Menteri Perumahan dan Kerajaan Tempatan, Datuk Seri Ong Ka Ting dalam ucapan Perasmian Program Kitar Semula di Hotel Melia Kuala Lumpur memaklumkan bahawa sehingga ke hari ini angka tersebut telah berubah di mana kadar penjanaan sampah di seluruh negara telah meningkat kepada 18,000 tan setiap hari malah dijangka akan terus meningkat pada kadar 2 % setiap tahun ([http: aplikasi.kpkt.gov.my/ucapan.nsf](http://aplikasi.kpkt.gov.my/ucapan.nsf), 12/5/2005). Selama ini, sampah atau pun sisa pepejal yang terjana dilupuskan di tapak-tapak pelupusan sampah yang sedia ada. Persoalannya, mampukah tapak pelupusan sampah yang sedia ada menampung kadar peningkatan kuantiti bahan buangan ini? Lima tahun lalu, Malaysia mempunyai 230 tapak pelupusan sampah tetapi kini hanya ada 170 tapak pelupusan yang berdaftar dan 112 daripadanya terletak di Semenanjung Malaysia yang digunakan bagi tujuan melupuskan sampah yang terhasil. Dianggarkan 80 % daripada tapak pelupusan tersebut dijangka akan ditutup dalam tempoh dua hingga tiga tahun lagi (Berita Harian, 2005).

Kita boleh melihat pada hari ini statistik mengenai sampah di Malaysia agak menjengkelkan. Secara purata, setiap penduduk di negara ini menghasilkan 0.8 kg

sampah iaitu dua kali ganda daripada jumlah sampah yang dihasilkan ketika negara baru mencapai kemerdekaan pada tahun 1957 (Berita Harian, 2005). Di Lembah Kelang sahaja, purata perkapita pembuangan sampah setiap penduduk ialah kira-kira 1.2 kg sampah setiap hari, atau pun secara keseluruhannya sebanyak 4,720 tan sehari (Ismail et al, 2003). Manakala dianggarkan kira-kira 2,430 tan sampah dihasilkan dalam masa satu hari oleh warga Kuala Lumpur dan diramalkan menjelang tahun 2020 jumlah sampah yang dihasilkan di Kuala Lumpur akan mencecah sehingga 3,240 tan sehari. Jika dikumpulkan sampah tersebut dalam tempoh tiga bulan sahaja, sampah itu boleh mengisi Menara Berkembar Petronas atau memenuhi Stadium Nasional Bukit Jalil (Utusan Malaysia, 2005) .

Fenomena ini berlaku disebabkan oleh pertambahan penduduk dan cara hidup yang semakin meningkat di Malaysia dari tahun ke tahun serta kepesatan pembangunan ekonomi negara akhir-akhir ini. Statistik terbaru yang dikeluarkan oleh Jabatan Perangkaan Malaysia menunjukkan sehingga kini Malaysia mempunyai lebih kurang 27.17 juta penduduk dan sebahagian besar penduduk tertumpu di kawasan-kawasan bandar (<http://www.statistics.gov.my/malay/datapenting.htm>, 18/2/2008). Secara tidak langsung, fenomena ini akan meningkatkan lagi kadar penjanaaan sampah sarap dan sisa pepejal di seluruh negara sama ada di kawasan bandar mahu pun luar bandar. Senario ini menyebabkan kerajaan melalui KPKT telah memperkenalkan Sistem Pengurusan Sisa Pepejal Bersepadu yang merupakan sebahagian daripada Pelan Strategik Sisa Pepejal Kebangsaan (Utusan Malaysia, 2005) yang melibatkan aktiviti pelupusan sisa pepejal sanitari, loji pembakaran (insinerator), penggunaan dan kitar semula sisa pepejal serta proses pengkomposan.

Di Malaysia, kaedah pelupusan sisa pepejal secara kambus tanah lebih banyak digunakan berbanding kaedah lain. Daripada 170 tapak pelupusan yang sedia ada, hanya tujuh buah yang boleh dianggap sebagai tapak pelupusan iaitu teknik yang paling selamat bagi alam sekitar (Ismail et al., 2003). Sementara itu, tapak pelupusan lain lebih banyak menggunakan kaedah pembuangan secara terbuka di mana lubang digali sebelum sampah dicampak ke dalamnya (Ismail et al., 2003). Dalam mengendalikan tapak pelupusan yang wujud di Malaysia, kerajaan membelanjakan berjuta-juta ringgit bagi membolehkan proses pelupusan sisa pepejal dapat dilaksanakan. Sebagai contoh, sebuah tapak pelupusan yang dibina di Rawang dengan saiz 20 juta meter padu menelan perbelanjaan sebanyak RM 400 juta dengan jangka hayatnya cuma 15 tahun berdasarkan jumlah penghasilan sampah di antara 1,200 tan sehingga 2,000 tan sehari di Lembah Kelang (Ismail et al., 2003). Sementara itu, kos untuk mengutip, mengangkut dan membuang ke tapak pelupusan sahaja adalah di antara RM 90 hingga RM 150 bagi setiap tan (Berita Harian, 2005). Dengan peningkatan penghasilan sampah sehingga 18,000 tan sehari, kos ini dilihat terlalu tinggi. Masalah kos perbelanjaan yang besar dan kekangan tanah ini juga menyebabkan operasi tapak kambus tanah di negara-negara Eropah telah pun dihentikan (Ismail et al., 2003). Sebagai contoh, kerajaan Jerman dan Denmark telah meluluskan dasar tanpa kambus tanah (*zero landfill*) mulai tahun 2004.

