



Laporan Akhir Projek Penyelidikan Jangka Pendek

**Kajian Perbandingan Kualiti Kompos
Daripada Sisa Taman Menggunakan
pelbagai Kaedah Pengkomposan**

oleh

Nor Habsah Md Sabiani

Prof. Madya Dr. Faridah A.H. Asaari

2006

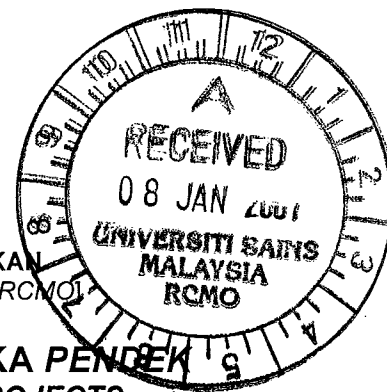


**PUSAT PENGAJIAN KEJURUTERAAN AWAM
KAMPUS KEJURUTERAAN
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA**

**LAPORAN AKHIR
PROJEK PENYELIDIKAN JANGKA PENDEK**

**"KAJIAN PERBANDINGAN KUALITI KOMPOS
DARIPADA SISA TAMAN MENGGUNAKAN
PELBAGAI KAEDAH PENGKOMPOSAN"**

**DISEDIAKAN OLEH:
NOR HABSAH MD. SABIANI**



PEJABAT PENGURUSAN & KREATIVITI PENYELIDIKAN
RESEARCH CREATIVITY AND MANAGEMENT OFFICE (RCMO)

LAPORAN AKHIR PROJEK PENYELIDIKAN JANGKA PENDEK
FINAL REPORT OF SHORT TERM RESEARCH PROJECTS

- 1) **Nama Ketua Penyelidik :**
Name of Research Leader :

Ketua Penyelidik <i>Research Leader</i>	PTJ <i>School/Centre</i>
Nor Habsah Md Sabiani	Pusat Pengajian Kejuruteraan Awam

- Nama Penyelidik Bersama**
(Jika berkaitan) :
Name/s of Co-Researcher/s
(if applicable)

Penyelidik Bersama <i>Co-Researcher</i>	PTJ <i>School/Centre</i>
Prof Madya Dr Faridah A.H Asaari	Pusat Pengajian Kejuruteraan Awam

- 2) **Tajuk Projek :** "Kajian Perbandingan Kualiti Kompos Daripada Sisa Taman
Title of Project: Menggunakan Pelbagai Kaedah Pengkomposan"

- 3) **Abstrak untuk penyelidikan anda**

(Perlu disediakan di antara 100 – 200 perkataan di dalam Bahasa Malaysia dan Bahasa Inggeris. Ini kemudiannya akan dimuatkan ke dalam Laporan Tahunan Bahagian Penyelidikan & Inovasi sebagai satu cara untuk menyampaikan dapatan projek tuan/puan kepada pihak Universiti & luar).

Abstract of Research

(Must be prepared in 100 – 200 words in Bahasa Malaysia as well as in English. This abstract will later be included in the Annual Report of the Research and Innovation Section as a means of presenting the project findings of the researcher/s to the university and the outside community)

Terdapat pelbagai kaedah pelupusan sisa pepejal yang diamalkan di Malaysia pada masa kini. Di antaranya ialah kaedah pelupusan secara kambus tanah, pembakaran, penunuan serta kaedah rawatan secara biologi yang dikenali sebagai pengkomposan. Dalam kajian ini, proses pelupusan sisa pepejal yang dipilih ialah proses pengkomposan. Pengkomposan merujuk kepada proses pengolahan sisa pepejal yang bersifat organik secara biologi disebabkan oleh tindakan bakteria dan mikroorganisma. Produk akhir yang dihasilkan dikenali sebagai kompos yang mana diharapkan berpotensi bertindak sebagai baja tanaman serta sebagai bahan penambah baik tanah. Kompos yang dihasilkan ini juga dijangkakan mengandungi 1% unsur-unsur surih

seperti nitrat, fosfat dan kalium yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman. Dalam kajian ini, 2 kaedah pengkomposan akan dilaksanakan iaitu kaedah timbunan statik berudara (TSU) dan kaedah deram berputar (DB). Proses pengawalan dan pemantauan faktor fizikal dan kimia turut dilakukan bagi memastikan kompos yang dihasilkan daripada kedua-dua kaedah berkualiti baik. Di antara faktor-faktor fizikal dan kimia yang akan dipantau sepanjang proses ini berlangsung ialah kandungan lembapan, suhu, pH, kandungan nitrogen, kandungan karbon dan nisbah C:N. Di samping itu, ujikaji-ujikaji penentuan kualiti ke atas kompos matang akan dijalankan seperti ujikaji penentuan fosfat, kalium, nitrat dan sulfat. Ujian penentuan kandungan logam berat seperti Fe, Cu, Cd dan Zn turut dilakukan bagi memastikan kompos yang terhasil selamat untuk digunakan ke atas tanaman dan tidak memberikan kesan fitotoksisiti ke atas tumbuh-tumbuhan. Daripada kajian ini juga didapati campuran sisa taman dan najis lembu dengan nisbah 60% ST: 40% NL mampu menghasilkan kompos yang mempunyai kandungan nutrien (fosfat, kalium dan sulfat) yang tinggi. Sementara itu, campuran sisa taman dan najis lembu dengan nisbah 70% ST: 30% NL mampu menghasilkan kompos yang mempunyai kandungan logam berat (Fe, Cu, Cd) yang rendah. Dalam proses pengkomposan ini juga ternyata semua parameter fizikal dan kimia seperti suhu, pH, kandungan lembapan, kandungan karbon, kandungan nitrogen dan nisbah C:N mempengaruhi proses pengkomposan. Berdasarkan analisis data, plotan graf dan perbincangan didapati kedua-dua kaedah pengkomposan iaitu kaedah timbunan statik berudara (TSU) dan kaedah deram berputar (DB) mampu menguraikan sisa taman dan menghasilkan produk yang berkualiti dan berguna. Kedua-dua kaedah ini juga mampu menghasilkan kompos yang mengandungi nutrien yang tinggi tetapi kandungan logam berat yang rendah. Ciri-ciri fizikal kompos yang dihasilkan juga berkualiti baik dari segi warnanya yang gelap, berbau seakan-akan tanah, peroi dan tidak bergumpal-gumpal.

- 4) Sila sediakan Laporan teknikal lengkap yang menerangkan keseluruhan projek ini.
 [Sila gunakan kertas berasingan]
*Kindly prepare a comprehensive technical report explaining the project
 (Prepare report separately as attachment)*

Senaraikan Kata Kunci yang boleh menggambarkan penyelidikan anda :
List a glossary that explains or reflects your research:

<u>Bahasa Malaysia</u>	<u>Bahasa Inggeris</u>
Timbunan statik berudara	Aerated static pile
Deram berputar	Rotary drum
Proses pengkomposan	Composting process
Nisbah C:N	C:N ratio
Kompos	Compost

- 5) **Output Dan Faedah Projek**
Output and Benefits of Project

- (a) * Penerbitan (*termasuk laporan/kertas seminar*)
Publications (including reports/seminar papers)
(Sila nyatakan jenis, tajuk, pengarang, tahun terbitan dan di mana telah diterbit/dibentangkan).
(Kindly state each type, title, author/editor, publication year and journal/s containing publication)

Bil	Jenis	Tajuk	Pengarang	Tahun terbitan	Tempat penerbitan/pembentangan
1	Tesis tahun akhir	Kajian Mengenai Komposisi Sisa Taman dari Tapak Pelupusan Pulau Burung	Mohd Helmie Md Dalan	2004	PPKA
2	Tesis tahun akhir	Kajian Mengenai Ciri-ciri Sisa Pepejal Perbandaran (SPP) dari Tapak Pelupusan Pulau Burung	Syed Ahmad Fauzan Syed Mohd	2004	PPKA
3	Kertas kerja	Kajian Mengenai Ciri-ciri Sisa Pepejal Perbandaran (SPP) dari Tapak Pelupusan Pulau Burung, Nibong Tebal, Pulau Pinang	Nor Habsah Md Sabiani, Faridah A.H Asaari, Syed Ahmad Fauzan Syed Mohd	2004	Persidangan Kebangsaan Kejuruteraan Awam 2004 Cophorn Orchid Hotel, Batu Feringghi, Pulau Pinang
4	Kertas kerja	Proses Pengkomposan Sisa Taman Kajian kes : Tapak Pelupusan Pulau Burung	Nor Habsah Md Sabiani	2003	Seminar Berterusan , PPKA

- (b) **Faedah-Faedah Lain Seperti Perkembangan Produk, Prospek Komersialisasi Dan Pendaftaran Paten atau impak kepada dasar dan masyarakat.**
Other benefits such as product development, product commercialisation/patent registration or impact on source and society

Kajian ini merupakan salah satu alternatif dalam sistem pelupusan sisa pepejal selain kaedah sedia ada seperti tapak pelupusan. Malaysia tidak harus hanya bergantung kepada tapak pelupusan sahaja kerana kaedah pengkomposan merupakan salah satu kedah untuk menguraikan semua sisa pepejal yang bersifat organik kepada satu produk akhir yang dikenali sebagai kompos. Produk ini amat berguna sebagai bahan penambah baik tanah dan juga sebagai baja tanaman. Kaedah ini juga dilihat sesuai untuk mengolah sisa organik yang dihasilkan di kafeteria sekolah dan premis bagi mengelakkan semua sampah yang bersifat organik dibuang terus ke tapak pelupusan. Proses pengkomposan ini juga diharapkan dapat memberikan pulangan dengan terhasilnya baja untuk tanaman di samping sebagai sumber pendapatan.

- (c) **Latihan Gunatenaga Manusia**
Training in Human Resources

i) Pelajar Siswazah : TIADA
Postgraduate students:
(perincikan nama, ijazah dan status)
(Provide names, degrees and status)

ii) Pelajar Prasiswazah :
Undergraduate students:
(Nyatakan bilangan)
(Provide number)

Telah menjalankan kajian bersama seorang pelajar tahun akhir berkenaan ciri-ciri sisa taman yang dihasilkan di Tapak Pelupusan Pulau Burung. Kajian melibatkan proses pengasingan sisa taman kepada komponen seperti batang, dahan, ranting dan daun. Ujikaji terhadap parameter fizikal dan kimia seperti kandungan lembapan, suhu, pH, kandungan karbon, kandungan nitrogen dan nisbah C:N turut dijalankan di makmal. Pelajar tersebut telah menghantar tesis beliau pada bulan Februari 2004.

Telah menjalankan kajian bersama seorang pelajar tahun akhir berkenaan ciri-ciri sisa pepejal perbandaran yang dihasilkan di Tapak Pelupusan Pulau Burung. Kajian melibatkan proses pengasingan sisa pepejal kepada beberapa komponen seperti sisa makanan, plastik, sisa taman, kadbod, kertas, tekstil, kaca, getah, kayu, logam bukan ferus dan logam ferus. Ujikaji terhadap parameter fizikal dan kimia seperti kandungan lembapan, suhu, pH, kandungan karbon, kandungan nitrogen dan nisbah C:N turut dijalankan di makmal. Pelajar tersebut telah menghantar tesis beliau pada bulan Februari 2004.

iii) Lain-Lain : TIADA
Others:

6. **Peralatan Yang Telah Dibeli :**
Equipment that has been purchased:

Bil	Nama/Jenis peralatan yang telah dibeli	Kegunaan
1	Bahan kimia untuk ujikaji kandungan karbon (COD)	Penentuan karbon (C)
2	Bahan kimia untuk ujikaji kandungan nitrogen (TKN)	Penentuan nitrogen (N)
3	Bahan kimia untuk ujikaji kandungan nutrien (nitrat, fosfat, kalium, sulfat)	Penentuan nutrien
4	Bahan kimia untuk ujikaji kandungan logam berat (Fe, Zn, Cu, Cd)	Penentuan logam berat
5	Peralatan untuk membina kaedah timbunan statik berudara (paip, blower, timer, pipe connection)	Membina timbunan statik berudara
6	Peralatan untuk membina deram berputar (bunghole drum, steel frame)	Membina reaktor deram berputar
7	Barang – barang guna habis	Membantu penyelidikan di tapak dan di makmal serta untuk penulisan

7. **Untuk Kegunaan Jawatankuasa Penyelidikan Universiti :**

Jawatankuasa berprioriti dengan pencapaian
geran jangka pendek oleh kakitangan ini memandangkan
selain merupakan seorang guru yang julung kali
menderapkan sebuah geran penyelidikan dalam nama
yang ditetapkan.



T/TANGAN Pengerusi
J/K Penyelidikan Pusat Pengajian
Prof. Madya Dr. Wan Hashim Wan Ibrahim
Dekan
Pusat Pengajian Kejuruteraan Awam
Kampus Kejuruteraan
Universiti Sains Malaysia

LAPORAN KOMPREHENSIF
PROJEK

LAPORAN TERPERINCI KAJIAN PENGKOMPOSAN SISA TAMAN

“Kajian Perbandingan Kualiti Kompos Daripada Sisa Taman Menggunakan Pelbagai Kaedah Pengkomposan”

oleh:

Nor Habsah Md Sabiani

1.0 PENGENALAN

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. 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 yang semakin meningkat di Malaysia dari setahun ke setahun serta kepesatan pembangunan ekonomi negara akhir-akhir ini. Di Semenanjung Malaysia sahaja, populasi penduduk di kawasan bandar pada tahun 1988 telah meningkat daripada 6.05 juta orang kepada 8.7 juta orang pada tahun 1995 (Agamuthu, 2001). Sementara itu, statistik terbaru yang dikeluarkan oleh Jabatan Perangkaan, sehingga kini Malaysia mempunyai lebih kurang 26.38 juta penduduk dan sebahagian besar penduduk tertumpu di kawasan-kawasan bandar (Berita Harian, 2005). Secara tidak langsung, fenomena ini akan meningkatkan lagi kadar penjanaan sampah sarap dan sisa pepejal di seluruh negara mahu pun di kawasan bandar atau pun luar bandar.

Sepanjang tahun 2003, dilaporkan sejumlah 412,388.04 tan metrik sisa pepejal bagi negeri Pulau Pinang telah dilupuskan di tapak pelupusan ini dengan sisa industri menyumbang peratusan yang tertinggi iaitu 50.84 % diikuti sisa

domestik (47.74 %), lain-lain (1.18 %), sisa pembinaan (0.09 %) dan sisa taman (0.15 %). Sementara itu, daripada Januari sehingga Disember 2004 pula, sisa domestik merupakan komponen sisa pepejal yang tertinggi dilupuskan di tapak pelupusan ini dengan 56.32 %. Sisa industri merupakan komponen yang kedua tertinggi dilupuskan di tapak ini dengan peratusan 39.93 % diikuti oleh sisa taman (3.10 %), lain-lain (0.64 %) dan sisa pembinaan (0.01 %). Melihat daripada peratusan ini menunjukkan bahawa penjanaan sisa pepejal semakin meningkat dari setahun ke setahun selaras dengan peningkatan penduduk serta kepesatan pembangunan dan perindustrian di negeri Pulau Pinang.

Pada tahun 2005 pula peratusan sisa organik yang terdiri daripada sisa domestik dan sisa taman yang dilupuskan di tapak pelupusan ini adalah sebanyak 63.91 %. Jika dilihat daripada angka ini, 50 % daripada sisa pepejal yang dihantar ke tapak ini boleh diuruskan dengan menggunakan kaedah pengkomposan berbanding menggunakan kaedah kambus tanah yang cenderung untuk menghasilkan bahan pencemar lain yang berbentuk cecair iaitu larut lesapan. Kaedah ini juga sesuai dijadikan sebagai alternatif untuk menguruskan sisa pepejal di Tapak Pelupusan Pulau Burung memandangkan hampir keseluruhan sisa pepejal yang dihantar ke sini ditimbus secara kambus tanah. Di samping membantu mengurangkan penghasilan larut lesapan serta menjimatkan ruang di tapak pelupusan, produk akhir yang terhasil juga bermanfaat serta berpotensi digunakan sebagai bahan baik pulih tanah.

2.0 PENGKOMPOSAN SISA TAMAN

Proses pengkomposan merupakan salah satu kaedah atau pun alternatif untuk memulihara atau mendapatkan semula sumber yang mempunyai banyak ciri-ciri positif di mana teknologinya boleh diubah suai mengikut situasi atau keadaan setempat. Kompos yang dihasilkan juga merupakan produk akhir yang boleh digunakan semula sebagai bahan penambahbaik tanah atau sebagai baja di kawasan pertanian. Kompos yang dihasilkan juga dijangkakan mengandungi 1% unsur-unsur surih seperti nitrogen, fosforus dan kalium yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman. Hasil sampingan daripada proses pengkomposan ini boleh dilupuskan dengan mudah di tapak-tapak kambus tanah tanpa memberikan kesan negatif kepada persekitaran. Proses pengkomposan adalah mesra alam, bersih dan lazimnya mengandungi bahan toksik yang rendah.

Proses 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 (Lyengar *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)

Sisa taman (*yard waste/garden waste*) merupakan salah satu komponen sisa pepejal yang terdapat di dalam sisa pepejal perbandaran (*municipal solid waste*). Sisa taman ini biasanya merujuk kepada sisa-sisa yang berasaskan tumbuh-tumbuhan yang terhasil melalui kerja-kerja perkebunan, kerja-kerja pembersihan taman dan kawasan perumahan, lanskap dan sebagainya. Komponen-komponen sisa taman terdiri daripada daun-daun, dahan-dahan serta ranting-ranting pokok yang terhasil daripada kerja-kerja penebangan dan pemotongan bahagian yang mati atau tidak dikehendaki, rumput, sisa-sisa pertanian seperti sayur-sayuran dan buah-buahan yang busuk dan sebagainya. Sisa taman merupakan sisa yang paling sesuai dan paling mudah digunakan sebagai sumber untuk proses pengkomposan kerana kandungan karbon dan nitrogen yang tinggi di dalamnya. Di antara komponen-komponen sisa taman yang kerap digunakan di dalam proses pengkomposan adalah daun, rumput, lalang dan bahagian tumbuhan yang telah dikecilkan saiznya (Tchobanoglous *et al*, 1993). Walau bagaimanapun, kandungan lignin dan selulosa yang lambat mengurai pada bahagian tumbuhan yang bersaiz besar seperti dahan dan batang pokok menyebabkan komponen-komponen ini kurang sesuai dikomposkan.

Terdapat pelbagai kaedah yang akan dipraktikkan dalam kajian ini bagi mendapatkan perbandingan dari segi kualiti kompos yang akan dihasilkan. Di antaranya ialah kaedah timbunan statik berudara (*aerated static pile*) dan kaedah mekanikal yang dikenali sebagai kaedah deram berputar (*rotary drum*). Di dalam kaedah timbunan statik berudara pula timbunan yang sama juga dibina sama seperti kaedah tebas susun tetapi tidak dibalik-balikkan secara mekanikal. Perbezaan yang wujud ialah paip-paip penghembus udara dipasang di bawah timbunan sisa taman bagi membenarkan pengaliran udara di dalam ruang-ruang di antara sisa pepejal. Timbunan sisa biasanya akan ditutup dengan lapisan habuk kayu atau kompos matang bagi mencegah masalah bau dan gangguan daripada persekitaran. Sementara itu, kaedah deram berputar pula menggunakan mekanisme pembalikan dan pengadukan sisa- sisa pepejal sama ada secara manual atau pun menggunakan motor bagi menggaul dan mencampur sisa di samping membenarkan percampuran udara berlaku di dalam reaktor.

Sepanjang proses ini berlangsung, pengawalan dan pemantauan parameter fizikal dan kimia adalah penting bagi memastikan kompos yang dihasilkan berkualiti baik. Di antara faktor-faktor fizikal dan kimia yang akan dikaji ialah kandungan lembapan, suhu, pH, kandungan karbon, kandungan nitrogen dan nisbah C:N. Di samping itu, ujikaji-ujikaji penentuan kualiti ke atas kompos matang akan dijalankan seperti ujikaji penentuan fosfat, kalium, nitrat, sulfat serta kandungan logam berat seperti Fe, Cu, Cd dan Zn.

3.0 OBJEKTIF KAJIAN

1. Mengkaji faktor-faktor kimia dan fizikal yang mempengaruhi tindakbalas pengkomposan seperti kandungan karbon, nitrogen, nisbah C:N, kandungan lembapan, suhu dan pH.
2. Menentukan kombinasi campuran yang terbaik (peratusan campuran sisa taman dan najis lembu) bagi kedua-dua kaedah pengkomposan dan seterusnya menentukan kaedah yang terbaik untuk mengolah sisa taman.
3. Membandingkan kualiti kompos yang terhasil daripada kedua-dua kaedah pengkomposan sisa taman iaitu kaedah timbunan statik berudara (TSU) dan kaedah deram berputar (DB) dari segi kandungan nutrien seperti nitrat, fosfat, kalium, sulfat serta kandungan logam berat.

4.0 METODOLOGI KAJIAN

Dalam kajian ini, Tapak Pelupusan Pulau Burung telah dipilih sebagai lokasi untuk proses pengkomposan dijalankan. Pemilik tapak pelupusan telah menyediakan lokasi yang sesuai untuk kedua-dua kaedah pengkomposan dijalankan iaitu kaedah timbunan statik berudara dan kaedah deram berputar. Secara amnya, metodologi kajian boleh digambarkan seperti berikut:

Fasa I : Kajian Literatur

- kajian literatur, ulasan tesis, jurnal dan laporan.
- lawatan ke Tapak Pelupusan Pulau Burung
- mendapatkan data-data berkaitan dengan sisa-sisa pepejal yang dihasilkan serta komposisi sisa pepejal yang dihantar ke tapak pelupusan tersebut.

Fasa II : Pembinaan tapak pengkomposan dan pembinaan *aerated static pile* dan deram berputar

- menentukan tapak yang sesuai sebagai lokasi untuk menjalankan kajian.
- merekabentuk dan membina sistem pengkomposan dan kedua-dua kaedah pengkomposan yang akan digunakan.

Fasa III : Kajian penentuan parameter fizikal dan kimia yang mempengaruhi proses pengkomposan di tapak dan di dalam makmal

- sisa taman yang dihantar ke tapak pelupusan dikelaskan bagi mendapatkan komposisi seperti daun, batang, dahan, ranting serta rumput dan lalang.
- ujikaji awalan dijalankan ke atas sisa taman di tapak dan di makmal bagi menentukan nilai kandungan lembapan, ketumpatan pukal, pH, nisbah C:N, kandungan nitrat, fosfat, sulfat, kalium dan logam berat seperti Fe, Zn, Mn dan Ni.
- proses pengecilan saiz sisa taman (20 mm- 30 mm) menggunakan 'shredder'.
- sisa taman yang telah dikecilkan dikompos dengan mencampurkan dengan najis lembu mengikut peratusan (50% sisa taman: 50% najis lembu, 60% sisa taman : 40% najis lembu, 70% sisa taman: 30% najis lembu) yang tertentu menggunakan kedua-dua kaedah iaitu kaedah timbunan statik berudara dan deram berputar.

- pemantauan dan pengawasan perubahan tren parameter fizikal dan kimia seperti nisbah C:N, suhu dan pH sepanjang tempoh pengkomposan sehingga kompos matang.

