

TA/TL/2012/0409

TUGAS AKHIR

**ANALISA TIMBULAN LOGAM BERAT, (Pb DAN Cd)
PADA LINDI BERBAGAI UMUR SAMPAH
PERKOTAAN DENGAN MENGGUNAKAN KOLOM
LANDFILL PARALEL**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Lingkungan**



AGUNG SULISTYONO

07513032

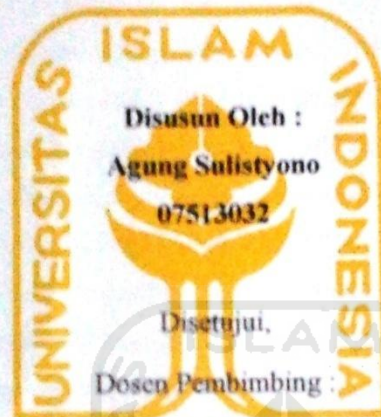
**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

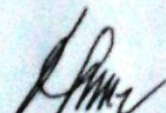
2011

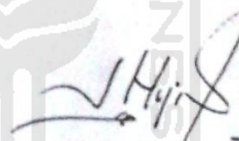
TUGAS AKHIR

ANALISA TIMBULAN LOGAM BERAT, (Pb DAN Cd) PADA LINDI
BERBAGAI UMUR SAMPAH PERKOTAAN DENGAN MENGGUNAKAN
KOLOM LANDFILL PARALEL.

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Lingkungan

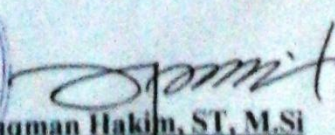



Ir. Kasam, MT
Tanggal : 27-12-2011


Hijrah Purnama Putra, ST, M.Eng
Tanggal : 5/01 2012

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Lingkungan FTSP UII




Luqman Hakim, ST, M.Si
Tanggal : 5/1 2012

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia. (*apabila menggunakan software khusus*)
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 2 Januari 2012

Yang membuat pernyataan,



AGUNG SULISTYONO

NIM : 07513032

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Segala puji dan syukur kami panjatkan kepada Allah SWT. Dengan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Analisa Timbulan Logam Berat, (Pb Dan Cd) Pada Lindi Berbagai Umur Sampah Perkotaan Dengan Menggunakan Kolom Landfill Paralel”. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW beserta seluruh keluarga dan sahabatnya.

Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh untuk dapat menyelesaikan Program Sarjana Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Dalam penyusunan tugas akhir ini, tidak lepas dari motivasi dan bimbingan dari berbagai pihak sehingga penyusun mengucapkan banyak terima kasih dan penghargaan yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Kedua orang tuaku yang mendukung baik secara moril dan materil.
2. Bapak Luqman Hakim, ST, Msi selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. H. Kasam, MT selaku dosen pembimbing I atas arahan dan bimbingannya serta koreksi selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Hijrah Purnama Putra, ST, M.Eng selaku dosen pembimbing II, Terimakasih atas bimbingan dan arahnya yang diberikan selama ini dan mohon maaf atas segala khilaf dan kesalahan, semoga Allah SWT membalas semuanya dengan yang lebih mulia.
5. Seluruh dosen Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia dan tak lupa ucapan terima kasih kepada Mas Agus Adi Prananto yang sangat membantu dalam urusan administrasi.

6. Bapak Tasyono dan Mas Iwan Ardiyanta yang telah membantu dan membimbing penyusun dalam pelaksanaan tugas akhir di Laboratorium.
7. Saudara dan saudariku Keluarga Besar Mahasiswa Jurusan Teknik Lingkungan yang telah memberikan dukungannya.
8. Teman-teman seperjuangan angkatan 2007 atas apa yang telah dilewati bersama baik dalam perkuliahan ataupun kegiatan yang pernah dilakukan bersama.
9. Semua pihak yang telah membantu penyusun dan berperan dalam tugas akhir ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penyusun menyadari dalam penyusunan laporan ini masih jauh dari kesempurnaan, namun kami berharap semoga tulisan ini dapat bermanfaat dan memperkaya khasanah ilmu pengetahuan, khususnya di bidang Teknik Lingkungan.

Semoga apa yang penyusun sampaikan dalam laporan ini dapat berguna bagi penulis, rekan-rekan mahasiswa maupun siapa saja yang membutuhkannya.

Wassalamualaikum. Wr.Wb.

Yogyakarta, 2 Januari 2012

Penyusun

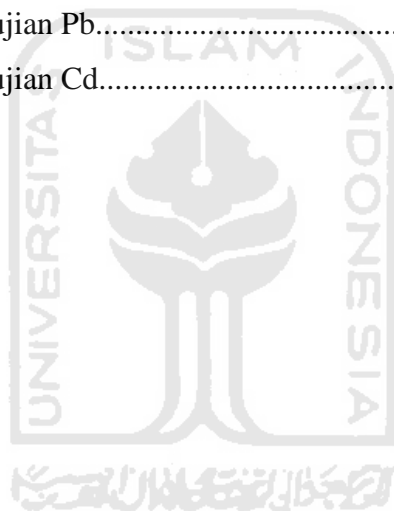
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGESAHAN.....	i
HALAMAN PERNYATAAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
ABSTRAKSI.....	x
ABSTRACT.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pengertian Sampah.....	6
2.1.1 Jenis Sampah.....	8
2.1.2 Karakteristik Sampah.....	8
2.1.3 Komposisi Sampah.....	10
2.1.4 Laju Timbulan Sampah.....	11
2.1.5 Pengolahan Sampah.....	11
2.2 Tempat Pemrosesan Akhir/TPA (<i>Landfill</i>)	13
2.2.1 Dekomposisi Sampah dalam <i>Landfill</i>	15
2.2.2 Proses Terjadinya Lindi.....	17
2.2.3 Karakteristik Kuantitas dan Kualitas Lindi.....	19
2.3 Logam Berat.....	24
2.3.1 Kelarutan Logam.....	25

2.3.2	Timbal (Pb)	25
2.3.3	Kadmium (Cd)	27
2.3.4	Logam Berat Pada Landfill.....	27
BAB III METODE PENELITIAN		
3.1	Jenis Penelitian.....	31
3.2	Lokasi Penelitian.....	31
3.3	Waktu Penelitian.....	31
3.4	Alat dan Bahan Penelitian.....	31
3.4.1	Bahan-bahan penelitian.....	31
3.4.2	Alat- alat Penelitian.....	33
3.5	Metode Pengumpulan Data.....	33
3.5.1	Metode Pengukuran.....	33
3.5.2	Pengambilan sampel Sampah.....	33
3.5.3	Persiapan & Perlakuan Sampel Sampah.....	34
3.6	Pengujian laboratorium.....	35
3.7	Diagram Alir Penelitian.....	36
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		
4.1	Pengujian Karakteristik Sampel Sampah.....	37
4.1.2	Karakteristik fisik Sampel Sampah.....	37
4.1.3	Komposisi Sampel Sampah.....	38
4.2	Hasil Pengujian Sampel Lindi (Leachete)	40
4.2.1	Hasil Pengujian Kuantitas Lindi (Leachete)	40
4.2.2	Pengukuran pH pada Lindi.....	44
4.2.3	Hasil Pengujian Timbal (Pb)	47
4.2.4	Hasil Pengujian Kadmium (Cd)	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan.....	53
5.2	Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Data rentang kualitas lindi di luar negeri.....	21
Tabel 2.2	Kualitas air lindi di TPA Piyungan.....	22
Tabel 3.1	Variasi umur sampah setiap kolom landfill.....	33
Tabel 3.2	Standar pengujian.....	34
Tabel 4.1	Karakteristik fisik sampel sampah.....	36
Tabel 4.2	Komposisi sampel sampah.....	38
Tabel 4.3	Perbedaan penambahan air dan volume lindi tertampung.....	39
Tabel 4.4	Hasil pengujian pH.....	43
Tabel 4.5	Hasil pengujian Pb.....	46
Tabel 4.6	Hasil pengujian Cd.....	49



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema sel dalam lahan urug	14
Gambar 2.2	Tahapan proses degradasi sampah di TPA	16
Gambar 2.3	Skema terjadinya lindi	17
Gambar 2.4	Skema aliran air melalui celah (pori) pada sampah perkotaan	18
Gambar 2.5	Kualitas lindi dengan fase yang terjadi	20
Gambar 3.1	Desain kolom landfill anaerobik	31
Gambar 3.2	Tahapan penelitian.....	35
Gambar 4.1	Pengujian karakteristik fisik sampah	37
Gambar 4.2	Akumulasi penambahan air dan volume lindi KL 1.....	40
Gambar 4.3	Akumulasi penambahan air dan volume lindi KL 2.....	40
Gambar 4.4	Akumulasi penambahan air dan volume lindi KL 3.....	41
Gambar 4.5	Akumulasi penambahan air dan volume lindi KL 4.....	41
Gambar 4.6	pH setiap kolom landfill.....	44
Gambar 4.7	pH Konsentrasi Pb setiap kolom landfill.....	47
Gambar 4.8	pH Konsentrasi Cd setiap kolom landfill.....	49

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Hasil uji laboratorium konsentrasi Pb dan Cd
Lampiran 2 : SNI Pengujian Pb dan Cd
Lampiran 3 : Dokumentasi penelitian



Abstrak

Lindi yang dihasilkan landfill memiliki berbagai kandungan yang berbahaya bagi manusia dan lingkungan. Lindi yang dihasilkan dipengaruhi oleh air dari luar, baik sampah baru maupun sampah tua. Tidak hanya bahan pencemar organik namun terdapat juga bahan pencemar anorganik yang terkandung dalam lindi. Berbagai logam berat merupakan hal umum terkandung dalam lindi yang dihasilkan landfill. Logam berat yang dominan ditemukan dalam lindi adalah Pb dan Cd. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui konsentrasi logam berat (Pb dan Cd) yang terkandung dalam air lindi berdasarkan variasi umur sampah dan mengetahui perubahan konsentrasi logam berat (Pb dan Cd) yang terkandung dalam air lindi berdasarkan periode waktu.

Penelitian ini menggunakan instrumen kolom landfill, dimana sampah yang digunakan berasal dari TPA Piyungan. Penelitian dimulai dengan pengujian karakteristik fisik dan komposisi sampah, variasi umur sampah yang digunakan adalah umur sampah <1 tahun, 1 – 2 tahun, 2 – 5 tahun, dan >5 tahun.

Hasil yang diperoleh dari penelitian menunjukkan konsentrasi tertinggi logam berat (Pb 0,668 mg/l dan Cd 0,340 mg/l) terjadi saat periode awal penelitian, dimana konsentrasinya berangsur menurun hingga stabil, untuk umur sampah 1 – 2 tahun keatas.

Kata kunci : *Lindi, kolom landfill, Pb dan Cd.*

Abstract

Leachet from landfill have a variety of toxic that is harmful to human and environment, leachet production are affected by water from outside, either new solid waste or old solid waste. Not only contained organic pollutants but also contained inorganic pollutants in the leachate. Various type of heavy metals is generally contained in the leachate from landfill. Heavy metals are predominantly found in the leachate is Pd nd Cd. Purpose of this research is to know the concentration of heavy metal (Pb and Cd) contained in leachate based on variations of waste ages and to know the change in concentration of heavy metals (Pb and Cd) contained in leachate based on a period of time.

In this research using instrument landfill column, and municipal solid waste is derived from landfill Piyungan. Starts from testing of physical characteristics and compositions of waste. Age variations of solid waste in this research is < 1 year, 1 – 2 years, 2 – 5 years, > 5 years.

The results from this research shows the highest concentrations of heavy metals (Pb = 0,668 mg/l dan Cd = 0,340 mg/l) occured during the early period of this research where the concentrtrions is gradually decreased and stable for waste ages beyond 1 – 2 years

Keyword : *Leachate, landfill column, Pb and Cd.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan pertumbuhan daerah perkotaan yang cepat dengan gaya hidup masyarakat dan tingkat sosial yang berubah serta kemajuan teknologi, sampah menjadi masalah yang membutuhkan penanganan secara seksama dan terintegrasi dengan inovasi dan teknologi baru yang lebih memadai dari segala aspek, baik itu aspek sosial, aspek ekonomi maupun aspek teknis. Pada saat ini penanganan dan pengelolaan sampah masih menjadi masalah yang semakin mendesak di kota-kota Indonesia, sebab pertumbuhan perkotaan di Indonesia terus meningkat dengan percepatan yang tidak juga berkurang bahkan cenderung terus meningkat.

Sampah perkotaan menjadi permasalahan utama, dengan jumlah penduduk yang banyak dan lokasi yang terbatas membuat timbulan sampah menjadi dan permasalahan serius. Permukiman di perkotaan merupakan produsen sampah terbesar, kira-kira 60-70 % dari total timbulan sampah (Tuti Kustiah, 2005). Demikian juga halnya di Kota Yogyakarta, sumber sampah yang dominan berasal dari sampah rumah tangga (permukiman), yaitu mencapai 62% dari total jumlah sampah yang dihasilkan (DLH Kota Yogyakarta, 2005).

Pada wilayah perkotaan volume sampah diperkirakan akan meningkat 3 – 5 kali lipat dalam 20 tahun ke depan, dengan asumsi laju pertumbuhan penduduk di wilayah perkotaan sama seperti saat ini dan terjadi peningkatan limbah yang dihasilkan perkapita. Hal ini akan menyebabkan terjadinya pembangunan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang baru untuk menampung sampah dan penutupan TPA yang lama. (Andrianto, 2002).

Secara umum kondisi sampah perkotaan memperlihatkan karakteristik yang khas. Kondisi sampah kota memiliki komposisi terbesar sampah organik dengan nilai rata - rata 79,164%, sedangkan sampah anorganik hanya sebesar 20,836% dengan besaran simpangan baku sebesar 9,5%. (KLH – UU Pengelolaan Sampah, 2005).

TPA memiliki masa operasional dalam penggunaannya, oleh karena itu perlu diperhatikan masalah – masalah yang akan ditimbulkan setelah habisnya masa operaional pada suatu TPA. Masalah yang pada umumnya akan dijumpai pada penimbunan/pengurugan sampah adalah timbulan gas dan lindi yang dihasilkan terutama pada daerah yang memiliki curah hujan yang tinggi. Pencemaran lingkungan akibat lindi dan gas methan pada sampah akan berdampak pada kesehatan manusia dan kesehatan ekosistem.

Lindi adalah limbah cair yang timbul akibat masuknya air eksternal ke dalam timbunan sampah, melarutkan dan membilas materi-materi terlarut, termasuk juga materi organik hasil proses dekomposisi biologis. Dari sana dapat diramalkan bahwa kuantitas dan kualitas lindi akan sangat bervariasi dan berfluktuasi. Dapat dikatakan bahwa kuantitas lindi yang dihasilkan akan banyak tergantung pada masuknya air dari luar, sebagian besar dari air hujan, disamping dipengaruhi oleh aspek operasional yang diterapkan seperti aplikasi tanah penutup, kemiringan permukaan, kondisi iklim, dan sebagainya. Kemampuan tanah dan sampah untuk menahan uap air dan kemudian menguapkannya bila memungkinkan (Damanhuri, 2008).

Air lindi membawa material tersuspensi dan terlarut yang merupakan hasil dari degradasi sampah. Komposisi air lindi dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti jenis sampah, dan kondisi spesifik setempat (Jagloo, 2002). Air lindi biasanya mengandung senyawa-senyawa organik (hidrokarbon, asam humat, fulfat, tanah dan galat) dan anorganik (natrium, kalium, magnesium, fosfat, sulfat dan senyawa logam berat) yang tinggi (Anonim, 2008). Logam berat yang sering ditemukan dalam air lindi adalah arsen, besi, kadmium, kromium, merkuri, nikel, seng, tembaga dan timbal (Langmore, 1998).

Timbal dan kadmium yang terkandung dalam lindi merupakan mineral yang tergolong mikroelemen, merupakan logam berat dan berpotensi menjadi bahan toksik yang berbahaya bagi kesehatan manusia jika terakumulasi dengan jumlah dan konsentrasi yang tinggi.

Berdasarkan masalah yang telah dijelaskan di atas maka diperlukan suatu study penelitian untuk mengetahui konsentrasi logam berat Pb (Timbal) dan Cd

(Kadmium) yang terkandung dalam lindi dari hasil pengolahan sampah perkotaan di TPA dengan variasi umur sampah dengan menggunakan pendekatan penelitian skala laboratorium dengan instrumen kolom landfillanaerobik.

1.2 Rumusan Masalah

Meningkatnya laju timbulan sampah yang berbanding sejajar dengan pertumbuhan penduduk pada suatu kota, TPA adalah bagian dari usaha pengelolaan persampahan. Karakter sampah yang masuk pada TPA memiliki berbagai komposisi baik organik maupun anorganik yang berasal dari aktifitas industri, rumah sakit, perumahan, dsb. Dengan berbagai macam komposisi sampah tersebut maka dikhawatirkan akan mencemari lingkungan.