Selain tapak pelupusan, terdapat satu lagi kaedah yang telah diperkenalkan dalam sistem pelupusan sisa pepejal bersepadu iaitu loji pembakaran tertutup atau pun insinerator. Kaedah rawatan terma yang mampu mengurangkan isipadu sisa pepejal sehingga 90 % ini mungkin baru di Malaysia tetapi tidak bagi negara-negara maju seperti Jepun dan Amerika Syarikat. Negara Jepun umpamanya telah

mempunyai lebih daripada 1,850 loji pembakaran seumpama ini untuk membakar sisa pepejal pemandaran manakala sebanyak 3,300 buah lagi beroperasi untuk membakar sisa industri (The New York Times, 1997). Sementara itu, terdapat sebanyak 150 buah insinerator yang beroperasi di Amerika Syarikat manakala 50 buah lagi di Jerman. Dalam usaha mempelbagaikan kaedah untuk melupuskan sisa pepejal ini, kerajaan Malaysia telah merancang untuk membina sebuah insinerator atau loji pembakaran tertutup di Broga, Selangor. Secara umumnya, kaedah rawatan terma ini bertujuan untuk mengurangkan berat dan isipadu sisa pepejal yang dibuang serta menukarkannya menjadi sisa lebihan yang bersifat lengai dengan mengurai bahagian yang boleh meleraikan di bawah suhu tinggi yang terkawal. Walau bagaimanapun, projek pembinaan insinerator yang mampu menerima 1,500 tan sampah sehari itu telah mendapat tentangan daripada penduduk setempat, parti pembangkang dan badan bukan kerajaan (NGO) yang bimbang kesannya kepada manusia dan alam sekitar (Kosmo, 2005).

Penyelesaian masalah sisa pepejal atau pun sampah ini tidak seharusnya dibebankan sepenuhnya kepada tapak pelupusan sampah dan insinerator sahaja. Kedua-dua sistem ini adalah pengurusan sisa pepejal peringkat terakhir, sedangkan masalah sampah bermula pada hari pertama ia dihasilkan. Aktiviti penggunaan dan kitar semula barangan, proses pengkomposan dan mengurangkan bahan buangan merupakan langkah yang boleh digunakan bagi mengelak masalah pembuangan sisa pepejal ini daripada menjadi lebih serius. Bagi mengurangkan penghasilan sampah yang kian meningkat, KPKT telah mewujudkan Program Kitar Semula di mana sampah-sampah tertentu akan diguna atau dikitar semula. Secara amnya, kitar semula boleh ditafsirkan sebagai memproses barang-barang lama untuk dijadikan bahan-

bahan baru serta menggunakan semula barang-barang tersebut seperti yang asal atau pun memberikan kepada orang lain untuk digunapakai. Walau bagaimanapun, tidak semua komponen sampah atau sisa pepejal ini boleh dikitar semula. Hanya komponen tertentu seperti botol kaca, tin aluminium, besi dan produk kertas sesuai untuk dikitar semula. Pengalaman di seluruh dunia menunjukkan ia memerlukan masa yang agak panjang untuk mencapai kadar kitar semula yang tinggi iaitu sekitar 50 %. Umpamanya, Jerman dan Jepun mengambil masa lebih 20 tahun bagi mencapai kadar yang memuaskan. Menurut laporan pengurusan sisa pepejal sedunia, Amerika Syarikat dan Jepun telah mengitar semula 40 % daripada jumlah sampah yang dihasilkan, Switzerland (22 %), Denmark (19 %) dan Finland (15 %) (Ismail et al, 2003). Manakala di Malaysia, jumlah sisa pepejal yang dikitar semula jauh lebih rendah berbanding negara-negara maju iaitu di bawah 5 %. Dengan pelaksanaan Program Kitar Semula Kebangsaan yang diadakan setiap tahun, kerajaan komited untuk mencapai kadar kitar semula sebanyak 22 % menjelang tahun 2020 (<http://aplikasi.kpkt.gov.my/ucapan.nsf>, 12/5/2005).

Satu lagi pendekatan bagi membantu menyelesaikan masalah lambakan sisa pepejal atau sampah ini ialah pengkomposan. Proses pengkomposan merupakan salah satu kaedah atau pun alternatif untuk memulihara atau mendapatkan semula sumber yang mempunyai banyak ciri positif di mana teknologinya boleh diubah suai mengikut situasi atau keadaan setempat (Ahmad, 2001). Kompos yang dihasilkan juga merupakan produk akhir yang boleh digunakan semula sebagai bahan penambahbaik tanah atau sebagai baja di kawasan pertanian. Produk akhir ini juga mengandungi 1 % unsur surih seperti nitrogen, fosforus dan kalium yang boleh menambah kesuburan dan produktiviti tanah (Ahmad, 2001). Biasanya dalam proses

pengkomposan sisa pepejal, satu perempat daripada sisa pepejal berkenaan boleh dijadikan kompos. Sisa pepejal atau sampah yang bersifat organik seperti sisa makanan dan sisa taman sesuai untuk dikomposkan. Di Malaysia, proses pengkomposan dianggap tidak popular dan masih lagi di peringkat kajian dan aktiviti ini dijalankan secara kecil-kecilan di rumah. Sebagai contoh, kerajaan negeri Pulau Pinang telah melaksanakan projek membuat kompos di rumah dalam usaha mengurangkan pembuangan sisa organik basah daripada isi rumah yang dianggarkan 1.1 kilogram sehari. Menurut Pengerusi Jawatankuasa Pengurusan Lalu lintas, Penerangan dan Perhubungan Masyarakat Negeri Pulau Pinang, Datuk Dr Teng Hock Nan, projek seumpama ini dilihat mampu mengurangkan pembuangan sisa pepejal sebanyak 45 % dan kos pengangkutan untuk mengangkut bahan buangan tersebut dari bahagian pulau ke Tapak Pelupusan Pulau Burung, Seberang Perai ialah sebanyak RM 60 bagi setiap tan (Utusan Malaysia, 2004).

1.2 Latar belakang dan kepentingan kajian

Berdasarkan bilangan penduduk yang semakin meningkat di Malaysia, jumlah sisa buangan di negara ini juga dianggarkan akan meningkat menjadi 21,104 juta sehari atau pun 7.6 juta tan setahun (Berita Harian, 2005). Fenomena ini menyebabkan kerajaan terpaksa membelanjakan jutaan ringgit setiap tahun untuk pengurusan sisa buangan yang meliputi kos untuk mengutip, mengangkut dan melupuskan sisa tersebut. Menurut Menteri Perumahan dan Kerajaan Tempatan, Datuk Seri Ong Ka Ting, sejumlah RM 400 juta telah dibelanjakan untuk menguruskan kira-kira 5 juta tan sisa pepejal di seluruh negara pada tahun 2003 (Utusan Malaysia, 2004). Dalam Bajet 2006 yang diumumkan oleh Perdana Menteri,