Fasa IV : Ujikaji penentuan kualiti akhir kompos

- ujikaji penentuan C:N, nitrat, fosfat, kalium, sulfat dan nitrat dan logam berat.

Fasa V : Analisis keputusan

- analisis keputusan secara plotan graf
- ulasan eksperimen termasuk eksperimen tambahan yang berkaitan penyediaan laporan akhir dan penyediaan kertas teknikal

5.0 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Perbincangan bagi keputusan yang diperolehi akan merangkumi data-data awalan yang telah dicerap seperti jisim serta komposisi sisa taman, taburan saiz, ketumpatan pukal, kandungan lembapan, pH, nisbah C:N, kandungan logam berat (Fe, Zn, Mn, Ni) serta kandungan nutrien seperti nitrat (NO_3^-), fosfat (PO_4^{3-}), kalium (K^+) dan sulfat (SO_4^{2-}).

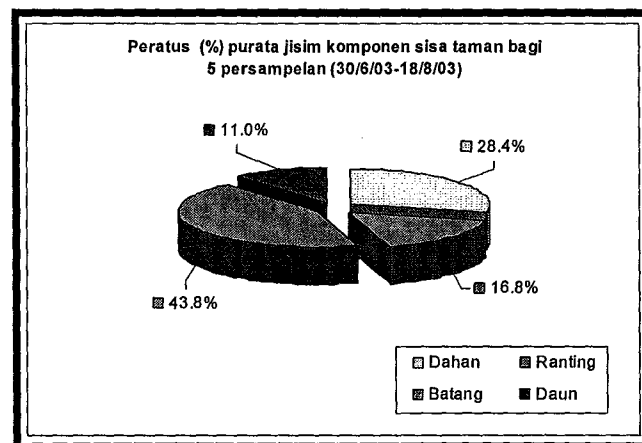
Sementara itu, peringkat kedua perbincangan akan memfokuskan kepada parameter-parameter utama yang mempengaruhi proses pengkomposan seperti kandungan lembapan, pH, suhu, kandungan karbon, kandungan nitrogen, nisbah C:N, kandungan nutrien seperti nitrat (NO_3^-), fosfat (PO_4^{3-}), kalium (K^+) dan sulfat (SO_4^{2-}) serta kandungan logam berat (Fe, Zn, Cu dan Cd). Penyampaian keputusan dan perbincangan adalah berdasarkan plotan graf yang menunjukkan perubahan tren setiap parameter yang dikaji. Perbandingan kaedah pengkomposan yang terbaik sama ada kaedah TSU ataupun DB boleh ditentukan melalui graf yang telah diplotkan

(a) Pencerapan data awalan

Proses pencerapan data awalan bagi sisa taman bertujuan untuk mendapatkan maklumat mengenai kuantiti, kadar penjanaan serta ciri-ciri fizikal dan kimia sisa taman seperti jisim setiap komposisi sisa taman, taburan saiz, ketumpatan pukal, kandungan lembapan, pH, nisbah karbon kepada nitrogen, kandungan logam berat (Fe, Zn, Mn, Ni) serta kandungan nutrien seperti nitrat (NO_3^-), fosfat (PO_4^{3-}),

kalium (K^+) dan sulfat (SO_4^{2-}). Dalam kajian ini, 5 kali proses pensampelan ke atas sisa taman telah dilakukan. Penyampaian keputusan ini adalah berdasarkan nilai purata bagi kelima-lima persampelan.

Secara purata, batang pokok menyumbang peratusan jisim yang tertinggi dengan 43.8% diikuti oleh dahan (28.4%), ranting (16.8%) dan daun (11.0%). Daripada 5 kali persampelan yang dijalankan, didapati batang merupakan penyumbang jisim yang terbesar (43.8%) bagi keseluruhan jisim sisa taman. Kebanyakan sisa taman yang dihantar ke tapak pelupusan ini terhasil daripada kerja-kerja pembersihan taman perumahan yang melibatkan penebangan pokok-pokok besar serta pemeliharaan lanskap. Justeru itu, penjana komposisi ini adalah yang tertinggi berbanding komposisi sisa taman yang lain. Sementara itu, daun merupakan komposisi sisa taman yang terendah dengan 11.0%. Ini adalah disebabkan oleh struktur daun yang kecil serta ringan. Rajah 5.1 menunjukkan peratus purata komposisi sisa taman mengikut jisim bagi kelima-lima persampelan.



Rajah 5.1 : Peratus (%) purata komposisi sisa taman mengikut jisim bagi kelima-lima persampelan (30 Jun 2003–18 Ogos 2003).

Daripada kelima-lima persampelan, secara purata taburan saiz bagi daun adalah di antara 16.8 cm – 22.5 cm dan merupakan saiz yang terkecil. Sementara itu, komposisi batang mempunyai taburan saiz yang terbesar dengan julat panjang adalah di antara 90.0 cm – 200.0 cm manakala diameternya berada dalam julat 9.8 cm - 17.8 cm. Sementara itu, julat panjang bagi dahan adalah di antara 116.7 cm – 227.5 cm dengan diameternya di antara 4.3 cm–7.0 cm. Bagi ranting pula, julat panjangnya adalah di antara 81.0 cm–179.7 cm dengan diameternya adalah di antara 1.5 cm–4.7 cm. Dalam usaha untuk mengurangkan pelupusan sisa taman di tapak pelupusan seperti melalui proses pengkomposan, kaedah pengurangan saiz

adalah perlu bagi meningkatkan luas permukaan untuk tindakan penguraian oleh mikroorganisma (Tchobanoglous *et. al*, 1993).

Dalam kajian ini, analisis ketumpatan hanya dilakukan ke atas komposisi daun dan ranting kecil memandangkan hanya komposisi ini boleh dimampatkan ke dalam bikar yang berisipadu 2 liter. Sementara itu, analisis ketumpatan ke atas komposisi lain seperti batang dan dahan tidak dapat dilakukan memandangkan saiznya yang besar dan sukar dimampatkan. Ketidakeragaman saiz batang dan dahan juga menyebabkan analisis ketumpatan tidak dapat dilakukan ke atas kedua-dua komposisi ini. Nilai ketumpatan pukal sisa taman daripada kajian ini berada dalam lingkungan 50–100 kg/m³ dengan nilai purata bagi kelima-lima sampel ialah 80 kg/m³. Berdasarkan nilai julat yang disyorkan oleh Tchobanoglous *et.al* (1993), didapati nilai purata ketumpatan pukal sisa taman daripada kajian ini masih lagi berada di dalam julat 60 – 225 kg/m³.

Secara purata, kandungan lembapan sisa taman bagi kelima-lima persampelan ialah 35.47 % dan nilai ini masih lagi berada di dalam julat kandungan lembapan yang disyorkan iaitu di antara 30-80%. Sekiranya sisa taman ingin dikomposkan, kandungan lembapan yang terlalu rendah boleh diatasi dengan menambahkan air kepada timbunan sisa taman sehingga julat nilai optimum diperolehi iaitu di antara 50-60%.

Dalam kajian ini, didapati purata nilai pH yang dicatatkan ialah 5.29 dan nilai ini masih lagi berada di dalam julat nilai pH yang diperolehi oleh Bary *et.al* (2005). Dalam proses pengkomposan, nilai pH yang rendah (< 5.5) bagi sisa taman boleh ditingkatkan dengan menambahkan kalsium karbonat (CaCO₃) sebelum proses pengkomposan dilakukan (Agamuthu, 2001).

Nisbah C:N yang tinggi akan membantutkan atau melambatkan proses pengkomposan manakala nisbah C:N yang rendah pula akan menyebabkan penghasilan ammonia yang akan menghasilkan bau yang kurang enak. Daripada kajian yang dijalankan ke atas kelima-lima sampel, didapati Julat nisbah C:N yang dicatatkan di dalam kajian ini adalah di antara 23:1 – 110:1. Faktor-faktor seperti sisa taman yang telah mengecut dan kering serta terbiar di tempat penghasilan menyebabkan kandungan karbonnya semakin meningkat. Kandungan semula jadi tisu tumbuh-tumbuhan yang kaya dengan selulosa, hemiselulosa serta lignin juga turut menyumbang kandungan karbon yang tinggi dalam sisa taman yang dikaji (Tuomela *et.al*, 2004). Menurut beberapa pengkaji, nisbah C:N yang sesuai bagi

sisa taman ialah 23:1 (Day & Shaw, 2001; Epstein, 1997), 21:1 (Agamuthu, 2001) dan 20:1 (Tchobanoglous *et.al*, 1993).

Kehadiran logam berat dalam sisa taman biasanya disebabkan oleh kewujudan unsur-unsur ini di dalam tanah dan air (Whittle & Dyson, 2002). Proses penyerapan air oleh akar secara tidak langsung menyerap logam berat yang wujud di dalam tanah ke dalam tisu tumbuhan. Whittle & Dyson (2002) juga berpendapat bahawa sisa taman boleh dicemari oleh logam berat yang terhasil daripada aliran sisa pepejal perbandaran seperti bateri, peralatan elektronik terpakai, seramik, mentol lampu terbuang, minyak kenderaan terpakai, plastik, dakwat dan sebagainya. Daripada kajian ini, didapati julat kandungan Fe bagi kelima-lima sampel ialah 468-36500 mg/kg. Sementara itu, julat kandungan Zn ialah di antara 320-6000 mg/kg. Kandungan Zn yang sesuai di dalam tisu tumbuh-tumbuhan ialah 15 mg/kg dan berpotensi untuk menghasilkan kesan fitotoksisiti apabila melebihi 400 mg/kg. Kandungan Mn dan Ni masih lagi rendah semua sampel. Usteru itu, proses pelupusan sisa taman di tapak pelupusan perlulah dikawal dan dilakukan dengan sempurna bagi menghindari logam berat daripada terus mencemari sumber air permukaan dan juga air bumi.

Kehadiran ion-ion seperti NO_3^- , PO_4^{3-} , K^+ dan SO_4^{2-} banyak memberikan kesan yang baik seperti kesuburan kepada tanah dan membantu tumbesaran tanaman. Kandungan SO_4^{2-} di dalam kelima-lima sampel dilihat mencatatkan nilai yang agak tinggi iaitu dalam julat 0.5-31.3 g/kg. Sementara itu, kandungan ion NO_3^- dan ion PO_4^{3-} dilihat agak rendah dalam sisa taman yang dikaji dengan julat 0-390 mg/kg dan 0-52500 mg/kg. Julat kandungan ion K^+ yang dicatatkan ialah 850-2300 g/kg. Secara keseluruhan, nilai-nilai kandungan nutrien yang agak rendah dicatatkan adalah disebabkan oleh sisa tersebut belum lagi terurai sepenuhnya secara biologi.

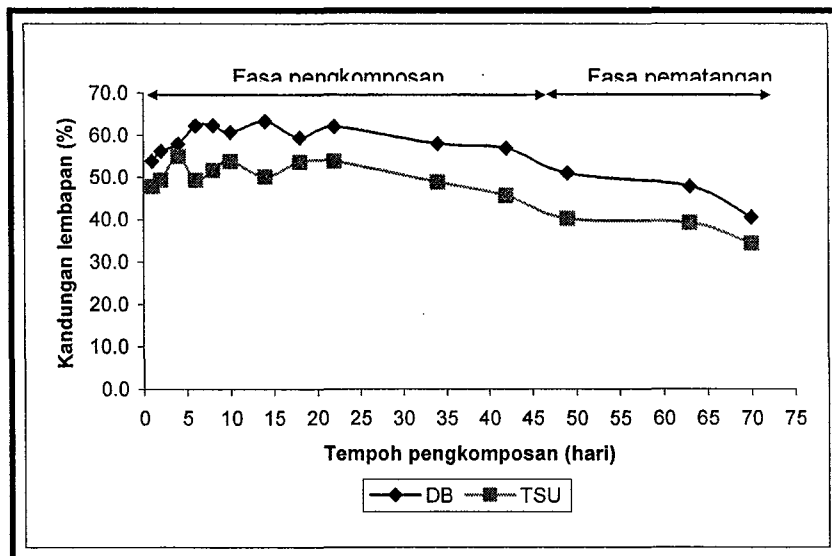
b) Pemantauan proses pengkomposan

Di antara parameter yang akan dibincangkan ialah kandungan lembapan, pH, suhu, kandungan karbon, kandungan nitrogen, nisbah C:N, kandungan nutrien seperti nitrat (NO_3^-), fosfat (PO_4^{3-}), kalium (K^+) dan sulfat (SO_4^{2-}) serta kandungan logam berat (Fe, Zn, Cu dan Cd). Terdapat dua kaedah utama yang digunakan di dalam pengkomposan sisa taman ini iaitu kaedah timbunan statik berudara (TSU) dan kaedah deram berputar (DB). Dalam kajian ini, proses pemantauan dilakukan sepanjang proses pengkomposan dan pematangan berlangsung iaitu pada hari 1, 2, 4, 6, 8, 10, 14, 18, 22, 28, 34, 42, 49, 56, 63 dan hari ke 70. Tempoh pengkomposan

dianggarkan berlaku sehingga hari ke 42 dan diikuti dengan proses pematangan selama lebih kurang 1 bulan. Keputusan bagi kajian ini akan dibincangkan berdasarkan nilai purata bagi 3 jenis campuran yang berbeza iaitu campuran 50% sisa taman: 50% najis lembu, campuran 60% sisa taman : 40% najis lembu dan campuran 70% sisa taman: 30% najis lembu bagi kaedah timbunan statik berudara (TSU) dan kaedah deram berputar (DB).

(i) Kandungan lembapan

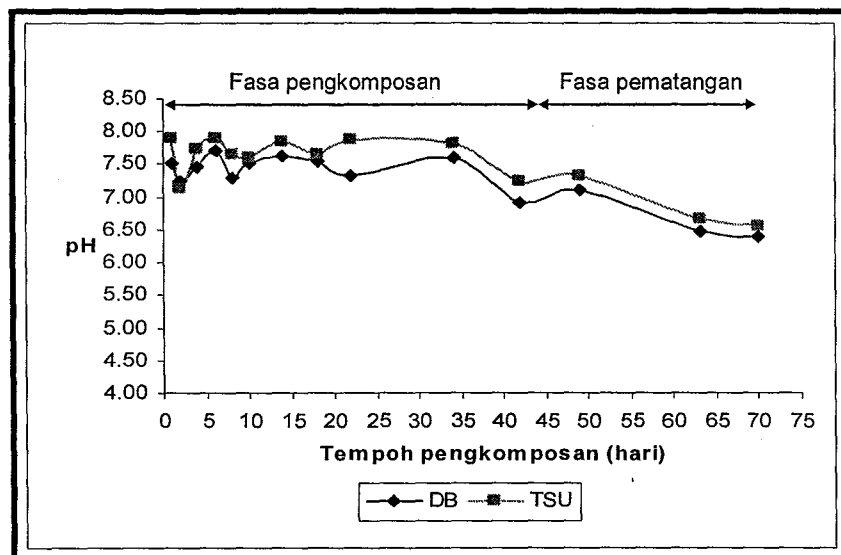
Kandungan lembapan yang berlebihan akan mengundang pelbagai masalah seperti wujudnya keadaan anaerobik di dalam timbunan kompos dan kehilangan nutrien serta patogen dalam bentuk larut lesapan. Sementara itu, proses metabolisme sel mikroorganisma akan terhenti sekiranya kandungan lembapan adalah 10% atau pun lebih rendah daripada julat optimum. Rajah 5.2 menunjukkan perbandingan purata kandungan lembapan daripada kaedah TSU dan DB. Daripada graf perbandingan tersebut, nilai julat purata kandungan lembapan bagi kaedah TSU (45.7-53.8%) sepanjang proses pengkomposan berlangsung adalah lebih baik dan berada di dalam julat optimum 50-60%. Sementara itu, kaedah DB yang mempunyai nilai julat purata kandungan lembapan yang agak tinggi iaitu di antara 53.8-63.3% malah melebihi sedikit daripada julat optimum. Di samping itu, penurunan kandungan lembapan bagi kaedah TSU juga adalah seragam serta menghasilkan kandungan lembapan akhir yang kurang daripada 40% iaitu 34.4%. Ini membolehkan kompos yang terhasil diuruskan dengan mudah dari segi penyimpanan dan pembungkusan. Oleh itu, kaedah TSU adalah lebih baik daripada kaedah DB berdasarkan nilai kandungan lembapan di dalam kompos akhir yang terhasil.



Rajah 5.2 : Graf perbandingan purata kandungan lembapan (%) melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi kaedah DB dan TSU.

(ii) pH

Julat nilai pH optimum bagi proses pengkomposan ialah di antara 6.5 – 7.5 (Agamuthu, 2001). Perbandingan purata nilai pH bagi ketiga-tiga campuran bagi kaedah TSU dan DB ditunjukkan seperti dalam Rajah 5.3. Daripada graf perbandingan tersebut, nilai julat purata pH bagi kaedah TSU (7.14–7.89) sepanjang proses pengkomposan berlangsung adalah lebih baik dan berada dalam julat pH optimum iaitu 6.5-8.5 berbanding kaedah DB yang mempunyai nilai julat purata pH yang agak rendah iaitu di antara 6.91-7.70. Sementara itu, nilai pH akhir kompos yang terhasil menggunakan kaedah TSU selepas fasa pematangan juga agak baik dan menghampiri nilai neutral iaitu 6.56 berbanding kaedah DB iaitu 6.39. Namun begitu, kompos yang terhasil melalui kedua-dua kaedah ini juga masih selamat digunakan ke atas tanaman kerana masih mematuhi julat pH yang disyorkan oleh Day & Shaw (2001) dan Sullivan & Miller (2001) iaitu masing-masing 7.5-8.5 dan 6.0-8.0. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahawa nilai pH akhir bagi kompos biasanya bergantung kepada beberapa faktor seperti bahan organik yang digunakan, kaedah pengkomposan serta penambahan bahan lain untuk pembetulan pH seperti kalsium oksida dan ferik klorida (Sullivan & Miller, 2001). Oleh itu, kaedah TSU adalah lebih baik daripada kaedah DB berdasarkan nilai pH kompos akhir yang terhasil.

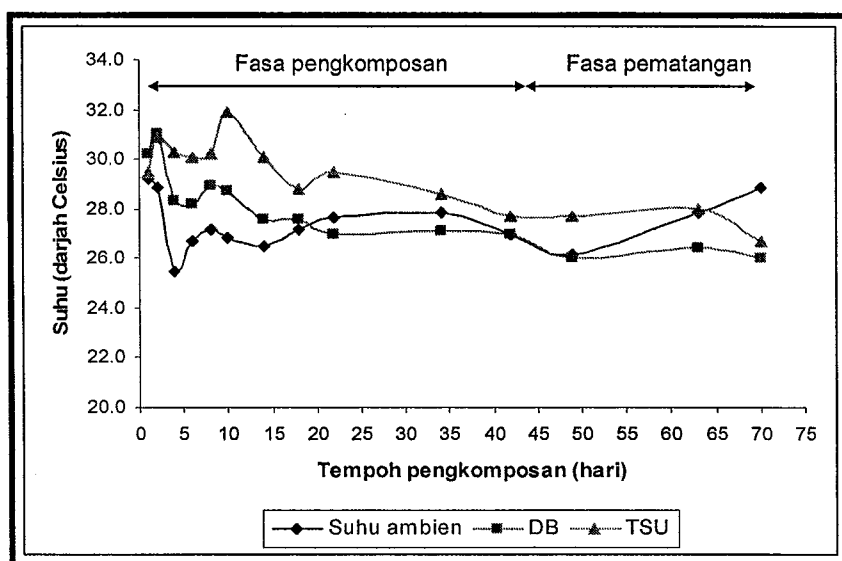


Rajah 5.3 : Graf perbandingan purata nilai pH melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi kaedah DB dan TSU.

(iii) Suhu

Menurut Diaz *et.al* (1993), peningkatan suhu di dalam timbunan kompos adalah disebabkan oleh oleh haba yang dihasilkan oleh populasi mikroorganisma

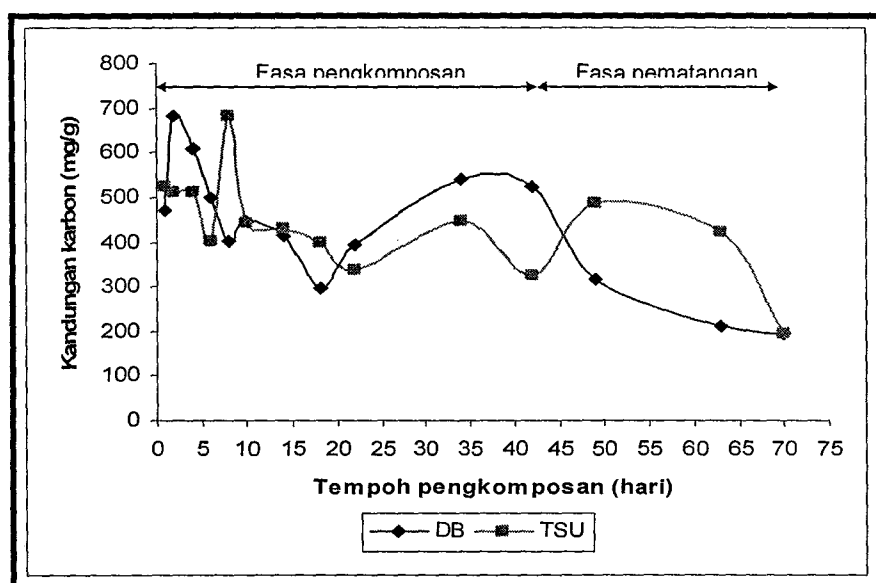
menerusi aktiviti respirasi dan penguraian bahan organik seperti gula, kanji dan protein. Peningkatan suhu adalah merupakan petunjuk terbaik wujudnya aktiviti mikrobial dalam jisim kompos di mana lebih banyak populasi mikroorganisma aktif maka lebih banyak haba yang akan dibebaskan. Rajah 5.4 menunjukkan perbandingan purata perubahan suhu bagi kaedah DB dan TSU. Berdasarkan data yang diperolehi, didapati nilai julat purata suhu bagi kaedah TSU (27.7-31.9 °C) sepanjang proses pengkomposan aktif adalah lebih baik berbanding kaedah DB yang mempunyai nilai julat purata suhu yang lebih rendah iaitu di antara 27 – 31 °C. Suhu yang direkodkan melalui kaedah TSU didapati mampu mengekalkan suhu optimum fasa mesofilik sehingga hari ke 14 dengan julat 29.5 – 31.9 °C. Suhu optimum ini membolehkan mikroorganisma seperti bakteria dan fungi mesofilik menjalankan proses penguraian ke atas lignin dan selulosa yang terdapat dalam sisa taman yang dikomposkan. Jika dibandingkan dengan kaedah DB, didapati suhu optimum fasa mesofilik hanya mampu bertahan sehingga hari ke 2 proses pengkomposan aktif. Namun begitu, julat suhu yang dicatatkan bagi kedua-dua kaedah ini masih lagi berada dalam julat suhu optimum seperti mana yang disyorkan oleh Tchobanoglous et.al (1993) iaitu 30-38 °C. Dalam fasa pematangan, julat purata suhu yang dicatatkan bagi kaedah TSU ialah di antara 26-26.4 °C manakala 26.7-28 °C bagi kaedah DB. Julat nilai ini didapati hampir malahan lebih rendah daripada julat suhu ambien semasa fasa pematangan iaitu 26.2-28.8 °C. Berdasarkan kemampuan untuk mengekalkan fasa mesofilik semasa fasa pengkomposan aktif serta suhu kompos akhir yang lebih rendah daripada suhu ambien, kaedah TSU dilihat lebih baik berbanding kaedah DB.