Lindi adalah salah satu alasan yang dimungkinkan akan mencemari lingkungan, karena timbunan sampah yang terdekomposisi akan menghasilkan lindi. Kualitas dan kuantitas lindi tergantung dari jumlah air yang masuk dari luar (timbunan sampah). Besarnya bahan organik dapat ditunjukkan dengan besarnya kandungan BOD. Sedangkan bahan anorganik mengandung berbagai mineral dan logam. Salah satu jenis logam yang ada dalam lindi dapat berupa logam berat seperti timbal (Pb) dan kadmium (Cd). Kandungan logam berat ini mengalir bersama lindi dan masuk ke dalam sistem perairan. Masuknya berbagai logam berat yang terkandung dalam lindi akan bergantung pada pH dimana akan berpengaruh terhadap kelarutan logam.

Timbulan lindi akan terus terjadi selama timbulan sampah ditempatkan pada TPA, masa pemantauan lindi dilakukan selama 20 tahun setelah TPA ditutup. Pemantauan lindi terus dilakukan dengan berbagai macam percobaan dan penelitian. Dari berbagai macam umur sampah timbulan lindi akan terus terjadi, namun akan berbeda kandungannya pada setiap umur sampah. Oleh karena itu sejalan dengan pelaksanaan pemantauan, maka dengan cara simulasi landfill skala laboratorium tentang pergerakan lindi, maka kuantitas dan kualitas timbulan lindi dengan variasi umur sampah pada berbagai waktu serta metode operasi akan diketahui lebih awal.

Atas dasar hal yang telah dijelaskan diatas maka, permasalahan yang dikajidalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut: “Seberapa besar kandungan atau konsentrasi logam berat (Pb dan Cd) pada air lindi yang dihasilkan dalam kurun waktu tertentu dengan variasi umur sampah pada kolom landfillanaerobik secara terpisah?”

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini akan dibatasi pada objek kajian sebagai berikut :

1. Sampel sampah yang digunakan diambil dari sampah perkotaan (TPA Piyungan) dengan berbagai jenis umur sampah.
2. Waktu pemantauan selama 7 (tujuh) minggu dengan perbandingan variasi umur sampah, Sebagai berikut :
 - Umur sampah ≤ 1 tahun (Kolom Landfill 1)
 - Umur sampah 1 - 2 tahun (Kolom Landfill 2)
 - Umur sampah 2 – 5 tahun (Kolom Landfill 3)
 - Umur sampah ≥ 5 tahun (Kolom Landfill 4)
3. Parameter yang diamati :
 - Konsentrasi Pb (Timbal)
 - Konsentrasi Cd (Kadmium)

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui konsentrasi logam berat (Pb dan Cd) yang terkandung dalam air lindi berdasarkan variasi umur sampah.
2. Mengetahui perubahan konsentrasi logam berat (Pb dan Cd) yang terkandung dalam air lindi berdasarkan periode waktu.

1.5 Manfaat Penelitian

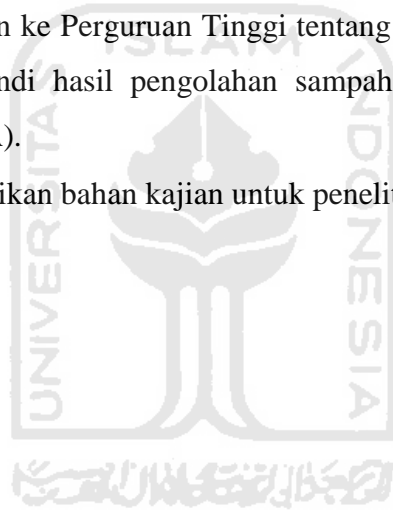
Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat kepada :

1. Bagi Instansi

- Sebagai bahan pertimbangan bagi pengambil keputusan suatu instansi/institusi dalam menentukan kebijakan yang berkaitan dengan pengolahan air lindi di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA).
- Memberikan informasi kandungan logam berat (Pb dan Cd) dan penyebarannya yang kemungkinan akan dihasilkan dari proses pengolahan sampah di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA).

2. Bagi Peneliti maupun Perguruan Tinggi

- Meningkatkan pengetahuan peneliti dan menambah masukan pengetahuan ke Perguruan Tinggi tentang pencemaran logam berat pada air lindi hasil pengolahan sampah di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA).
- Dapat dijadikan bahan kajian untuk penelitian selanjutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Sampah

Sampah memiliki berbagai macam definisi, berdasarkan UU No 18 tahun 2008, sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat, sedangkan menurut Kamus Istilah Lingkungan tahun 1994, sampah adalah bahan yang tidak mempunyai nilai atau tidak berharga untuk maksud biasa atau utama dalam pembikinan atau pemakaian barang rusak atau bercacat dalam pembikinan manufaktur atau materi berkelebihan atau ditolak atau buangan.

Pandangan mengenai sampah telah mengalami pergeseran, di mana pada saat ini telah berkembang dari persampahan yang semula sebagai “*waste*” sekarang menjadi pandangan sebagai komoditas yang bernilai ekonomis. Pandangan tersebut dikembangkan dalam upaya menangani persampahan sehingga mendorong pelaksanaan pengelolaan sampah secara menyeluruh atau secara holistik. Pengembangan tersebut diwujudkan dalam model 3R yaitu : *Reduction, Re - use, dan Re - Cycle*. Model pengembangan tersebut menjadi landasan strategi pengelolaan sampah perkotaan (Anonim, 2006)

Berdasarkan Studi Evaluasi TPA Dinas Pemukiman dan Prasarana Wilayah Propinsi Jawa Tengah Tahun 2003, sumber penghasil sampah, sampah dapat dikelompok menjadi:

1. Sampah dari pemukiman (*domestic waste*). Sampah dari pemukiman terdiri dari bahan padat dari kegiatan rumah tangga yang sudah tidak terpakai lagi dan dibuang seperti kertas bekas, botol bekas, daun tanaman, sisa makanan dan lain - lain.
2. Sampah dari tempat - tempat umum. Sampah dari tempat - tempat dapat berasal dari pasar, tempat hiburan, terminal, stasiun. Sampah yang dihasilkan dapat berupa kertas, plastik, botol bekas, karton, kaleng, daun dan lain - lain.

3. Sampah dari perkantoran, tempat pendidikan, perdagangan. Sampah yang dihasilkan dapat berupa kertas, botol, plastik, karbon dan lain - lain.
4. Sampah dari jalan raya. Sampah yang dihasilkan dapat berupa plastik, botol, kertas, debu, sobekan kain, onderdil kendaraan yang jatuh, kardus, daun dan lain - lain.
5. Sampah dari industri (*industrial wates*). Sampah dari industri dapat berasal dari pembangunan industri maupun sampah dari proses produksi. Sampah yang dihasilkan dapat berupa sampah pengepakan barang, kardus, potongan kain, plastik, kaleng dan lain - lain.
6. Sampah dari pertanian dan perkebunan. Sampah yang dihasilkan dapat berupa jerami, sisa sayur mayur, batang padi, ranting/kayu, dan daun - daunan.
7. Sampah dari pertambangan. Sampah yang dihasilkan tergantung dari jenis pertambangan yang dilakukan. Sampah yang dihasilkan dapat berupa batu, tanah, pasir, arang dan lain - lain.
8. Sampah dari peternakan dan perikanan. Sampah yang dihasilkan dapat berupa kotoran ternak, sisa makanan, bangkai binatang.

Dan secara kimiawi sampah dapat dikelompokkan menjadi :

a) Sampah anorganik

Sampah anorganik adalah sampah yang mengandung senyawa bukan organik sehingga tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme. Sampah anorganik sulit membusuk. Termasuk sampah anorganik antara lain besi/logam, pecahan kaca, plastik, kertas dan lain - lain.

b) Sampah organik

Sampah organik adalah sampah yang mengandung senyawa organik atau tersusun atas unsur - unsur karbon, nitrogen, hidrogen serta oksigen. Sampah organik memiliki sifat mudah membusuk misalnya sisa makanan, daun -daunan, buah - buahan dan sayuran.

2.1.1 Jenis Sampah

Berdasarkan UU No 18 tahun 2008 jenis sampah terdiri atas :

1. Sampah rumah tangga.
yaitu sampah berasal dari kegiatan sehari-hari dalam rumah tangga, tidak termasuk tinja dan sampah spesifik.
2. Sampah sejenis sampah rumah tangga.
yaitu sampah yang berasal dari kawasan komersial, kawasan industri, kawasan khusus, fasilitas sosial, fasilitas umum, dan/atau fasilitas lainnya.
3. Sampah spesifik.
Sampah spesifik sebagaimana dimaksud, meliputi :
 - a. sampah yang mengandung bahan berbahaya dan beracun;
 - b. sampah yang mengandung limbah bahan berbahaya dan beracun;
 - c. sampah yang timbul akibat bencana;
 - d. puing bongkaran bangunan;
 - e. sampah yang secara teknologi belum dapat diolah; dan/atau
 - f. sampah yang timbul secara tidak periodik.

2.1.2 Karakteristik Sampah

Karakteristik sampah memiliki perbedaan tergantung pada umur sampah. Karakteristik sampah sangat penting dalam pengembangan dan desain sistem manajemen persampahan. Karakteristik sampah dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya yaitu pendapatan masyarakat (low, medium, dan high income), pertumbuhan penduduk, produksi pertanian, pertumbuhan industri dan konsumsi serta perubahan musim. Karakteristik sampah adalah meliputi sifat fisik, kimia, dan biologi (Tchobanoglous, 1993).

1. Karakteristik fisik

Karakteristik fisik sampah terbagi atas beberapa bagian, antara lain :

a. Berat Jenis

Berat jenis merupakan berat material per unit volume (satuan lb/ft³, lb/yd³ atau kg/m³). Data ini diperlukan untuk menghitung beban massa dan volume total sampah yang harus dikelola. Berat jenis ini dipengaruhi oleh komposisi sampah, musim, lamanya penyimpanan.

b. Kelembapan

Menentukan kelembapan dalam sampah dapat digunakan dua cara yaitu dengan ukuran berat basah dan berat kering. Ukuran kelembapan yang umum digunakan dalam manajemen persampahan adalah % berat basah (*wet weight*). Kelembapan sampah dipengaruhi oleh komposisi sampah, Musim, Kadar humus, Curah hujan.

c. Ukuran dan distribusi partikel

Penentuan ukuran dan distribusi partikel sampah digunakan untuk menentukan jenis fasilitas pengolahan sampah, terutama untuk memisahkan partikel besar dengan partikel kecil. Ukuran komponen rata-rata yang ditemukan dalam sampah kota berkisar antara 7-8 inch.

d. Field Capacity

Field capacity adalah jumlah kelembapan yang dapat ditahan dalam sampah akibat gaya gravitasi. Field capacity sangat penting dalam menentukan aliran leachate dalam landfill. Biasanya field capacity sebesar 30% dari volume sampah total (Anonim, 2011).

2. Karakteristik Kimia

Karakteristik kimia sampah diperlukan untuk mengevaluasi alternatif suatu proses dan sistem recovery pengolahan sampah.

a. Proximate Analysis

Proximate analysis terhadap komponen Municipal Solid Waste (MSW) mudah terbakar meliputi (Tchobanoglous, 1993):

- Kelembapan (kadar air berkurang pada suhu 105 °C, t = 1 jam)
- Volatile combustible matter (berat sampah yang berkurang pada pemanasan 950 °C)

- Fixed carbon (sisa material setelah volatil hilang)
- Ash (sisa pembakaran).

b. Titik Lebur Abu

Titik lebur abu merupakan titik temperatur saat pembakaran menghasilkan abu, berkisar antara 1100 – 1200 °C (2000-2200°F).

3. Karakteristik Biologi

Menurut Tchobanoglous, (1993) penentuan karakteristik biologi digunakan untuk menentukan karakteristik sampah organik di luar plastik, karet dan kulit. Parameter-parameter yang umumnya dianalisis untuk menentukan karakteristik biologi sampah organik terdiri atas

1. Parameter yang larut dalam air terdiri atas gula, zat tepung, asam amino, dan lain-lain
2. Hemiselulosa yaitu hasil kondensasi gula dan karbon.
3. Selulosa yaitu hasil kondensasi gula dan karbon
4. Lemak, minyak, lilin.
5. Lignin yaitu senyawa polimer dengan cincin aromatik.
6. Lignoselulosa merupakan kombinasi lignin dengan selulosa dan
7. Protein terdiri atas rantai asam amino.

2.1.3 Komposisi Sampah

Pengelompokan berikut juga sering dilakukan berdasarkan komposisinya misalnya dinyatakan sebagai %berat (biasanya berat basah) atau %volume (basah) dari kertas, kayu, kulit, karet, plastik, logam, kaca, kain, makanan dan lain-lain. Komposisi dan sifat-sifat sampah menggambarkan keanekaragaman aktivitas manusia. Komposisi sampah juga dipengaruhi oleh beberapa faktor:

- Cuaca : didaerah yang kandungan airnya tinggi, kelembapan sampah juga akan cukup tinggi.
- Frekuensi pengumpulan: semakin sering sampah dikumpulkan maka semakin tinggi tumpukkan sampah terbentuk.

- Musim : jenis sampah akan ditentukan oleh musim buah-buahan yang sedang berlangsung .
- Tingkat sosial ekonomi: daerah ekonomi tinggi pada umumnya menghasilkan sampah yang terdiri atas bahan kaleng, kertas dan sebagainya.
- Pendapatan perkapita : masyarakat dari tingkat ekonomi lemah akan menghasilkan total sampah yang lebih sedikit dan homogeny.
- Kemasan produk : kemasan produk bahan kebutuhan sehari-hari juga akan mempengaruhi. Negara maju seperti Amerika tambah banyak menggunakan kertas sebagai pengemas, sedangkan negara berkembang seperti Indonesia banyak menggunakan plastik sebagai pengemas. (Damanhuri,2004).

2.1.4 Laju Timbunan Sampah

Laju timbunan sampah adalah jumlah sampah yang dihasilkan dari buangan domestik dan non domestik. Jadi timbunan sampah adalah jumlah sampah yang dihasilkan m^3 per hari dalam satu periode. Negara - negara berkembang seperti Indonesia faktor musim sangat besar pengaruhnya terhadap berat sampah. Dalam hal ini musim yang dimaksud adalah penghujan dan kemarau. Disamping hal tersebut berat sampah juga dipengaruhi oleh faktor sosial budaya lainnya. Penggunaan besaran timbunan sampah dalam perencanaan sebaiknya berdasarkan sumber sampah, bukan berdasarkan jenis kotanya. (Sudarwin, 2008).

2.1.5 Pengolahan Sampah

Menurut Taufiq Andrianto pada Audit Lingkungan Tahun 2002, Pengolahan sampah yang paling banyak digunakan antara lain adalah:

a) *Open Dumping*

Cara *open dumping* merupakan cara yang paling mudah dan murah dilakukan namun banyak menimbulkan dampak pencemaran. Setelah sampah di lokasi TPA sampah dibuang begitu saja. Dampak yang ditimbulkan dari cara ini

antara lain bau yang tidak sedap, sampah berserakan, dan dimungkinkannya menjadi sarang bibit penyakit dan tempat berkembang biak vektor penyakit seperti kecoa, lalat dan tikus.

b) *Incineration*

Metode *incineration* merupakan metode pembakaran sampah yang perlu diawasi dengan baik, metode ini sangat sederhana dan biaya yang murah. Pada metode ini zat padat yang tersisa berupa abu yang jumlahnya relatif lebih kecil dibandingkan volume semula. Demikian juga bau busuk dan berkembangbiaknya vektor penyakit seperti tikus, lalat dan kecoa dapat diminimalisasi.

c) *Sanitary Landfill*

Metode *sanitary landfill* merupakan metode yang dianjurkan. Pada metode ini sampah dibuang, ditutup dengan tanah dan bersamaan dengan ini dipadatkan dengan alat berat agar menjadi lebih mampat. Lapisan di atasnya dituangkan sampah berikut tanah secara berlapis dan demikian seterusnya sampai akhirnya rata dengan permukaan tanah.

d) *Composting*

Metode *composting*, sampah diolah secara fermentatif. Secara periodik tumpukan sampah dibolak - balik agar fermentasi dapat berjalan dengan baik dan merata. Pencemaran lingkungan yang ditimbulkan tidak seberat penimbunan terbuka. Proses pembuatan pupuk pada metode *composting* ini berjalan lambat diperlukan waktu sekitar dua bulan.

e) Daur ulang

Metode daur ulang, sampah dikelompokkan menurut jenisnya, kemudian setiap kelompok sampah diolah sendiri menjadi produk/hasil yang berharga. Kertas bekas diolah lagi menjadi kertas baru. Hal ini dapat juga dilakukan terhadap jenis sampah logam, plastik, gelas. Jenis sampah dedaunan, sisa sayuran dan buah - buahan yang mudah busuk, oleh karena itu perlu penanganan yang khusus.

f) Fermentasi Anaerobik

Sampah dirombak oleh mikroorganisme tertentu, tanpa udara menjadi gas metan dan karbondioksida.