Datuk Seri Abdullah Ahmad Badawi, Kerajaan Persekutuan telah memperuntukkan sejumlah RM 363 juta bagi tujuan pengurusan sisa pepejal (Berita Harian, 2005). Keadaan ini bukan hanya berlaku di Malaysia sahaja malah turut berlaku di negara-negara Asia yang lain. Menurut United Nations Centre for Human Settlements, kerajaan tempatan di Asia membelanjakan kira-kira AS\$25 bilion (RM95 bilion) bagi tujuan pengurusan sisa pepejal setahun dengan 50 % hingga 80 % dibelanjakan oleh negara yang berpendapatan sederhana untuk pemungutan sampah (Berita Harian, 2005) . Di Malaysia, 50 % peruntukan bagi operasi majlis perbandaran telah dibelanjakan bagi tujuan pengurusan sisa pepejal dan 70 % daripada jumlah tersebut telah digunakan hanya untuk pemungutan sampah! Alangkah baiknya jika sejumlah wang yang besar itu disalurkan untuk projek-projek yang lebih bermanfaat kepada rakyat seperti pembinaan jalan raya, kemudahan awam, taman rekreasi dan sebagainya.

Disebabkan oleh kadar penjanaan sisa pepejal semakin meningkat akibat daripada pertambahan penduduk, gaya kehidupan dan kekurangan tanah sebagai tapak pelupusan dan ditambahkan lagi dengan perbelanjaan yang menelan sehingga jutaan ringgit bagi menguruskannya, maka adalah penting untuk mencari alternatif lain yang lebih murah untuk mempelbagaikan kaedah pelupusan sisa pepejal. Selain daripada kitar semula, pengkomposan merupakan satu lagi pendekatan yang dapat membantu masalah lambakan sisa pepejal di negara kita. Walaupun kaedah ini kurang popular dan proses penghasilannya agak remeh namun ia mampu mengurangkan kos pemprosesan sisa pepejal yang tinggi di samping dapat mewujudkan persekitaran yang baik. Kaedah yang dipercayai boleh mengurangkan penggunaan tapak pelupusan sebanyak 3 kali ganda ini dilihat sesuai untuk

dilaksanakan di Malaysia memandangkan sisa pepejal yang dihasilkan di negara ini mengandungi bahan organik yang tinggi. Sisa pepejal yang bersifat organik ini biasanya merujuk kepada sisa makanan, kertas, kad bodi, plastik, tekstil, getah, kayu dan sisa taman (Tchobanoglous et al., 1993). Menurut Agamuthu (2007), sisa pepejal yang dihasilkan di Malaysia dari tahun 1975 sehingga 2006 mengandungi bahan organik yang tinggi iaitu di antara 45 % sehingga 65 %. Kajian bagi menentukan ciri-ciri sisa pepejal perbandaran dari Tapak Pelupusan Pulau Burung turut menyatakan bahawa 94.36 % daripada sisa pepejal yang dihasilkan oleh penduduk Pulau Pinang adalah bersifat organik dengan 49 % daripada sisa tersebut berpotensi untuk dikomposkan yang terdiri daripada sisa makanan dan juga sisa taman (Nor Habsah et al., 2004). Kompos yang terhasil sesuai digunakan sebagai bahan penambahbaik tanah atau sebagai baja di kawasan pertanian. Hasil sampingan daripada proses pengkomposan ini tidak memberikan kesan negatif kepada persekitaran di samping mesra alam, bersih serta mengandungi bahan toksik yang rendah (Agamuthu, 2001).

1.3 Objektif kajian

Kajian ini bertujuan untuk menukarkan sisa taman kepada satu produk yang lebih bermanfaat iaitu kompos. Dua kaedah pengkomposan iaitu kaedah timbunan statik berudara (TSU) dan kaedah deram berputar (DB) telah dipilih untuk mengkomposkan sisa taman yang dihasilkan dari kawasan Seberang Perai. Kajian ini dibahagikan kepada 3 peringkat iaitu kajian penentuan ciri-ciri fizikal dan kimia sisa taman (Peringkat I) dan pemantauan proses pengkomposan dan pematangan (Peringkat II dan III).

Peringkat I merangkumi kerja-kerja pencerapan data awalan bagi menentukan ciri-ciri fizikal dan kimia sisa taman seperti penentuan jisim serta komposisi, taburan saiz, ketumpatan pukal, kandungan lembapan, pH, nisbah C:N, kandungan logam berat (Fe, Mn, Zn, Ni) dan kandungan nutrien (nitrat, fosfat, kalium, sulfat).

Peringkat II pula melibatkan kerja-kerja pemantauan parameter yang mempengaruhi proses pengkomposan seperti suhu, nisbah C:N, kandungan lembapan, pH, kandungan nutrien (nitrat, fosfat, kalium, sulfat) serta kandungan logam berat (Fe, Zn, Cu, Cd). Peringkat ini melibatkan penggunaan nisbah kuantiti campuran sisa taman (ST) dan najis lembu (NL) terhadap isipadu timbunan atau reaktor yang agak kecil iaitu sebanyak 70 kg / 0.6 m³ bagi kaedah TSU dan 20 kg / 0.10 m³ bagi kaedah DB. Nisbah campuran jisim sisa taman (ST) kepada najis lembu (NL) pula adalah 1 : 1, 3 : 2 dan 7 : 3.

Proses pengkomposan dalam Peringkat III dilaksanakan pada nisbah ST dan NL yang optimum (dari Peringkat II) dan menggunakan kuantiti sisa organik yang lebih besar iaitu sebanyak 355 kg / 1.5 m³ bagi kaedah TSU dan 100 kg / 0.14 m³ untuk kaedah DB. Peringkat ini hanya melibatkan kerja-kerja pemantauan parameter seperti suhu, nisbah C:N, kandungan lembapan dan pH. Nisbah campuran jisim sisa taman (ST) kepada najis lembu (NL) yang digunakan ialah 3 : 2.

Objektif keseluruhan kajian ini adalah seperti berikut:

1. Menentukan ciri-ciri fizikal dan kimia sisa taman seperti jisim, komposisi, taburan saiz, ketumpatan pukal, kandungan lembapan, pH,

nisbah C:N, kandungan logam berat dan kandungan nutrien dalam Peringkat I.

2. Membandingkan kualiti kompos yang terhasil daripada kedua-dua kaedah pengkomposan (TSU dan DB) menggunakan 3 nisbah campuran ST dan NL iaitu 1 : 1, 3 : 2 dan 7 : 3 dalam Peringkat II.
3. Membandingkan kualiti kompos yang terhasil daripada kedua-dua kaedah pengkomposan (TSU dan DB) menggunakan nisbah campuran ST dan NL iaitu 3 : 2 dalam Peringkat III.