Rajah 5.4 : Graf perbandingan purata perubahan suhu (°C) melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi kaedah DB dan TSU.

(iv) Kandungan karbon

Semasa proses pengkomposan, karbon merupakan sumber tenaga kepada mikroorganisma yang diperlukan untuk pertumbuhan sel. Hampir sebahagian besar karbon yang diserap akan ditukarkan kepada gas CO₂ oleh mikroorganisma semasa proses metabolisme sel. Sementara itu, karbon yang masih tinggal akan ditukarkan ke dalam bentuk dinding sel (membran) dan juga protoplasma (Diaz *et.al*, 1993). Rajah 5.5 menunjukkan purata kandungan karbon dalam kedua-dua kaedah iaitu TSU dan DB. Penurunan kandungan karbon di dalam jisim kompos masih lagi menunjukkan tren penurunan yang tidak seragam bagi kedua-dua kaedah ini. Julat purata sepanjang proses pengkomposan berlangsung ialah 324 – 681 mg/g bagi kaedah TSU manakala 297-681 mg/g bagi kaedah DB. Dalam fasa ini juga, kandungan karbon yang tinggi telah dicatatkan pada hari ke-2 (DB) dan hari ke-8 (TSU) dengan nilai yang sama iaitu 681 mg/g. Sepanjang fasa pematangan berlangsung, julat purata kandungan karbon bagi kaedah TSU dan DB ialah masing-masing 193-486 mg/g dan 195-317 mg/g. Secara perbandingan, kaedah DB dilihat lebih baik daripada kaedah TSU kerana penurunan kandungan karbon yang seragam dapat diperhatikan di akhir fasa pematangan (hari 43-70) dengan nilai akhirnya ialah 195 mg/g.

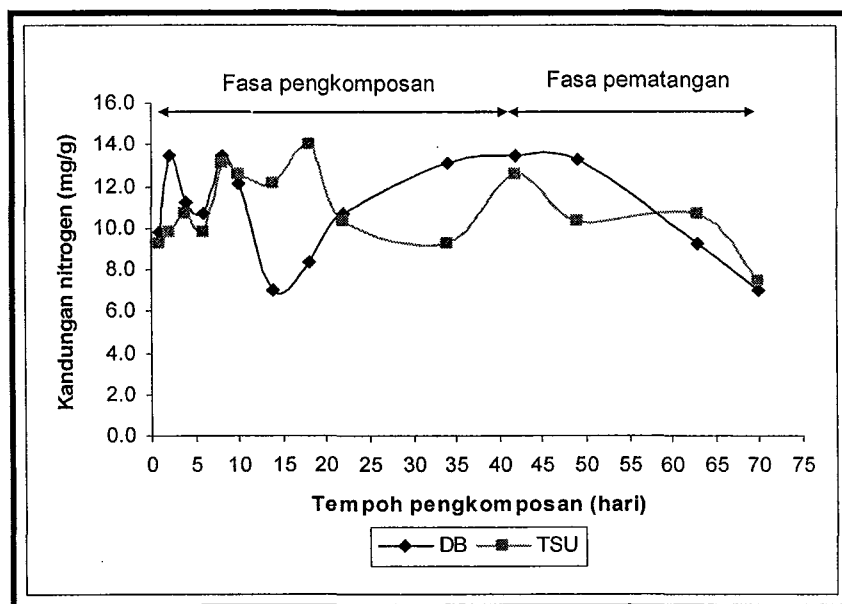


Rajah 5.5: Graf perbandingan purata kandungan karbon (mg/g) melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi kaedah DB dan TSU.

(v) Kandungan nitrogen

Mikroorganisma memerlukan nitrogen untuk mensintesis protein. Rajah 5.6 menunjukkan purata kandungan nitrogen dalam kedua-dua kaedah iaitu TSU dan

DB. Kandungan nitrogen di dalam jisim kompos menunjukkan tren penurunan yang tidak seragam bagi kedua-dua kaedah ini. Julat purata sepanjang proses pengkomposan berlangsung ialah 7.0-13.5 mg/g bagi kaedah DB manakala 9.3 -14.0 mg/g bagi kaedah TSU. Sepanjang fasa pematangan berlangsung, julat purata kandungan nitrogen bagi kaedah TSU dan DB masing-masing ialah 7.5-10.7 mg/g dan 7.0-13.3 mg/g. Secara perbandingan, kaedah DB dilihat lebih baik daripada kaedah TSU kerana terdapat peningkatan kandungan nitrogen yang lebih seragam di pertengahan proses pengkomposan sehingga akhir fasa pematangan. Walaupun mekanisma pembalikan dilakukan ke atas kaedah DB, namun kehilangan nitrogen adalah lebih rendah berbanding kaedah TSU yang menggunakan kombinasi pembalikan dan pengudaraan semasa proses pengkomposan. Kompos yang dimatangkan secara terbuka selepas proses pengkomposan aktif di dalam deram menyebabkan terdapat sedikit penurunan di akhir fasa pematangan.

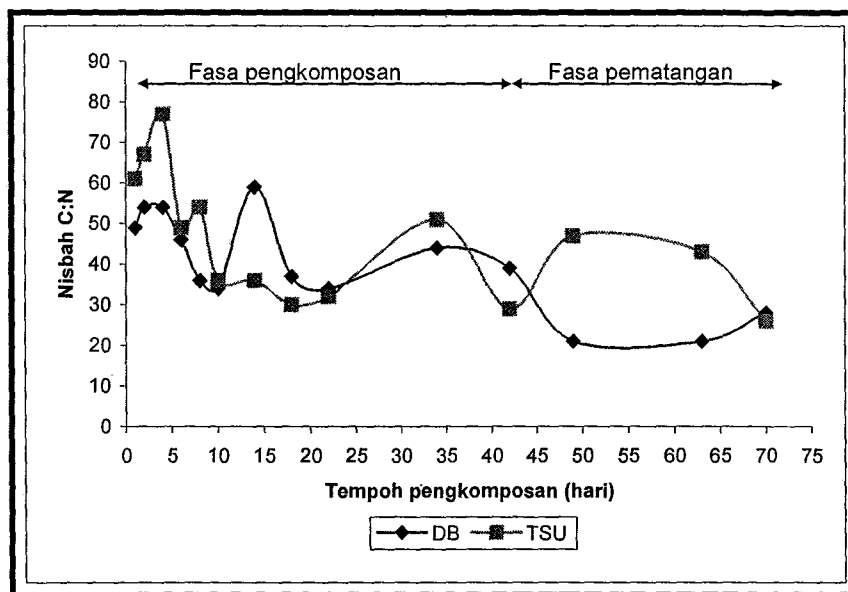


Rajah 5.6 : Graf perbandingan purata kandungan nitrogen (mg/g) melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi kaedah DB dan TSU.

(vi) Nisbah C:N

Nisbah C:N merupakan di antara faktor yang akan mempengaruhi kualiti sesuatu kompos yang dihasilkan. Kajian-kajian terdahulu menyatakan bahawa nisbah C:N yang optimum bagi kelangsungan proses pengkomposan adalah di antara 20-25:1 (Diaz *et. al*, 1993, Tchobanoglous *et.al*, 1993), 25-30 (Huang *et.al*, 2004) dan 26-31 (Agamuthu, 2001). Rajah 5.7 menunjukkan purata nisbah C:N di dalam kedua-dua kaedah iaitu TSU dan DB. Didapati purata nisbah C:N bagi kedua-dua kaedah menunjukkan tren perubahan turun-naik dalam fasa pengkomposan

aktif. Julat nisbah C:N yang dicatatkan dalam kaedah TSU ialah 29:1-77:1 manakala 34:1-59:1 bagi kaedah DB. Penurunan yang lebih seragam dapat diperhatikan melalui kaedah DB dalam fasa pematangan (hari ke-43 hingga 70) walaupun nisbah C:N akhir bagi kompos yang terhasil melalui kaedah ini lebih tinggi daripada kaedah TSU iaitu 28:1. Secara perbandingan, kaedah DB dilihat lebih baik daripada kaedah TSU kerana nisbah C:N campuran yang dihasilkan sepanjang proses pengkomposan aktif lebih rendah daripada kaedah TSU. Di samping itu, penurunan yang lebih seragam dapat diperhatikan menjelang proses pematangan. Terdapat beberapa pengkaji seperti Solano *et. al* (2001), Tejada *et.al* (2001), Vourinen & Saharinen (1997) dan Epstein (1997) yang menyatakan bahawa nisbah C:N bagi kompos yang telah matang biasanya berada di dalam julat yang kurang daripada 20:1. Walau bagaimanapun, nilai akhir yang diperolehi daripada kajian ini masih lagi melebihi nisbah 20:1. Dengan itu, kompos yang terhasil boleh dikatakan belum cukup matang dan memerlukan tempoh yang lebih panjang bagi mencapai nisbah C:N akhir yang kurang daripada 20:1.

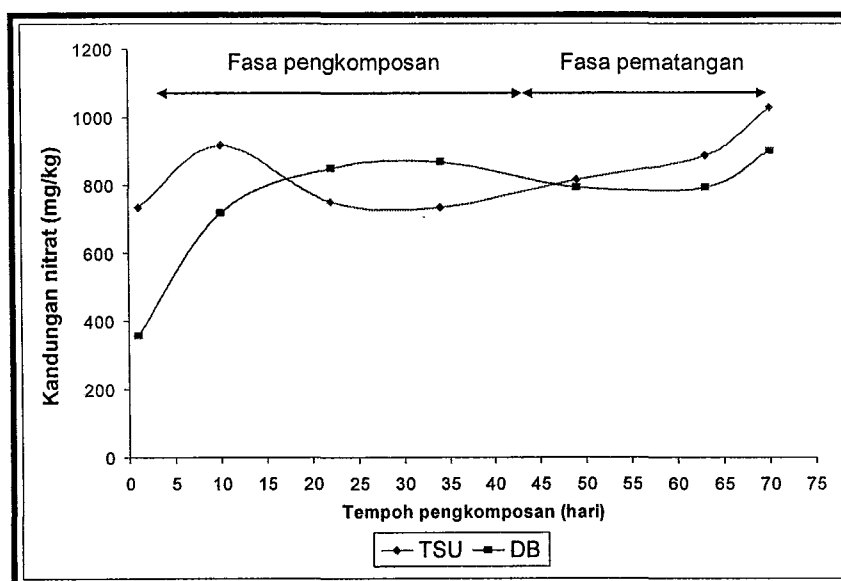


Rajah 5.7 : Graf perbandingan purata nisbah C:N melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi kaedah DB dan TSU.

(vii) Kandungan nutrien

Kompos yang mengandungi nitrogen, fosforus, kalium, sulfat dan sekurang-kurangnya 20% bahan organik dianggap sesuai digunakan sebagai baja semulajadi di kawasan pertanian (Ciba *et.al*, 2003). Rajah 5.8 menunjukkan perbandingan purata kandungan nitrat dalam kaedah DB dan

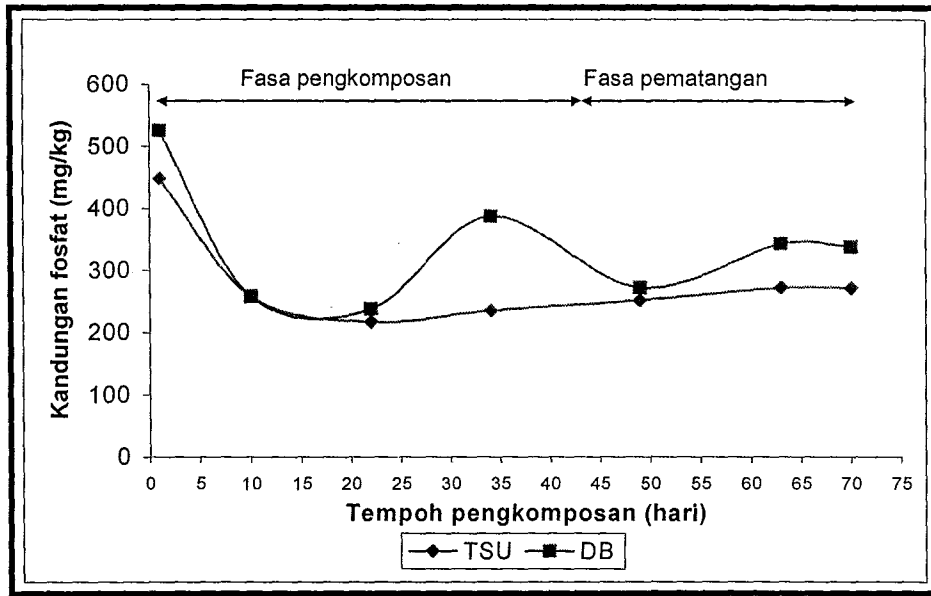
TSU. Secara perbandingan, tren perubahan turun dan naik kandungan nitrat masih lagi dapat diperhatikan dalam kedua-dua kaedah. Semasa fasa pengkomposan aktif, julat purata kandungan nitrat dalam kaedah TSU ialah di antara 733-917 mg/kg manakala 358-870 mg/kg bagi kaedah DB. Kandungan nitrat dilihat mengalami peningkatan secara seragam dalam fasa pematangan bagi kedua-dua kaedah dengan kandungan nitrat lebih tinggi dicatatkan dalam kaedah TSU berbanding kaedah DB. Peningkatan kandungan nitrat dalam jisim kompos akhir bagi kedua-dua kaedah mungkin disebabkan oleh mekanisma pengudaraan dan pembalikan yang telah dihentikan selepas proses pengkomposan aktif berlangsung. Di samping itu, peningkatan kandungan nitrat di akhir fasa pengkomposan ini juga menunjukkan bahawa proses penguraian bahan-bahan organik telah selesai dan kompos telah mula menjadi stabil.



Rajah 5.8: Graf perbandingan purata kandungan nitrat (mg/kg) melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi kaedah DB dan TSU.

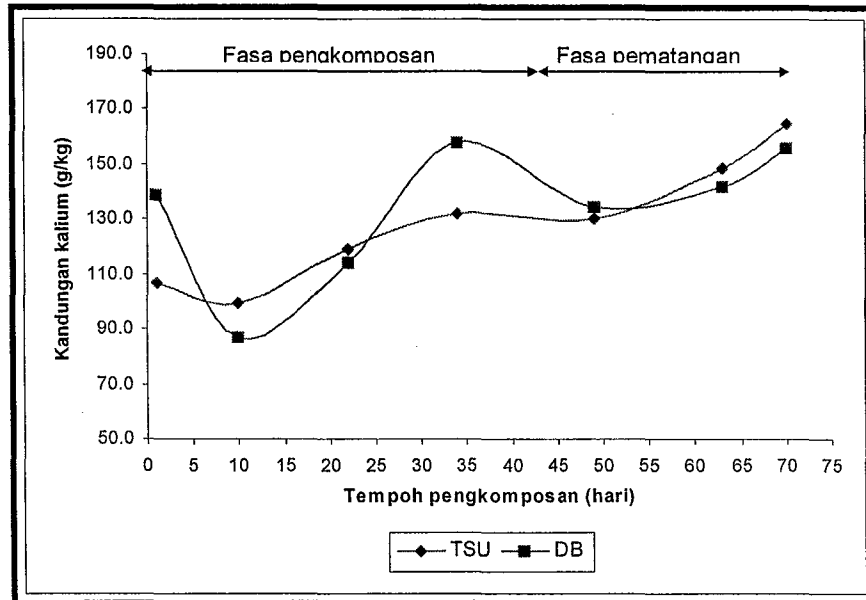
Perbandingan purata kandungan fosfat bagi kedua-dua kaedah ditunjukkan dalam Rajah 5.9. Dalam fasa pengkomposan aktif, julat purata kandungan fosfat dalam kaedah TSU ialah di antara 217-448 mg/kg manakala 238-525 mg/kg bagi kaedah DB. Kandungan fosfat dilihat mengalami peningkatan secara seragam di dalam fasa pematangan bagi kedua-dua kaedah. Aktiviti penguraian bahan-bahan organik (sisa taman dan najis lembu) sehingga mencapai kestabilan telah menyumbang kepada peningkatan kandungan nutrien ini di akhir fasa pematangan. Namun begitu, kaedah DB dilihat lebih berpotensi untuk menghasilkan

kompos akhir yang mengandungi kepekatan fosfat yang lebih tinggi berbanding kaedah TSU.



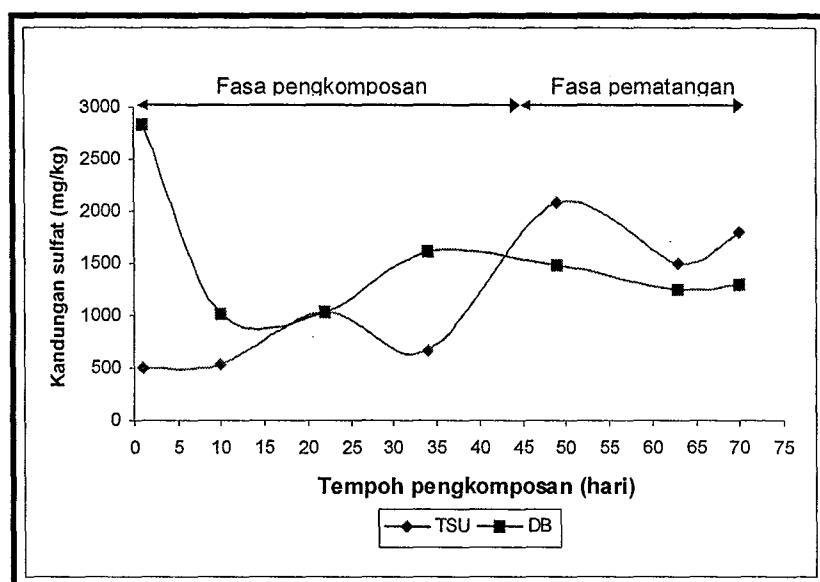
Rajah 5.9: Graf perbandingan purata kandungan fosfat (mg/kg) melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi kaedah DB dan TSU.

Kalium memainkan peranan penting dalam pertumbuhan tanaman iaitu meningkatkan kadar pemanjangan akar, mengawal keseimbangan ion, membantu sintesis protein, menggalakkan tindak balas enzim serta membantu proses fotosintesis dan pembentukan makanan. Rajah 5.10 menunjukkan perbandingan secara purata kandungan kalium bagi kedua-dua kaedah pengkomposan yang digunakan. Peningkatan kandungan kalium yang lebih seragam dapat diperhatikan dalam campuran yang dihasilkan melalui kaedah TSU. Di samping itu, kandungan kalium dalam kompos akhir juga adalah lebih tinggi berbanding kaedah DB dengan nilai 165 g/kg (TSU). Secara perbandingan, kaedah TSU dilihat lebih baik bagi menghasilkan kompos akhir yang lebih tinggi kandungan kaliumnya berbanding kaedah DB. Peningkatan kandungan kalium ini mungkin disebabkan oleh mekanisme pengudaraan yang membolehkan proses penguraian bahan-bahan organik secara aerobik dapat berlaku dalam timbunan kompos.



Rajah 5.10 : Graf perbandingan purata kandungan kalium (g/kg) melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi kaedah DB dan TSU.

Sulfat memainkan peranan penting dalam proses penghasilan klorofil yang diperlukan dalam proses fotosintesis. Rajah 5.11 menunjukkan purata kandungan sulfat dalam kedua-dua kaedah iaitu TSU dan DB. Penurunan dan peningkatan kandungan sulfat dalam jisim kompos masih lagi menunjukkan tren perubahan yang tidak seragam bagi kedua-dua kaedah ini. Julat purata sepanjang proses pengkomposan aktif berlangsung ialah 500-1033 mg/kg bagi kaedah TSU manakala 1017-2833 mg/kg bagi kaedah DB. Sepanjang fasa pematangan berlangsung, julat purata kandungan sulfat bagi kaedah TSU dan DB yang dicatatkan masing-masing ialah 1500-2083 mg/kg dan 1250-1483 mg/kg. Secara perbandingan, kaedah TSU dilihat lebih baik berbanding kaedah DB kerana menghasilkan kompos akhir yang kaya dengan kandungan sulfat. Nilai akhir yang dicatatkan ialah 1800 mg/kg. Kaedah pengudaraan serta mekanisme pembalikan yang diaplikasikan ke atas TSU mampu mengekalkan persekitaran aerobik untuk proses penguraian berlaku lebih sempurna. Secara tidak langsung, hasil akhir yang terbentuk adalah lebih stabil dan tinggi kandungan nutriennya.



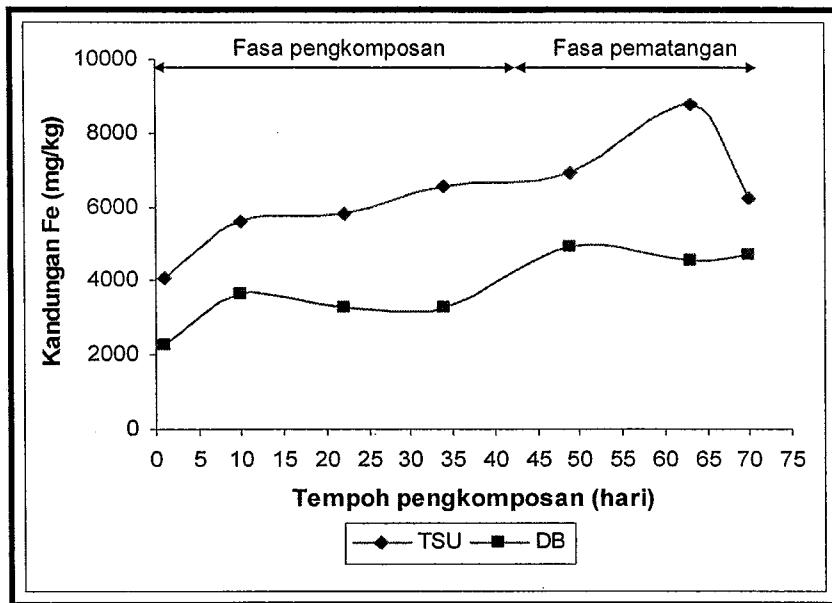
Rajah 5.11: Graf perbandingan purata kandungan sulfat (mg/kg) melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi kaedah DB dan TSU.

(viii) Kandungan logam berat

Kompos yang terhasil biasanya mengandungi unsur surih atau kandungan logam yang diperlukan oleh tumbuh-tumbuhan untuk pertumbuhan yang sempurna. Logam-logam seperti Fe, Cd, Cu dan Zn adalah merupakan di antara logam berat yang biasanya hadir dalam kompos yang dihasilkan dan akan diserap oleh tumbuh-tumbuhan semasa proses pembajaan dilakukan. Dalam kuantiti yang kecil, logam-logam ini merupakan satu keperluan bagi tumbuh-tumbuhan namun kehadirannya dalam kuantiti yang besar akan memberikan kesan fitotoksikiti kepada tumbuh-tumbuhan (Whittle & Dyson, 2002).