Pengelolaan sampah yang tidak baik dapat menimbulkan dampak secara langsung yaitu timbulnya pencemaran lingkungan sehingga terjadi penurunan kualitas lingkungan. Sampah merupakan media untuk hidup yang baik bagi mikroorganisme sehingga mikroba yang berbahaya/patogen dapat hidup dengan baik, serta mikroba tersebut dapat mempengaruhi kualitas kesehatan manusia.

Dampak tidak langsung dapat disebabkan oleh adanya pembusukan dan pembakaran sampah. Dekomposisi anaerobik sampah menghasilkan cairan *leachate* (lindi) dan gas. *Leachate* kemungkinan besar mengandung bahan - bahan beracun bagi kehidupan. *Leachate* dapat mengandung mikroba patogen dan logam berat berbahaya. (Andrianto, 2002).

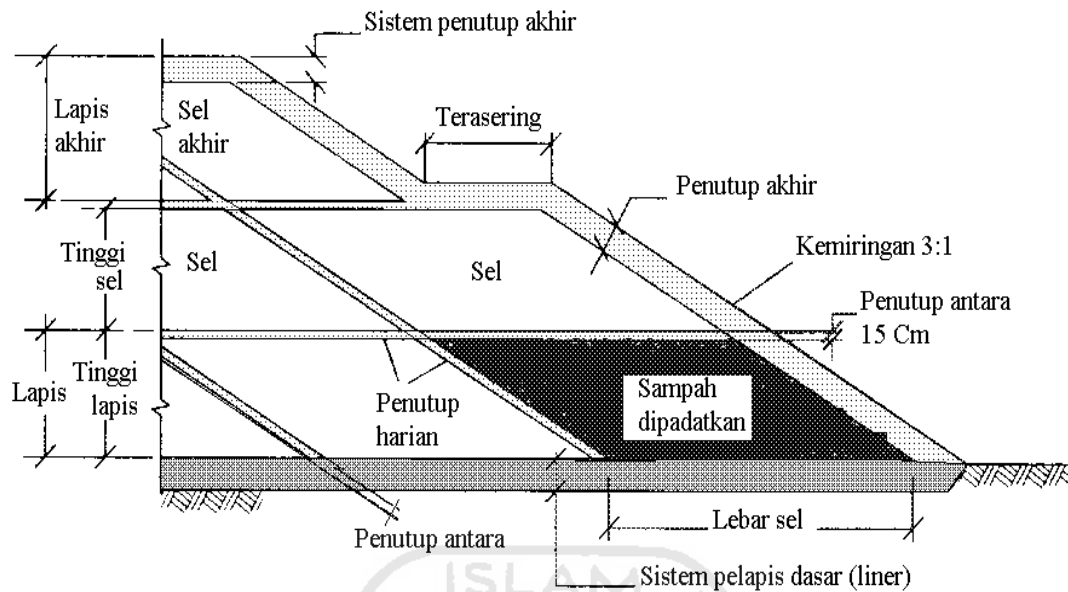
2.2 Tempat Pemrosesan Akhir/TPA (*Landfill*)

TPA merupakan tempat dimana sampah mencapai tahap akhir dalam pengelolannya, yang dimulai dari sumber, pengumpulan, pemindahan/pengangkutan, pengolahan dan pembuangan. Namun adanya keterbatasan biaya dan kapasitas sumber daya manusia serta andalan pola Kumpul-Angkut-Buang yang ada selama ini, telah berdampak pada pembebanan yang terlalu berat di TPA baik ditinjau dari kebutuhan lahan maupun beban pencemaran lingkungan. Pada umumnya pemrosesan akhir sampah yang dilakukan di TPA adalah proses *landfilling* (pengurugan), dan sebagian besar dilakukan dengan open dumping yang menimbulkan permasalahan lingkungan seperti bau, tercemarnya air tanah, timbulan asap, dan sebagainya (Simon, 2007).

Dalam perencanaannya, perhitungan lahan untuk TPA mencakup perhitungan timbulan sampah dan kapasitas TPA. Produksi sampah ditentukan antara lain oleh jumlah penduduk dan laju pertumbuhan sampah. Kapasitas tampung TPA tergantung pada luas lokasi, ketebalan lapisan sampah dan tanah penutup yang direncanakan, laju pertumbuhan jumlah sampah, dan faktor

pemadatan sampah (Direktorat Cipta Karya, 1995). Faktor pemadatan sampah didefinisikan sebagai perbandingan antara kepadatan sampah di sumber dengan kepadatan sampah setelah dipadatkan di TPA. Pemadatan sampah di TPA merupakan pengurangan volume sampah setelah mengalami proses pemadatan karena sampah sengaja dipadatkan, sedangkan pemadatan di sumber merupakan pengurangan volume sampah setelah mengalami pemadatan karena beratnya sendiri (Dirjen Cipta Karya, 1995).

Dalam pengoprasian TPA, limbah diurug kedalam lahan urug dalam bentuk sel-sel timbunan. Ukuran dari sel tersebut tergantung pada laju harian limbah yang masuk. Tinggi sel biasanya 5m atau lebih. Limbah disebarakan kedalam sel dengan ketebalan lapisan antara 0,6 - 0,9m. Kemudian dipadatkan dengan alat berat. Ketebalan yang lebih kecil menyebabkan kebutuhan tanah penutup menjadi besar, ketebalan lapisan yang besar menyebabkan pemadatan dengan alat berat menjadi kurang efektif. Lahan yang menerima limbah dalam kontainer atau limbah yang disolidifikasi, disusun dalam sel-sel tersebut menggunakan forklift atau alat lain yang sesuai. Pada akhir operasi kemudian ditempatkan tanah penutup harian setebal 0,2 – 0,3 m, dipadatkan dan mengisi seluruh rongga sel-sel tersebut. Sedangkan ketebalan lapisan tanah penutup terakhir pada bagian permukaan sekitar 50 cm. Bila timbunan sampah dibuat berlapis, lapisan pertama sebaiknya dibiarkan selama 3 bulan, setelah itu baru ditimbun dengan lapisan sampah berikutnya. (simon, 2007). Dapat dijelaskan dalam bentuk skema sebagai berikut.



Gambar 2.1 Skema sel dalam lahan urug (Damanhuri, 1995).

2.2.1 Dekomposisi Sampah dalam *Landfill*

Tahapan degradasi sampah organik pada landfill melalui lima tahapan, yaitu :

1. Proses *hydrolysis*, yaitu dekomposisi bahan organik polimer seperti protein, karbohidrat, dan lemak menjadi monomer yang mudah larut seperti glukosa, asam lemak, dan asam amino yang dilakukan oleh sekelompok bakteri fakultatif seperti *lipolytic bacteria*, *cellulolytic bacteria*, dan *proteolytic bacteria*.
2. Proses *acidogenesis*, yaitu dekomposisi monomer organik menjadi asam-asam organik dan alkohol. Pada proses ini, monomer organik diuraikan lebih lanjut oleh *acidogenic bacteria* menjadi asam-asam organik seperti asam format, asetat, butirrat, propionat, laktat, ammonia, serta dihasilkan juga CO₂, H₂, dan etanol.
3. Proses *acetogenesis*, yaitu perubahan asam organik dan alkohol menjadi asam asetat. Pada proses ini senyawa asam organik dan etanol diuraikan *acetogenic bacteria* menjadi asam format, asetat, CO₂, dan H₂.

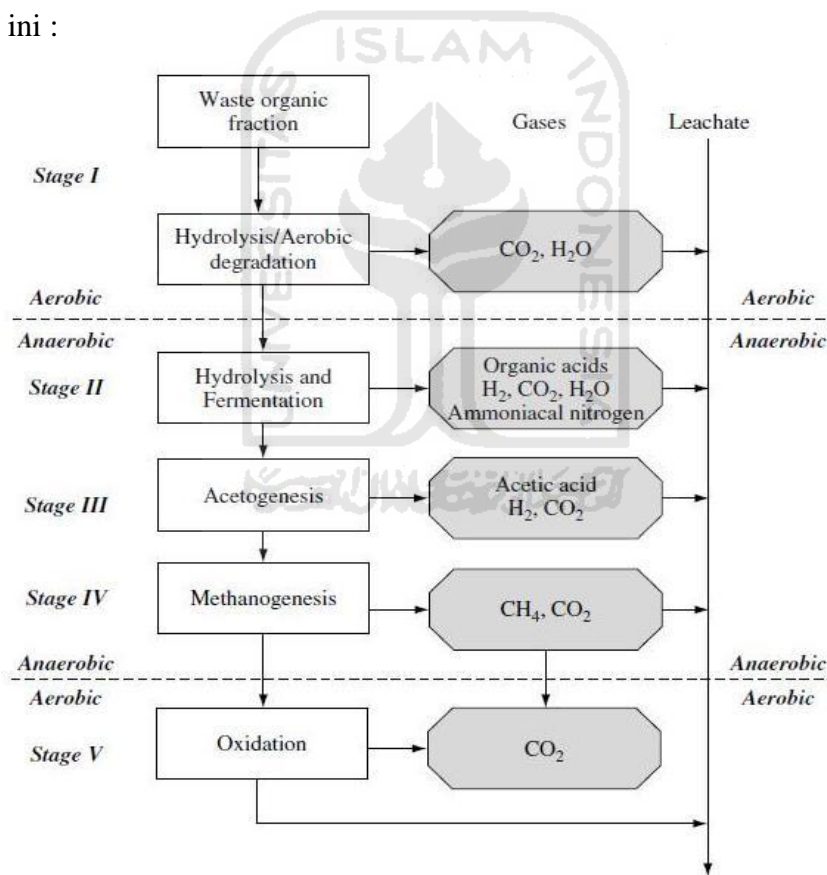
4. Proses *methanogenesis*, yaitu perubahan dari asam asetat menjadi metan. CH_2 adalah produk akhir dari degradasi anaerob. Pembentukan metan dapat terjadi melalui dua cara. Cara pertama adalah fermentasi dari produk utama dari tahap pembentukan asam, yaitu asam asetat menjadi CH_4 dan $\text{CO}_2 = \text{CH}_3\text{COOH} \longrightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$

Cara kedua adalah penggunaan H_2 oleh beberapa methanogen untuk mereduksi CO_2 menjadi CH_4 .

Reaksi yang terjadi adalah: $4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

(Fairus, Sirin dkk, 2011).

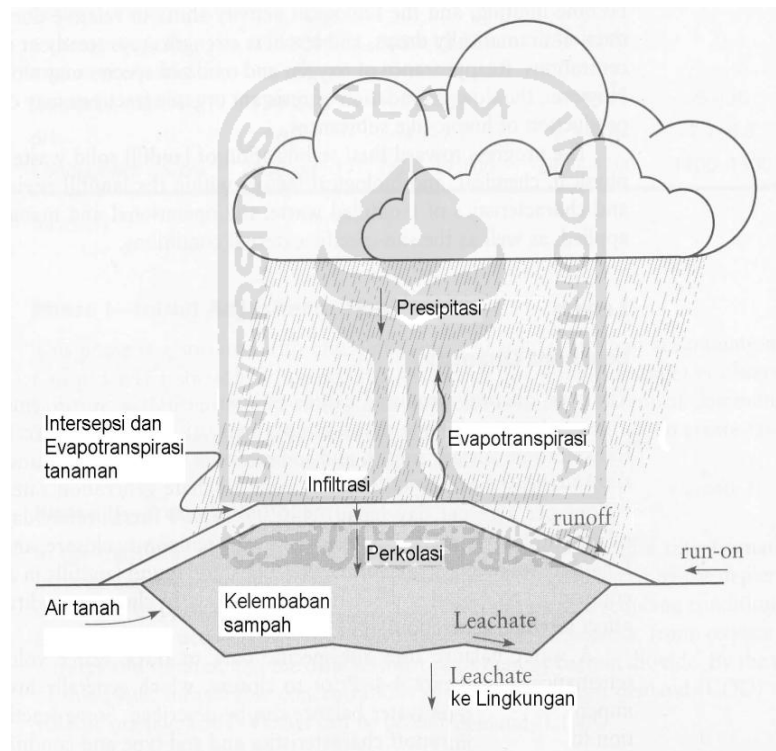
Tahapan proses degradasi sampah organik juga dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.2 Tahapan proses degradasi sampah di TPA (Williams, 2005 dalam Sunarto).

2.2.2 Proses Terjadinya Lindi

Lindi adalah limbah cair yang timbul akibat masuknya air eksternal ke dalam timbunan sampah, melarutkan dan membilas materi-materi terlarut, termasuk juga materi organik hasil proses dekomposisi biologis. Dari sana dapat diramalkan bahwa kuantitas dan kualitas lindi akan sangat bervariasi dan berfluktuasi. Dapat dikatakan bahwa kuantitas lindi yang dihasilkan akan banyak tergantung pada masuknya air dari luar, sebagian besar dari air hujan, disamping dipengaruhi oleh aspek operasional yang diterapkan seperti aplikasi tanah penutup, kemiringan permukaan, kondisi iklim, dan sebagainya. (Damanhuri, 2008).

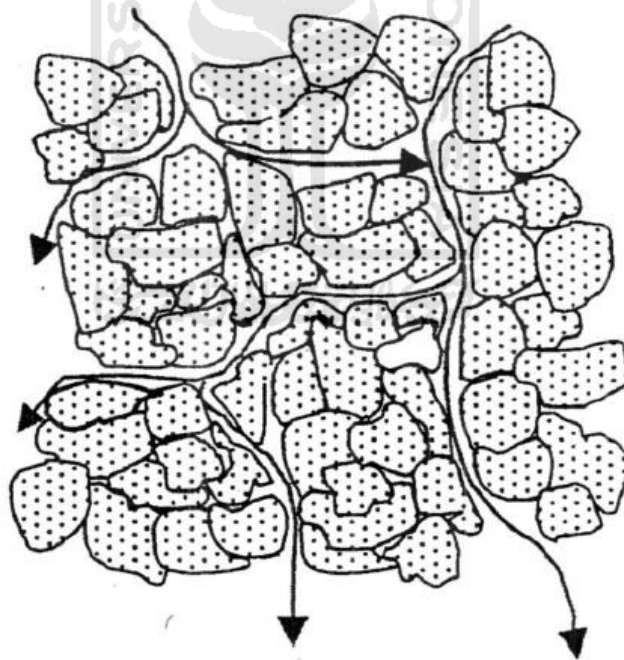


Gambar 2.3 Skema terjadinya lindi (Vesilind, 2002).

Proses dekomposisi sampah dihasilkan dua fraksi besar yaitu fraksi organik dan fraksi anorganik. Fraksi anorganik ini mengandung berbagai mineral, diantaranya logam-logam berat. Logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) yang terdapat di dalam sampah akan terdekomposisi dan larut bersama terbentuknya lindi. Semua hasil dekomposisi ini membentuk satu kesatuan dengan tanah (Anonym, 2003). Kontaminan logam berat yang terdapat di dalam deposit organik pada TPA dapat berasal dari komponen sampah rumah tangga yang mengandung

logam berat (misalnya baterai), atau kontaminan lain, seperti tinta cetak pada sampah kertas, pewarna pada sampah plastik dan gelas, dan sebagainya (Gascoigne dan Ogilvie, 1995).

Setiap landfill memiliki karakteristik sendiri, cairan yang melewati sampah juga memiliki sifat-sifat berbeda. Kualitas lindi juga berubah dari waktu ke waktu, sehingga sistem penanganan harus diukur menurut parameter individual dan harus cukup fleksibel untuk menangani berbagai aliran yang berpengaruh. Aliran cairan biasanya diarahkan pada pori-pori ini. Aliran air ke bawah melalui sampah padat perkotaan terjadi pada saluran aliran sempit dengan total area sekitar 28% dari area potongan lintang. Sedangkan Zeiss dan Ugucioni (1995) menyimpulkan bahwa aliran yang terjadi adalah suatu mekanisme aliran yang dominan pada sampah padat perkotaan, dan luas pori kurang dari 45% (maksimum pada keadaan stabil) dari luasan potongan lintang kolom.



Gambar 2.4 Skema aliran air melalui celah (pori) pada sampah perkotaan (Olatunde O. Olaosun, 2001).

Resiko lingkungan lain yang terkait dengan penerapan penimbunan sampah adalah timbulan dan migrasi gas (CO_2 , CH_4 , dan H_2S) karena proses anaerobik dari sampah. Karbon dioksida adalah gas rumah kaca, sementara metan

(yang timbul sekitar 60% produksi gas total pada landfill) adalah gas yang mudah terbakar dan dapat meledak ketika ada sejumlah oksigen yang cukup.