1.4 Skop kajian

Kajian ini menumpukan kepada sisa taman yang dihasilkan dari kawasan Seberang Perai yang dihantar ke Tapak Pelupusan Pulau Burung, Nibong Tebal, Pulau Pinang. Ini merupakan tapak pelupusan sisa pepejal bagi negeri Pulau Pinang dan diuruskan sepenuhnya oleh Syarikat Idaman Bersih Sendirian Berhad (IBSB). Tapak pelupusan ini terletak kira-kira 15 km dari Kampus Kejuruteraan, Universiti Sains Malaysia.

Proses pencerapan data awalan (Peringkat I) dan pengkomposan (Peringkat II) dijalankan di tapak pengkomposan yang disediakan oleh pihak IBSB di Tapak Pelupusan Pulau Burung memandangkan sumber sisa taman dan najis lembu (dari kawasan berhampiran tapak pelupusan) mudah diperolehi. Lokasi kajian Peringkat III ialah di Pusat Pengajian Kejuruteraan Awam, Kampus Kejuruteraan USM.

Kuantiti sisa organik yang digunakan dalam Peringkat II adalah sebanyak 70 kg / 0.6 m³ bagi kaedah TSU dan 20 kg / 0.10 m³ bagi kaedah DB. Dalam Peringkat III, kuantiti sisa organik yang digunakan adalah lebih besar iaitu sebanyak 355 kg / 1.5 m³ bagi kaedah TSU dan 100 kg / 0.14 m³ untuk kaedah DB. Dalam Peringkat II, nisbah campuran sisa taman (ST) dan najis lembu (NL) yang digunakan ialah 1 : 1, 3 : 2 dan 7 : 3 . Sementara itu, nisbah campuran sisa taman (ST) dan najis lembu (NL) yang digunakan dalam kajian Peringkat III ialah 3 : 2.

Dalam Peringkat II, bekalan udara bagi kaedah TSU diperolehi melalui proses pengudaraan paksa selama 8 jam sehari dengan menggunakan *blower* dan proses pembalikan secara mekanikal. Manakala proses pengudaraan bagi kaedah DB pula diperolehi melalui kaedah putaran deram secara mekanikal dan juga melalui liang pengudaraan yang dibuat di sekeliling deram. Dalam Peringkat III, proses pengudaraan paksa dengan menggunakan *blower* untuk kaedah TSU telah dipelbagaikan secara berkala mengikut fasa mesofilik dan termofilik. Bagi kaedah DB, bekalan udara diperolehi melalui proses pembalikan deram secara mekanikal serta pengaliran udara masuk melalui paip PVC yang dipasang sepanjang deram.

Data yang diperolehi daripada kajian pengkomposan ini dianalisis dari segi plotan graf dan analisis statistik menggunakan perisian MINITAB (R14). Keputusan analisis varian (ANOVA) yang diperolehi digunakan untuk membuat perbandingan di antara kaedah TSU dan DB untuk Peringkat III sahaja.

BAB 2

PROSES PENGKOMPOSAN

2.1 Sejarah Pengkomposan

Pengkomposan bukanlah satu teknologi yang baru dalam pengurusan sisa pepejal di dunia. Kaedah ini telah lama dipraktikkan secara meluas semenjak beberapa abad yang lalu oleh para petani bagi menghasilkan bahan penambahbaik untuk tanaman. Umpamanya di zaman awal tamadun manusia, para petani di Amerika Selatan, China, Jepun dan India telah menggunakan najis haiwan dan najis manusia sebagai baja di kawasan pertanian mereka. Sisa-sisa tersebut dilonggokkan di suatu kawasan kemudian dibiarkan mereput dalam jangkamasa yang panjang bagi menghasilkan kompos.

Proses pengkomposan moden yang dikenali sebagai 'Kaedah Indore' bermula pada awal tahun 1920-an di India (Epstein, 1997; Haug, 1993). Kaedah ini telah dibangunkan oleh seorang ahli agronomi British, Sir Albert Howard semasa beliau bertugas di Indore Institute of Plant Industry, Central India di antara tahun 1924 sehingga 1931. Pada peringkat awal, kaedah yang menggabungkan najis haiwan, najis manusia serta sisa taman seperti daun, rumput dan jerami ini dilakukan secara anaerobik di mana saiz timbunan tersebut adalah 9 m x 4 m x 0.9 m. Walau bagaimanapun, kaedah ini kemudiannya telah diubahsuai supaya proses penguraian secara aerobik dapat berlaku dengan melakukan pembalikan yang lebih kerap ke atas sisa-sisa yang dikomposkan. 'Kaedah Indore' diterima dengan baik dan dipraktikkan secara meluas dalam Empayar British kerana ia menggalakkan para petani untuk mengkomposkan sisa tanaman mereka bagi menghasilkan baja daripada dibakar

sebelum ini. Pada tahun 1935, dilaporkan ladang-ladang teh di India dan Sri Lanka telah menghasilkan 1,000,000 tan kompos dengan menggunakan kaedah ini (Haug, 1993).

Sementara itu, kemudahan pengkomposan yang berskala besar di negara Eropah telah bermula pada tahun 1932 di Belanda. Proses yang dikenali sebagai ‘Van Maanen’ serta dikendalikan sepenuhnya oleh syarikat Vuilafvoer Maatschappij (VAM) ini merupakan adaptasi daripada Kaedah Indore di mana ia diaplikasikan untuk pengkomposan sisa pepejal yang berskala besar. Melalui kaedah ini, tempoh pengkomposan sisa pepejal adalah di antara 4 sehingga 8 bulan. Pemantauan turut dilakukan terhadap kandungan lembapan serta keperluan udara sisa pepejal yang dikomposkan. Kompos yang terhasil kemudiannya disaring, diasingkan serta dikisar kepada saiz yang berbeza sebelum digunakan ke atas tanaman. Pada tahun 1955, loji pengkomposan yang kedua telah dibangunkan di Mierlo, Belanda yang mampu menampung kapasiti sisa pepejal sebanyak 70,000 tan metrik setahun. Proses ini dilakukan di kawasan yang agak jauh daripada penempatan penduduk bagi mengelakkan masalah bau dan lalat.