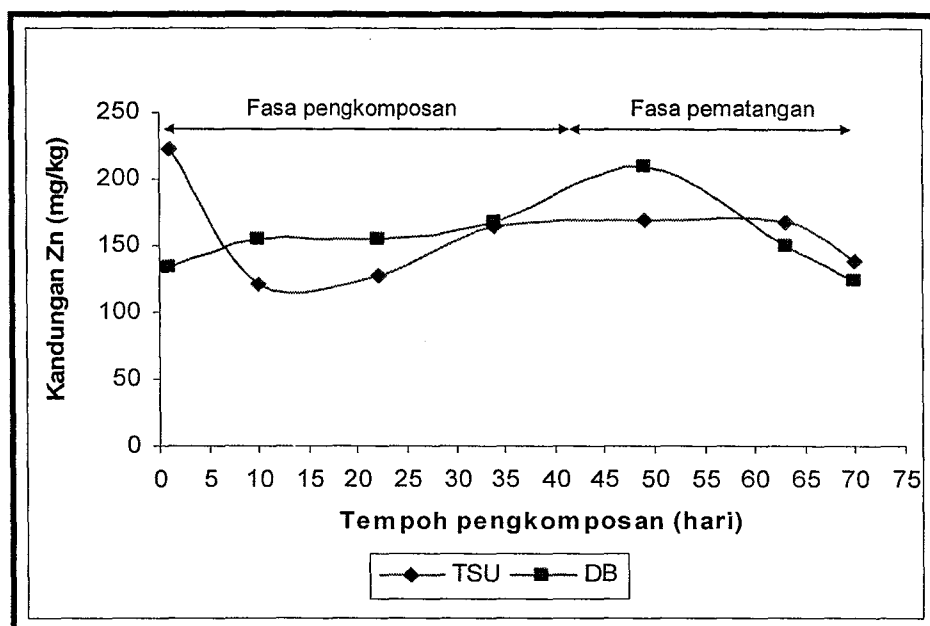
Rajah 5.12 menunjukkan perbandingan purata kandungan Fe dalam kaedah TSU dan DB. Didapati kandungan logam Fe adalah lebih tinggi di dalam timbunan kompos yang dihasilkan melalui kaedah TSU dengan julat 4067- 8583 mg/kg sepanjang proses pengkomposan dan pematangan. Ini adalah disebabkan kaedah pengkomposan iaitu TSU yang digunakan telah menyebabkan berlakunya kehilangan wap air dan karbon dengan lebih cepat melalui proses pengudaraan pasif. Sementara itu, kandungan logam Fe di dalam kompos yang dihasilkan melalui kaedah DB adalah lebih rendah dengan julat 2291-4941 mg/kg. Kurangnya proses pengudaraan secara berterusan menyebabkan kompos yang dihasilkan mengandungi kandungan logam Fe yang lebih rendah. Ini adalah kerana kompos yang terhasil masih lagi lembap dan menggalakkan kehilangan logam melalui proses

pelepasan. Maka kaedah DB dilihat lebih sesuai dalam menghasilkan kompos yang mempunyai kepekatan logam Fe yang lebih rendah.



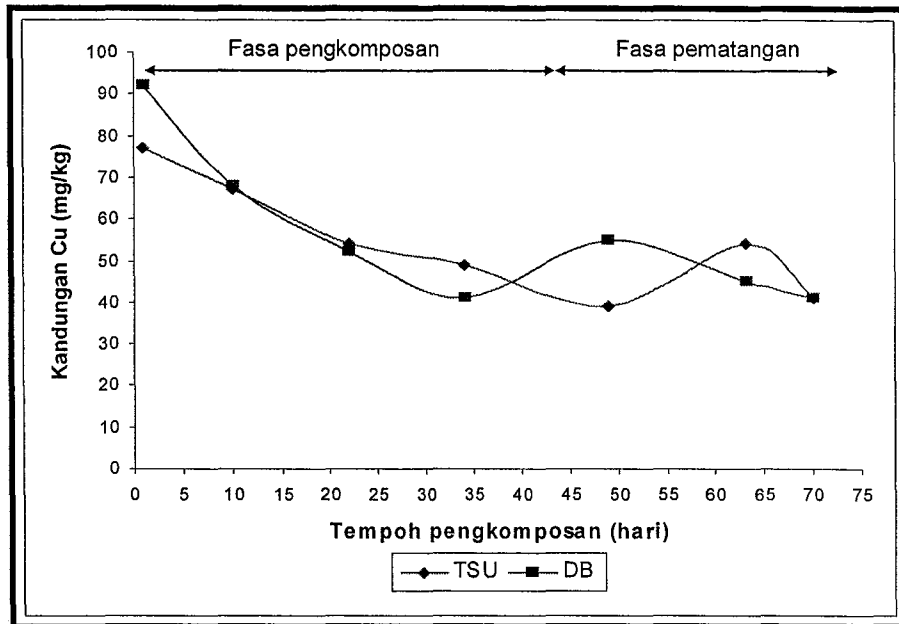
Rajah 5.12: Graf perbandingan purata kandungan logam Fe (mg/kg) melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi kaedah DB dan TSU.

Dalam kegiatan pertanian, Zn merupakan salah satu unsur surih yang dianggap penting terutama di dalam pengawalan enzim bagi tindak balas metabolik sel tumbuh-tumbuhan. Rajah 5.13 menunjukkan perbandingan purata kandungan Zn dalam kaedah DB dan TSU. Secara perbandingan, tren perubahan turun dan naik kandungan Zn dalam kaedah DB adalah lebih seragam berbanding kaedah TSU. Dalam fasa pengkomposan aktif, julat purata kandungan Zn dalam kaedah TSU ialah di antara 121-223 mg/kg manakala 134-209 mg/kg bagi kaedah DB. Namun begitu, kandungan Zn menurun secara seragam semasa fasa pematangan bagi kedua-dua kaedah dengan julat 137-168 mg/kg bagi kaedah TSU dan 124-154 mg/kg bagi kaedah DB.



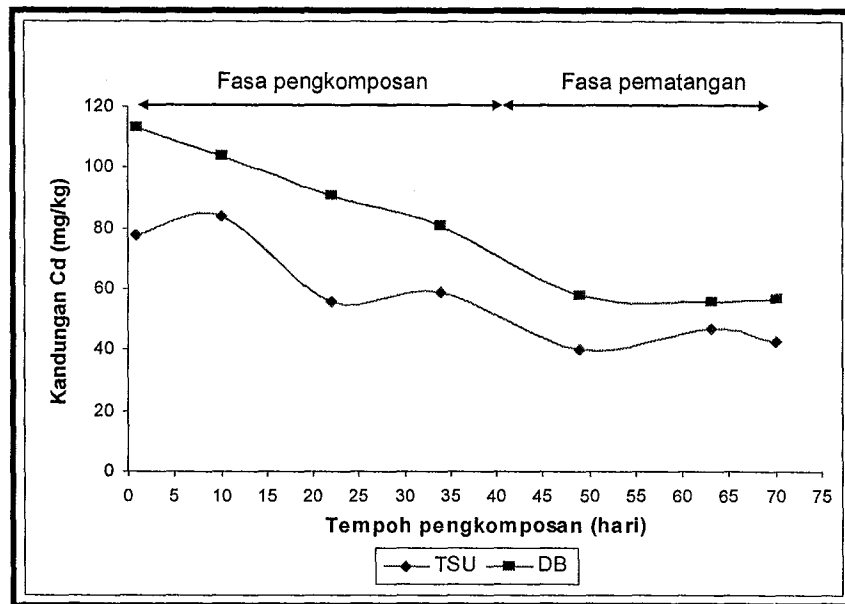
Rajah 5.13:Graf perbandingan purata kandungan logam Zn (mg/kg) melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi kaedah DB dan TSU.

Rajah 5.14 menunjukkan perbandingan purata kandungan Cu dalam kaedah DB dan TSU. Secara perbandingan, tren penurunan kepekatan Cu dalam kaedah TSU adalah lebih seragam berbanding kaedah DB. Dalam fasa pengkomposan aktif, julat purata kandungan Cu dalam kaedah TSU ialah di antara 39-77 mg/kg manakala 41-92 mg/kg bagi kaedah DB. Namun begitu, kandungan Cu menurun secara seragam dalam fasa pematangan bagi kedua-dua kaedah dengan julat 39-51 mg/kg bagi kaedah TSU dan 41-55 mg/kg bagi kaedah DB. Berdasarkan nilai-nilai akhir yang diperolehi, didapati kandungan Cu dalam kompos yang terhasil melalui kaedah TSU dan DB masih lagi berada di bawah had selamat bagi kegunaan di dalam aktiviti pertanian. Had maksimum kepekatan Cu yang dibenarkan di bawah *Canadian Compost Standard* ialah 100 mg/kg (jenis AA dan A) dan 757 mg/kg bagi jenis B (Charest & Beauchamp, 2002). Dalam aktiviti pertanian, Cu memainkan peranan penting dalam proses penghasilan klorofil, pembentukan dan pengeluaran biji benih serta pengawalan aktiviti enzim. Ketidakhadiran Cu dalam sel tumbuh-tumbuhan akan menyebabkan masalah kekurangan Cu ke atas tumbuh-tumbuhan seperti pembentukan daun yang berwarna hijau gelap, tompokan putih pada daun serta daun yang dihasilkan bergulung-gulung.



Rajah 5.14: Graf perbandingan purata kandungan logam Cu (mg/kg) melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi kaedah DB dan TSU.

Rajah 5.15 menunjukkan perbandingan purata kandungan Cd dalam kaedah DB dan TSU. Secara perbandingan, tren penurunan kepekatan Cd dalam kaedah TSU adalah lebih seragam dan lebih rendah berbanding kaedah DB. Di dalam fasa pengkomposan aktif, julat purata kepekatan Cd dalam kaedah TSU ialah di antara 40-84 mg/kg manakala 58-113 mg/kg bagi kaedah DB. Penurunan kepekatan Cd turut diperhatikan dalam fasa pematangan bagi kedua-dua kaedah dengan julat 43-47 mg/kg bagi kaedah TSU dan 56-57 mg/kg bagi kaedah DB. Berdasarkan nilai-nilai akhir yang diperolehi, didapati kandungan Cd dalam kompos yang terhasil melalui kaedah TSU ($T_1 = 111$ mg/kg) dan DB ($D_1 = 134$ mg/kg) tidak berada di bawah had selamat bagi kegunaan di dalam aktiviti pertanian. Contreras-Ramos *et.al* (2004) melaporkan bahawa had maksimum kepekatan Cd yang dibenarkan oleh *US Environmental Protection Agency (USEPA)* 1995 bagi tujuan pertanian ialah 39 mg/kg (*Excellent*) dan 85 mg/kg (*Good*). Di kawasan yang giat menjalankan aktiviti pertanian, Cd terhasil daripada racun serangga, baja kimia serta penggunaan baja organik yang dihasilkan daripada enapcemar kumbahan serta daripada sisa industri. Penyerapan Cd melalui akar tumbuh-tumbuhan akan memberikan kesan toksik terhadap pertumbuhan tanaman, aktiviti metabolisme serta struktur genetik tumbuh-tumbuhan.



Rajah 5.15 : Graf perbandingan purata kandungan logam Cd (mg/kg) melawan tempoh pengkomposan (hari) bagi kaedah DB dan TSU.

(xi) Ciri-ciri fizikal kompos akhir

Kompos mempunyai potensi yang besar sebagai bahan penambahbaik tanah untuk pelbagai kegunaan. Penggunaan kompos ke atas tanah di kawasan pertanian akan membantu mempertingkatkan kandungan humus, memperbaiki struktur tanah, kandungan nutrien, keupayaan menahan air serta keperluan pengudaraan tanah. Pada hari ini, penggunaan kompos tidak hanya terhad kepada aktiviti pertanian, malah diperluaskan lagi kepada aktiviti penebusgunaan tanah seperti kuari dan tapak pelupusan, kawalan hakisan, nurseri dan sebagainya. Penggunaan kompos bagi kegiatan tersebut bergantung kepada kualiti kompos seperti ciri-ciri fizikal, kandungan nutrien, kandungan logam berat, kehadiran sebatian yang bersifat toksik serta bendasing.

Dalam kajian ini, perubahan dari segi warna, bau dan saiz partikel kompos diperhatikan sepanjang proses pengkomposan berlangsung sehingga proses pematangan. Umpamanya, deria penglihatan digunakan untuk melihat perubahan warna dan saiz partikel kompos manakala deria bau digunakan untuk mengesan bau kompos yang terhasil sama ada berbau seakan tanah atau busuk (keadaan anaerobik). Perubahan warna daripada hijau (awal pengkomposan) sehingga hitam (akhir pengkomposan) menunjukkan kompos yang dihasilkan telah mencapai kestabilan dan kematangan serta mempunyai kandungan humus yang tinggi. Dalam

kajian ini, kebanyakan daripada campuran kompos yang dihasilkan berwarna hitam dan gelap.

Taburan saiz mempengaruhi penggunaan kompos dalam sesuatu aktiviti. Sebagai contoh; kompos yang mempunyai taburan saiz yang seragam mendapat tempat dalam industri nurseri serta landskap. Manakala kompos yang mempunyai saiz yang tidak seragam lebih banyak digunakan dalam aktiviti kawalan hakisan dan sebagai lapisan penutup di tapak pelupusan. Taburan saiz biasanya berkait rapat dengan tekstur produk yang pastinya akan mempengaruhi produktiviti tanah (Diaz et.al, 1993). Dalam pertumbuhan tanaman, tekstur kompos yang peroi mempengaruhi sifat keporosan dan kebolehtelapan tanah. Dalam kajian ini, kebanyakan daripada kompos yang dihasilkan mempunyai tekstur yang peroi serta taburan saiz yang seragam.

Bau merupakan salah satu petunjuk semasa proses pemantauan proses pengkomposan. Kehadiran bau busuk dan kurang menyenangkan biasanya merujuk kepada keadaan anaerobik yang wujud dalam timbunan kompos dan proses pengkomposan yang masih berlaku. Sementara itu, kehadiran bau yang seakan-akan tanah menunjukkan bahawa kompos yang terhasil telah stabil dan matang. Dalam kajian ini, kesemua kompos yang dihasilkan mempunyai bau yang seakan-akan tanah.

6.0 KESIMPULAN

Sepanjang 70 hari proses pengkomposan dan pematangan berlangsung, di dapati sisa organik seperti sisa taman boleh ditukar kepada satu produk baru yang berguna kepada tanah yang dikenali sebagai kompos. Daripada kajian ini juga didapati campuran sisa taman dan najis lembu dengan nisbah 60% ST: 40% NL mampu menghasilkan kompos yang mempunyai kandungan nutrien (fosfat, kalium dan sulfat) yang tinggi. Sementara itu, campuran sisa taman dan najis lembu dengan nisbah 70% ST: 30% NL mampu menghasilkan kompos yang mempunyai kandungan logam berat (Fe, Cu, Cd) yang rendah.

Dalam proses pengkomposan ini juga ternyata semua parameter fizikal dan kimia seperti suhu, pH, kandungan lembapan, kandungan karbon, kandungan nitrogen dan nisbah C:N mempengaruhi proses pengkomposan. Nilai julat bagi

semua parameter yang mempengaruhi proses pengkomposan sehingga pematangan untuk kaedah TSU dan DB diringkaskan seperti dalam Jadual 6.1.

Jadual 6.1 : Nilai julat purata bagi semua parameter yang mempengaruhi proses pengkomposan dan pematangan bagi kaedah TSU dan DB.

Parameter pengkomposan	Nilai julat bagi kaedah TSU	Nilai julat bagi kaedah DB
Kandungan lembapan (%)	45.7-55.0 (pengkomposan) 34.4-40.3 (pematangan)	53.8-63.3 (pengkomposan) 40.6-51.0 (pematangan)
pH	7.14- 7.90 (pengkomposan) 6.56-7.33 (pematangan)	6.91-7.70 (pengkomposan) 6.39-7.09 (pematangan)
Suhu (°C)	27.7-31.9 (pengkomposan) 26.7-28.0 (pematangan)	27.0-31.0 (pengkomposan) 26.0-26.4 (pematangan)
Kandungan karbon (mg/g)	324-681(pengkomposan) 193-486 (pematangan)	297-681(pengkomposan) 195-317(pematangan)
Kandungan nitrogen (mg/g)	9.3-14.0 (pengkomposan) 7.5-10.7 (pematangan)	7.0-13.5 (pengkomposan) 7.0-13.3 (pematangan)
Nisbah C:N	29-77 (pengkomposan) 26-47 (pematangan)	34-59 (pengkomposan) 21-28 (pematangan)

Berdasarkan analisis data, plotan graf dan perbincangan sebelum ini dapat disimpulkan bahawa kedua-dua kaedah pengkomposan iaitu kaedah timbunan statik berudara (TSU) dan kaedah deram berputar (DB) mampu menguraikan semua sisa taman dan menghasilkan produk yang berkualiti dan berguna untuk tanaman. Kedua-dua kaedah ini mampu menghasilkan kompos yang mengandungi nutrien yang tinggi tetapi kandungan logam berat yang rendah. Ciri-ciri fizikal kompos yang dihasilkan juga berkualiti baik dari segi warnanya yang gelap, berbau seakan-akan tanah, peroi dan tidak bergumpal-gumpal.

RUJUKAN

Agamuthu, P. (2001) *Solid Waste : Principals and Management with Malaysian case studies*. Kuala Lumpur: Universiti of Malaya Press

Bary, A.I., Cogger, C.G., Sullivan, D.M., Myhre, E.A. (2005) Characterization of fresh yard trimmings for agricultural use. *Bioresource Technology* 96, 1499-1504

Berita Harian (2005), *RM95b urus sisa pepejal*, 19 Disember 2005

Berita Harian (2005), *Strategi 'sampah sifar' tingkat kadar guna semula bahan*, 2 Jun 2005

Bernal, M.P., Saez-Moneder, M.A., Paredes, C., Roig, A. (1998) Carbon mineralization from organic wastes at different composting stages during their incubation with soil. *Agriculture Ecosystems & Environment* 69, 175-189

Bertran, E., Sort, X., Soliva, M., Trillas, I. (2004) Composting winery waste: sludges and grape stalks. *Bioresource Technology* 95, 203-208

Ciba, J., Zolotajkin, M., Kluczka, J., Loska, K., Cebula, J. (2003) Comparison of methods for leaching heavy metals from composts. *Waste Management* 23, 897-905

Contreras - Ramos, S.M., Bernal, D.A., Tapia, N.T., Dendooven, L. (2004) Composting of tannery effluent with cow manure and wheat straw. *Bioresource Technology* 94, 223-228

Day, M., Shaw, K. (2001) *Biological, Chemical and Physical Processes of Composting*. In: Stofella, P.J., Kahn, B.A. *Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems*. United State of America: Lewis Publishers

Diaz, L.F., Savage, G.M., Eggerth, L.L., Golueke, C.G. (1993) *Composting and Recycling Municipal Solid Waste*. United State of America: Lewis Publishers

Epstein, E. (1997) *The Science of Composting*. United State of America: Technomic Publishing Company Inc.

Huang, G.F., Wong, J.W.C., Wu, Q.T., Nagar, B.B. (2004) Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust. *Waste Management* 24, 805-813

Iyengar, S.R., Bhave, P.P. (2005) In-vessel composting of household wastes. *Waste Management*, 1-11

Madejon, E., Diaz, M.J., Lopez, R., Cabrera, F. (2002) New approaches to establish optimum moisture content for compostable materials. *Bioresource Technology* 85, 73-78

Solano, M.L., Iriarte, F., Ciria, P., Negro, M.J. (2001) Performance characteristics of three aeration systems in the composting of sheep manure and straw. *Journal Agricultural Engineering Resources* 79, 317-329

Sullivan, D.M., Miller, O.M. (2001) *Compost Quality Attributes, Measurements and Variability*. In: Stofella, P.J., Kahn, B.A. *Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems*. United State of America: Lewis Publishers

Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S. (1993) *Integrated Solid Waste Management : Engineering Principles and Management Issues*. United State of America : McGraw-Hill Inc.