2.2.3 Karakteristik Kuantitas dan Kualitas Lindi

Komposisi air lindi sangat bervariasi karena proses pembentukannya dipengaruhi oleh karakteristik sampah (organik-anorganik), mudah tidaknya penguraian (larut - tidak larut), kondisi tumpukan sampah (suhu, pH, kelembaban, umur), karakteristik sumber air (kuantitas dan kualitas air yang dipengaruhi iklim dan hidrogeologi), komposisi tanah penutup, ketersediaan nutrien dan mikroba, dan kehadiran inhibitor (Diana dalam K. Priambodho, 2005).

Aspek landfill juga terkait dalam kualitas lindi :

1. Jenis Limbah - tingkatan dari proses degradasi sampah dengan berbagai jenis sampah.
2. Kondisi TPA- fase degradasi limbah, kelembaban, curah hujan, suhu, dll;
3. Cara Penimbunan - pemadatan limbah, TPA dan ketinggian lapisan penutup TPA.
4. Sampling- metode analisis dan titik pengambilan sampel.

Aspek-aspek tersebut saling terkait dan aspek 1-3 merupakan aspek yang mempengaruhi dalam kualitas lindi dan karakteristiknya, sedangkan aspek keempat mempengaruhi analisis. Lindi yang dihasilkan dari sampah perkotaan di Asia (kecuali Jepang) memiliki komposisi 60-90% sampah organik dan 3-18% sampah plastik (Agamuthu, 1999 dalam C. Visvanathan, dkk, 2004).

Menurut McBean (1995) menyatakan kualitas konsentrasi lindi akan berbeda berdasarkan pengaruh waktu, dan terbagi menjadi dua karakteristik lindi, yaitu:

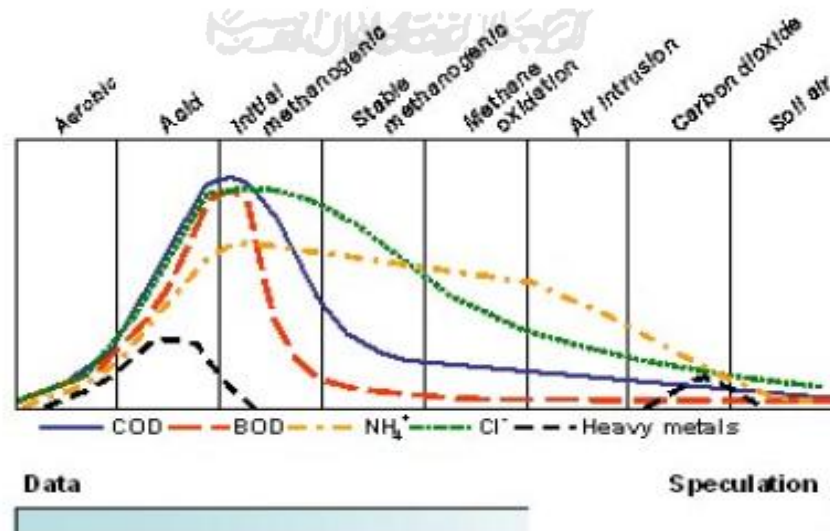
a. Lindi Muda

Dalam beberapa tahun pertama, lindi mengandung bahan-bahan organik yang baru terdegradasi. Sehingga dalam lindi muda ini cenderung bersifat asam karena banyaknya asam lemak volatil yang ada. Umumnya nilai pH berada dalam rentang 6 - 7 dan bahkan lebih rendah pada *landfill* yang kering. Lindi muda

berasal dari proses degradasi bahan organik yang kompleks seperti selulosa dan bahan organik terlarut seperti asam organik.

b. Lindi Tua

Setelah sampah berumur 4 sampai 5 tahun, nilai pH mengalami peningkatan dengan rentang 7 – 8. Perubahan nilai tersebut diakibatkan karena semakin menurunnya degradasi organik dan adanya produksi gas. Menurut Mavinic (1988) dalam C. Visvanathan (2004) menyatakan selama beberapa tahun pertama (< 5 tahun), sampah di TPA berada dalam fase acidogenic dan lindi yang dihasilkan umumnya sebagai lindi muda atau berbasis karbon karena lebih tinggi konsentrasi karbon organik. Sampah di TPA yang berumur 10 tahun umumnya di fase methanogenic dan lindi yang dihasilkan disebut sebagai tua atau berbasis nitrogen. Ehrig (1998) dalam C. Visvanathan (2004) melakukan studi ekstensif pada karakteristik lindi dari 15 tempat pembuangan sampah mulai dari 0 sampai 12 tahun di Jerman dan menemukan karakteristik dalam fase acidogenesis dan *methanogenesis* pada lindi sampah perkotaan, perubahan konsentrasi logam berat dan parameter lainnya yang terkandung dalam lindi tergantung dari usia TPA nya (Chain dan DeWalle, 1976; Kylefors, 1997). Karakteristik lindi pada TPA dengan usia TPA dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 kualitas lindi dengan fase yang terjadi (Visvanathan dkk, 2004).

Lindiyang dihasilkan dari sampah perkotaan di Asia(kecuali Jepang) memiliki komposisi 60-90% sampah organikdan 3-18% sampah plastik (Agamuthu, 1999). Karakteristik lindipada TPA yang berbedaberdasarkan data surveiberbagai negara dan usia landfillnyadapat dilihat pada tabel 2.1 dan di Indonesia khususnya TPA Piyungan dapat dilihat pada tabel 2.2.



Tabel 2.1 Data rentang kualitas lindi di luar negeri

Parameter	China		Thailand			India		Srilanka	Malaysia		Hongkong
	Shenzen xiaping	Datianshan	Phitsanulok	Pathumthani	Nonthaburi	Okhla New Delhi	Prugundi&Kodungaiyur cennai		Sabak Bermam	Taman Beringin	
Umur (tahun)	2	10	1	9	20	9	16	≤1	7	16	6
Chloride (mg/L)	-	-	-	2530	3600 - 4200	16000	119 - 5865	-	1200 - 1550	3750 - 9375	10700 - 11700
SS (mg/L)	250	383,65	1950	125	150 - 746	-	-	1875	111 - 920	420 - 1150	40 - 53
TS (mg/L)	-	-	6700	848	767 - 2155	-	-	4568 - 6786	-	10300 - 13680	-
pH	7,8	-	7,8 - 8,3	8,1	8,1 - 8,5	-	7,3 - 9,3	5,4 - 7,7	8,1 - 8,01	7,8 - 8,7	8,1 - 8,6
Ni (mg/L)	0,39	-	0,02 - 1,56	0,25	0,29 - 0,66	0,17	0,026 - 1,05	-	-	0 - 0,6	-
Cd (mg/L)	0,01	0,126	0,037	0,002	0,001	-	0,001 - 0,005	-	0 - 0,001	0 - 0,015	-
Pb (mg/L)	0,08	3,25	0,03 - 0,45	-	0,06	0,72	0,009 - 0,646	-	0 - 0,03	0 - 3,45	-
Cr (mg/L)	0,046	0,269	-	0,07	0,06 - 1,16	16,9	0,001 - 0,898	-	-	0,04 - 0,70	-
Hg (mg/L)	-	-	0,50 - 1,70	-	-	0,4	0,002 - 0,018	-	-	-	-

Sumber : visvanatan, dkk 2004

Karakteristik air Lindi di TPA Piyungan ditunjukkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.2 Kualitas air lindi di TPA Piyungan

Parameter	Satuan	Kadar Maksimal yang Diperbolehkan	Hasil Uji	
			I	II
Fisika				
Zat Padat Terlarut (TDS)	mg/L	2000	7817	6780
Temperatur	°C	30	28	28
Zat padat tesuspensi (TSS)	mg/L	200	636	106
Kimia				
Air Raksa	mg/L	0,002	Ttd	Ttd
Arsen	mg/L	0,1	Ttd	Ttd
Barium	mg/L	2	0,009	0,006
Kadmium	mg/L	0,005	Ttd	Ttd
Kromium (Val.6)	mg/L	0,1	6,04	0,19
Tembaga	mg/L	2	0,41	0,27
Sianida	mg/L	0,05	Ttd	Ttd
Flourida	mg/L	2	≤0,5	≤0,5
Timbal	mg/L	0,1	0,4051	0,0972
Nikel	mg/L	0,2	Ttd	Ttd
Nitrit	mg/L	20	14,4476	13,7164
Nitrat	mg/L	1	0,8409	0,668
Ammonia	mg/L	1	114,914	80,764
Mangan	mg/L	2	4	1,95
Sulfida	mg/L	0,05	-	-
Klorin bebas	mg/L	1	0	0
Seng	mg/L	5	2,9	1,2
Krom total	mg/L	0,5	10,64	0,48
BOD5	mg/L	50	2151,32	786
COD	mg/L	100	4726,67	1387,7
Phenol	mg/L	0,5	1,97	70,47
Cobalt	mg/L	0,4	0,28	0,19

*Sumber : Pengelola Piyungan, 2005 dalam Simon, 2007. I. Sebelum pengolahan
II. Setelah pengolahan.*

2.3 Logam Berat

Istilah logam berat biasanya diberikan kepada semua unsur – unsur kimia dengan ketentuan tertentu. Unsur ini tidak selalu berbentuk padat, namun juga dapat berbentuk cair. Logam berat masih termasuk golongan logam dengan kriteria - kriteria yang sama dengan logam-logam yang lain. Perbedaan terletak pada pengaruh yang dihasilkan bila logam berat ini masuk atau diberikan ke dalam tubuh organisme hidup. (Polar Heryanto, 2004). Istilah logam berat sebetulnya sudah dipergunakan secara luas, terutamadalam perpustakaan ilmiah, sebagai unsur yang menggambarkan bentuk dari logam tertentu. Karakteristik dari kelompok logam berat adalah sebagai berikut:

1. Memiliki spesifikasi gravitasi yang sangat besar (lebih dari 4).
2. Mempunyai nomor atom 22 - 23 dan 40 - 50 serta unsur lantanida dan aktinida.
3. Mempunyai respon biokimia yang khas (spesifik) pada organisme hidup.

Semua logam berat dapat dikatakan sebagai bahan beracun yang akanmeracuni makhluk hidup. Sebagai contoh logam berat air raksa (Hg), kadmium (Cd), timbal (Pb), dan krom (Cr). Namun demikian, meskipun semua logam berat dapat mengakibatkan keracunan atas makhluk hidup, sebagian dari logam - logam berat tersebut dibutuhkan oleh makhluk hidup. Kebutuhan tersebut dalam jumlah yang sangat kecil/sedikit. Tetapi apabila kebutuhan yang sangat kecil tersebut tidak terpenuhi dapat berakibat fatal terhadap kelangsungan makhluk hidup.

Logam dapat menyebabkan timbulnya suatu bahaya pada makhluk hidup. Hal ini terjadi jika sejumlah logam mencemari lingkungan. Logam-logam tertentu sangat berbahaya bila ditemukan dalam konsentrasi tinggi dalam lingkungan (dalam air, tanah dan udara), karena logam-logam tersebut mempunyai sifat yang merusak jaringan tubuh makhluk hidup. Pencemaran lingkungan oleh logam-logam berbahaya (Cd, Pb, Hg) dapat terjadi jika orang atau pabrik yang menggunakan logam-logam tersebut untuk proses produksinya tidak memperhatikan keselamatan lingkungan. Pencemaran logam berat pada tanah daratan sangat erat hubungannya dengan pencemaran udara dan air. Partikel logam berat yang

berterbangan di udara akan terbawa oleh air hujan yang membasahi tanah sehingga timbul pencemaran tanah. Kandungan logam berat di dalam tanah secara alamiah sangat rendah, kecuali tanah tersebut sudah tercemar (Darmono, 2001).

2.3.1 Kelarutan Logam

Suatu zat dapat larut dalam pelarut tertentu, tetapi jumlahnya selalu terbatas. Batas itu disebut kelarutan. Kelarutan adalah jumlah zat terlarut yang dapat larut dalam sejumlah pelarut pada suhu tertentu sampai membentuk larutan jenuh (Yazid, 2005). Kelarutan molar suatu zat adalah jumlah mol zat yang melarut dalam satu liter larutan jenuh pada suhu tertentu. Hasil kali kelarutan suatu garam adalah hasil kali konsentrasi semua ion dalam larutan jenuh pada suhu tertentu dan masing-masing ion diberikan pangkat dengan koefisien dalam rumus tersebut. Selain daripada K_{sp} , kadang-kadang lebih mudah jika menggunakan pK_{sp} yaitu negatif logaritma dari K_{sp} ($-\log K_{sp}$). Secara algebra dapat dikatakan bahwa semakin kecil K_{sp} semakin besar pK_{sp} . Harga pK_{sp} yang besar (positif) menunjukkan kelarutan yang kecil, pK_{sp} yang kecil (negatif) menunjukkan kelarutan besar (Achmad, 2001).

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi kelarutan yakni (Day dan Underwood, 1989):

1. Temperatur, kelarutan bertambah dengan naiknya temperatur. Kadangkala endapan yang baik terbentuk pada larutan panas, tetapi jangan dilakukan penyaringan terhadap larutan panas karena pengendapan dipengaruhi oleh faktor suhu.
2. Sifat pelarut, garam-garam anorganik lebih larut dalam air. Berkurangnya kelarutan di dalam pelarut organik dapat digunakan sebagai dasar pemisahan dua zat.
3. Efek ion sejenis, kelarutan endapan dalam air berkurang jika larutan tersebut mengandung satu ion-ion penyusun endapan.
4. Pengaruh aktivasi.
5. Pengaruh pH, kelarutan dari garam asam lemah bergantung pada pH larutan, misalkan : oksalat, ion H^+ bergabung dengan ion $C_2O_4^{2-}$ membentuk

H₂C₂O₄ sehingga menambah kelarutan garamnya. Pemisahan logam mengalami hidrolisis sehingga menambah kelarutannya.

6. Pengaruh hidrolisis, jika garam dari asam lemah dilarutkan dalam air, akan menghasilkan perubahan (H⁺). Kation dari spesies garam mengalami hidrolisis menambah kelarutannya.
7. Efek kompleks, kelarutan garam yang sedikit larut merupakan fungsi konsentrasi yang menghasilkan kompleks dengan kation garam tersebut.

2.3.2 Timbal (Pb)

Timbal mempunyai berat atom 207,21; berat jenis 11,34; bersifat lunak sertaberwarna biru atau silver abu - abu dengan kilau logam, nomor atom 82 mempunyai titik leleh 327,4°C dan titik didih 1.620°C. (Fardiaz, 1995)

Timbal termasuk logam berat "*trace metals*" karena mempunyai berat jenis lebih dari lima kali berat jenis air (Darmono, 2001). Bentuk kimia senyawa Pb yang masuk ke dalam tubuh melalui makanan akan mengendap pada jaringan tubuh, dan sisanya akan terbuang bersama bahan sisa metabolisme.

Timbal adalah sebuah unsur yang biasanya ditemukan di dalam batu - batuan, tanah, tumbuhan dan hewan. Timbal 95% bersifat anorganik dan pada umumnya dalam bentuk garam anorganik yang umumnya kurang larut dalam air. Selebihnya berbentuk timbal organik. Timbal organik ditemukan dalam bentuk senyawa *Tetra Ethyl Lead* (TEL) dan *Tetra Methyl Lead* (TML) (Faye & Diamond, 1996). Jenis senyawa ini hampir tidak larut dalam air, namun dapat dengan mudah larut dalam pelarut organik misalnya dalam lipid. Waktu keberadaan timbal dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti arus angin dan curah hujan.

Timbal tidak mengalami penguapan namun dapat ditemukan di udara sebagai partikel. Karena timbal merupakan sebuah unsur maka tidak mengalami

degradasi (penguraian) dan tidak dapat dihancurkan (Rini, 1998). Timbal banyak dimanfaatkan oleh kehidupan manusia seperti sebagai bahan pembuat baterai, amunisi, produk logam (logam lembaran, solder, dan pipa), perlengkapan medis (penangkal radiasi dan alat bedah), cat, keramik, peralatan kegiatan ilmiah/praktek

(papan sirkuit/CB untuk komputer) untuk campuran minyakbahan - bahan untuk meningkatkan nilai oktan.Konsentrasi timbal di lingkungan tergantung pada tingkat aktivitas manusia,misalnya di daerah industri, di jalan raya, dan tempat pembuangan sampah. Karenatimbal banyak ditemukan di berbagai lingkungan maka timbal dapat memasuki tubuhmelalui udara, air minum, makanan yang dimakan dan tanah pertanian.

2.3.3 Kadmium (Cd)

Kadmium adalah suatu logam putih, mudah dibentuk, lunak dengan warnakebiruan. Titik didih relatif rendah (767°C) membuatnya mudah terbakar, membentukasap kadmium oksida. Kadmium dan bentuk garamnya banyak digunakan padabeberapa jenis pabrik untuk proses produksinya. Industri pelapisan logam adalahpabrik yang paling banyak menggunakan kadmium murni sebagai pelapis, begitu jugapabrik yang membuat Ni - Cd baterai. Bentuk garam Cd banyak digunakan dalamproses fotografi, gelas, dan campuran perak, produksi *foto - elektrik, foto - konduktor, dan fosforus*.