Sejajar dengan perkembangan teknologi, sistem pengkomposan di seluruh dunia turut berkembang pesat. Jika satu masa dahulu kompos dibalikkan secara manual dengan menggunakan peralatan konvensional namun kini tidak lagi. Dengan kemajuan teknologi, peralatan seperti mesin dan jentera digunakan bagi membalikkan kompos sepanjang proses pengkomposan berlangsung. Jika dahulu sisa organik hanya dilonggokkan di suatu kawasan kemudian dibiarkan mereput sebelum digunakan sebagai baja. Namun perkembangan sains dan teknologi dalam bidang

pengkomposan kini menyebabkan pemantauan seperti perubahan suhu, pH, kandungan lembapan, keperluan udara serta nisbah C:N dilakukan ke atas sisa organik yang dikomposkan bagi menjamin kualiti produk akhir yang terhasil. Jadual 2.1 menunjukkan sistem-sistem pengkomposan yang telah dibangunkan di seluruh dunia pada tahun 1969.

Jadual 2.1 : Sistem pengkomposan yang dibangunkan di seluruh dunia pada tahun 1969

Sistem	Penerangan	Lokasi
Bangalore (Indore)	Berbentuk timbunan; 0.6 - 0.9 m dalam; lapisan terdiri daripada sampah, najis manusia dan bahan organik lain; tempoh pengkomposan 120 -180 hari	India, Afrika Selatan
Caspari	Sampah dipadatkan di dalam lapisan bata; dibiarkan selama 30-40 hari; dimatangkan; kompos ditapis.	Schweinfurt, Jerman
Dano	Deram berputar; 2.7 – 3.6 m diameter dan 45 m panjang; masa tahanan 1-5 hari; ditimbunkan untuk pematangan	Eropah
Earp Thomas	Silo dengan 8 tingkat longgokan; sampah dipindahkan dari satu tingkat ke tingkat lain; udara dibekalkan ke atas melalui silo; masa tahanan 2-3 hari; ditimbunkan untuk pematangan	Heidelberg, Jerman; Turgi, Switzerland; Verona, Italy; Thessaloniki, Greece
Fairfield-Hardy	Tangki bulat; pengudaraan paksa dari bawah, masa tahanan 4-5 hari	Pennsylvania, USA; San Juan, Puerto Rico
Frazer-Eweson	Tangki pugak dengan 4-5 tingkat berliang; pengudaraan paksa; masa tahanan 4-5 hari	Tiada lagi yang beroperasi
Jersey (John Thompson System)	Struktur 6 tingkat; sampah dipindahkan dari satu tingkat ke tingkat lain; masa tahanan 6 hari	Jersey, Channel Islands, Great Britain; Bangkok, Thailand

Sambungan Jadual 2.1

Metrowaste	Bekas terbuka, 6 m lebar x 3 m tinggi x 30-120 m panjang; sampah dibalikkan 7 hari sekali; pengudaraan paksa	Houston, Texas; Gainesville, Florida
Naturizer or International	Menggunakan 5 'conveyor belt' besi yang bergerak; pengudaraan paksa dilakukan dari bahagian bawah pencerna; masa tahanan 5 hari	St. Petersburg, Florida
T.A Crane	2 sel dengan 3 lapisan horizontal; sampah dipindahkan dari satu lapisan ke lapisan lain; udara dibekalkan dari bahagian bawah bekas	Kobe, Jepun
Tollemache	Mirip kepada sistem Metrowaste	Sepanyol; Selatan Rhodesia; Afrika
Windrow	Timbunan terbuka yang dibalikkan dengan menggunakan pelbagai jenis mesin	Mobile, Alabama; Boulder, Colorado; Johnson City, Tennessee; Eropah; Israel
Van Maanen (VAM)	Timbunan memanjang yang dibalikkan oleh kren; tempoh pengkomposan 120-180 hari	Belanda

(Sumber : Epstein, 1993)

2.2 Definisi Pengkomposan

Pengkomposan mempunyai definisi yang amat luas. Di antaranya ialah :

- (i) Pengkomposan adalah proses penguraian substrat organik secara biologi yang melibatkan aktiviti populasi bakteria mesofilik dan termofilik bagi menghasilkan produk akhir yang stabil untuk disimpan dan diaplikasikan kepada tanah tanpa memberikan kesan sampingan kepada persekitaran (Iyengar et al., 2005)
- (ii) Pengkomposan adalah proses penguraian dan penstabilan bahan-bahan organik secara biologi di bawah keadaan yang boleh menyebabkan

peningkatan suhu termofilik hasil daripada tindakbalas biologi yang menghasilkan haba serta dapat menghasilkan produk akhir yang stabil, bebas dari patogen dan bermanfaat kepada tanah (Bertran et al., 2004).

- (iii) Pengkomposan adalah proses penguraian dan penstabilan bahan-bahan organik secara biologi di bawah keadaan yang terkawal bagi menghasilkan produk akhir yang bermanfaat kepada tanah (Madejon et al., 2002)

Secara amnya, proses pengkomposan merupakan satu kaedah untuk menukarkan bahan organik kepada bahan lain yang lebih stabil serta mempunyai banyak ciri positif dan boleh digunakan semula kepada tanah. Produk akhirnya bersifat mesra alam, bersih serta kandungan toksik yang rendah.