Tejada, M., Dobao, M.M., Benitez, C., Gonzalez, J.L. (2001) Study of composting of cotton residues. *Bioresource Technology* 79, 199-202

Tuomela, M., Vikman, M., Hatakka, A., Itavaara, M. (2000) Biodegradation of lignin in a compost environment : a review. *Bioresource Technology* 72, 169-183

Utusan Malaysia (2004), *Kawasan pelupusan sampah baru di Bukit Tagar*, 12 Mei 2004

**PENYATA
KEWANGAN/PERBELANJAAN**

JABATAN BENDAHARI
 UNIT KUMPULAN WANGIAMANAH
 UNIVERSITI SAINS MALAYSIA
 KAMPUS KEJURUTERAAN
 SERI AMPANGAN
 PENYATA KUMPULAN WANG
 TEMPOH BERAKHIR 31 OGOS 2006

CIK HABSAB MD SABIANI

304.PAWAM.6035093

KAJ. PERBANDINGAN KUALITI KOMPOS DRP SISA TMN GUNA

Tempoh Projek: 01/04/2004 - 31/03/2006

JUMLAH GERAN :-

NO PROJEK :-

PANEL :- JI PENDEK

PENAJA :-

Vot

	Peruntukan (a)	Perbelanjaan sehingga 31/12/2005 (b)	Tanggungjawab semasa 2006 (c)	Belanja Semasa 2006 (d)	Jumlah Belanja 2006 (c+d)	Jumlah Belanja Terkumpul (b+c+d)	Baki Peruntukan Semasa 2006 (a-(b+c+d))
11000: GAJI KAKITANGAN AWAM	4,094.80	3,577.39	0.00	0.00	0.00	3,577.39	517.41
21000: PERBELANJAAN PERJALANAN DAN SARAH	4,250.00	796.00	0.00	0.00	0.00	796.00	3,454.00
23000: PERHUBUNGAN DAN UTILITI	200.00	2.95	0.00	0.00	0.00	2.95	197.05
24000: SEWAAN	0.00	300.00	0.00	0.00	0.00	300.00	(300.00)
27000: BEKALAN DAN ALAT PAKAI HABIS	8,000.00	13,531.97	0.00	(63.51)	(63.51)	13,468.46	(5,468.46)
28000: PENYELENGGARAAN & PEMBAIKAN KECIL	1,000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,000.00
29000: PERKHIDMATAN IKTISAS & HOSPITALITI	1,250.00	650.00	0.00	0.00	0.00	650.00	600.00
	18,794.80	18,858.31	0.00	(63.51)	(63.51)	18,794.80	0.00
Jumlah Besar	18,794.80	18,858.31	0.00	(63.51)	(63.51)	18,794.80	0.00

**MANUSKRIP/KERTAS KERJA/
PENERBITAN**

Kajian Mengenai Ciri-ciri Sisa Pepejal Perbandaran dari Tapak Pelupusan Pulau Burung, Nibong Tebal, Pulau Pinang

Nor Habsah Md Sabiani, Faridah A.H Asaari & Syed Ahmad Fauzan Syed Mohd
Pusat Pengajian Kejuruteraan Awam, Kampus Kejuruteraan, USM

ABSTRAK: Pengurusan sisa pepejal yang sistematik dan berkesan amat penting bagi memastikan ia tidak membawa kesan negatif kepada alam sekitar, manusia dan hidupan lain di bumi ini. Pengetahuan mengenai ciri-ciri kimia dan fizikal merupakan salah satu perkara penting bagi memastikan sisa pepejal diurus dengan sempurna. Oleh itu, kajian ini telah dijalankan untuk memperolehi ciri-ciri sisa pepejal perbandaran (SPP) di Tapak Pelupusan Pulau Burung, Nibong Tebal, Pulau Pinang. Di antara parameter fizikal yang terlibat ialah kandungan lembapan, saiz dan ketumpatan manakala parameter kimia yang telah dikaji pula adalah nilai pH, nisbah karbon kepada nitrogen (C:N), kandungan logam berat dan kandungan tenaga. Sebanyak lima (5) sampel SPP telah diambil dari Tapak Pelupusan Pulau Burung. Setiap sampel diambil pada hari yang berlainan bagi tujuan ujian di tapak dan juga di makmal. Daripada kajian ini didapati, komposisi sisa pepejal perbandaran (SPP) di Tapak Pelupusan Pulau Burung boleh dipecahkan kepada 11 komponen utama iaitu sisa makanan (35.72%), plastik (22.19%), sisa taman (13.27%), kertas (10.59%), kadbod (6.01%), tekstil (5.10%), kaca (3.20%), getah (0.89%), kayu (0.58%) dan logam bukan ferus (2.44%). Sementara itu, taburan saiz bagi SPP pula adalah di antara 0.01 cm sehingga 210.0 cm. Daripada kajian ini juga didapati, kandungan lembapan purata bagi sisa jenis ini adalah 53.90 %. Di dalam ujian penentuan ketumpatan pula, sisa makanan mencatatkan nilai sebanyak 520 kg/m³, plastik 140 kg/m³, sisa taman 170 kg/m³, kadbod 220 kg/m³ dan 190 kg/m³ bagi tekstil dan kertas. Selain itu, nisbah karbon kepada nitrogen (C:N) bagi sampel 1 adalah 15:1 manakala untuk sampel 2, sampel 3, sampel 4 dan sampel 5, nisbah C:N adalah 49:1, 18:1, 7:1 dan 18:1 masing-masing. Nilai purata pH bagi SPP pula adalah 6.36. Sementara itu, kajian penentuan kandungan logam berat seperti Fe, Mn, Zn dan Ni memberikan nilai 2.55 mg/g, 0.02 mg/g, 1.29 mg/g dan 0.05 mg/g masing-masing. Ujian penentuan kandungan tenaga pula memberikan nilai sebanyak 32,125 kJ/kg bagi berat kering dengan abu manakala 34,818 kJ/kg bagi berat kering tanpa abu. Sementara itu, pengiraan kandungan tenaga menggunakan formula Dulong pula memberikan nilai kandungan tenaga dengan kehadiran sulfur adalah sebanyak 11,240 kJ/kg manakala nilai kandungan tenaga tanpa kehadiran sulfur pula adalah sebanyak 11,242 kJ/kg. Secara keseluruhan, keputusan yang diperolehi daripada kajian ini menunjukkan kebanyakan daripada parameter fizikal dan kimia yang dikaji secara puratanya adalah dalam julat yang disyorkan oleh beberapa penyelidik kebangsaan dan antarabangsa.

Kata kunci: Sisa pepejal perbandaran (SPP), nisbah karbon kepada nitrogen (C:N), logam berat, peratus kelembapan, kandungan tenaga, formula Dulong.

1 PENGENALAN

Statistik mengenai sampah di Malaysia agak menjengkelkan. Umpamanya, purata perkapita pembuangan sampah setiap penduduk di Lembah Kelang sahaja ialah kira-kira 1.2 kg setiap hari, atau pun secara keseluruhannya sebanyak 4,720 tan sehari (Rahaiza 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. Menurut Menteri Perumahan dan Kerajaan Tempatan, Datuk Seri Ong Ka Ting, jika dikumpulkan dalam tempoh dua bulan sahaja, sampah itu boleh memenuhi ruang Menara Berkembar Petronas atau memenuhi Stadium Nasional Bukit Jalil. Sehingga ke hari ini, kadar penjanaaan sampah di seluruh negara telah meningkat kepada 16,000 tan setiap hari (Rahaiza Ismail et.al, 2003).

Fenomena ini berlaku memandangkan pertambahan penduduk yang semakin meningkat di Malaysia dari setahun ke setahun serta kepesatan pembangunan ekonomi negara akhir-akhir ini. Di Semenanjung Malaysia sahaja, populasi penduduk di kawasan bandar pada tahun 1988 telah meningkat daripada 6.05 juta orang kepada 8.7 juta orang pada tahun 1995 (*Agamutuhu*, 2001). Sementara itu, statistik yang dikeluarkan oleh Kementerian Perumahan dan Kerajaan Tempatan menunjukkan bahawa kira-kira 60 peratus penduduk Malaysia tertumpu di kawasan-kawasan bandar (Rahaiza Ismail et.al, 2003). Secara tidak langsung, fenomena ini akan meningkatkan lagi kadar penjana sisa pepejal di seluruh negara sama ada di kawasan bandar mahu pun luar bandar. Penjana sisa pepejal sentiasa berlaku dalam aktiviti harian manusia. Sisa pepejal yang terhasil perlulah diuruskan dengan sebaik mungkin supaya tidak memberi kesan buruk kepada alam sekitar.

Pengurusan sisa pepejal perlulah lebih sistematik bagi mengelakkan daripada berlakunya kegiatan pembuangan sampah yang tidak terkawal di mana ia boleh mengundang pelbagai masalah lain seperti pencemaran tasik, sungai dan juga kejadian banjir kilat. Di samping itu, ia juga boleh mengganggu persekitaran kehidupan manusia seperti penyebaran penyakit (*Fadhil Othman*, 1996). Daripada kajian yang telah dijalankan, didapati sekurang-kurangnya 22 jenis penyakit yang menjangkiti manusia mempunyai kaitan dengan sisa pepejal atau pun sampah sarap ini (*Noraini Jaafar*, 1994). Dalam memastikan sisa pepejal diurus dengan lebih sempurna, ciri-ciri fizikal dan kimia merupakan parameter penting untuk diketahui. Ini kerana maklumat kesemua parameter ini boleh digunakan sebagai bahan rujukan untuk beberapa aktiviti seperti proses pengkomposan, kitar semula dan pemulihan bahan terutamanya jika skrin dan pemisah bermagnet digunakan.

Oleh itu, pelbagai kajian mengenai sistem pelupusan sampah telah dijalankan bagi mengenalpasti kaedah dan teknik pelupusan yang terbaik yang mana ia dapat menjamin kesejahteraan dan keharmonian sejagat. Seterusnya menerusi kajian yang dijalankan juga adalah diharap agar ia dapat memupuk dan mewujudkan kesedaran mengenai kepentingan pengurusan sisa pepejal supaya kita dapat hidup dengan lebih sejahtera.

2 METODOLOGI

Kajian ini telah dijalankan di Tapak Pelupusan Pulau Burung, Nibong Tebal, Pulau Pinang. Tapak pelupusan yang terletak lebih kurang 20 minit perjalanan dengan kereta dari Kampus Kejuruteraan Universiti Sains Malaysia ini merupakan tapak pelupusan sisa pepejal bagi negeri Pulau Pinang dan

menggunakan teknik kambus tanah sanitari untuk melupuskan sisa pepejal. Selain itu, tapak pelupusan ini juga mempunyai sistem kawalan pencemaran seperti sistem perpaipan air larut lesapan (leachate), sistem perpaipan untuk ventilasi gas tapak pelupusan dan lain-lain kelengkapan serta kemudahan seperti sistem merawat larut lesapan melalui pengudaraan dan kaedah fizikal (dalam pembinaan). Ini menjadikan tapak pelupusan ini bertaraf 'Sanitary Landfill Level III'. Tapak pelupusan ini diuruskan oleh Idaman Bersih Sdn. Bhd. (IBSB) yang merupakan kontraktor yang dilantik oleh Majlis Perbandaran Seberang Prai (MPSP).

Bagi tujuan kajian ini, sebanyak 5 sampel sisa pepejal perbandaran (SPP) telah diambil. Setiap daripada sampel ini diambil pada tarikh yang berlainan bermula pada 4 Julai 2003 hingga 18 Ogos 2003. Kajian ini juga melibatkan ujian di tapak dan juga di makmal.

2.1 Kaedah Kerja Di Tapak

Kerja-kerja di tapak melibatkan penentuan parameter seperti komposisi sisa, penentuan saiz dan ketumpatan sisa. Persampelan sisa pepejal perbandaran (SPP) dilakukan menggunakan kaedah pensukuan (*quatering method*) di mana SPP yang dilonggok oleh lori sampah jenis pemampat (*compactor*) akan disukukan beberapa kali menggunakan jentera bergantung pada berat keseluruhan sisa. Setelah itu pengasingan mengikut komposisi dilakukan secara *manual* (*Peavy, H.S*, 1988). Penentuan taburan saiz merupakan salah satu ciri-ciri fizikal di mana ia bertujuan untuk mendapatkan taburan saiz komposisi sisa pepejal perbandaran (SPP). Saiz sisa diukur dengan menggunakan pita ukur setelah proses pengasingan dilakukan. Ketumpatan merupakan parameter fizikal yang biasanya digunakan untuk menilai jumlah berat dan isipadu sisa pepejal yang perlu diuruskan. Penentuan ketumpatan dilakukan dengan menimbang setiap komposisi yang telah diasingkan di dalam bekas yang diketahui isipadunya.

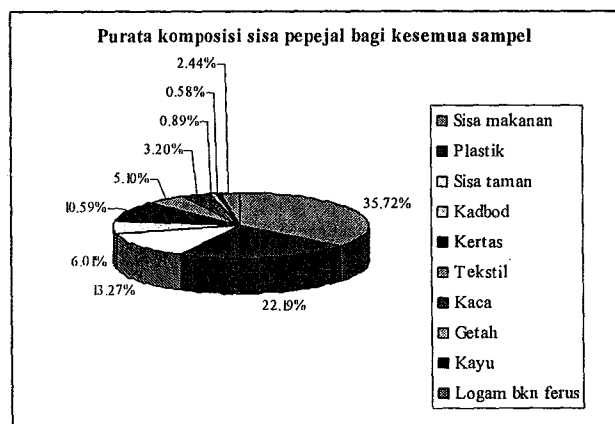
2.2 Kaedah Kerja Di Makmal

Ujikaji yang dijalankan di makmal melibatkan ujian-ujian seperti penentuan peratus kelembapan, pH, peratus abu kering, Keperluan Oksigen Kimia (COD), Nitrogen Kjeldhal Jumlah (TKN) (*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 1985) dan kandungan logam berat seperti Fe, Mn, Zn dan Ni (*EPA 3050B-Acid Digestion of Sediment, Sludges and Soils*, 1998). Penentuan kandungan lembapan bertujuan untuk menentukan peratus kandungan air di dalam SPP. Sampel dikeringkan di dalam ketuhar selama 2 jam pada suhu 105°C dan kemudiannya ditentukan

peratus kehilangan air di dalam sampel (Peavy, H.S, 1988). Ujian kandungan lembapan ini hanya dijalankan ke atas 5 komponen iaitu sisa makanan, kadbod, sisa taman, kertas dan tekstil. Ini adalah kerana komponen ini mempunyai kandungan lembapan dan juga kebolehan menyerap air yang lebih tinggi berbanding komponen-komponen yang lain. Sementara itu, analisis hampiran dijalankan dalam penentuan peratus abu bagi tujuan pengiraan kandungan tenaga. Dalam kaedah ini, sampel dibakar di dalam relau pada suhu 800°C di dalam mangkuk pijar yang tertutup (Peavy, H.S, 1988). Sementara itu, ujikaji COD dijalankan ke atas sampel SPP bagi menentukan kandungan karbon di dalam sampel. Ujikaji TKN pula bertujuan untuk menentukan kehadiran nitrogen di dalam SPP. Di dalam kajian ini, kandungan logam berat di dalam SPP turut dikaji seperti Zn, Mn, Fe dan Ni dengan menggunakan alat DR 2000.

3 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Setelah ujikaji dijalankan di tapak dan juga di makmal, data-data yang diperolehi dipersembahkan seperti di dalam jadual dan rajah berikut:



Rajah 1. Purata komposisi sisa pepejal bagi kesemua sampel yang diambil

Setelah menjalankan proses pensukuan dan pengasingan (*sorting*) terhadap kelima-lima sampel ini, didapati sisa pepejal perbandaran di situ boleh dikategorikan kepada 11 komponen iaitu sisa makanan, plastik, sisa taman, kadbod, kertas, tekstil, kaca, getah, kayu dan logam bukan ferus (tin dan logam aluminium).

Berdasarkan Rajah 1, didapati sisa makanan merupakan komposisi utama dalam sisa pepejal perbandaran di Tapak Pelupusan Pulau Burung dengan mencatatkan peratus tertinggi iaitu 35.72 %.

Sisa makanan yang dijana boleh dikategorikan kepada 2 jenis iaitu makanan mentah dan makanan yang sudah dimasak. Contoh jenis makanan mentah adalah kulit buah-buahan, bijirin, kelapa parut dan beras manakala jenis makanan yang sudah dimasak pula termasuklah nasi, tulang ikan, ayam dan sebagainya. Daripada kajian yang telah dijalankan oleh penyelidik yang terdahulu juga menunjukkan bahawa sisa makanan menyumbang peratusan yang tertinggi iaitu sebanyak 32 % daripada sisa pepejal perbandaran yang dilupuskan di tapak pelupusan di Malaysia (Agamuthu, 2001). Sementara itu, kayu mencatatkan peratusan yang terendah dilupuskan di tapak pelupusan ini iaitu 0.58 %. Secara keseluruhan daripada kelima-lima persampelan yang dijalankan, dapat dilihat bahawa sisa makanan dan plastik merupakan peratus tertinggi yang dilupuskan di Tapak Pelupusan Pulau Burung.

Jadual 1. Taburan saiz setiap komposisi sisa pepejal perbandaran (SPP)

No	Komposisi	Taburan saiz (cm)		
		Lebar	Diameter	Panjang
1	Sisa makanan	0.01 - 0.5		
2	Plastik	3.3 - 4.8	3.0 - 7.0	4.9 - 6.0
3	Sisa taman (rumpun, daun dan ranting kecil sahaja)	-	1.0 - 3.0	4.0 - 51.0
4	Kadbod	5.0 - 10.0	-	6.5 - 18.0
5	Kertas	3.0 - 32.0	-	5.0 - 58.0
6	Tekstil	4.5 - 210.0	-	6.0 - 18.3
7	Kaca	1.3 - 28.6	6.0 - 6.5	7.8 - 20.5
8	Getah	-	3.3 - 55.0	6.0 - 12.2
9	Kayu	-	4.0 - 8.5	11.0 - 20.0
10	Logam bkn ferus	-	4.2 - 10.8	3.0 - 12.5

Taburan saiz juga merupakan parameter yang penting bagi tujuan pemulihan bahan. Bagi sisa yang boleh biodegradasi, saiz yang kecil akan mempercepatkan aktiviti mikrob untuk proses penguraian sisa tersebut. Dalam kajian ini, julat saiz SPP diambil secara purata daripada 5 sampel. Berdasarkan Jadual 1, taburan saiz untuk sisa makanan adalah dianggarkan 0.01 cm hingga 0.5 cm. Nilai saiz anggaran dibuat disebabkan terdapat sisa makanan yang mempunyai saiz yang amat kecil sehingga sukar untuk diukur menggunakan pembaris mahu pun pita ukur. Sisa plastik mempunyai lebar di antara 3.3 hingga 4.8 cm manakala panjangnya pula adalah di antara 4.9 hingga 6.0 cm. Taburan saiz sisa taman pula adalah di antara 1.0 hingga 3.0 cm diameter dan 4.0 hingga 51.0 cm panjang. Sisa taman yang diukur termasuklah daun, ranting, dahan dan batang. Bagi kadbod dan kertas lebarnya adalah

di antara 3.0 hingga 32.0 cm dan panjangnya adalah di antara 5.0 hingga 58.0 cm. Di antara contoh kadbod adalah kotak dan kulit buku manakala contoh bagi kertas adalah surat khabar dan buku. Daripada Jadual 1 juga didapati lebar maksimum tekstil mencapai 210.0 cm. Kaca pula mempunyai lebar di antara 1.3 hingga 28.6 cm dan panjang di antara 7.8 hingga 20.5 cm. Terdapat juga kaca yang berbentuk bulat seperti muncung botol dan cermin jam. Getah mempunyai diameter di antara 3.3 hingga 55.0 cm dan panjang di antara 6.0 hingga 12.2 cm manakala kayu mempunyai diameter di antara 4.0 hingga 8.5 cm dan panjang di antara 11.0 hingga 20.0 cm. Sementara itu, jenis bahan – bahan logam bukan ferus yang telah dijumpai hanyalah tin aluminium iaitu tin minuman yang mempunyai diameter di antara 4.2 hingga 10.8 cm dan panjang di antara 3.0 hingga 12.5 cm. Secara keseluruhannya, sisa pepejal perbandaran (SPP) yang dilupuskan di tapak pelupusan terdiri daripada pelbagai saiz bergantung kepada komposisi sesuatu SPP tersebut. Walau bagaimanapun, taburan saiz tidak mempengaruhi berat sesuatu SPP.

Jadual 2: Purata kandungan lembapan untuk kelima-lima sampel mengikut komposisi SPP

No	Komponen	Kandungan lembapan (%) (*)	Kandungan lembapan (%) (▲)
1	Sisa makanan	49.22	70
2	Kadbod	9.45	5
3	Kertas	8.14	6
4	Sisa taman (rumpun, daun dan ranting kecil sahaja)	52.92	60
5	Tekstil	6.15	10

(*) Nilai yang diperolehi dari kajian ini

(▲) Data Tipikal untuk kandungan lembapan SPP (Tchobanoglous, Theisen, Vigil, 1993)

Kandungan lembapan merupakan salah satu daripada ciri-ciri fizikal sisa pepejal. Nilai kandungan lembapan merupakan parameter penting yang perlu diketahui terutama sekali untuk proses pengkomposan dan perolehan tenaga. Di dalam proses pengkomposan, kehadiran air adalah amat penting untuk melarutkan nutrien sebelum boleh diserap oleh mikroorganisma (Jaafar Ahmad, 2001). Jika dilihat dari aspek perolehan tenaga, kandungan lembapan yang tinggi akan menyebabkan sesuatu sisa tersebut sukar untuk dibakar. Selain itu, ujian kandungan lembapan ini hanya dijalankan untuk 5 komponen iaitu sisa makanan, kadbod, sisa taman, kertas dan tekstil. Ini adalah kerana komponen ini mempunyai kandungan lembapan dan juga kebolehan menyerap air yang lebih tinggi berbanding komponen-komponen yang lain. Setelah AWAM-2004

ujian dijalankan, purata kandungan lembapan untuk kelima-lima sampel mengikut komposisi telah diperolehi dan nilai-nilainya telah ditunjukkan di dalam Jadual 2. Adalah jelas bahawa nilai kandungan lembapan untuk sisa makanan adalah sebanyak 49.22 %. Nilai ini berada dalam julat 'Data tipikal untuk kandungan lembapan SPP' yang dipetik dari buku 'Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues' iaitu di antara 50 hingga 80 peratus. Sisa taman mempunyai peratus kelembapan yang tertinggi iaitu sebanyak 52.92 %. Walaupun demikian, nilai ini hampir memenuhi nilai tipikal yang terdapat di dalam Jadual 2 iaitu 'Data Tipikal untuk kandungan lembapan SPP'. Kandungan lembapan untuk kadbod pula adalah sebanyak 9.45%. Sekiranya dibuat perbandingan dengan 'Data Tipikal untuk kandungan lembapan SPP' (Jadual 2), didapati nilai tipikal peratus kelembapan kadbod adalah 5 %. Perbezaan di antara nilai yang diperolehi dengan nilai tipikal adalah sebanyak 4.45 %. Daripada kajian yang telah dijalankan, di dapati kandungan lembapan bagi SPP di Malaysia adalah sebanyak 75 % (Agamuthu, 2001). Secara tidak langsung, kaedah pelupusan seperti pembakaran atau penunuan akan menghadapi kesukaran memandangkan kandungan lembapan yang terlalu tinggi. Perbezaan yang ketara ini mungkin disebabkan oleh faktor iklim di mana negara yang hampir dengan garisan Khatulistiwa lebih kerap mengalami hujan berbanding negara yang jauh dari garisan Khatulistiwa.

Jadual 3. Purata ketumpatan untuk kelima-lima sampel mengikut komposisi SPP

No	Komponen	Purata ketumpatan (kg/m ³)
1	Sisa makanan	520
2	Plastik	140
3	Sisa taman	170
4	Kadbod	220
5	Kertas	190
6	Tekstil	190

Ketumpatan secara umumnya boleh didefinisikan sebagai berat per isipadu. Data ketumpatan yang diambil tidak meliputi kesemua komponen sisa pepejal perbandaran (SPP). Terdapat 4 komponen yang tidak diambil data ketumpatannya iaitu kaca, getah, kayu dan logam bukan ferus. Ini disebabkan oleh saiznya yang agak besar dan tidak seragam. Jika dilihat daripada Jadual 3, didapati nilai ketumpatan yang tertinggi diwakili oleh sisa makanan dengan nilai ketumpatannya adalah sebanyak 520 kg/m³. Ini disebabkan saiz purata bagi sisa makanan biasanya adalah kecil. Kadbod pula memberikan nilai ketumpatan kedua tertinggi

selepas sisa makanan dengan catatan nilai sebanyak 220 kg/m³. Ini diikuti oleh kertas dan tekstil yang mempunyai nilai ketumpatan yang sama iaitu 190 kg/m³. Komponen yang paling rendah nilai ketumpatannya adalah plastik yang mencatatkan nilai sebanyak 140 kg/m³.