Kadmium asetat banyak digunakan pada proses industri porselen dankeramik. Keberadaan kadmium di alam berhubungan erat dengan hadirnya logam Pbdan Zn. Dalam industri pertambangan Pb dan Zn, proses pemurniannya akan selalumemperoleh hasil samping kadmium yang terbuang dalam lingkungan. Kadmiummasuk ke dalam tubuh manusia terjadi melalui makanan dan minuman yangterkontaminasi. Untuk mengukur kadmium intake ke dalam tubuh manusia perludilakukan pengukuran kadar Cd dalam makanan yang dimakan atau kandungan Cd dalam faeces (Andrianto, 2002).

2.3.4 Logam Berat Pada Landfill

Rendahnya konsentrasi logam berat dalam lindi bukan dikarenakan kurangnya logam berat yang terdapat dalam sampah. Keseimbangan konsentrasi logam berat pada landfill telah menunjukkan bahwa kurang dari 0,02% dari logam berat terdapat di tempat pembuangan sampah yang tercuci dari TPA setelah 30 tahun (Flyhammer, 1995). Baik penyerapan dan pengendapan diyakini merupakan

mekanisme yang signifikan untuk imobilisasi logam dan rendahnya konsentrasi lindi. Limbah berupa tanah dan bahan organik, terutama pada pH netral hingga dalam kondisi basa memiliki kapasitas menyerap yang signifikan (Bozkurt, 1999). Selain itu, kelarutan logam yang rendah banyak terdapat dengan ikatan sulfida dan karbonat, kedua anion merupakan ion yang khas yang terdapat pada tempat pembuangan sampah. Sulfida terbentuk dari reduksi sulfat selama dekomposisi sampah di tempat pembuangan sampah, dan pengendapan sulfida sering disebut sebagai penjelasan untuk rendahnya konsentrasi logam berat (Christensen dkk, 1994).

Sulfida dan karbonat mampu membentuk endapan dengan Cd, Ni, Zn, Cu, dan Pb. Sementara karbonat melimpah pada lindi di TPA, kelarutan karbonat logam umumnya lebih tinggi dari sulfida logam (Christensen dkk, 2000). Secara umum, endapan sulfida diharapkan untuk mendominasi pelemahan logam berat dibandingkan dengan agen kompleksasi (Reinhart dan Grosh, 1998). Terkecuali logam krom (Cr), logam ini tidak membentuk endapan yang terlarut dengan sulfida (Christensen dkk, 2000.). Namun, krom (Cr) cenderung untuk membentuk presipitat larut dengan hidroksida (Revans dkk, 1999). Investigasi dari kandungan sulfur pada sampah telah menunjukkan bahwa sampah yang tidak mengandung sulfur cukup untuk mengikat semua logam berat yang hadir dalam sampah. Martensson dkk (1999) melakukan sampling pada landfill yang mengandung belerang hanya cukup untuk mengikat 5% dari logam krom. Kadang-kadang, fosfat dan endapan hidroksida logam juga ikut terikat. Endapan hidroksida terbentuk pada pH netras atau di atas netral, yang biasanya terjadi di lindi methanogenic (Reinhart dan Grosh, 1998).

Beberapa proses, termasuk kompleksasi dengan ligan anorganik dan organik, dan penyerapan untuk koloid mampu memobilisasi logam berat dengan meningkatkan konsentrasi dalam fase cair. Kale dkk (2009) melakukan evaluasi terhadap potensi pencemaran pada landfill di India dimana dari lindi yang diuji, untuk konsentrasi logam berat yang tinggi adalah timbal (Pb), kadmium (Cd), nikel (Ni) dan seng (Zn), logam-logam tersebut berasal dari baterai, pewarna, bahan-bahan logam dan lampu *flourescant* sedangkan kehadiran krom (Cr)

dinyatakan berasal dari pewarna kayu dan produk pewarna lain yang berasal dari sampah.

Jensen dan Christensen (1999) memisahkan empat sampel lindi berbeda dari tempat pembuangan sampah di Denmark menjadi pecahan ukuran untuk mendapatkan informasi tentang distribusi ukuran koloid dan logam berat yang terkait (Cd, Ni, Zn, Cu, Pb, Cr). Sebuah fraksi yang signifikan tapi sangat bervariasi dari logam berat berkaitan dengan fraksi koloid. Demikian pula, Gounaris dkk (1993) melaporkan bahwa dalam sebuah TPA Amerika fraksi yang signifikan dari Zn, Pb, dan Cr berada di fraksi koloid. Klein dan Niessner (1998) menemukan bahwa di TPA Jerman fraksi yang utama dari logam berat berkaitan dengan material koloid, terutama pada fraksi 0,001-0,01 μm , yang didominasi oleh *humic material*. Perbandingan distribusi bahan organik dan logam berat antara fraksi ukuran menunjukkan bahwa logam berat dalam fraksi koloid tidak hanya berkaitan dengan bahan organik, meskipun zat humat koloid diduga memainkan peran utama dengan sehubungan dengan spesiasi dari logam berat. Teknik pemisahan fisik yang berbeda telah digunakan untuk membagi logam berat dalam lindi TPA menjadi berbagai jenis spesies.

Lun dan Christensen (1989) menentukan distribusi antara spesies kadmium (Cd) yang berbeda dalam lindi di TPA dengan metode resin dan menemukan bahwa Kadmium divalen (Cd^{2+}) bebas hanya terdiri beberapa persen dari kandungan kadmium total. Sebagian besar fraksi dikomplekskan ditandai sebagai kompleks labil yang dapat dengan mudah didistribusikan ke spesies terlarut lainnya. Namun, sebagian kecil (5 sampai 15%) ditandai sebagai kompleks larutan stabil, didefinisikan sebagai kurangnya kemampuan untuk bertukar dengan resin penukar kation. Kompleks yang stabil dianggap organik. Dalam lindi dari tiga tempat pembuangan sampah yang mengandung limbah industri, Holm dkk (1995) menemukan dengan menggunakan dialisis, pertukaran ion, dan perhitungan termodinamika, variasi yang besar sehubungan dengan spesiasi Cd. Dalam dua pemantauan dari lindi, sekitar 20% dari Cd total menjadi Cd^{2+} , sementara sebagian besar Cd diidentifikasi sebagai klorida kompleks. Sampel lindi dari ketiga sampel memiliki kadar karbon organik terlarut yang

tinggi (3200 mg C / l), dan sebagian besar Cd dalam lindi ini dikomplekskan dengan bahan organik.

Knox dan Jones (1979) menunjukkan bahwa kedua molekul rendah-berat senyawa (<500) sebanding dengan asam karboksilat sederhana dan tinggi-berat molekul senyawa (> 10000) memberikan kontribusi signifikan terhadap kadmium kompleksasi. Bolton dan Evans (1991) melakukan beberapa perhitungan spesiasi pada empat lindi. Perhitungan mereka menunjukkan bahwa 38% dari Cd hadir dalam kompleks dengan ligan organik dan 32% dengan ligan anorganik, sedangkan Zn dan Ni hadir di kompleks (36% dan 68%, masing-masing) secara eksklusif dengan ligan organik.

Penelitian yang dilakukan oleh Farquhar (1998), tentang produksi dan karakteristik lindi pada landfill, dari hasil penelitian tersebut *trace metals* yang terkandung pada lindi dibagi dalam beberapa rang konsentrasi yaitu untuk logam arsen, barium, boron, tembaga, krom, timbal dan nikel berada pada range 1,0 – 10,0 mg/L, dan untuk logam antimony, selenium, kadmium dan tin berada pada range 0,1 – 1,0 mg/L sedangkan logam berilium, merkuri dan perak konsentrasinya kurang dari 0,1 mg/L.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian yang dilakukan termasuk dalam penelitian eksperimen pada skala laboratorium. Secara garis besar penelitian ini meliputi kegiatan sebagai berikut :

1. Analisa timbulan lindi yang dihasilkan.
2. Analisa pH lindi.
3. Analisa kandungan logam berat (Pb dan Cd) dalam lindi.

3.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilaksanakan di Laboratorium Kualitas Lingkungan, Laboratorium Rancang Bangun dan instrumentkolom landfill disimpan di rumah kaca Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia (UII) Yogyakarta.

3.3 Waktu Penelitian

Waktu penelitian dilakukan selama enam bulan dari proses persiapan penelitian (sampling sampah di TPA Piyungan), proses pembuatan instrumen kolom landfill, pengujian sampel di laboratorium, pengolahan data dan penyusunan laporan akhir.

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

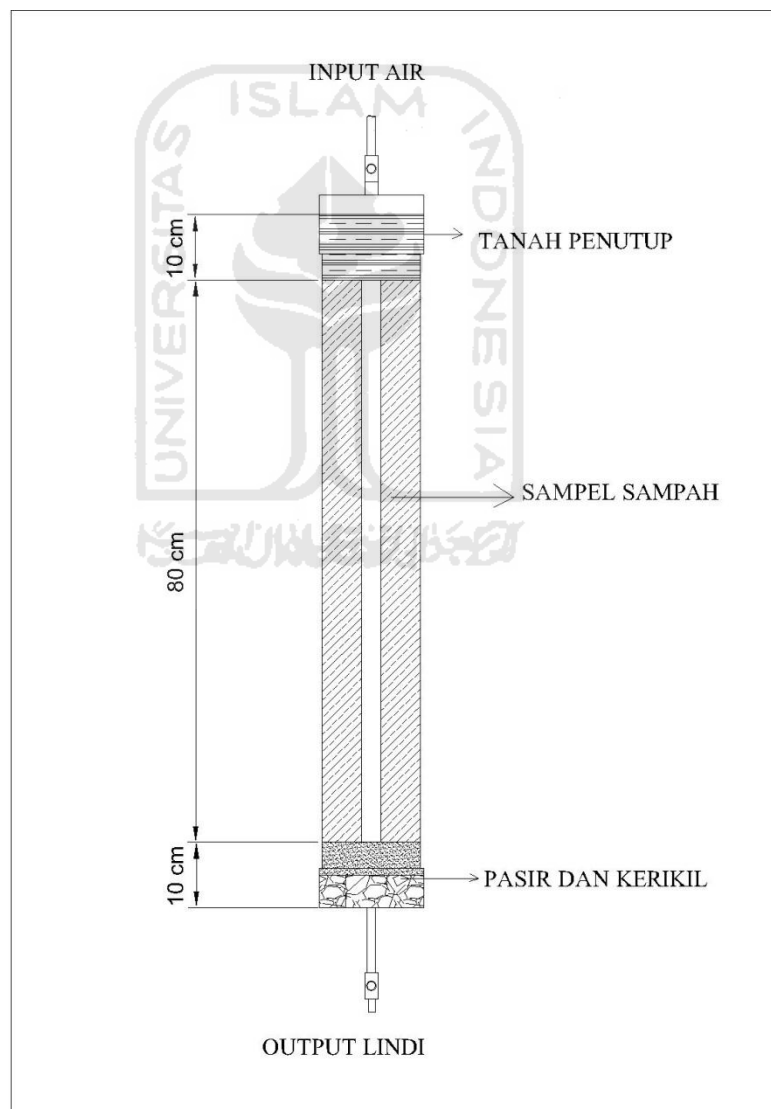
3.4.1 Bahan-bahan penelitian

Bahan- bahan yang digunakan selama proses penelitian adalah :

1. Bahan utama adalah sampah padat yang diambil dari TPA Piyungan dengan variasi umur yang berbeda. Dengan penjelasan :
 - Umur sampah ≤ 1 Tahun (Kolom Landfill 1)
 - Umur sampah 1 - 2 Tahun (Kolom Landfill 2)

- Umur sampah 2 – 5 Tahun (Kolom Landfill 3)
 - Umur sampah ≥ 5 Tahun (Kolom Landfill 4)
2. Bahan pembuat instrument kolom landfill berupa : Pipa PVC $\varnothing 6''$, tutup pipa $\varnothing 6''$, pipa PVC $\varnothing 1/2''$, stop kran $\varnothing 1/2''$, mika, selang, selang transparan, botol minuman 1,5 lt, jerigen 2,5 lt, lem pipa, kayu, dan kawat.
 3. Bahan tambahan berupa pasir dan kerikil sebagai filter dan tanah penutup sampah.

Berikut adalah gambar kolom landfill yang digunakan pada penelitian ini,



Gambar 3.1 Desain kolom landfill anaerobik

3.4.2 Alat- alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain :

1. Alat sampling sampah berupa : sekop, pengungkit tanah, ember, bor, dan plastik ukuran besar
2. Alat pembuat instrument kolom landfill berupa : Pemanas, bor elektrik, gerinda elektrik, cutter dan penunjuk skala gas (dari kertas milimeter)
3. Alat untuk persiapan sampel ke instrument kolom landfill : wadah sederhana, sarung tangan, plastik kecil dan masker.

3.5 Metode Pengumpulan Data

3.5.1 Metode Pengukuran

Pengukuran sampel lindi diambil berdasarkan periodik waktu tertentu. Pada penelitian ini dilakukan selama 7 (tujuh) minggu dan sampel sampah yang di uji terdapat 4 (empat) variasi yang dipilah berdasarkan umur. Berdasarkan waktu dan variasi yang digunakan dalam penelitian ini, pengukuran konsentrasi logam berat (Pb dan Cd) dilakukan setiap satu minggu sekali.

3.5.2 Pengambilan sampel Sampah

Pengambilan sampel (sampah) dilakukan di TPA piyungan yang terbagi atas beberapa zona, dimana zona tersebut dibagi menjadi 3 (tiga) dengan keterangan sebagai berikut :

- Zona I : Waktu penggunaan lahan sejak tahun 1995-2005.
- Zona II : Waktu penggunaan lahan sejak tahun 2005-2009.
- Zona III : Waktu penggunaan lahan sejak tahun 2009-2012.

(Sumber, Pengelola TPA Piyungan 2011)

Berdasarkan data tersebut, menjadi acuan dalam pengambilan sampel sampah berdasarkan umur sampah. Lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3.1 Variasi umur sampah setiap kolom landfill dan lokasi pengambilan sampel.

Kolom Landfill	Umur sampah (Tahun)	Lokasi pengambilan
1	≤ 1	Zona III
2	1 – 2	Zona III
3	2 – 5	Zona II
4	≥ 5	Zona I

3.5.3 Persiapan dan Perlakuan Sampel Sampah

Volume total tiap kolom landfill anaerobik tersebut adalah 18.23 lt yang terbagi atas 1,823 lt tanah penutup, 14.59 lt sampah dan 1.823 lt pasir dan krikil di bagian dasar kolom landfill yang tersusun secara paralel atau bertingkat. Berat jenis sampah yang dimasukkan ke dalam masing-masing kolom landfill yaitu, R1 = 0,277 kg/lt, R2 = 0,221 kg/lt, R3 = 0,307 kg/lt dan R4 = 0,483 kg/lt.

Pemberian air setiap kolom landfill dilakukan secara berkala dengan periodik waktu seminggu sebanyak 2,5 lt atau 7 x 355 ml dengan waktu kontak air selama kurang lebih 30 menit, atau sebesar 11,83 ml/menit. Waktu kontak air dengan sampah di dalam kolom landfill diusahakan sekecil mungkin, hal ini dilakukan bertujuan agar air dapat meresap ke dalam sampah sehingga memberi kesempatan sampah untuk mengalami degradasi oleh aktifitas mikroba dan optimalnya proses pembilasan.

3.6 Pengujian laboratorium

Pengujian laboratorium terhadap parameter yang terkandung dalam sampel lindi pada penelitian ini menggunakan standar nasional indonesia dan disajikan pada tabel berikut ini.