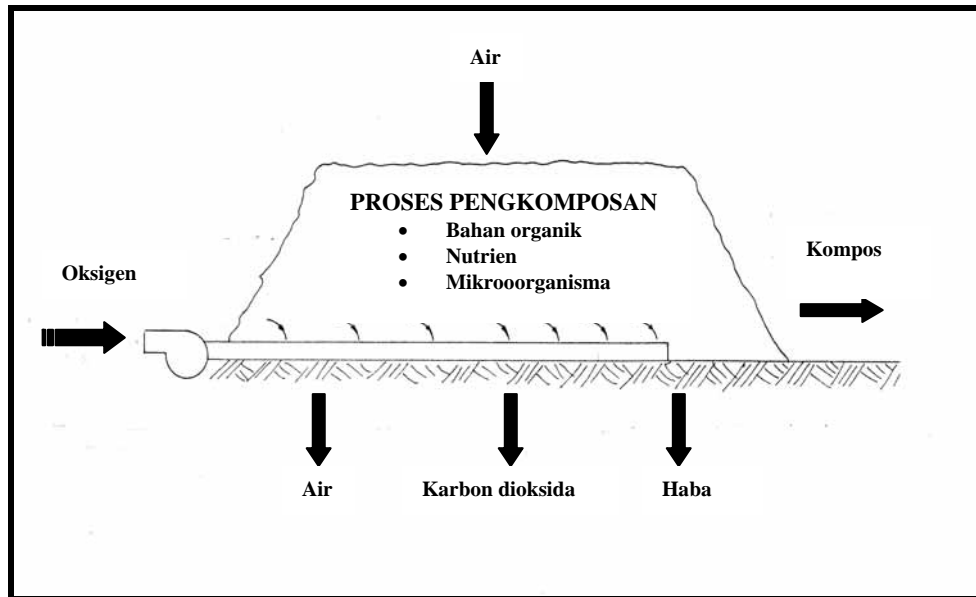
2.3 Pengelasan Proses Pengkomposan

Pengkomposan adalah proses penguraian bahan-bahan organik secara biologi. Dalam proses ini, mikroorganisma memainkan peranan penting untuk menguraikan bahan-bahan organik tersebut kepada satu bahan yang lebih stabil yang dikenali sebagai kompos. Proses pengkomposan boleh dikelaskan kepada 2 jenis iaitu secara aerobik dan anaerobik.

2.3.1 Proses Pengkomposan Aerobik

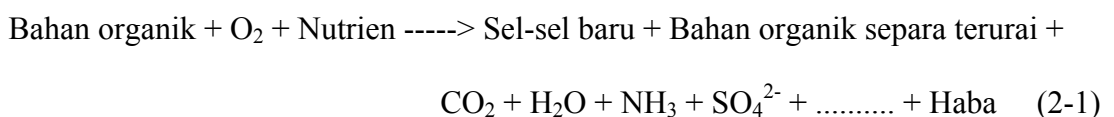
Proses pengkomposan secara aerobik berpotensi besar untuk mengolah sisa pepejal perbandaran dan juga sisa taman (Komilis, 2006). Proses ini melibatkan

penguraian bahan-bahan organik dengan kehadiran oksigen. Hasil akhir daripada tindak balas ini terdiri daripada CO₂, NH₃, air dan haba. Rajah 2.1 menunjukkan analisis input-output bagi proses pengkomposan secara aerobik.

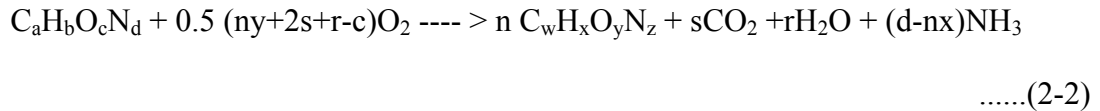


Rajah 2.1 : Analisis input-output proses pengkomposan
(Sumber : Diaz et al., 1993, Haug,1993)

Penggunaan oksigen adalah tinggi pada permulaan proses dan kemudiannya semakin berkurang apabila kompos telah mencapai kematangan (Hoorweg et al., 1999). Dalam proses ini juga, bakteria aerobik akan menggunakan karbon dari sisa organik sebagai sumber tenaga manakala nitrogen akan dikitar semula (Agamuthu, 2001). Secara amnya, proses penguraian secara aerobik boleh dijelaskan melalui persamaan (2-1) di bawah:



Manakala proses penguraian secara aerobik bagi bahan organik yang mempunyai formula $C_aH_bO_cN_d$ boleh dijelaskan melalui persamaan berikut (Tchobanoglous et al., 1993) :



di mana ;

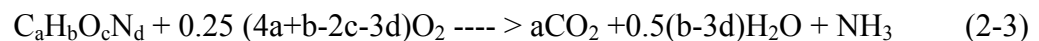
$$r = 0.5 [b-nx-3(d-nx)]$$

$$s = a-nw$$

n = bilangan mol $C_wH_xO_yN_z$ yang terhasil daripada $C_aH_bO_cN_d$

a,b,c,d,w,x,y,z = bilangan mol komposisi bahan organik (C, H,O,N) pada peringkat awal dan akhir pengkomposan.

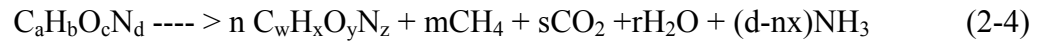
Sementara itu, persamaan (2-3) pula menjelaskan bahawa proses penguraian bahan organik secara aerobik telah lengkap sepenuhnya.



2.3.2 Proses Pengkomposan Anaerobik

Proses pengkomposan anaerobik ialah proses penguraian bahan-bahan organik yang berlaku tanpa kehadiran oksigen. Proses ini mengambil masa yang lebih panjang daripada proses pengkomposan secara aerobik. Produk akhir yang terhasil biasanya terdiri daripada CH_4 , CO_2 , NH_3 , gas-gas yang berasid serta menghasilkan bau yang busuk. Di bawah keadaan anaerobik, bahan-bahan yang sedang mengurai cenderung untuk menjadi lebih berasid. Pada masa dahulu, kaedah ini biasanya digunakan untuk mengolah najis haiwan dan najis manusia. Namun

kini, kaedah ini telah mula dipraktikkan untuk mengolah sisa pepejal perbandaran dan sisa taman. Secara umumnya, proses penguraian secara anaerobik bagi sisa organik boleh dijelaskan melalui persamaan (2-4) berikut:



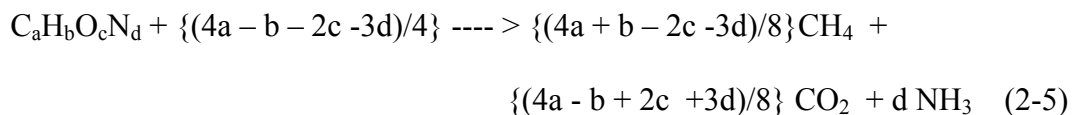
Di mana;

$$s = a - nw - m$$

$$r = c - ny - 2s$$

a, b, c, d, w, x, y, z = bilangan mol komposisi bahan organik (C, H, O, N) pada peringkat awal dan akhir pengkomposan.