Jadual 5: Nilai COD, TKN dan nisbah C:N untuk kelima-lima sampel SPP

Sampel	Keperluan oksigen kimia (COD)	Nitrogen Kjeldahl jumlah (TKN)	Nisbah C:N
1	412.00	26.88	15:1
2	440.00	8.96	49:1
3	320.00	17.92	18:1
4	320.00	44.80	7:1
5	400.00	22.80	18:1

Terdapat dua ujikaji makmal yang terlibat dalam penentuan nisbah karbon kepada nitrogen (C:N) bagi SPP iaitu ujian Keperluan Oksigen Kimia (COD) yang bertujuan untuk mendapatkan kandungan karbon di dalam SPP manakala ujian Nitrogen Kjeldahl Jumlah (TKN) adalah untuk mendapatkan kandungan nitrogen di dalam SPP. Keputusan ujikaji untuk nisbah C:N ini diringkaskan seperti di dalam Jadual 4. Kepentingan nisbah C:N dalam pengurusan sisa pepejal adalah untuk mengenalpasti proses kebolehbiorosotan di dalam proses pengkomposan. Ini adalah kerana jika nisbah C:N adalah tinggi iaitu nilai karbon lebih besar daripada nitrogen, maka proses biorosot atau penguraian akan berlaku secara perlahan. Namun begitu, sekiranya nisbah C:N adalah rendah di mana kandungan nitrogennya tinggi maka nitrogen akan hilang ke atmosfera kerana ia telah bertukar kepada gas ammonia. Nisbah optimum C:N ialah (25-30:1) (Prue Williams, 1996). Berdasarkan Jadual 4, didapati nisbah C:N bagi kelima-lima sampel adalah tidak begitu konsisten. Situasi ini boleh dilihat dalam sampel 2 dan sampel 4 di mana nisbah C:N untuk sampel 2 adalah 49:1 sedangkan untuk sampel 4, nisbah C:N yang diperolehi adalah 7:1. Ini mungkin disebabkan oleh ralat yang terjadi semasa penentuan COD atau TKN. Walau bagaimanapun, bagi sampel 1, sampel 3 dan sampel 5, nisbah TKN yang diperolehi boleh dikatakan konsisten di mana nisbah C:N sampel 1 adalah 15:1 dan 18:1 untuk sampel 3 dan 5.

Jadual 5 : Nilai purata pH kelima-lima sampel SPP

Sampel	Nilai pH	Nisbah pH
1	7.72	
2	5.88	
3	6.05	6.36
4	5.90	
5	6.25	

Nilai pH bagi sisa pepejal perbandaran (SPP) ditentukan dengan menggunakan meter pH. Sedikit sampel diambil ($\pm 3.0g$) sebelum direndamkan dengan ± 7.5 ml air suling (nisbah SPP kepada air suling ialah 1:2.5) di dalam bikar dan dikacau supaya rendaman sampel menjadi sebati. Bacaan diambil setelah sampel dilarutkan dan dibiarkan selama 1 jam (*Laboratory Manual for the Examination of Water, Wastewater and Soil*, 1988). Keputusan yang diperolehi ditunjukkan seperti di dalam Jadual 5 dan didapati sampel 1 menunjukkan bacaan 7.72, sampel 2 bernilai 5.88, sampel 3 bernilai 6.05 sampel 4 bernilai 5.90 dan sampel 5 bernilai 6.25. Sekiranya diteliti, didapati hampir kesemua sampel menunjukkan nilai pH kurang daripada 7.0 kecuali untuk sampel 1 di mana nilai pHnya adalah 7.72. Hal ini berlaku mungkin disebabkan oleh terlalu banyak komponen bersifat alkali bercampur bersama dengan komponen lain. Contohnya kotak serbuk pencuci yang masih mempunyai saki-baki sabun yang melekat di dalamnya. Walau bagaimanapun, secara puratanya, nilai pH bagi sisa pepejal perbandaran yang dikaji adalah sedikit berasid dengan catatan pH 6.36.

Jadual 6: Perbandingan nilai logam berat di antara sisa pepejal perbandaran (SPP) dan sisa taman

Jenis Logam Berat	Kandungan logam berat (mg/g)	
	Sisa Pepejal Perbandaran (*)	Sisa Taman (▲)
Fe	2.55	8.78
Mn	0.02	0.11
Zn	1.29	1.49
Ni	0.05	0.085

(*) Nilai yang diperolehi hasil kajian ini

(▲) Nilai yang diperolehi hasil kajian Mohd Helmie Mad Dalan, 2004

Kandungan logam berat di dalam kajian ini ditentukan menggunakan alat spektrofotometer atau lebih dikenali sebagai DR 2000. Terdapat 4 jenis logam berat yang dikaji iaitu Fe, Mn, Zn dan Ni. Nilai yang diperolehi daripada sampel sisa pepejal perbandaran akan dibandingkan dengan nilai sampel sisa taman yang diperolehi oleh saudara Mohd Helmie bin Mad Dalan. Bagi memudahkan perbandingan, Jadual 6 telah dibuat dan nilai-nilai logam berat yang dinyatakan dalam jadual merupakan nilai-nilai yang diambil secara purata daripada kelima-lima sampel. Berdasarkan Jadual 6, kandungan Fe di dalam SPP adalah 2.55 mg/g manakala kandungan Fe di dalam sisa taman adalah 8.78 mg/g. Walaupun perbezaan kandungan Fe di dalam kedua-dua jenis sisa ini adalah besar, namun

kandungan ini mempunyai nilai tertinggi antara semua jenis logam lain yang dikaji. Jika Fe mempunyai nilai tertinggi untuk kedua-dua jenis sisa, Mn pula mencatatkan nilai terendah untuk SPP iaitu sebanyak 0.02 mg/g. Bagi sisa taman, kandungan Mn yang dicatatkan adalah sebanyak 0.11 mg/g. Sementara itu, kandungan Zn bagi SPP adalah lebih rendah iaitu 1.29 mg/g berbanding kandungan Zn yang terdapat di dalam sisa taman iaitu 1.49 mg/g. Keadaan ini berbeza untuk Ni di dalam SPP di mana nilainya adalah 0.05 mg/g manakala kandungan Ni di dalam sisa taman pula adalah 0.085 mg/g. Kesimpulannya, hampir kesemua kandungan logam berat yang terdapat di dalam SPP adalah lebih rendah berbanding dengan kandungan logam berat yang terdapat di dalam sisa taman. Kandungan logam berat yang tinggi di dalam sisa taman ini mungkin hadir daripada peralatan mekanikal yang digunakan semasa proses memotong dan mengecilkan saiz sisa tersebut seperti penggunaan *shredder* (Tchobanoglous, G, 1993).

Jadual 7. Perbandingan kandungan di dalam sisa pepejal perbandaran (SPP) menggunakan kaedah pengiraan dan kaedah formula Dulong

Sampel	Kandungan tenaga (kJ/kg)			
	Kaedah Perkiraan		Formula Dulong	
	Berat kering dengan abu	Berat kering tanpa abu	Dengan kehadiran sulfur	Tanpa Kehadiran sulfur
1	25,258	26,722	10,844	10,847
2	27,144	29,106	13,460	13,471
3	34,797	37,595	10,788	10,780
4	37,560	41,184	12,494	12,501
5	35,868	39,487	8,612	8,611
Purata	32,125	34,818	11,240	11,242

Kandungan tenaga dalam komponen organik sisa pepejal perbandaran (SPP) boleh ditentukan dengan menggunakan 3 kaedah iaitu kaedah menggunakan bom kalorimeter, kaedah pengiraan dan formula Dulong. Dalam kajian ini, hanya kaedah pengiraan dan formula Dulong (Peavy, H.S, 1988) digunakan untuk penentuan kandungan tenaga. Kaedah pengiraan kandungan tenaga ini boleh dibahagikan kepada 2 jenis iaitu dengan mengambil kira berat kering dengan abu serta berat kering tanpa abu. Kaedah penentuan abu adalah dengan menggunakan analisis hampiran dan hasil keputusan dinyatakan dalam bentuk peratus. Setelah dijalankan analisis hampiran terhadap sampel sisa pepejal perbandaran (SPP), didapati peratus abu adalah sebanyak 3.35 % dengan menggunakan relau sebagai alat membakar pada suhu 800°C selama 2 jam (Peavy, H.S, 1988). Nilai kandungan tenaga untuk sisa pepejal

perbandaran (SPP) telah ditunjukkan dalam Jadual 7 dan nilainya dinyatakan dalam unit kJ/kg. Jika dilihat pada jadual tersebut, dapat dinyatakan bahawa kandungan tenaga untuk berat kering tanpa abu adalah lebih tinggi berbanding dengan kandungan untuk berat kering dengan abu. Di dalam kaedah ini, kandungan tenaga adalah paling tinggi di dalam sampel 4 dengan 41,184 kJ/kg dan 37,560 kJ/kg masing-masing bagi berat kering tanpa abu dan berat kering dengan abu. Manakala kandungan tenaga adalah paling rendah bagi sampel 1 dengan 26,722 kJ/kg dan 25,258 kJ/kg masing-masing bagi berat kering tanpa abu dan berat kering dengan abu. Selain daripada kaedah pengiraan, kandungan tenaga juga boleh dikira menggunakan formula Dulong. Kaedah ini agak berlainan daripada kaedah pengiraan kandungan tenaga biasa kerana melalui kaedah ini, formula kimia setiap sampel harus diketahui terlebih dahulu sebelum boleh dimasukkan ke dalam formula Dulong. Merujuk kepada Jadual 7, untuk formula Dulong, didapati terdapat dua jenis nilai kandungan tenaga iaitu dengan kehadiran sulfur dan tanpa kehadiran sulfur. Perbezaan di antara kedua-dua jenis ini adalah tidak begitu ketara jika dibandingkan dengan keputusan yang diperolehi di antara berat kering dengan abu dan berat kering tanpa abu di dalam kaedah pengiraan kandungan tenaga. Di dalam kaedah ini pula, kandungan tenaga adalah paling tinggi di dalam sampel 2 dengan 13,471 kJ/kg dan 13,460 kJ/kg masing-masing tanpa kehadiran sulfur dan dengan kehadiran sulfur. Manakala kandungan tenaga adalah paling rendah bagi sampel 5 dengan 8,611 kJ/kg dan 8,612 kJ/kg masing-masing tanpa kehadiran sulfur dan dengan kehadiran sulfur. Apabila dibuat perbandingan nilai di antara kedua-dua kaedah ini, didapati secara puratanya nilai kandungan tenaga kaedah pengiraan adalah lebih tinggi berbanding nilai kandungan tenaga menggunakan kaedah formula Dulong. Berdasarkan Jadual 7, kandungan tenaga menggunakan kaedah pengiraan bagi berat kering dengan abu dan berat kering tanpa abu adalah 32,125 kJ/kg dan 34,818 kJ/kg masing-masing. Sementara itu, kandungan tenaga menggunakan kaedah formula Dulong pula adalah 11,240 kJ/kg untuk kehadiran sulfur dan 11,242 kJ/kg untuk tanpa kehadiran sulfur. Perbezaan nilai secara purata antara kedua-dua kaedah ini adalah hampir 3 kali ganda.

4 KESIMPULAN

Kajian mengenai ciri-ciri sisa pepejal perbandaran (SPP) dari Tapak Pelupusan Pulau Burung telah dilaksanakan dengan jayanya dan didapati kebanyakan parameter fizikal dan kimia yang diperolehi memenuhi julat seperti mana yang disyorkan oleh para penyelidik kebangsaan dan

antarabangsa. Laporan kajian ini juga berguna sebagai rujukan kepada proses pengkomposan dan kitar semula sisa pepejal perbandaran (SPP). Ini adalah kerana maklumat mengenai komposisi sisa pepejal ini adalah penting bagi menentukan jenis peralatan, sistem dan program pengurusan untuk menangani masalah pelupusan sisa pepejal. Selain itu, hasil kajian ini juga diharapkan dapat dijadikan sebagai rujukan bagi meningkatkan lagi keberkesanan sistem pengurusan sisa pepejal di Tapak Pelupusan Pulau Burung.

5 RUJUKAN

- Agamuthu.P (2001) "Solid Waste: Principles and Management", University of Malaya Press.
- Diaz L.F, Savage G.M, Eggerth L.L, Golueke C.G (1993) "Composting and Recycling Munciple Solid Waste", Lewis Publishers.
- Fadhil Othman (1996) "Permasalahan Alam Sekitar", Dewan Bahasa dan Pustaka, Penerbit Universiti Teknologi Malaysia.
- Faridah A.H Asaari, Dini R.H.B (1997). "Modul Pengurusan Sisa Pepejal dan EIA", Pusat Pengajian Kejuruteraan Awam , Universiti Sains Malaysia.

- George Tchobanoglous, Hilary Theisen, Samuel Vigil (1993). "Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues", McGraw-Hill, Inc.
- Jaafar Ahmad (2001). "Proses Pengkomposan Bahan-Bahan Organik Dari Aliran Sisa Pepejal Domestik Dengan Menggunakan Reaktor Aerobik", Tesis Ijazah Lanjutan, Universiti Sains Malaysia.
- Mohd Helmie Mad Dalan (2004). "Komposisi Sisa Taman Dari Tapak Pelupusan Pulau Burung"(dalam penyediaan), Laporan Kajian Tahun Akhir, Universiti Sains Malaysia.
- Noraini Jaafar (1994) "Kejuruteraan Alam Sekitar", Penerbitan Akademik Universiti Teknologi Malaysia.
- Peavy, H.S, Rowe, D.R, Tchobanoglous.G (1988) "Environmental Engineering", Mc Graw-Hill International Editions "Kuala Lumpur Tanpa Insinerator" MASSA Bil 379, 1-7 Februari 2003
- Laboratory Manual for the Examination of Water, Wastewater and Soil, (1988)
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 16th Edition, (1985)
- EPA 3050B-Acid Digestion of Sediment, Sludges and Soils, (1998)

PROSES PENGKOMPOSAN SISA TAMAN (YARD WASTES) KAJIAN KES: TAPAK PELUPUSAN SAMPAH PULAU BURUNG

NOR HABSAH MD SABIANI

Pusat Pengajian Kejuruteraan Awam
Kampus Kejuruteraan
Universiti Sains Malaysia
Seri Ampangan
14300 Nibong Tebal
Seberang Perai Selatan
Pulau Pinang

ABSTRAK

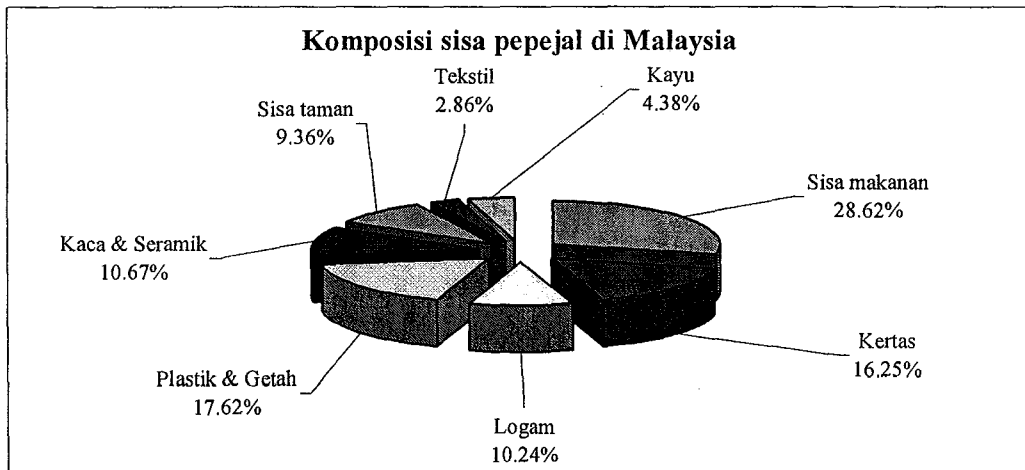
Terdapat pelbagai kaedah pelupusan sisa pepejal yang diamalkan di Malaysia pada masa kini. Di antaranya ialah kaedah pelupusan secara kambus tanah, pembakaran, penunuan serta kaedah rawatan secara biologi yang dikenali sebagai pengkomposan. Di dalam kajian ini, proses pelupusan sisa pepejal yang dipilih ialah proses pengkomposan. Pengkomposan merujuk kepada proses pengolahan sisa pepejal yang bersifat organik secara biologi disebabkan oleh tindakan bakteria dan mikroorganisma. Produk akhir yang dihasilkan dikenali sebagai kompos yang mana diharapkan berpotensi bertindak sebagai baja tanaman serta sebagai bahan penambah baik tanah. Kompos yang dihasilkan ini juga dijangkakan mengandungi 1% unsur-unsur surih seperti nitrogen, fosforus dan kalium yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman. Hasil sampingan daripada proses pengkomposan ini boleh dilupuskan dengan mudah di tapak-tapak kambus tanah tanpa memberikan kesan negatif kepada persekitaran. Di dalam kajian ini, 2 kaedah pengkomposan akan dilaksanakan iaitu kaedah timbunan statik berudara dan kaedah deram berputar. Proses pengawalan dan pemantauan faktor fizikal dan kimia turut dilakukan bagi memastikan kompos yang dihasilkan daripada kedua-dua kaedah berkualiti baik. Di antara faktor-faktor fizikal dan kimia yang akan dipantau sepanjang proses ini berlangsung ialah kandungan lembapan, ketumpatan pukal, suhu, saiz partikel, proses pembalikan, pH dan nisbah C:N. Di samping itu, ujikaji-ujikaji penentuan kualiti ke atas kompos matang akan dijalankan seperti ujikaji penentuan fosfat, kalium, nitrogen, nitrat dan sulfat.

KATA KUNCI:

Proses pengkomposan, kompos, kaedah timbunan statik berudara, kaedah deram berputar, nisbah C:N

PENGENALAN

Sisa pepejal perbandaran biasanya merujuk kepada sebarang bahan yang tidak diperlukan lagi dan akan dibuang (Agamuthu, 2001). Sementara itu, menurut peraturan U.S Environmental Protection Agency (EPA) maksud sebenar sisa pepejal adalah amat luas dan meliputi sebarang bahan buangan, bahan yang mungkin boleh diguna semula, dikitar semula atau ditebus semula (Davis, M.L, 1998). Di antara contoh-contoh sisa pepejal ialah sampah-sampah yang dihasilkan dari kawasan perumahan (kertas, akhbar lama, kadbod, kaca, botol-botol kaca dan plastik, logam, sisa makanan, sisa taman dll), sisa-sisa dari kawasan industri, bangkai-bangkai kenderaan, sisa-sisa bangunan yang dimusnahkan serta sisa pepejal dari kawasan industri pembinaan. Menurut laporan EPA yang dikeluarkan pada tahun 1990, jumlah sisa pepejal yang dihasilkan di Amerika Syarikat ialah seperti kertas (37.5%), sisa taman (17.9%), aluminium (1.4%), logam-logam lain (6.9%), kaca (6.7%), plastik (8.3%) dan sisa makanan (6.7%). Manakala menurut satu kajian yang dijalankan pada tahun 1992 oleh Wan Abdul Rahim yang melibatkan kawasan yang mempunyai status sosio ekonomi yang tinggi, sederhana dan rendah di Petaling Jaya, jumlah komposisi sisa pepejal di Malaysia adalah seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1. Pada tahun 1990, EPA telah menganggarkan bahawa sebanyak 1.95 kg/kapita sisa pepejal telah dihasilkan oleh penduduk di Amerika Syarikat sehari berbanding kajian pada tahun 1999 menunjukkan setiap penduduk di Malaysia telah menghasilkan 0.8 sehingga 1.56 kg/kapita sisa pepejal sehari. Pertambahan penduduk di Malaysia dijangka meningkat dengan kadar 2.6% setahun. Kadar penjanaan sisa pepejal juga dilihat akan semakin meningkat dengan pertambahan penduduk serta melibatkan kawasan-kawasan seperti luar bandar, pekan atau pun bandar yang mempunyai kepadatan penduduk yang tinggi.



Sumber : W.A Rahim, 1992

Rajah 1 : Komposisi sisa pepejal di Malaysia.

Di dalam kajian ini, sisa pepejal yang akan digunakan sebagai bahan utama untuk proses pengkomposan ialah sisa taman. Sisa taman (*yard waste/garden waste*) merupakan salah satu komponen sisa pepejal yang terdapat di dalam sisa pepejal perbandaran (*municipal solid waste*). Sisa taman ini biasanya merujuk kepada sisa-sisa yang berasaskan tumbuh-tumbuhan yang terhasil melalui kerja-kerja perkebunan, kerja-kerja pembersihan taman dan kawasan perumahan, lanskap dan sebagainya. Komponen-komponen sisa taman terdiri

daripada daun-daun, dahan-dahan serta ranting-ranting pokok yang terhasil daripada kerja-kerja penebangan dan pemotongan bahagian yang mati atau tidak dikehendaki, rumput, sisa-sisa pertanian seperti sayur-sayuran dan buah-buahan yang busuk dan sebagainya. Sisa taman merupakan sisa yang paling sesuai dan paling mudah digunakan sebagai sumber untuk proses pengkomposan kerana kandungan karbon dan nitrogen yang tinggi di dalamnya.

Proses pengkomposan merupakan salah satu kaedah atau pun alternatif untuk memulihara atau mendapatkan semula sumber yang mempunyai banyak ciri-ciri positif di mana teknologinya boleh diubah suai mengikut situasi atau keadaan setempat. Kompos yang dihasilkan juga merupakan produk akhir yang boleh digunakan semula sebagai bahan penambahbaik tanah atau sebagai baja di kawasan pertanian. Kompos yang dihasilkan juga dijangkakan mengandungi 1% unsur-unsur surih seperti nitrogen, fosforus dan kalium yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman. Hasil sampingan daripada proses pengkomposan ini boleh dilupuskan dengan mudah di tapak-tapak kambus tanah tanpa memberikan kesan negatif kepada persekitaran. Proses pengkomposan adalah mesra alam, bersih dan lazimnya mengandungi bahan toksik yang rendah.

Proses pengkomposan mempunyai definisi yang amat luas. Di antaranya ialah :

- (i) Pengkomposan adalah proses penguraian dan penstabilan bahan-bahan organik secara biologi di bawah keadaan yang boleh menyebabkan peningkatan suhu hasil daripada tindakbalas biologi yang menghasilkan haba yang tinggi dan dapat menghasilkan produk akhir yang stabil, bebas dari patogen dan bermanfaat kepada tanah (Haug, T.R, 1993)
- (ii) Pengkomposan merupakan proses penguraian secara biologi bagi bahan-bahan organik dari sisa perbandaran yang boleh biorosot di bawah keadaan terkawal kepada satu keadaan yang cukup stabil untuk disimpan dan dikendalikan serta bebas gangguan dan selamat digunakan (Golueke & Diaz et al, 1993)

Terdapat pelbagai kaedah yang akan dipraktikkan dalam kajian ini bagi mendapatkan perbandingan dari segi kualiti kompos yang akan dihasilkan. Di antaranya ialah kaedah timbunan statik berudara (*aerated static pile*) dan kaedah mekanikal yang dikenali sebagai kaedah deram berputar (*rotary drum*). Di dalam kaedah timbunan statik berudara pula timbunan yang sama juga dibina sama seperti kaedah tebas susun tetapi tidak dibalik-balikkan secara mekanikal. Perbezaan yang wujud ialah paip-paip penghembus udara dipasang di bawah timbunan sisa taman bagi membenarkan pengaliran udara di dalam ruang-ruang di antara sisa pepejal. Timbunan sisa biasanya akan ditutup dengan lapisan habuk kayu atau kompos matang bagi mencegah masalah bau dan gangguan daripada persekitaran. Sementara itu, kaedah deram berputar pula menggunakan mekanisme pembalikan dan pengadukan sisa-sisa pepejal sama ada secara manual atau pun menggunakan motor bagi menggaul dan mencampur sisa di samping membenarkan percampuran udara berlaku di dalam reaktor.