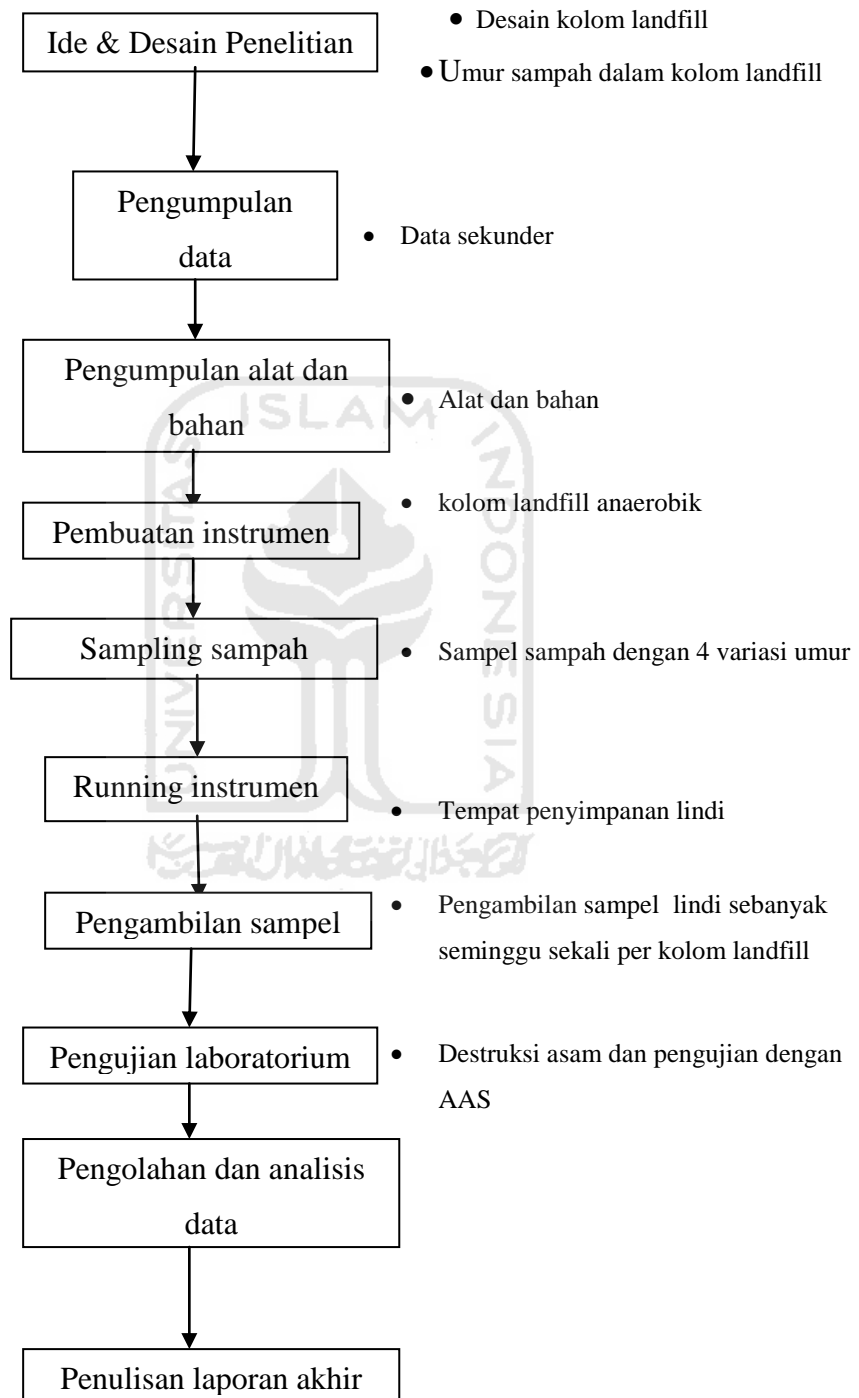
Tabel 3.2Standar pengujian

No	Parameter	Kode SNI
1	Timbal (Pb)	SNI 06-6989.8-2004
2	Kadmium (Cd)	SNI 06-6989.16-2004
3	pH	SNI 06-6989.11-2004



3.7 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan pengerjaan seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 3.2 Tahapan penelitian

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Karakteristik Sampel Sampah

4.1.2 Karakteristik fisik Sampel Sampah

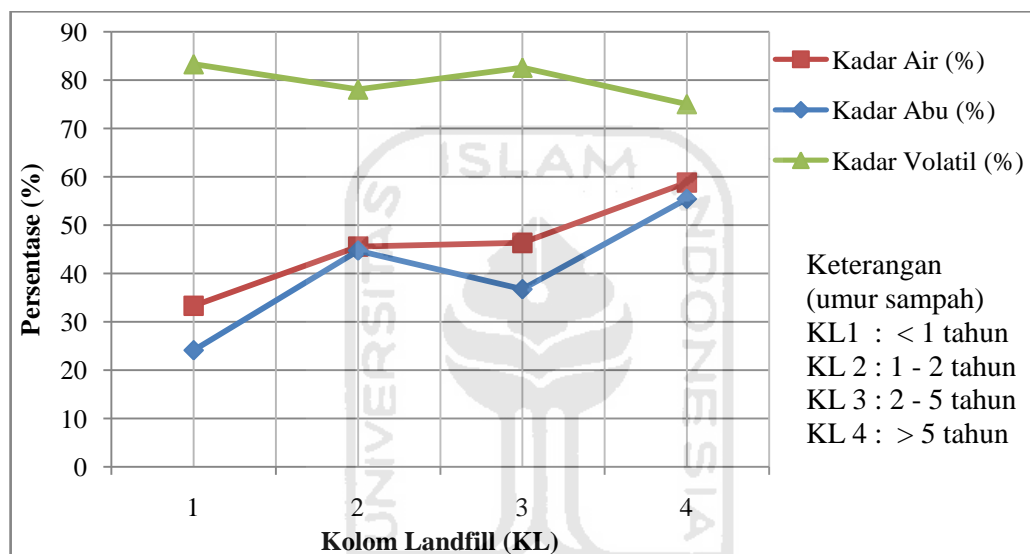
Sebelum sampel sampah dari TPA Piyungan dimasukkan ke dalam kolom landfill yang selanjutnya akan disebut dengan KL, terlebih dahulu dilakukan beberapa pengujian parameter pada sampah tersebut. Parameter yang diuji antara lain kadar air, kadar volatile, berat jenis, dan komposisi sampel sampah. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada tabel-tabel berikut.

Tabel 4.1 Karakteristik fisik sampel sampah

Umur sampel sampah(tahun)	Kadar air (%)	Kadar abu (%)	Kadar volatil (%)	Berat jenis (kg/l)
<1 (KL 1)	33,33	24, 11	82,32	0,277
1-2 (KL 2)	45,56	44,74	78,08	0,221
2-5 (KL 3)	46,35	36,75	82, 60	0,307
>5(KL 4)	58,83	55,44	75, 07	0,483

Dari hasil pengujian karakteristik fisik sampel sampah didapatkan data yang berbeda untuk setiap variasi umur sampah, seperti pengujian kadar air sampah, pada umur sampah < 1 tahun dengan kadar airnya sebesar 33,33 % , Hal ini sesuai dengan literatur dimana untuk sampah domestik tipikal (umur sampah < 1 tahun) kelembaban adalah 15 – 40% (Tchobanoglous, 1993). Kelembaban sampah juga dipengaruhi oleh komposisi sampah, musim dan curah hujan (Azkha, 2006). Sedangkan hasil pengujian berat jenis sampah, hasil pengujian didapatkan bahwa semakin muda umur sampah maka semakin kecil berat jenisnya untuk umur sampah 2 - 5 tahun dan > 5 tahun, sedangkan untuk umur sampah < 1 tahun dan 1 - 2 tahun memiliki perbedaan berat jenis dimana umur sampah 1 – 2 tahun lebih ringan dibandingkan dengan berat jenis pada sampah umur < 1 tahun, hal ini dimungkinkan karena kadar organik pada sampel

sampah < 1 tahun yang di ujidalam keadaan jenuh dengan air dan komposisinya mencapai 40 %, dimana komposisi pada umur sampah 1 – 2 tahun material organiknya hanya 15%.Menurut Simon(2007) nilai berat jenis sampah bukanlah suatu standar yang pasti (mutlak) karena dipengaruhi oleh faktor geografi wilayah pengambilan sampel, musim dan lamanya waktu penyimpanan sampah serta tingkat respentatif yaitu seberapa besar sampel sampah mewakili keadaan sebenarnya. Perbedaan karakteristik fisik setiap variasi umur sampah juga dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.1 Pengujian karakteristik fisik sampah

4.1.3 Komposisi Sampel Sampah

Komposisi sampah merupakan penggambaran dari masing-masing komponen yang terdapat dalam buangan padat dan distribusinya, biasanya dinyatakan dalam persen berat, (Azkha, 2006). Pengukuran komposisi sampel sampah dilakukan dengan cara mengambil sampah sebanyak 1 kg lalu dipilah antara sampah organik dengan anorganik yang diambil dari TPA Piyungan dengan variasi umur sampah lalu ditimbang setiap komposisinya. Hasil pengujian komposisi sampel sampah dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4.2 Komposisi sampel sampah

No	Komposisi Sampah	Umur ≤ 1 tahun		Umur 1-2 tahun		Umur 2-5 tahun		Umur ≥ 5 tahun	
		(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)
1	Tanah dan humus	0,24	24	0,45	45	0,52	52	0,56	56
2	Plastik	0,21	21	0,25	25	0,23	23	0,24	24
3	Organik	0,40	40	0,15	15	0,15	15	0,1	10
4	Kain	0,05	5	0,06	6	0,05	5	0,05	5
5	Kaca	0	0	0	0	0,05	5	0,02	2
6	Logam	0,04	4	0,05	5	0,05	5	0,03	3
7	Lain-lain	0,06	6	0,04	4	0	0	0,0	0
	Total	1	100	1	100	1	100	1	100

Secara umum komposisi sampel yang diambil berdasarkan umur sampah menunjukkan bahwa semakin muda umur sampah semakin tinggi material organiknya, hal ini disebabkan karena komposisi material organik pada kolom landfill < 1 tahun belum terdegradasi seluruhnya oleh aktifitas mikroorganisme, sedangkan umur sampah 1 – 2 tahun, 2 – 5 tahun, dan > 5 tahun memiliki komposisi organik yang rendah daripada kolom landfill < 1 tahun dan komposisi tanah humus yang semakin tinggi untuk umur sampah yang semakin tua, hal ini disebabkan karena komposisi organik pada sampah telah terdegradasi secara optimal dengan rentang waktu yang panjang. Humus yang dimaksud pada pembahasan ini adalah material organik yang terdapat pada sampah perkotaan yang mengalami proses degradasi oleh aktifitas mikroorganisme dimana hasil dari proses tersebut adalah humus menjadi (bunga tanah), dan kemudian menjadi tanah. Material utama untuk humus adalah bahan – bahan organik seperti daun ataupun ranting pohon, limbah organik pertanian dan peternakan, industri makanan, agro industri, kulit kayu, serbuk gergaji (abu kayu), potongan kayu, endapan organik, sampah rumah tangga, dan limbah-limbah padat organik perkotaan. Menurut Azkha (2006), informasi tentang komposisi sampah dibutuhkan untuk penentuan luas areal tempat pembuangan sampah akhir (TPA) dan pengolahan sampah secara biologi seperti pengolahan *composting*.

4.2 Hasil Pengujian Sampel Lindi(Leachete)

Pada penelitian ini, parameter yang akan diuji dan diukur dari sampel lindi adalah perbedaan antara volume pemberian air dengan volume lindi yang dihasilkan, pH, konsentrasi Pb dan Cd. Hasil pengujian dan pencatatan dari beberapa parameter yang telah disebutkan diatas adalah sbb :

4.2.1 Hasil Pengujian Kuantitas Lindi (Leachete)

Volume lindi yang dihasilkan diukur setiap harinya, dimana pemberian air sebanyak 2.5 lt perminggu atau 355 ml perharinya untuk setiap kolom landfill dan sampel lindi ditampung menggunakan jerigen 2.5 lt, setelah satu minggu sampel diambil dan diuji pH, konsentrasi Pb dan Cd yang terkandung didalamnya.

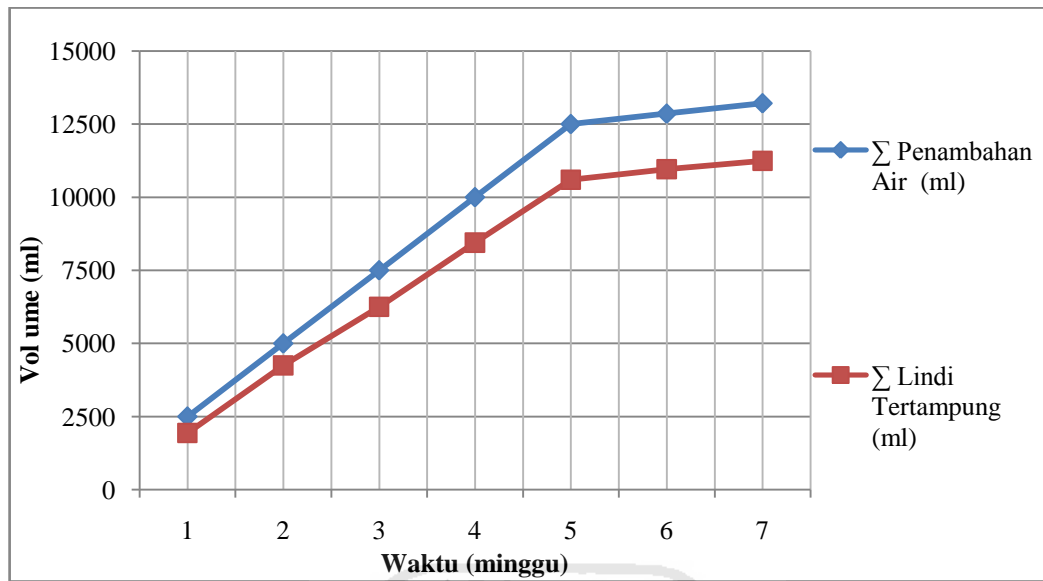
Akumulasi antara total volume pemberian air dan total volume lindi yang dihasilkan pada 4 kolom landfill selama 7 minggu penelitian akan disajikan pada tabel dan gambar berikut ini :

Tabel 4.3 Perbedaan penambahan air dan volume lindi tertampung

Minggu	Σ Penambahan air (ml)	Σ Timbulan lindi KL 1 (ml)	Σ Timbulan lindi KL 2 (ml)	Σ Timbulan lindi KL 3 (ml)	Σ Timbulan lindi KL4 (ml)
1	2500	1940	1500	1900	1940
2	5000	4250	4000	4220	4150
3	7500	6250	6025	6235	6100
4	10000	8450	8275	8432	8150
5	12500	10600	10375	10515	10150
6	12855	10960	10720	10885	10495
7	13210	11245	10990	11015	10595

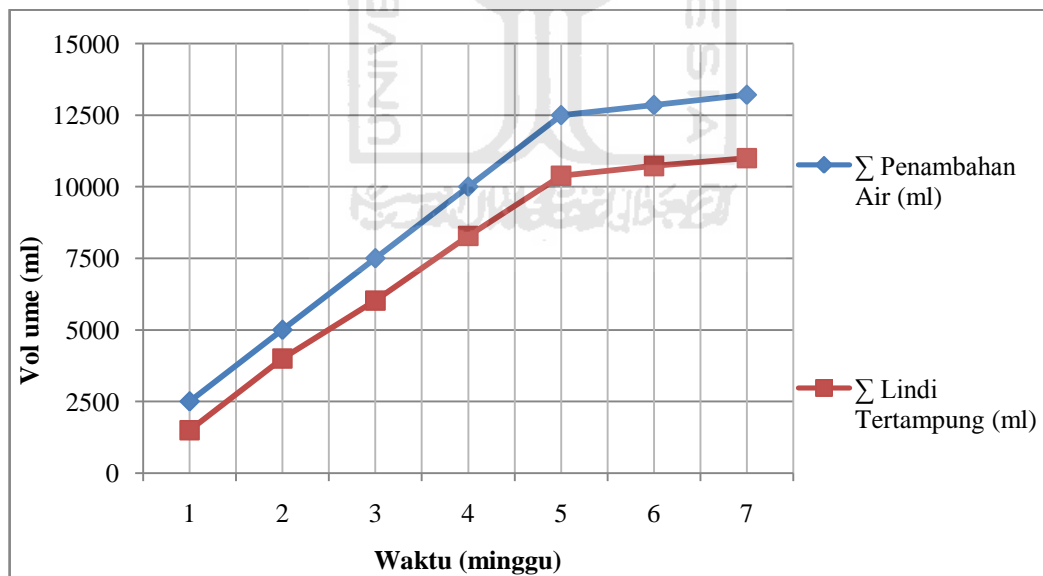
Keterangan : KL 1 (< 1 tahun), KL2 (1 – 2 tahun), KL3 (2 – 5 tahun), KL4 (> 5 tahun)

Berikut ini adalah grafik total volume pemberian air dan total volume lindi yang dihasilkan pada 4 kolom landfill selama 7 minggu.