Persamaan (2-5) pula menjelaskan bahawa proses penguraian bahan organik secara anaerobik telah lengkap sepenuhnya:-



2.4 Kaedah Pengkomposan

Kaedah pengkomposan terbahagi kepada 2 kaedah utama iaitu kaedah terbuka dan kaedah mekanikal (Diaz et al., 1993). Kaedah terbuka melibatkan dua kaedah iaitu kaedah timbunan statik (*windrow*) dan kaedah timbunan statik berudara (*aerated static pile*). Sementara kaedah mekanikal (*in-vessel*) terdiri daripada reaktor pugak, reaktor mendatar dan kaedah deram berputar. Selain daripada 2 kaedah utama

ini, terdapat 2 lagi kaedah yang semakin popular dalam pengkomposan sisa organik iaitu kaedah vermi (*vermicomposting*) dan kaedah pengkomposan termofilik.

2.4.1 Kaedah Terbuka

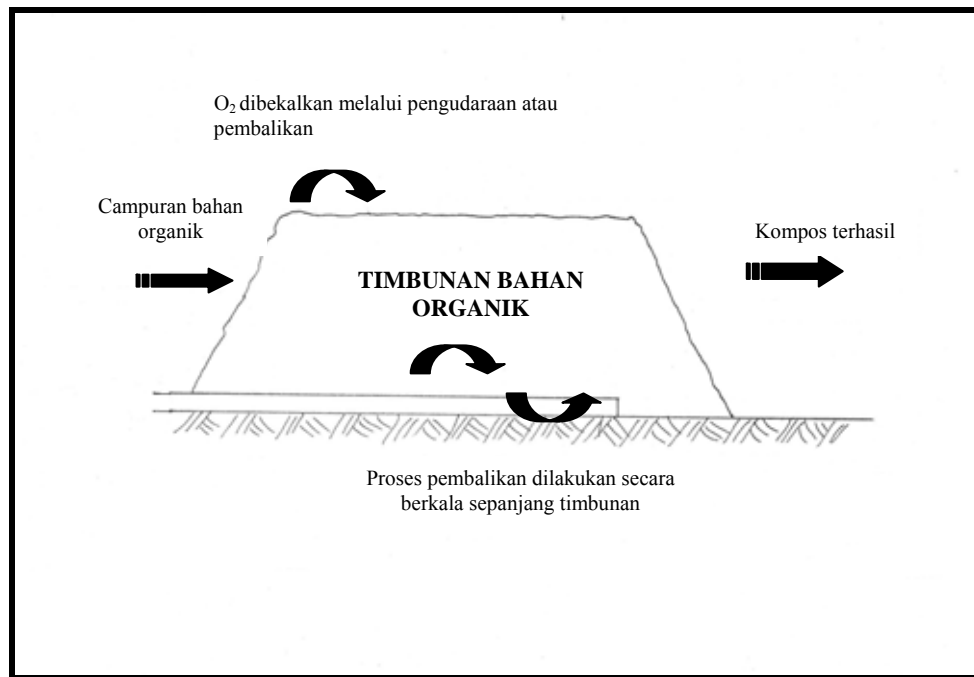
Kaedah ini mudah dan tidak memerlukan kepakaran teknologi yang tinggi. Ia sesuai digunakan untuk mengolah sebarang jenis sisa organik antaranya najis haiwan, enapcemar kumbahan dan sisa taman (Haug, 1993) serta mampu menukarkan sisa dalam kuantiti yang besar kepada kompos. Kaedah Indore dan Van Maanen adalah di antara projek perintis yang mengetengahkan kaedah pengkomposan secara terbuka semenjak tahun 1920-an lagi.

a) Kaedah timbunan statik (*windrow*)

Kaedah ini merupakan kaedah yang mudah dan boleh diubahsuai mengikut tempat. Melalui kaedah ini, sisa organik akan dilonggokkan dalam bentuk timbunan yang besar dan memanjang. Timbunan statik (*windrow*) boleh dibuat dalam bentuk segi tiga (*delta windrow*) dengan ketinggian mencapai 2 m dan lebarnya adalah di antara 2.5 m sehingga 3 m. Sementara itu, timbunan yang berbentuk segiempat memanjang (*trapezoidal windrow*) boleh mencapai ketinggian sehingga 3 m dan lebarnya adalah di antara 10 m sehingga 12 m dengan bahagian sisinya dicondongkan sedikit seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.2. Walau bagaimanapun, dimensi timbunan bergantung kepada sisa organik yang digunakan dan keadaan cuaca. Proses pembalikan secara berkala turut dilakukan bagi membekalkan oksigen kepada timbunan bahan organik (Tiquia et al., 1997) di

samping memecahkan gumpalan sisa organik tersebut kepada saiz yang lebih kecil untuk tindakan penguraian oleh mikroorganisma atau organisma pengurai yang lain. Proses pembalikan juga memainkan peranan penting untuk meningkatkan sifat keporosan bahan-bahan organik yang dikomposkan. Ini adalah untuk mengelakkan pemendapan dan pemadatan berlaku ke atas bahan-bahan tersebut di samping membenarkan haba, wap air dan gas-gas yang terperangkap di dalam timbunan kompos dibebaskan keluar. Sifat keporosan bahan-bahan organik yang dikomposkan banyak mempengaruhi aliran udara di dalam timbunan. Contohnya, bahan organik yang lebih padat dan tumpat seperti najis haiwan memerlukan bentuk timbunan yang lebih kecil untuk meminimumkan zon anaerobik manakala bahan organik yang lebih porous dan ringan seperti sisa taman akan dikomposkan dalam bentuk timbunan yang lebih besar. Walau bagaimanapun, kaedah ini dilihat mempunyai banyak kekurangan (Tiquia dan Tam, 1998). Di antaranya ialah :

- (ii) Memerlukan ruang yang besar
- (iii) Memerlukan peralatan atau pun jentera yang besar untuk mengendalikan proses pembalikan
- (iv) Memerlukan kos tambahan untuk membayar buruh yang menjalankan kerja-kerja pembalikan.