Sepanjang proses ini berlangsung, pengawalan dan pemantauan parameter fizikal dan kimia adalah penting bagi memastikan kompos yang dihasilkan berkualiti baik. Di antara faktor-faktor fizikal dan kimia yang akan dikaji ialah kandungan lembapan, ketumpatan pukal, suhu, saiz partikel, proses pembalikan, pH dan nisbah C:N. Di samping itu, ujikaji-

ujikaji penentuan kualiti ke atas kompos matang akan dijalankan seperti ujikaji penentuan fosfat, kalium, nitrat, sulfat serta kandungan logam berat seperti Fe, Cu dan Zn.

METODOLOGI KAJIAN

Dalam kajian ini, Tapak Pelupusan Pulau Burung telah dipilih sebagai lokasi untuk proses pengkomposan dijalankan. Pemilik tapak pelupusan telah menyediakan lokasi yang sesuai untuk kedua-dua kaedah pengkomposan dijalankan iaitu kaedah timbunan statik berudara dan kaedah deram berputar. Secara amnya, metodologi kajian boleh digambarkan seperti berikut:

Fasa I : Kajian Literatur

- kajian literatur, ulasan tesis, jurnal dan laporan.
- lawatan ke Tapak Pelupusan Pulau Burung
- mendapatkan data-data berkaitan dengan sisa-sisa pepejal yang dihasilkan serta komposisi sisa pepejal yang dihantar ke tapak pelupusan tersebut.

Fasa II : Pembinaan tapak pengkomposan dan pembinaan *aerated static pile* dan deram berputar

- menentukan tapak yang sesuai sebagai lokasi untuk menjalankan kajian.
- merekabentuk dan membina sistem pengkomposan dan kedua-dua kaedah pengkomposan yang akan digunakan.

Fasa III : Kajian penentuan parameter fizikal dan kimia yang mempengaruhi proses pengkomposan di tapak dan di dalam makmal

- sisa taman yang dihantar ke tapak pelupusan dikelaskan bagi mendapatkan komposisi seperti daun, batang, dahan, ranting serta rumput dan lalang.
- ujikaji awalan dijalankan ke atas sisa taman di tapak dan di makmal bagi menentukan nilai kandungan lembapan, ketumpatan pukal, pH, nisbah C:N, kandungan nitrat, fosfat, sulfat, kalium dan logam berat seperti Fe, Zn dan Cu.
- proses pengecilan saiz sisa taman (20 mm- 30 mm) menggunakan 'shredder'.
- sisa taman yang telah dikecilkan dikompos dengan mencampurkan dengan najis lembu mengikut peratusan yang tertentu menggunakan kedua-dua kaedah iaitu kaedah timbunan statik berudara dan deram berputar.
- pemantauan dan pengawasan perubahan tren parameter fizikal dan kimia seperti nisbah C:N, suhu dan pH sepanjang tempoh pengkomposan sehingga kompos matang.

Fasa IV : Ujikaji penentuan kualiti akhir kompos

- ujikaji penentuan C:N, nitrogen, fosforus, kalium, sulfat dan nitrat
- ujikaji 'fitotoksikan' dan 'ketoksikan logam berat'

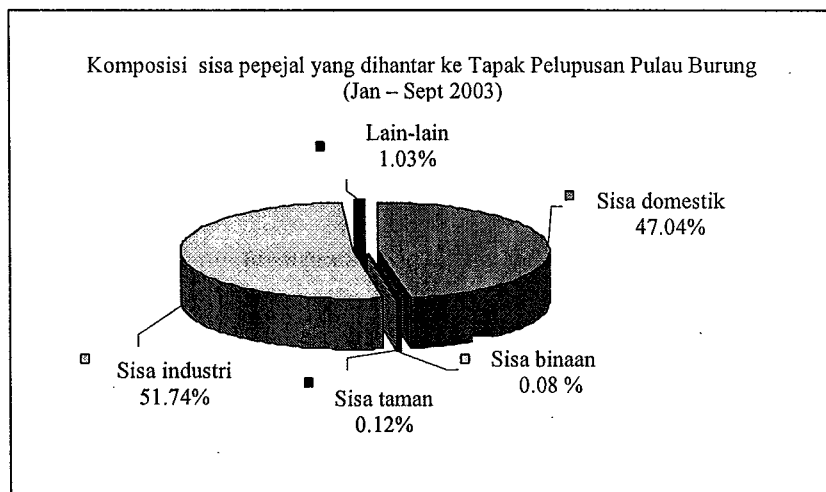
Fasa V : Analisis keputusan

- analisis keputusan
- ulasan eksperimen termasuk eksperimen tambahan yang berkaitan
- penyediaan laporan akhir dan penyediaan kertas teknikal

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Komposisi sisa pepejal di Tapak Pelupusan Pulau Burung

Rajah 2 menunjukkan komposisi sisa pepejal dalam bentuk peratus mengikut berat (%) yang dihantar untuk tujuan pelupusan ke Tapak Pelupusan Pulau Burung yang direkodkan daripada bulan Januari 2003 sehingga September 2003. Sejumlah sisa pepejal berjisim 381,439.31 tan metrik yang terdiri daripada sisa pemusnahan bangunan (*C&D wastes*), sisa-sisa komersial, sisa-sisa domestik, sisa taman, sisa industri dan sebagainya telah dihantar ke tapak pelupusan ini. Kebanyakan sisa domestik dan sisa komersial mengandungi sampah sarap yang bersifat organik dan inorganik yang dijanakan daripada kawasan perumahan dan sektor-sektor komersial. Sementara itu, sisa taman dihasilkan daripada kawasan yang menjalankan aktiviti pertanian, kawasan perumahan hasil daripada kerja gotong royong penduduk serta penebangan pokok yang dijalankan oleh Majlis Perbandaran. Sisa industri pula dihasilkan daripada sektor perindustrian dan perkilangan tidak termasuk sisa-sisa terjadual atau pun yang berbahaya.



Rajah 2: Komposisi sisa pepejal yang dihantar ke Tapak Pelupusan Pulau Burung (Jan-Sept 2003)

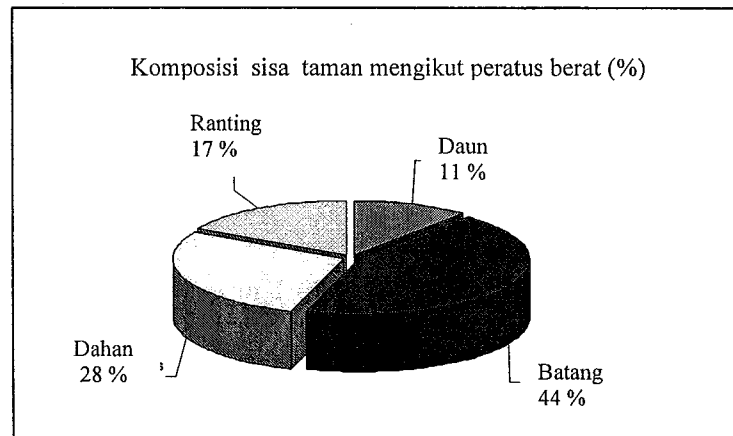
Daripada Rajah 2, dapat diperhatikan bahawa sisa taman yang dihantar ke tapak pelupusan adalah dalam kuantiti yang amat kecil iaitu 459.57 tan metrik atau pun 0.12% daripada jumlah keseluruhan sisa pepejal yang dihantar untuk dilupuskan sepanjang tempoh 9 bulan tersebut. Walaupun sisa taman menyumbangkan peratusan komposisi yang agak kecil, namun ia masih memerlukan ruang untuk dilupuskan di tapak pelupusan. Sebagai alternatif untuk meminimumkan kawasan pelupusan sisa taman, proses pengkomposan merupakan langkah terbaik bagi menukarkannya ke bentuk yang lebih stabil dan selamat ke persekitaran.

Daripada kedua-dua rajah ini juga dapat diperhatikan, sisa industri menyumbangkan peratusan komposisi yang tertinggi iaitu 51.74 % daripada jumlah keseluruhan sisa pepejal yang akan dilupuskan diikuti oleh sisa domestik (47.04 %). Ini adalah kerana Seberang Perai merupakan kawasan perindustrian yang sedang membangun di kawasan utara Semenanjung Malaysia. Kebanyakan sisa industri dihasilkan daripada sektor

perindustrian dan perkilangan yang mana ia menyumbangkan pecahan yang terbesar bagi sisa pepejal yang dihantar ke tapak pelupusan.

Penentuan komposisi sisa taman di Tapak Pelupusan Pulau Burung

Dalam kajian ini, sebelum proses pengkomposan dijalankan adalah penting untuk mengetahui komposisi sesuatu sisa taman yang biasanya terdiri daripada daun, batang, dahan, ranting serta rumput dan lalang. Di dalam pengurusan sisa pepejal adalah penting untuk mengetahui dan meramalkan komposisi sisa yang dikumpul sama ada pada masa sekarang atau akan datang. Teknik yang dikenali sebagai 'Quartering Method' telah digunakan untuk mendapatkan setiap komponen dalam sisa taman tersebut.



Rajah 3: Komposisi sisa taman mengikut peratus berat (%)

Daripada Rajah 3, dapat diperhatikan bahawa komponen batang memberikan peratusan yang tertinggi di dalam sisa taman iaitu sebanyak 44 % diikuti oleh dahan (28 %), ranting (17 %) dan daun (11 %). Semasa kajian komposisi ini dijalankan sisa taman yang dihantar adalah terdiri daripada bahagian pokok yang dipotong sahaja. Jadi komponen seperti rumput dan lalang tidak dapat ditentukan kuantitinya sama ada dari segi jisim sebenar mahu pun peratusan menurut jisim. Di dalam proses pengkomposan, hanya bahagian tertentu sahaja yang dipilih untuk dilakukan proses pengkomposan iaitu daun dan ranting. Ini adalah kerana bahagian seperti batang dan dahan mengandungi kandungan lignin dan selulosa yang tinggi yang akan menyebabkan proses ini berlaku dengan perlahan kerana bahagian ini sukar diuraikan oleh bakteria yang terlibat di dalam proses pengkomposan.

Penentuan parameter fizikal dan kimia di tapak dan di makmal di dalam sisa taman.

Kajian ke atas sampel sisa taman telah dijalankan bagi menentukan parameter fizikal dan kimia awalan sebelum sisa tersebut dikompos. Di antara parameter yang dikaji ialah kandungan lembapan, ketumpatan pukal, taburan saiz, pH, nisbah C:N, kandungan nitrat, fosfat dan logam berat seperti Zn dan Cu. Jadual 1 menunjukkan parameter-parameter awalan yang telah dikaji ke atas sampel sisa taman.

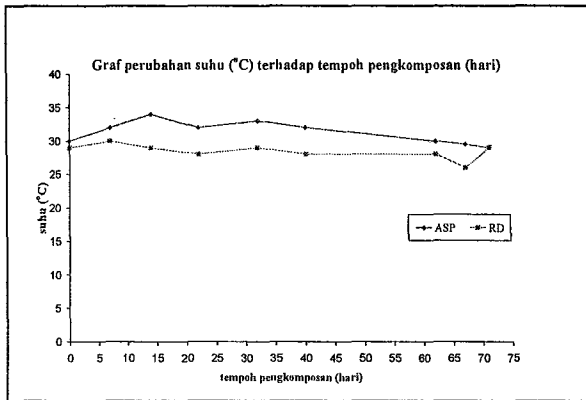
Jadual 1 : Parameter fizikal dan kimia yang telah dikaji ke atas sampel sisa taman.

Parameter fizikal/kimia	Nilai				
	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 2	Sampel 2	Sampel 2
Kandungan lembapan (%)	54.5 %	10.8	4.32	26.23	45.44
Taburan saiz (cm)	150-260 cm 1.5-7.5cm (diameter)	100-130 cm 1.5-8.0 cm(diameter)	20-180 cm 1.5-18 cm (diameter)	17-220 cm 1.8-10 cm (diameter)	22.5-137 cm 5.0-11 cm (diameter)
Ketumpatan pukal (kg/m ³)	100	100	100	50	50
pH	5.20	5.65	5.26	4.72	5.61
Nisbah C:N	44 :1	62:1	16:1	110:1	295:1
Nitrat (mg/g)	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0
Fosfat (mg/g)	0.005	0.04	0.003	52.5	0.0
Zn (mg/g)	0.38	0.37	0.32	6.0	0.37
Fe (mg/g)	0.468	2.72	36.5	3.5	0.7

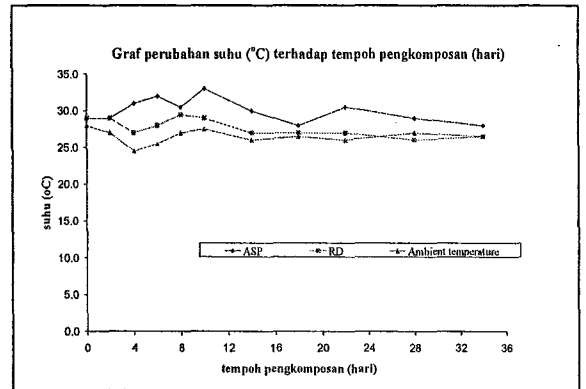
Daripada Jadual 1 dapat diperhatikan bahawa setiap parameter fizikal dan kimia dapat ditentukan di tapak dan juga di makmal. Kandungan lembapan paling tinggi di dalam sampel 1 iaitu 54.5 % berbanding kandungan lembapan terendah di dalam sampel 3 iaitu 4.32 %. Sementara itu, taburan saiz sisa taman ialah di antara 20-260 cm (panjang) dan 1.5-18 cm (diameter) bagi kesemua sampel. Ujian penentuan kandungan logam berat (Fe dan Zn) menunjukkan kandungan logam Fe adalah paling tinggi di dalam sampel 3 iaitu 36.5 mg/g manakala kandungan Fe adalah paling rendah di dalam sampel 1 iaitu 0.468 mg/g. Sementara ini, kandungan logam Zn adalah paling tinggi di dalam sampel 4 iaitu 6.0 mg/g manakala kandungan Zn adalah paling rendah di dalam sampel 3 iaitu 0.32 mg/g. Hasil daripada ujikaji di makmal juga menunjukkan kandungan nitrat, fosfat dan sulfat juga adalah rendah di dalam sisa taman.

Penentuan parameter fizikal dan kimia di dalam proses pengkomposan.

Di dalam kajian ini, 3 jenis sampel akan disediakan bagi tujuan penentuan parameter fizikal dan kimia. Komposisi campuran adalah terdiri daripada 90% sisa taman dan 10% najis lembu, 70% sisa taman dan 30% najis lembu, 60% sisa taman dan 40 % najis lembu serta 50% sisa taman dan 50% najis lembu. Walau bagaimanapun, kertas kerja ini akan membincangkan mengenai 2 komposisi campuran yang telah siap dan sedang dikaji iaitu campuran 90% sisa taman dan 10% najis lembu serta 50% sisa taman dan 50% najis lembu. Penambahan najis lembu ini bertujuan untuk meningkatkan kandungan nitrogen di dalam campuran supaya nisbah C:N yang optimum diperolehi di dalam setiap sampel. Di antara parameter yang dikaji ialah kandungan lembapan, ketumpatan pukal, pH, nisbah C:N, kandungan nitrat, fosfat dan logam berat seperti Zn dan Cu.

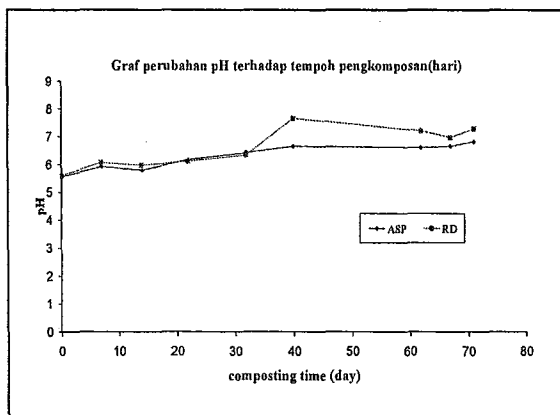


Rajah 4: Graf perubahan suhu terhadap tempoh pengkomposan bagi campuran 1 (90% sisa taman, 10% najis lembu)

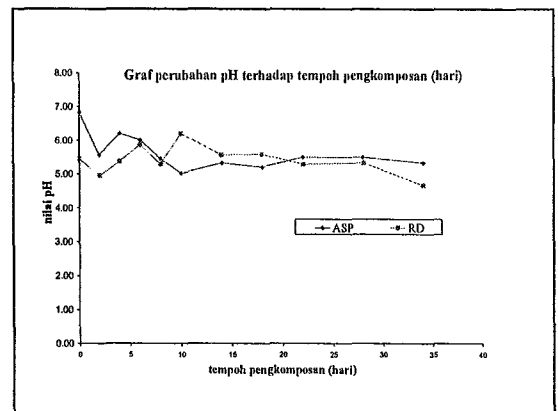


Rajah 5: Graf perubahan suhu terhadap tempoh pengkomposan bagi campuran 2 (50% sisa taman, 50% najis lembu)

Haba akan terhasil semasa proses pengkomposan berlangsung. Ini adalah kerana berlakunya tindak balas eksotermik dan juga proses pernafasan mikroorganisma secara aktif di dalam timbunan dan reaktor pengkomposan (Tchobanoglous, 1993). Proses pengkomposan yang bersifat aerobik ini biasanya berlaku di dalam dua fasa iaitu termofilik ($55-60^{\circ}\text{C}$) dan mesofilik ($30-38^{\circ}\text{C}$). Penurunan suhu juga merupakan salah satu cara untuk menunjukkan bahawa sisa taman yang dikompos telah menjadi stabil dan telah diuraikan sepenuhnya oleh mikroorganisma (Diaz et.al, 1993). Daripada Rajah 4, proses pengkomposan berlaku di dalam fasa mesofilik pada suhu di antara $29-34^{\circ}\text{C}$ (kaedah timbunan statik berudara-ASP) manakala bagi kaedah deram berputar (RD), fasa mesofilik turut dicapai iaitu di antara $26-30^{\circ}\text{C}$. Rajah 5 juga menunjukkan bahawa kedua-dua kaedah ini turut berlaku di dalam fasa mesofilik.



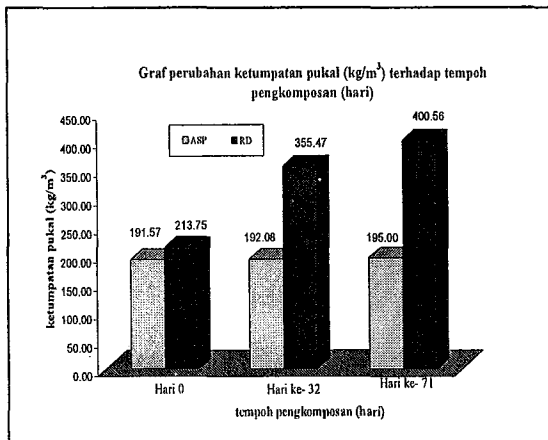
Rajah 6: Graf perubahan pH terhadap tempoh pengkomposan bagi campuran 1 (90% sisa taman, 10% najis lembu)



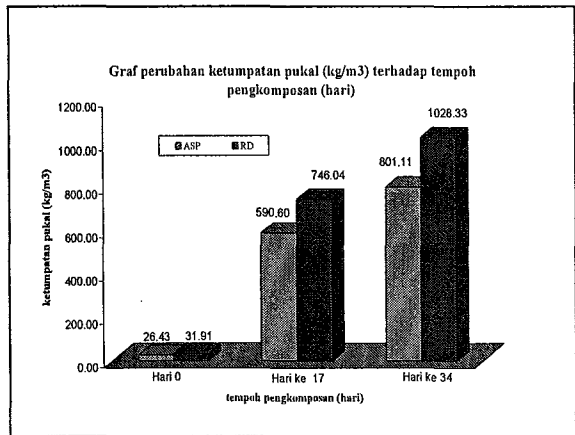
Rajah 7: Graf perubahan pH terhadap tempoh pengkomposan bagi campuran 2 (50% sisa taman, 50% najis lembu)

pH optimum bagi membolehkan aktiviti mikroorganisma berlaku ialah di antara 6.5 – 7.5. Proses pengkomposan akan berlaku dengan lebih cepat apabila pH adalah neutral atau pun menghampiri neutral. Parameter ini merupakan salah satu parameter untuk memastikan bahawa sisa taman tersebut telah stabil atau pun telah mengalami penguraian sepenuhnya di bawah keadaan aerobik (Tchobanoglous, 1993). Daripada Rajah 6 dan 7 didapati kedua-

dua jenis campuran adalah agak berasid pada peringkat awal proses pengkomposan. Ini adalah kerana bahan yang digunakan semasa memulakan proses pengkomposan adalah bersifat asid iaitu najis lembu (pH 1.43) dan sisa taman (pH 6.36) di dalam campuran 1 manakala di dalam campuran 2, pH najis lembu ialah 3.85 dan pH 5.86 bagi sisa taman. Walau bagaimanapun selepas proses pengkomposan tamat, campuran 1 telah mencapai pH neutral manakala campuran 2 bersifat sedikit berasid. Keadaan ini adalah disebabkan oleh aktiviti mikroorganisma yang menghasilkan sebatian organik yang bersifat asid secara semulajadi (Prue William, 1996).

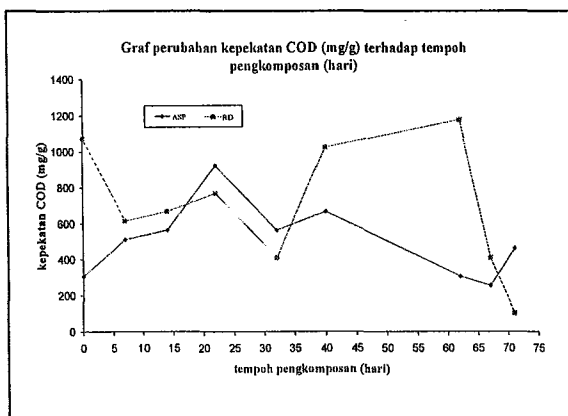


Rajah 8: Graf perubahan ketumpatan pukal (kg/m^3) terhadap tempoh pengkomposan bagi campuran 1 (90% sisa taman, 10% najis lembu)

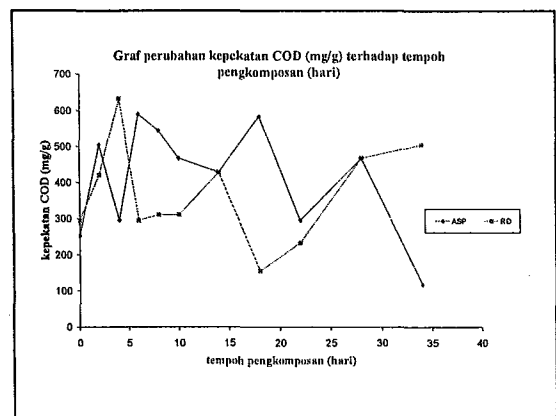


Rajah 9: Graf perubahan ketumpatan pukal (kg/m^3) terhadap tempoh pengkomposan bagi campuran 2 (50% sisa taman, 50% najis lembu)

Penentuan ketumpatan dilakukan dengan menimbang setiap komposisi yang telah diasingkan di dalam bekas yang diketahui isipadunya. Ketumpatan secara umumnya boleh didefinisikan sebagai berat per isipadu. Rajah 8 dan 9 menunjukkan tren peningkatan ketumpatan pukal sehingga ke akhir proses. Di dalam campuran 2 umpamanya, ketumpatan pukal telah meningkat sebanyak 96.9% (kaedah RD) manakala 96.7% menggunakan kaedah timbunan statik berudara (kaedah ASP). Ini adalah disebabkan berlakunya kehilangan isipadu kepada sisa taman yang dikompos.