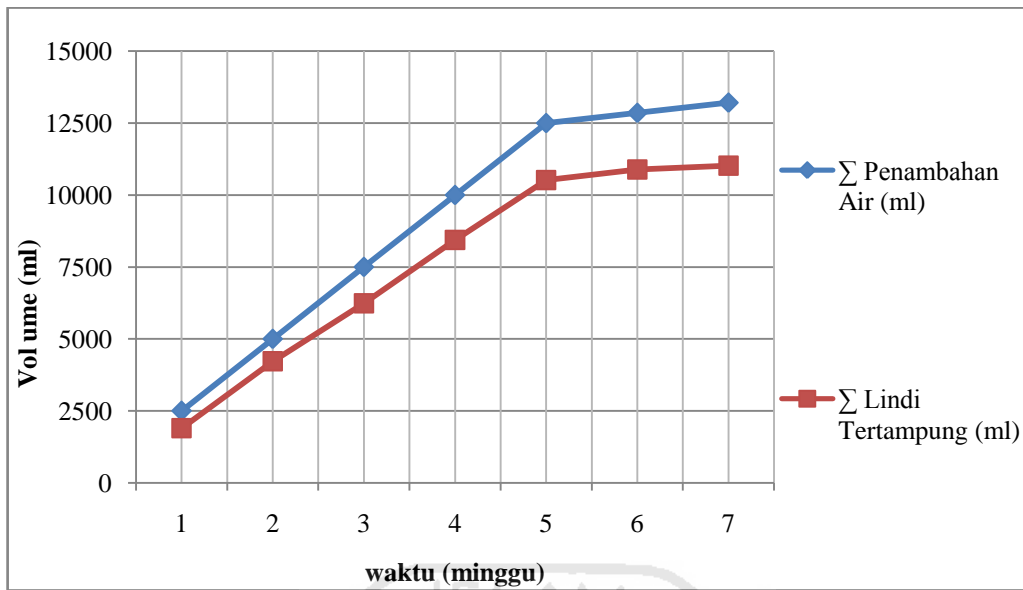
Gambar 4.2 Akumulasi penambahan air dan volume lindi KL 1

(Umur sampah < 1 tahun)

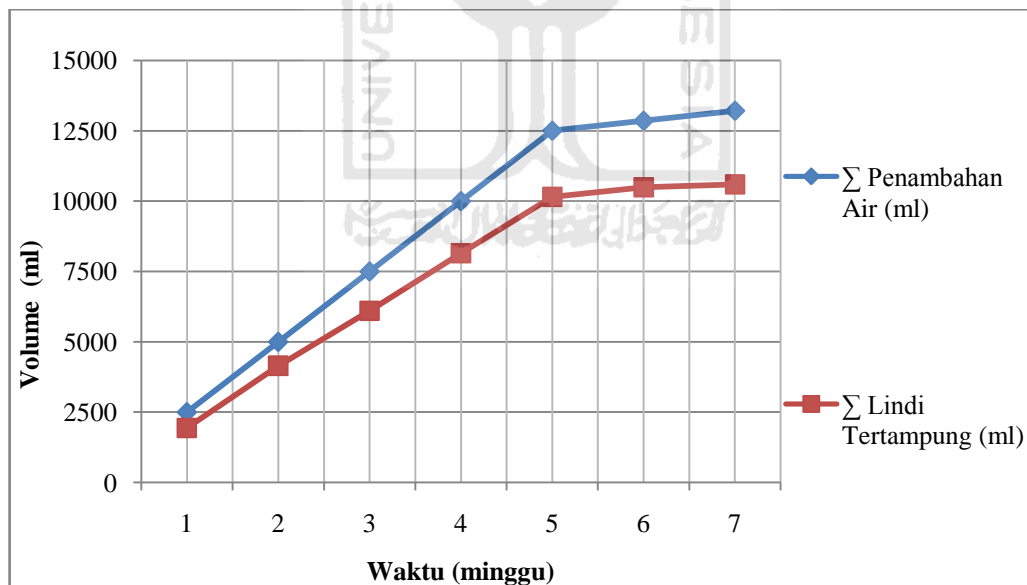


Gambar 4.3 Akumulasi penambahan air dan volume lindi KL 2

(Umur sampah 1 - 2 tahun)



Gambar 4.4 Akumulasi penambahan air dan volume lindi KL 3
(Umur sampah 2 - 5 Tahun)



Gambar 4.5 Akumulasi penambahan air dan volume lindi KL 4
(Umur sampah > 5 Tahun)

Hasil pengukuran volume lindi pada 4 kolom landfill selama 7 minggu penelitian dapat dilihat pada gambar dan tabel diatas. Berdasarkan hasil pengukuran pada seluruh kolom landfill selama penelitian didapatkan

keterangan bahwa volume lindi yang dihasilkan lebih kecil dari volume penambahan air. Rerata persentase volume lindi yang tertampung dari volume air yang diberikan pada setiap kolom landfill adalah, KL 1 = 85,045 %, KL 2 = 82,082 %, KL 3 = 83,995 %, dan KL 4 = 81,720 %.

Volume penambahan air yang diberikan pada setiap kolom landfill adalah sama, perbedaan volume lindi yang dihasilkan dalam periode waktu yang sama untuk setiap variasi umur sampah adalah berbeda dikarenakan komposisi organik setiap kolom landfill juga berbeda-beda. Material organik mempunyai kemampuan lebih baik untuk menyerap air yang dimasukkan ke dalam kolom landfill dibandingkan dengan material anorganik. Hal tersebut menyebabkan volume lindi yang dihasilkan pada kolom landfill dengan komposisi bahan organik lebih sedikit (Putranto, 2011), namun hal tersebut tidak terjadi pada kolom landfill < 1 tahun dengan persentase material organik sebanyak 40 %, dimana jumlah lindi yang tertampung sebanyak 85,045 % dari total air yang diberikan selama penelitian, hal ini dimungkinkan karena jenuhnya material organik dalam kolom landfill oleh air yang dimasukkan pada awal penelitian, sehingga air yang diberikan ke dalam kolom landfill < 1 tahun saat penelitian hanya mengalir dan membilas material – material sampah tersebut. Zeiss dan Ugucioni (1995) menyimpulkan bahwa aliran air kebawah yang terjadi adalah suatu mekanisme aliran yang dominan pada sampah padat perkotaan.

Faktor lainnya yang dapat mempengaruhi persentase penyerapan air dalam kolom landfill adalah jumlah tanah humus yang ada pada setiap kolom landfill, seperti pada kolom landfill > 5 tahun, dimana komposisi tanah dan humusnya mencapai 56% dari total sampah yang dimasukkan. Hal ini mengakibatkan volume lindi yang tertampung pada kolom landfill > 5 tahun paling sedikit dari kolom landfill lainnya. Humus merupakan bentuk bahan organik yang lebih stabil, dalam bentuk inilah bahan organik banyak terakumulasi dalam tanah. Humus memiliki kontribusi terbesar terhadap durabilitas dan kesuburan tanah. Humus bersifat menyerupai liat, yaitu bermuatan negatif. Tetapi tidak seperti liat yang kebanyakan kristalin, humus selalu amorf (tidak beraturan bentuknya). Kemampuan humus menahan air dan ion hara melebihi kemampuan liat. Tinggi

daya tahan (menyimpan) unsur hara adalah akibat tingginya kapasitas tukar kation dari humus, karena humus memiliki beberapa gugus yang aktif terutama gugus karboksil. Dengan sifat tersebut keberadaan humus dalam tanah akan membantu meningkatkan produktivitas tanah, Humus memiliki daya serap air 80-90 % dari bobotnya, liat hanya 15-20 % (Anonim, 2011).

Kuantitas lindi yang terbentuk pada landfill sebagian besar tergantung oleh faktor iklim daerah sekitar landfill. Volume lindi juga dipengaruhi oleh kandungan *moisture* pada sampah, komposisi sampah padat, transformasi biokimia dan fisik akibat perubahan kelembaban pada wilayah landfill serta aliran air yang berasal dari luar landfill (Słomczyńska dan Słomczyński, 2004).

4.2.2 Pengukuran pH pada Lindi

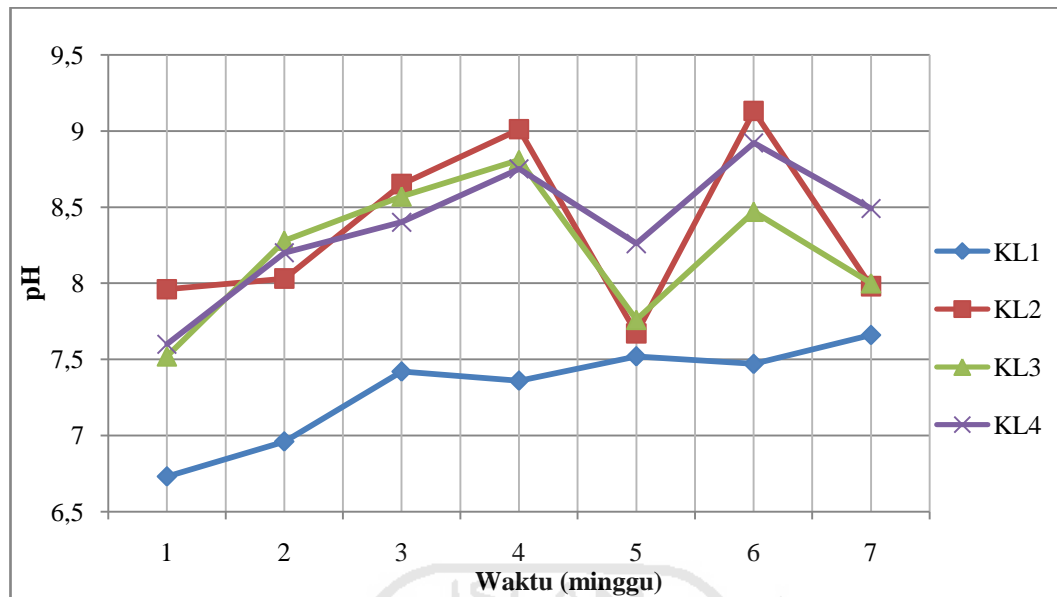
Hasil pengujian pH sampel lindi yang tertampung dari setiap kolom landfill selama 7 minggu adalah sebagai berikut,

Tabel 4.4 Hasil pengujian pH

Waktu (Minggu)	pH			
	KL 1	KL 2	KL 3	KL 4
1	6,73	7,96	7,52	7,6
2	6,96	8,03	8,28	8,2
3	7,42	8,65	8,57	8,4
4	7,36	9,01	8,81	8,75
5	7,52	7,67	7,76	8,26
6	7,47	9,13	8,47	8,92
7	7,66	7,98	8	8,49

Keterangan : KL 1 (< 1 tahun), KL2 (1 – 2 tahun), KL3 (2 – 5 tahun), KL4 (> 5 tahun)

Nilai pH lindi dari keempat kolom landfill selama 7 minggu pengamatan dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Keterangan : KL1 (< 1 tahun), KL2 (1 – 2 tahun), KL3 (2 – 5 tahun), KL 4 (> 5 tahun)

Gambar 4.6 pH setiap kolom landfill

Berdasarkan gambar 4.6 dapat dilihat bahwa nilai pH pada kolom landfill < 1 tahun selama 7 minggu pengamatan umumnya mengalami kenaikan yaitu, dari nilai pH 6,73 – 7,66, dimana nilai pH ini adalah nilai pH yang optimum, derajat keasaman atau pH sangat berpengaruh pada proses pertumbuhan mikroorganisme pengurai (dekomposer). Kondisi pH optimum untuk proses biodegradasi anaerobik berkisar antara 6 – 8 (Yuen, 2001 dalam ARRPET, 2004). Sedangkan untuk kolom landfill 1 – 2 tahun, 2 – 5 tahun, dan > 5 tahun memiliki nilai pH yang fluktuatif namun kecenderungannya adalah naik.

Selain nilai pH yang naik juga terdapat nilai pH yang turun, penurunan terjadi yaitu pada kolom landfill 1 – 2 tahun, 2 – 5 tahun, dan > 5 tahun pada minggu ke-5 lalu nilai pH naik lagi pada minggu ke-6 dan mengalami penurunan lagi pada minggu ke-7. Kenaikkan pH terjadi karena adanya proses dekomposisi dari fase asetogenesis menjadi methanogenesis, sehingga dalam kolom landfill mengalami pembentukan gas methan, pada proses methanogenesis perubahan dari asam asetat menjadi methan. CH_2 adalah produk dari degradasi anaerob. Pembentukan methan dapat terjadi melalui dua cara, cara pertama adalah fermentasi dari produk utama dari tahap pembentukan asam, yaitu asam asetat

menjadi CH_4 dan CO_2 . Cara kedua adalah penggunaan H_2 oleh beberapa mikroorganisme methanogen untuk mereduksi CO_2 menjadi CH_4 (Fairus, Sirin dkk, 2011). Proses methanogenesis menyebabkan meningkatnya alkalinitas sehingga pH menjadi naik, dan memungkinkan bakteri-bakteri metan dapat hidup asam-asam volatil akan dikonversi menjadi metan dan CO_2 , dan materi organik terlarut menjadi berkurang karena kelarutannya menjadi berkurang akibat nilai pH yang naik.

Sedangkan penurunan nilai pH disebabkan karena terjadinya akumulasi asam-asam volatil, yang merupakan penghalang bagi aktivitas metanogenesis di mana hal ini disebabkan karena bakteri asidogenik berkerja, asam organik terproduksi semakin banyak dan menyebabkan nilai pH turun, selain itu pH turun juga dapat disebabkan karena alkalinitas yang rendah sehingga tidak ada buffer yang mengontrol kondisi di dalam kolom landfill sehingga dapat menghasilkan asam dalam proses anaerob. Hal lainnya yang mempengaruhi turunnya nilai pH pada kolom landfill anaerobik ini adalah sedang berlangsungnya fase asidogenesis. Pada fase asidogenesis ini disebabkan berkurangnya oksigen, maka bakteri anaerob fakultatif menjadi dominan, likuifaksi terus berlangsung, sejumlah besar asam-asam volatil serta CO_2 akan dihasilkan dari sistem ini, dan materi anorganik akan lebih banyak larut, terutama karena turunnya pH (Setianingrum, 2011). Menurut Iswanto dkk, (2007) menyatakan penurunan nilai pH dapat disebabkan kolom landfill dalam keadaan asam. Hal ini menunjukkan adanya kegiatan mikroorganisme yang menguraikan bahan organik yaitu karbohidrat diuraikan menjadi glukosa dan glukosa diuraikan lagi menjadi asam organik, menghasilkan karbondioksida (CO_2) dan air (H_2O). Terjadinya penguraian asam organik menjadi CO_2 dan H_2O menyebabkan penurunan asam organik dalam kolom landfill sehingga mengakibatkan nilai pH naik.

pH tersebut berpengaruh pada proses biodegradasi anaerobik terutama dalam fase pembentukan gas metan, dimana bakteri methanogenesis bekerja optimum pada range 6 – 8. Pada fase anaerob, dimana proses hidrolisis terus berlangsung sehingga gas CO_2 dan asam-asam volatil mulai terbentuk

mengakibatkan nilai pH menjadi turun dan bahan-bahan anorganik dan mineral-mineral semakin banyak terlarut.

4.2.3 Hasil Pengujian Timbal (Pb)

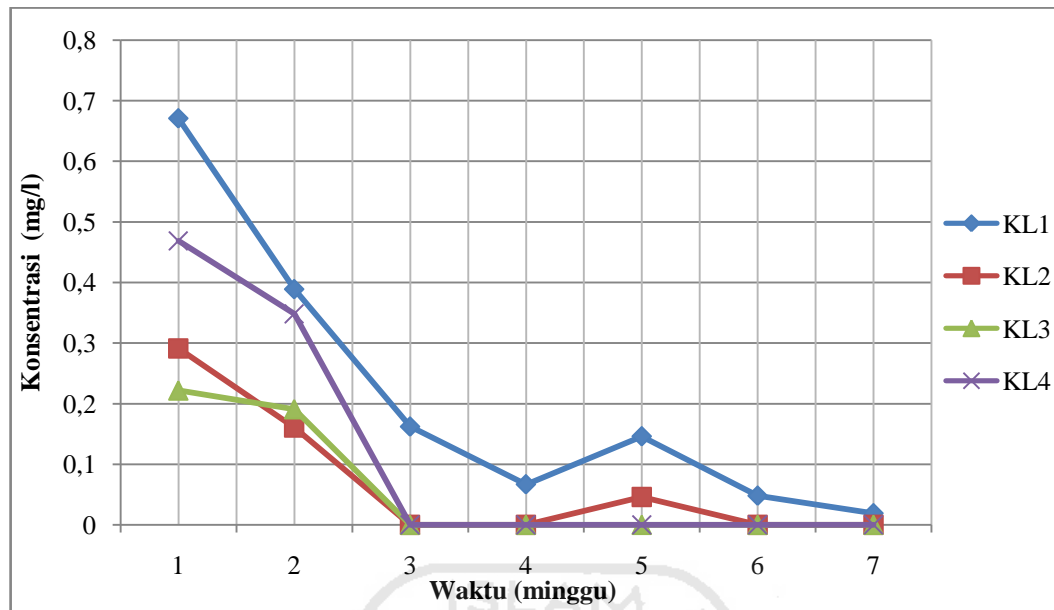
Hasil pengujian kadartimbal (Pb) pada sampel lindi menunjukkan perubahan konsentrasi terhadap waktu atau lamanya proses biodegradasi berlangsung, dimana hasilnya memiliki kecendrungan penurunan tiap periodenya. Berikut ini adalah hasil pengujian konsentrasi timbal dari sampel lindi dari setiap sampling yang dilakukan.