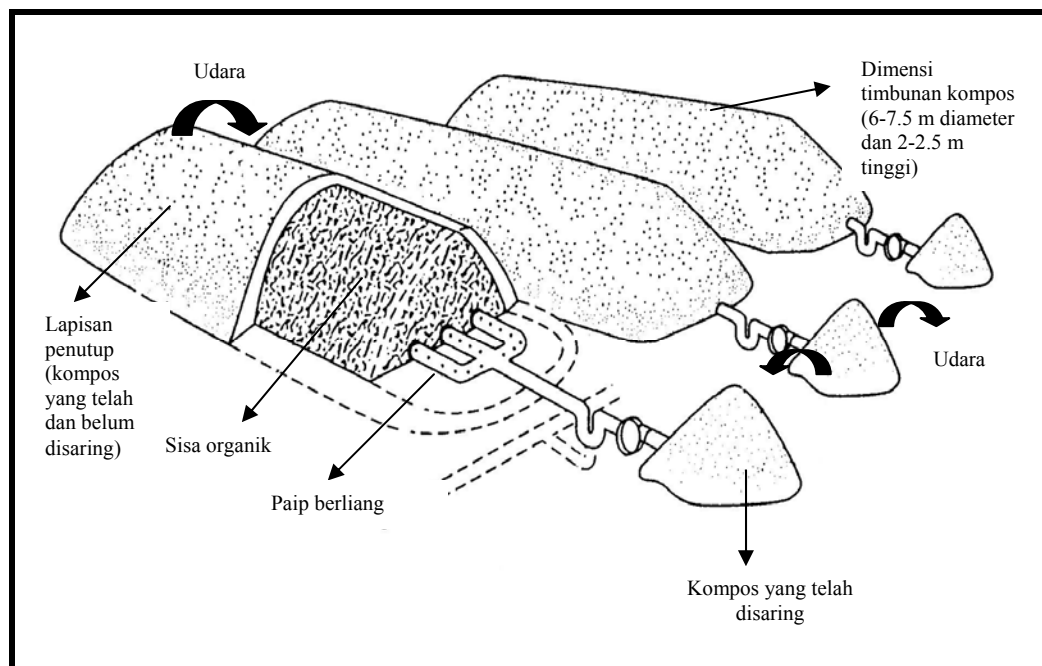


Rajah 2.2 : Kaedah timbunan statik (*windrow*) (Sumber : Haug, 1993)

b) Timbunan statik berudara (*aerated static pile*)

Kaedah ini telah dibangunkan oleh *U.S Department of Agricultural Research Service Experimental Station* di Beltsville, Maryland (Tchobanoglous et al., 1993; Haug, 1993). Pada peringkat awal, kaedah yang mirip kepada kaedah timbunan statik ini digunakan untuk mengolah sisa organik yang mempunyai kandungan lembapan yang tinggi seperti enap cemar kumbahan. Walau bagaimanapun, kaedah ini kemudiannya diperluaskan untuk mengolah sisa organik lain seperti sisa taman dan sisa pepejal perbandaran yang telah diasingkan. Kaedah timbunan statik berudara terdiri daripada rangkaian paip yang berliang dan penghembus udara (*blower*) bagi membekalkan udara kepada timbunan sisa organik (Rajah 2.3). Udara yang masuk akan membekalkan oksigen bagi membantu proses penguraian sisa organik di samping mengawal suhu di dalam timbunan (Tchobanoglous et al., 1993). Operasi pengudaraan timbunan kompos boleh dikawal dengan menggunakan penentu masa

(*timer*) yang disambungkan kepada penghembus udara (*blower*). Secara tidak langsung, kadar aliran udara dapat dikawal bagi menghasilkan profil suhu yang dikehendaki di dalam timbunan sisa organik (Zhu et al., 2004). Kebiasaannya, timbunan statik berudara mempunyai ketinggian di antara 2 - 2.5 m. Timbunan yang terbentuk akan dilitupi dengan kompos yang telah disaring bagi mengelakkan masalah bau. Agen pemukalan seperti serpihan kayu telah digunakan semenjak dulu lagi bagi meningkatkan keronggaan dalam timbunan kompos di samping berperanan untuk menyerap lembapan yang berlebihan (Tiquia dan Tam, 1998).



Rajah 2.3 : Kaedah timbunan statik berudara (Sumber : Tchobanoglous et al., 1993)

Kaedah ini dilihat banyak memberikan kebaikan dalam pengkomposan sisa organik berbanding kaedah timbunan statik. Tiquia dan Tam (1998) menyatakan bahawa kaedah ini amat sesuai digunakan di Hong Kong kerana ia tidak memerlukan ruang yang besar dan tenaga buruh yang sedikit berbanding kaedah timbunan statik. Sementara itu, Cegarra et al. (2006) turut bersetuju bahawa aplikasi kaedah ini dapat

menampung bekalan oksigen di dalam timbunan di samping menyingkirkan haba, gas-gas serta wap air. Dalam pengkomposan moden, kaedah ini sesuai digunakan di ladang-ladang yang berskala besar dan sederhana (Zhu et al., 2004).

Namun, di sebalik kebaikan masih terdapat beberapa kekurangan dalam penggunaan kaedah ini. Di antaranya adalah pembentukan takungan air di bahagian dasar timbunan disebabkan mekanisma pembalikan tidak dilakukan dan menyebabkan wujudnya keadaan anaerobik (Cegarra et al., 2006) yang secara tidak langsung menghasilkan bau yang busuk. Ketiadaan mekanisma pembalikan juga menyebabkan ketidakseragaman jisim kompos seperti taburan mikroorganisma, nutrien dan air.

Kaedah *Biodegma* merupakan salah satu kaedah pengkomposan yang menggunakan kaedah timbunan statik berudara yang telah dibangunkan oleh sebuah firma dari Jerman (Agamuthu, 2001). Dalam kaedah *Biodegma* ini, sisa organik ditimbunkan di atas rangkaian paip pengudaraan yang disambungkan dengan sebuah kipas. Kipas ini berfungsi untuk mengawal suhu dan juga kelembapan sisa organik yang dikomposkan. Di samping itu, sisa organik yang dikomposkan akan ditutup dengan satu lapisan membran tidak telap yang berfungsi untuk mengelakkan kompos daripada dibasahi hujan, mengelakkan masalah bau dan membenarkan gas yang terhasil bebas ke persekitaran. Teknologi ini dilihat sangat berkesan kerana proses pengkomposan boleh dilakukan di tempat yang lebih selesa dan bersifat mudah alih (*mobile*). Sisa organik boleh dikomposkan di dalam struktur yang diperbuat daripada konkrit, bekas yang diperbuat daripada logam atau dalam bentuk timbunan statik (*windrow*) sebelum ditutup dengan satu lapisan membran.