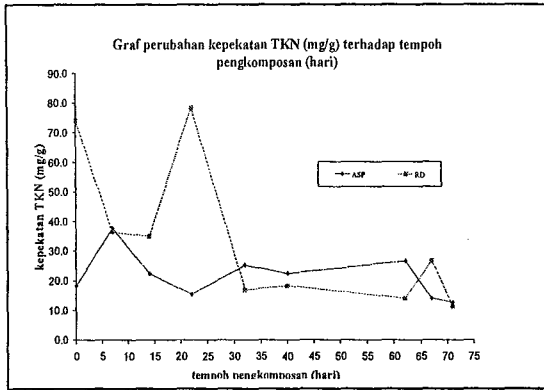


Rajah 10 : Graf perubahan kepekatan COD (mg/g) terhadap tempoh pengkomposan bagi campuran 1 (90% sisa taman, 10% najis lembu)

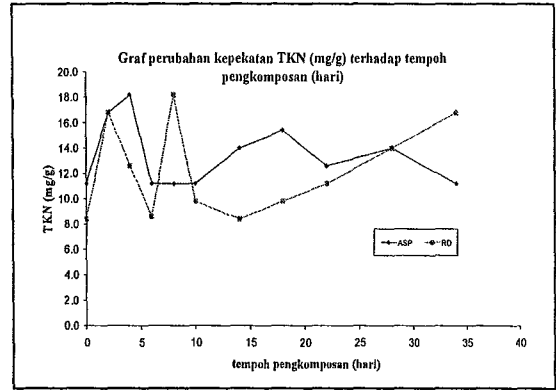


Rajah 11: Graf perubahan kepekatan COD (mg/g) terhadap tempoh pengkomposan bagi campuran 2 (50% sisa taman, 50% najis lembu)

Ujian Keperluan Oksigen Kimia (COD) bertujuan untuk mendapatkan kandungan karbon di dalam sisa taman yang dikompos. Parameter ini juga boleh membantu untuk menunjukkan darjah kestabilan sisa yang dikompos (Tchobanoglous, 1993). Daripada Rajah 10 dan 11, didapati tren turun-naik berlaku di dalam perubahan kepekatan COD. Bagi campuran 1, kepekatan COD yang diperolehi berada di dalam julat 256-922 mg/g (kaedah ASP) manakala 102 -1178 mg/g (kaedah RD). Sementara itu di dalam campuran 2, kepekatan COD yang diperolehi berada di dalam julat 117-589 mg/g (kaedah ASP) manakala 233-505 mg/g (kaedah RD).

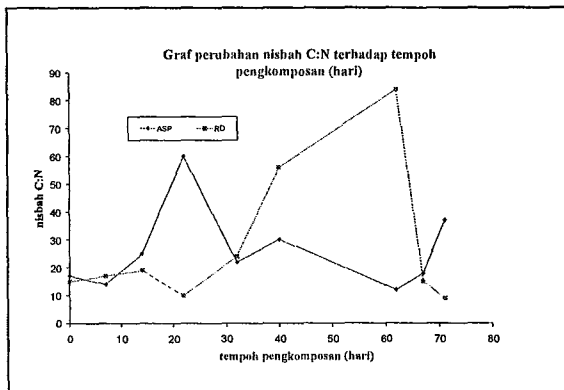


Rajah 12 : Graf perubahan kepekatan TKN (mg/g) terhadap tempoh pengkomposan bagi campuran 1 (90% sisa taman, 10% najis lembu)

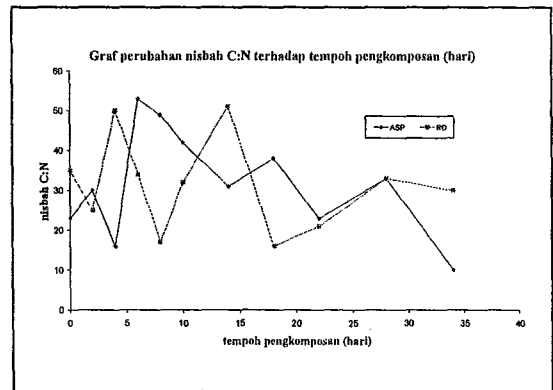


Rajah 13: Graf perubahan kepekatan TKN (mg/g) terhadap tempoh pengkomposan bagi campuran 2 (50% sisa taman, 50% najis lembu)

Ujian Total Kjeldhal Nitrogen (TKN) bertujuan untuk mendapatkan kandungan nitrogen di dalam sisa taman yang dikompos. Daripada Rajah 10 dan 11, didapati tren turun-naik berlaku di dalam perubahan kepekatan TKN. Bagi campuran 1, kepekatan TKN yang diperolehi berada di dalam julat 12.6-37.8 mg/g (kaedah ASP) manakala 11.2-74.2 mg/g (kaedah RD). Sementara itu di dalam campuran 2, kepekatan TKN yang diperolehi berada di dalam julat 11.2-18.2 mg/g (kaedah ASP) manakala 8.4-18.2 mg/g (kaedah RD).

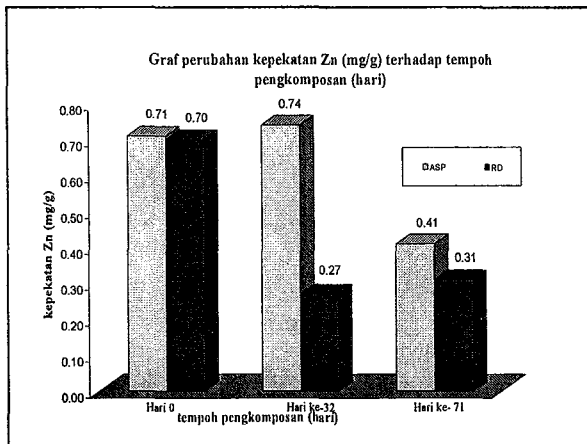


Rajah 14 : Graf perubahan nisbah C:N terhadap tempoh pengkomposan bagi campuran 1 (90% sisa taman, 10% najis lembu)

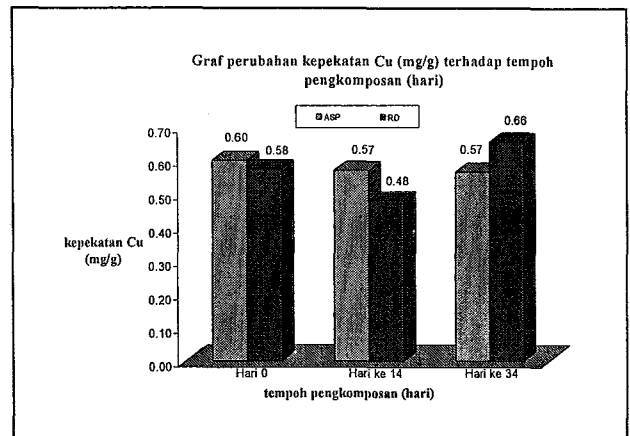


Rajah 15: Graf perubahan nisbah C:N terhadap tempoh pengkomposan bagi campuran 2 (50% sisa taman, 50% najis lembu)

Nisbah C:N amat mempengaruhi proses pengkomposan. Ini adalah kerana jika nisbah C:N adalah tinggi iaitu nilai karbon lebih besar daripada nitrogen, maka proses penguraian akan berlaku secara perlahan. Namun begitu, sekiranya nisbah C:N adalah rendah di mana kandungan nitrogennya tinggi maka nitrogen akan hilang ke atmosfera kerana ia telah bertukar kepada gas ammonia. Nisbah optimum C:N ialah (25-30:1)(Prue Williams, 1996). Daripada Rajah 14 didapati julat nisbah C:N ialah di antara 12:1 – 37:1(kaedah ASP) manakala nisbah C:N bagi kaedah deram berputar ialah 10:1 - 84:1. Sementara itu, daripada Rajah 15 didapati julat nisbah C:N ialah di antara 10:1 – 53:1(kaedah ASP) manakala nisbah C:N bagi kaedah deram berputar ialah 17:1 - 51:1. Jika nisbah C:N yang diperolehi terlalu tinggi atau terlalu rendah daripada nilai optimum maka bahan-bahan yang akan dikompos perlulah dicampur dengan bahan yang sesuai bagi mendapatkan nilai optimum yang dikehendaki.

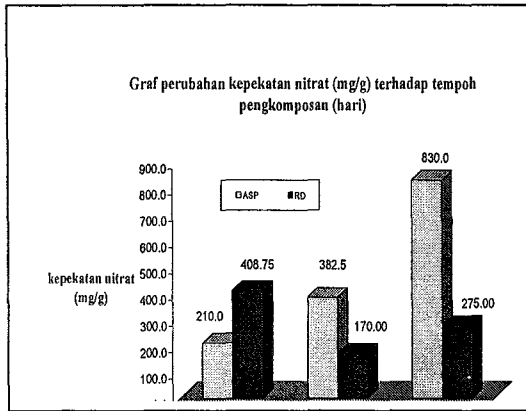


Rajah 16 : Graf perubahan kepekatan Zn (mg/g) terhadap tempoh pengkomposan bagi campuran 1 (90% sisa taman,10% najis lembu)

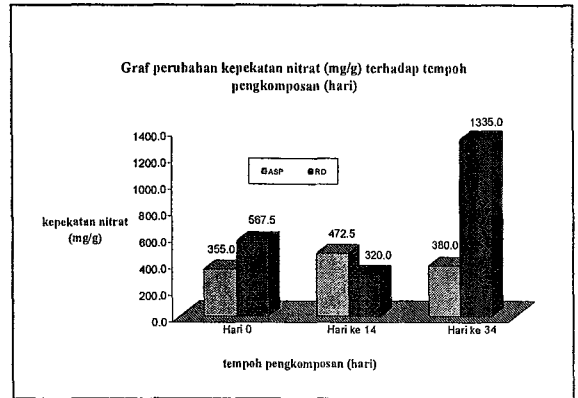


Rajah 17 : Graf perubahan kepekatan Cu (mg/g) terhadap tempoh pengkomposan bagi campuran 2 (50% sisa taman,50% najis lembu)

Kandungan logam berat yang biasa ditemui di dalam sisa taman ialah Zn, Cu, Fe,Pb, Cd dan lain-lain lagi. Mikroorganisma biasanya memerlukan logam berat dalam kuantiti yang amat kecil sebagai makanan tambahan bagi membolehkan proses metabolisme berlaku. Rajah 16 menunjukkan pengurangan kepekatan logam Zn selepas proses pengkomposan berlaku di dalam campuran 1. Didapati kepekatan logam Zn telah berkurang sebanyak 42.3% selepas hari ke 71 dengan menggunakan kaedah ASP. Manakala dengan menggunakan kaedah deram berputar, kepekatan logam Zn di dalam kompos telah berkurang sebanyak 56.3%. Di dalam Rajah 17, didapati kepekatan logam Cu telah berkurang daripada 0.60 mg/g kepada 0.57 mg/g selepas 2 minggu proses pengkomposan berlangsung dengan menggunakan kaedah ASP walau bagaimanapun kekal sehingga hari ke 34 dengan kepekatan yang sama. Sementara itu, di dalam kaedah RD pula, kepekatan logam Cu telah berkurang daripada 0.58 mg/g kepada 0.48 mg/g dua minggu selepas itu dan meningkat sedikit kepada 0.66 mg/g pada hari ke 34. Keadaan ini berlaku biasanya dikaitkan dengan perubahan suhu, pH dan mobiliti logam tersebut di dalam kompos (Adrian et al,2002).

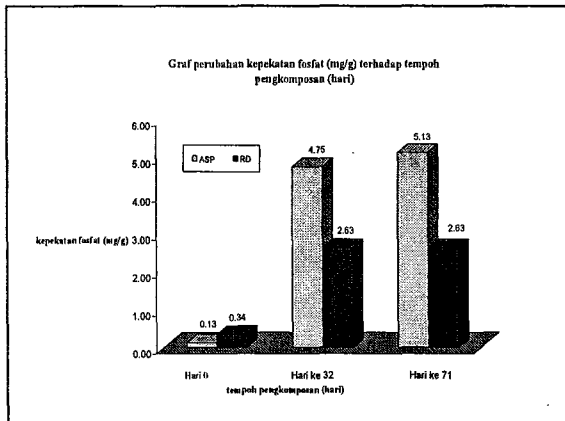


Rajah 18 : Graf perubahan kepekatan nitrat (mg/g) terhadap tempoh pengkomposan bagi campuran 1 (90% sisa taman, 10% najis lembu)

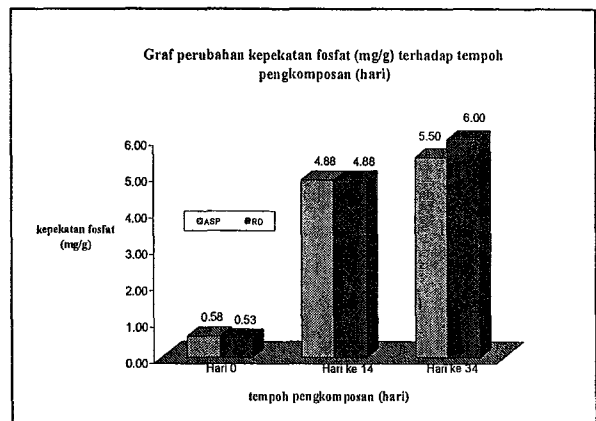


Rajah 19 : Graf perubahan kepekatan nitrat (mg/g) terhadap tempoh pengkomposan bagi campuran 2 (50% sisa taman, 50% najis lembu)

Kompos yang dihasilkan juga dijangkakan mengandungi 1% kandungan nitrat yang amat berguna di dalam tumbesaran tanaman. Daripada Rajah 18 dan 19, didapati kandungan nitrat semakin meningkat di dalam kompos yang dihasilkan. Peningkatan ini adalah berkait rapat dengan proses nitrifikasi yang berlaku ke atas ammonia di mana kandungan nitrat yang tinggi dihasilkan di akhir proses pengkomposan.



Rajah 20 : Graf perubahan kepekatan fosfat (mg/g) terhadap tempoh pengkomposan bagi campuran 1 (90% sisa taman, 10% najis lembu)



Rajah 21 : Graf perubahan kepekatan fosfat (mg/g) terhadap tempoh pengkomposan bagi campuran 2 (50% sisa taman, 50% najis lembu)

Sama seperti kandungan nitrat, kompos yang dihasilkan juga dijangkakan mengandungi 1% kandungan fosfat yang amat berguna di dalam tumbesaran tanaman. Daripada Rajah 20 dan 21, didapati kandungan fosfat juga semakin meningkat di dalam kompos yang dihasilkan. Didapati kandungan fosfat ini meningkat sebanyak 89.5% di akhir proses pengkomposan bagi campuran 2 yang menggunakan kaedah ASP manakala peningkatan sebanyak 91.3% di dalam kompos yang dihasilkan di dalam deram berputar.

Di dalam kajian ini juga, parameter seperti peratus kandungan lembapan dan saiz sisa taman turut ditetapkan. Kandungan lembapan telah ditetapkan di antara 50-60 % sebagai kandungan lembapan optimum. Julat optimum ini amat penting kerana nutrien yang diperlukan oleh mikroorganisma mesti larut di dalam air sebelum boleh diserap. Sementara itu, saiz sisa taman yang dikompos adalah di antara 2.5-5.0 cm (Cornwell.D, 1998). Saiz sisa taman yang sesuai adalah perlu untuk menghasilkan luas permukaan yang optimum bagi tindakbalas mikroorganisma. Proses pengecilan saiz dilakukan dengan menggunakan *shredder* yang disediakan oleh pihak tapak pelupusan.

KESIMPULAN

Daripada kajian awalan yang telah dijalankan, dapat disimpulkan bahawa proses penentuan komposisi sisa pepejal adalah amat penting bagi menentukan jenis peralatan, sistem dan program pengurusan serta perancangan untuk menanganinya pada masa kini dan akan datang. Sebagai contoh, proses pengkomposan adalah alternatif terbaik untuk meminimumkan isipadu sisa taman yang dihantar ke tapak pelupusan di samping menjadikan bahan organik biorosot kepada bahan yang lebih stabil dan selamat untuk dibuang ke persekitaran. Kajian komposisi yang dijalankan ke atas sisa taman juga dapat membantu menentukan kuantiti sebenar setiap komponen sebelum proses pengkomposan dijalankan. Di samping itu, ujikaji awalan ke atas sampel seperti kandungan lembapan, ketumpatan pukal, pH, suhu dan nisbah C:N juga penting bagi menentukan tren perubahan parameter fizikal dan kimia sepanjang proses pengkomposan berlangsung. Daripada kajian yang telah dijalankan setakat ini (kajian ke atas dua campuran yang berbeza), didapati proses pengkomposan mampu mengurangkan kandungan logam berat seperti Zn dan Cu di dalam kompos yang dihasilkan, meningkatkan kandungan nitrat dan fosfat yang berguna sebagai baja tanaman serta dapat meminimumkan pembuangan sisa taman di tapak pelupusan sampah.

RUJUKAN

- Agamuthu.P (2001) 'Solid Waste : Principles and Management', University of Malaya Press.
- Cornwell.D, (1998) ' Introduction to Environmental Engineering', Mc Graw Hill.
- Diaz,L.F, Savage,G.M, Eggerth,L.L, Golueke, C.G (1993)' Composting and Recycling Municipal Solid Waste', Lewis Publishers.
- Faridah A.H.A, Dini R.H.B(1997) 'Modul Pengurusan Sisa Pepejal dan EIA', Pusat Pengajian Kejuruteraan Awam, Universiti Sains Malaysia.
- Hasmanie,A.H (2003) ' A Study of Construction and Demolition Waste in Seberang Perai', Pusat Pengajian Kejuruteraan Awam, Universiti Sains Malaysia.
- Jaafar.A (2001) 'Proses Pengkomposan Bahan-bahan Organik dari Aliran Sisa Pepejal Domestik dengan Menggunakan Reaktor Aerobik', Pusat Pengajian Kejuruteraan Awam, Universiti Sains Malaysia.

ABSTRAK

Pengurusan sisa taman seringkali tidak diberi perhatian dan keutamaan oleh pelbagai pihak jika dibandingkan dengan sisa-sisa pepejal yang lain. Data-data dan kajian mengenai komposisi, ciri-ciri fizikal dan kimia mengenai sisa taman juga adalah berkurangan. Kebanyakan buku-buku rujukan dan jurnal yang menerangkan sisa pepejal lebih banyak menumpukan kepada sisa pepejal perbandaran berbanding sisa taman. Oleh yang demikian kajian mengenai komposisi sisa taman ini dapat membuka lembaran baru agar lebih banyak kajian mengenai sisa taman dapat dilakukan di masa hadapan. Kajian mengenai komposisi sisa taman ini dilakukan di Tapak Pelupusan Pulau Burung. Komposisi fizikal sisa taman adalah penting kerana parameter-parameter fizikal dan kimia yang didapati sesuai boleh digunakan sebagai rujukan bagi tujuan pengkomposan. Antara parameter-parameter fizikal yang dikaji adalah seperti taburan saiz, ketumpatan dan kandungan lembapan. Bagi parameter-parameter kimia yang dikaji pula adalah seperti nilai pH, nisbah karbon kepada nitrogen (C:N), kandungan logam berat dan kandungan tenaga. Pensampelan terhadap sisa taman dilakukan sebanyak lima kali pada tarikh-tarikh yang berbeza. Setiap pensampelan perlu melalui kaedah pensukuan sebelum diasingkan mengikut komposisi. Kemudian sebahagian daripada sampel akan dibawa pulang ke makmal bagi tujuan ujikaji-ujikaji makmal. Daripada keputusan yang diperolehi, secara puratanya nilai-nilai bagi parameter fizikal dan kimia didapati berada di dalam julat yang dibenarkan seperti diperolehi oleh pengkaji-pengkaji yang lain.

ABSTRACT

Yard waste management has never been given much attention and priority when compared to other kind of solid wastes. Data and research on yard waste composition, physical and chemical characteristic are also hard to found. Most of the references and journal on solid waste are more focused on municipal solid waste in general compared to yard waste. This study on yard waste composition was carried out at Tapak Pelupusan Pulau Burung. The physical compositions of yard waste are important because the physical and chemical parameters that are suitable for composting will be known. The physical parameters tested are size, density and moisture content. Also tested are the chemistry parameters which are pH, C:N ratio, heavy metals and energy contents. The sampling for yard waste was carried out for five times at different dates. Each sampling a quartering method was done before the sorting process begins. Then, a partial of the samples will be brought back to the laboratory at School of Civil Engineering for laboratory analysis. From the results, the average values for physical and chemical parameters are found to be in the range quoted by other researchers.

ABSTRAK

Pengurusan sisa pepejal yang sistematik dan berkesan amat penting bagi memastikan ia tidak membawa kesan negatif kepada alam sekitar, manusia dan hidupan lain di bumi ini. Pengetahuan mengenai ciri-ciri kimia dan fizikal merupakan salah satu perkara penting bagi memastikan sisa pepejal diurus dengan sempurna. Oleh itu, kajian ini telah dijalankan untuk memperolehi ciri-ciri sisa pepejal perbandaran (SPP) di Tapak Pelupusan Pulau Burung, Nibong Tebal, Pulau Pinang. Antara parameter-parameter fizikal yang terlibat ialah kandungan lembapan, saiz dan ketumpatan manakala parameter-parameter kimia yang terlibat pula adalah nilai pH, nisbah karbon kepada nitrogen (C:N), logam berat dan kandungan tenaga. Sebanyak lima (5) sampel SPP ini telah diambil di Tapak Pelupusan Pulau Burung. Setiap sampel diambil pada hari yang berlainan dan sebahagian daripada setiap sampel akan dibawa pulang untuk dijalankan ujian-ujian makmal. Keputusan dari kajian menunjukkan parameter-parameter fizikal dan kimia yang dikaji secara puratanya adalah dalam julat yang disyorkan oleh beberapa buah buku rujukan. Dengan itu diharapkan laporan ini dapat menjadi bahan rujukan pada masa kini dan akan datang oleh para pelajar mahupun pihak pengurusan tapak-tapak pelupusan di Malaysia.

ABSTRACT

Systematic and effective solid waste management are important to ensure that it will not give a negative effect to the environment, man and other living things on the earth. The knowledge on chemical and physical characteristics are important to make sure solid waste is well managed. Therefore, this research was carried out to determine the characteristic of Municipal Solid Waste (MSW) in Tapak Pelupusan Pulau Burung, Nibong Tebal, Pulau Pinang. The main physical parameters that is in research are moisture content, size and density while the chemical parameters are pH, carbon to nitrogen ratio (C:N), heavy metal contents and energy content. Five (5) samples of MSW was taken from Tapak Pelupusan Pulau Burung. Every sample was taken on a different day and some each sample was taken for laboratory testing. The result from the research shows that most of the physical and chemical parameters are in acceptable ranges as with references material. It is hope that this report will be used as a reference to the students and landfill operators in Malaysia.