Tabel 4.5 Hasil pengujian Pb

Waktu (minggu)	Konsentrasi (mg/l)			
	KL 1	KL 2	KL 3	KL 4
1	0,6707	0,2908	0,2215	0,4684
2	0,3888	0,1605	0,1906	0,3479
3	0,162	0	0	0
4	0,0668	0	0	0
5	0,146	0,046	0	0
6	0,048	0	0	0
7	0,019	0	0	0

Keterangan : KL 1 (< 1 tahun), KL 2 (1 – 2 tahun), KL 3 (2 – 5 tahun), KL 4 (> 5 tahun)

Konsentrasi timbal (Pb) pada lindi dari setiap periode waktu sampling dankolom landfill terlihat pada gambar di bawah ini :



Keterangan : KL1 (< 1 tahun), KL2 (1 – 2 tahun), KL3 (2 – 5 tahun), KL 4 (> 5 tahun)

Gambar 4.7 Konsentrasi Pb setiap kolom landfill

Hasil pengujian konsentrasi timbal (Pb) pada sample lindi didapatkan hasil berupa penurunan konsentrasi pada periode sampling (minggu ke 1 – 2) hingga tidak terdeteksi pada minggu ke 3 - 7 untuk kolom landfill 2 – 5 tahun dan > 5 tahun. Sedangkan kolom landfill < 1 tahun dan 1 – 2 tahun memiliki data yang sedikit fluktuatif tetapi memiliki kecenderungan semakin menurunnya konsentrasi timbal (Pb) dari minggu ke-1 sampai minggu ke-4, namun pada minggu ke-5 mengalami sedikit kenaikan dari konsentrasi 0,0668 mg/l - 0,146 mg/l dengan nilai pH 7,36 – 7,52 pada kolom landfill < 1 tahun, sedangkan pada kolom landfill 1 – 2 tahun mengalami kenaikan dari konsentrasi 0 mg/l - 0,046 mg/l dengan nilai pH 9,01 – 7,67. Kenaikan konsentrasi timbal pada kolom landfill < 1 tahun dan 1 – 2 tahun pada minggu ke-5 disebabkan karena kelarutan timbal pada kondisi yang optimal dimana nilai pH mengalami penurunan, yaitu 7,52 untuk kolom landfill < 1 tahun dan 7,67 untuk kolom landfill 1 – 2 tahun.

Faktor lainnya yang mempengaruhi penurunan konsentrasi timbal secara bertahap pada keempat landfill terutama landfill 2 – 5 tahun dan > 5 tahun adalah karena pembilasan oleh pemberian air secara berkala, yang mengakibatkan perpindahan konsentrasi timbal dari sampah ke lindi hingga konsentrasinya menurun

setiap minggu bahkan tidak terdeteksi. Liu dan Sang (2009), menyatakan bahwa konsentrasi logam berat pada sampah padat perkotaan semakin lama semakin menurun secara dinamis. Logam yang terdapat pada landfill mengalami kelarutan dimana pada awal operasional konsentrasi logam masih cukup tinggi, semakin lama landfill beroperasi maka logam mengalami proses pembilasan dan mengakibatkan perpindahan logam berat dari sampah yang tercemar ke lindi semakin lama semakin menurun konsentrasinya setiap periode. Dalam bentuk kolom landfill anaerobik kemungkinan logam tersebut semakin menurun bahkan tidak terdeteksi ketika lindinya diuji dimungkinkan karena tidak ada resirkulasi lindi pada proses tersebut.

Sebagai perbandingan, Liu dan sang (2009) juga melakukan penelitian sejenis terhadap konsentrasi timbal yang terkandung dalam lindi pada TPA di China dimana konsentrasinya secara dinamis menurun dari konsentrasi $29,6 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ – $4,6 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ untuk LC 1 – 3 dan $30,3 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ – $4,2 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ untuk LC 5 – 7, dimana puncak konsentrasi timbal pada lindi saat 10 – 20 hari penelitian dan konsentrasinya menurun secara bertahap.

4.2.4 Hasil Pengujian Kadmium (Cd)

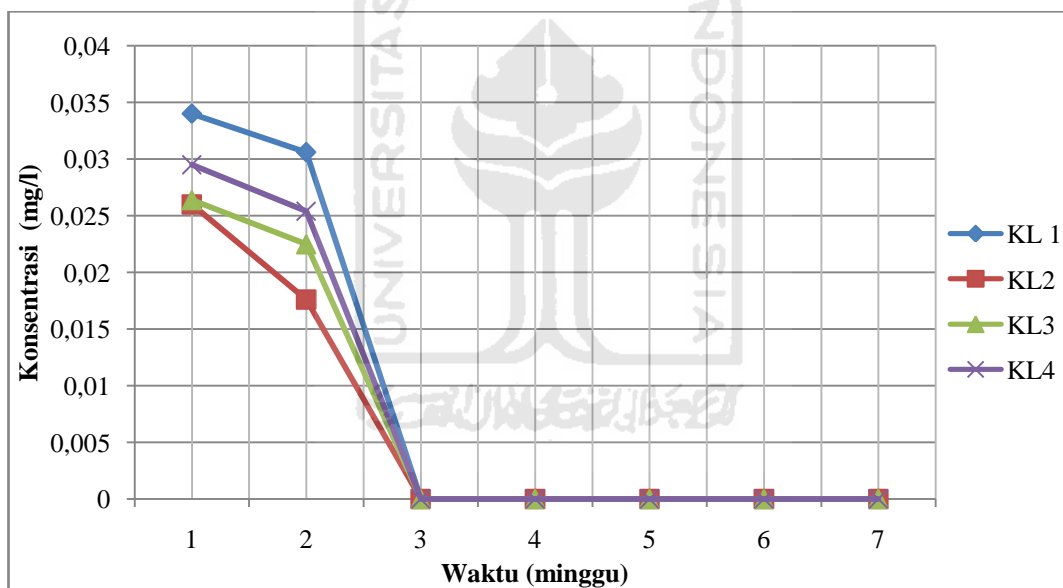
Hasil pengujian kadmium (Cd) pada sampel lindi menunjukkan perbedaan konsentrasi kadmium dalam lindi setiap kolom landfill, dan perubahan konsentrasinya menunjukkan penurunan setiap minggunya. Berikut ini adalah hasil pengujian konsentrasi kadmium dari sampel lindi dari setiap sampling yang dilakukan.

Tabel 4.6 Hasil pengujian Cd

Waktu (minggu)	Konsentrasi (mg/l)			
	KL 1	KL 2	KL 3	KL 4
1	0,0340	0,0260	0,0264	0,0295
2	0,0306	0,0176	0,0225	0,0254
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0

Keterangan : KL 1 (< 1 tahun), KL 2 (1 – 2 tahun), KL 3 (2 – 5 tahun), KL 4 (> 5 tahun)

Konsentrasi kadmium (Cd) berdasarkan periode waktu dan perbedaan tiap kolom landfill dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Keterangan : KL1 (< 1 tahun), KL2 (1 – 2 tahun), KL3 (2 – 5 tahun), KL4 (> 5 tahun)

Gambar 4.8 Konsentrasi Cd setiap kolom landfill

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat dilihat bahwa, puncak konsentrasi kadmium (Cd) sampel lindi pada keempat kolom landfill adalah pada minggu ke-1 dan minggu ke-2, dengan kecenderungan penurunan setiap periodenya, hingga konsentrasi Cd tidak terdeteksi pada minggu ke-3 sampai pada minggu ke-7 pada keempat kolom landfill, hal ini dimungkinkan sebagian besar konsentrasi kadmium yang terkandung dalam sampah telah berpindah ke lindi. Penurunan

konsentrasi terjadi secara bertahap dapat disebabkan oleh pembilasan setelah pemberian air pada setiap kolom landfill secara berkala, dan juga kelarutan konsentrasi kadmium yang terkandung dalam lindi pada awal penelitian masih tinggi. Liu dan Sang (2009) menyatakan bahwa konsentrasi logam berat pada sampah padat perkotaan semakin lama semakin menurun secara dinamis, logam berat yang terdapat pada landfill mengalami kelarutan dimana pada awal operasional konsentrasi logam masih cukup tinggi, semakin lama landfill beroperasi maka logam mengalami proses pembilasan dan mengakibatkan perpindahan logam berat dari sampah yang tercemar ke lindi sehingga konsentrasi logam berat pada lindi semakin lama semakin menurun secara berkala.

Penelitian juga menunjukkan bahwa nilai pH lindi pada penelitian dapat memiliki pengaruh pada munculnya konsentrasi kadmium pada keempat kolom landfill, dimana konsentrasi kadmium berkurang secara berkala (minggu 1 - 2) pada pH 6,73 – 8,38 hingga konsentrasi kadmium tidak terdeteksi (minggu 3 - 7), hal ini dimungkinkan konsentrasi kadmium yang terkandung dalam sampah sebagian besar telah berpindah ke lindi pada periode awal penelitian (minggu 1 - 2) dengan kondisi pH yang optimum untuk kelaurutan kadmium, pada minggu ke-4 sampai minggu ke-5 dengan penurunan pH pada keempat kolom landfill nilai pH 7,52 – 8,26, konsentrasi kadmium yang terkandung dalam lindi tetap tidak terdeteksi. Menurut Liu dan Sang (2009), menyatakan bahwa pada media yang netral dan sampah yang bersifat alkali pada landfill lebih memudahkan perpindahan logam berat pada lindi. Dari pengukuran pH lindi minggu pertama hingga minggu kedua yaitu, pH berada pada range 6.73 – 8,28. Untuk membandingkan penelitian ini dengan penelitian lainnya dapat dilihat menurut Liu dan Sang (2009) dari hasil pengukuran konsentrasi kadmium pada lindi dari sampah padat perkotaan di China dengan penelitian yang sejenis menunjukkan bahwa keenam LC (Landfill column) menunjukkan penurunan konsentrasi kadmium secara dinamis ketika beroperasi. Dalam penelitian tersebut dibagi dalam dua kelompok. Filter screen, pasir kuarsa, 3 kg sampah padat perkotaan, filter screen, pasir dan kerikil diisi dan disusun dari atas ke bawah untuk LC 1 – 4 (kelompok 1), untuk LC 5 – 8 (kelompok 2) menggunakan tanah penutup TPA di China, filter screen,

tanah lempung, 3 kg sampah padat perkotaan, filter screen, pasir kuarsa, tanah liat, pasir kerikil di sisi dan disusun dari atas ke bawah, perbedaan tiap LC pada penelitian ini adalah persentase material organik dan anorganik sampah. Selain itu untuk LC 1 – 3 & LC 5 – 7 masing – masing menggunakan air hujan buatan dengan pH 4,3; 6,5; dan 8,8. Sedangkan untuk LC 4 dan LC 8 menggunakan lindi yang disirkulasikan. Untuk LC 1 - 3 konsentrasi kadmium mengalami penurunan secara dinamis dari $0,9 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ – $0,1 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ dan penurunan konsentrasi kadmium $0,8 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ – $0,1 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ untuk LC 5 - 7.

Berdasarkan hasil analisa sampel lindi pada penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat (Cd dan Pb) pada kolom landfill > 5 tahun lebih besar daripada kolom landfill 1 – 2 tahun dan 2 – 5 tahun, hal ini dimungkinkan karena tercemarnya tanah atau komposisi sampah lainnya yang dimasukkan ke dalam kolom landfill > 5 tahun oleh material sampah dengan kandungan logam berat (Cd dan Pb) yang lebih tinggi daripada kolom landfill 1 – 2 tahun dan 2 – 5 tahun saat penelitian berjalan.

Berdasarkan hasil penelitian ini, dimungkinkan konsentrasi logam berat (Pb dan Cd) akan terdeteksi pada sampah usia muda (<1 tahun) maka diharapkan pada pengelola TPA Piyungan untuk menambahkan unit pengolahan logam berat pada instalasi pengolahan lindi agar dapat mengurangi resiko pencemaran logam berat pada lingkungan sekitar TPA Piyungan. Keberhasilan dari pengolahan lindi tergantung dari karakteristik dan usia dari landfills, (ARRPET, 2004). Berdasarkan Qasim dan Chiang, 1994 ada berbagai cara dan unit yang efektif sebagai pengolahan lindi untuk mengurangi konsentrasi logam berat pada lindi, antara lain:

- Secara fisik: *Natural evaporation, Filtration, Membrane process.*
- Secara kimia : Koagulasi/presipitasi dan pertukaran ion.
- Secara biologi : *Aerobic suspended growth, aerobic fixed film, anaerobic suspended growth, anaerobic fixed film.*

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Kuantitas lindi yang dihasilkan dari sampah tua lebih sedikit dibandingkan dengan sampah dengan umur lebih muda.
2. Dari hasil pengujian didapatkan hasil pengukuran pH yang fluktuatif setiap variasi, namun cenderung mengalami kenaikan. pH tertinggi pada kolom landfill 1 – 2 tahun, minggu keenam penelitian dengan nilai 9,01, sedangkan pH terendah pada kolom landfill < 1 tahun yaitu 6,73 pada minggu pertama penelitian.
3. Konsentrasi tertinggi timbal (Pb) dan kadmium (Cd) yang terkandung pada lindi dari keempat kolom landfill pada periode awal (minggu ke-1 dan ke-2) penelitian dimana konsentrasinya menurun setiap periode.
4. Konsentrasi timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada lindi dipengaruhi pada derajat keasaman lindi dan penambahan air.

5.2 Saran

1. Kepada peneliti selanjutnya agar memperhatikan segala aspek dalam desain reaktor/kolom landfill yang akan digunakan, seperti skala ketebalan tanah, ketebalan sampah, dan jumlah air yang dimasukkan. Hal ini dilakukan agar simulasi sesuai dengan kondisi pada TPA sebenarnya.
2. Kepada peneliti selanjutnya diharapkan untuk menambahkan variabel parameter logam berat lainya seperti Hg, Cr, dan Ni.
3. Apabila ada penelitian sejenis yang mirip agar dapat menambahkan waktu pengamatan dengan periode sampling 3 atau 5 hari sekali.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad Hiskia. 2001. *Penuntun Belajar Kimia Dasar untuk Kimia Larutan*. Citra Bakti. Bandung.
- Alfons Andrew Maramis. Agustinus Ignatius Kristijanto, Soenarto Notoedarmo. 2005. *Sebaran Logam Berat Dalam Sedimen Dan Hubungannya Dengan Parameter Fisik Dan Hidrologi Di Sungai Kreo Semarang*, Seminar Nasional MIPA 2005, FMIPA - Universitas Indonesia Depok.
- Andrianto Taufiq. 2002. *Audit Lingkungan*, Global Pustaka Utama Yogyakarta.
- Anonim, *Bantuan Teknis Manajemen Persampahan Kota Semarang Untuk Anggaran 2005*, Laporan Akhir, CV. Rekayasa Jati Mandiri Semarang, 2006.
- Anonim. *Definisi Sampah*.
<http://ardansirodjuddin.wordpress.com/2008/08/05/pemanfaatan-sampah/>
diakses pada, 2 Juni 2011.
- Anonim. *Sifat dan ciri humus*, <http://www.lestarimandiri.org/id/teknologi-pertanian.html>, diakses pada, 5 November 2011.
- Anonim. 2008. *Diktat Landfilling Limbah -Versi2008*. FTSL ITB. Bandung.
- Anonim. 2002. *Rancang Bangun Alat Pengompos Sampah Berskala Rumah Tangga*. PUSLITKES LEMLIT Undip – BAPPEDA Kota Semarang.
- Anonim. 2011. *Humus*. http://id.wikipedia.org/wiki/Pupuk_organik. Diakses pada, 15 Desember 2011.
- ARRPET. 2004. *Enhancement Of Solid Waste Degradation Using Different Operating Techniques In Bioreactor Landfill*. Draft Final Report. Faculty Of Engineering, Kasetsart University Bangkok, Thailand.
- Azkha, Nizwardi, 2006. *Analisis Timbulan, Komposisi Dan Karakteristik Sampah Di Kota Padang*. PSIKM FK UNAND. Padang.
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. SNI 19 – 2454 – 2002, *Tata Cara Pengelolaan Teknis Sampah Perkotaan*, Jakarta..

- Christensen, A.G., Fischer, E.V., Nielsen, H.N., Nygaard, T., Østergaard, H., Lenschow, S.R., Sørensen, H., Fuglsang, I.A., and Larsen, T.H. 2000. *Passive soil vapor extraction of chlorinated solvents using boreholes, in Physical and Thermal Technologies, Remediation of chlorinated and recalcitrant compounds, The second International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, Monterey, California, May 22-2.* Wickramanayake.
- Damanhuri, Enri. 2008. *Diktat landfilling limbah.* Departemen Teknik Lingkungan. FTSL-ITB : Bandung.
- Darmono. 2001. *Lingkungan Hidup Dan Pencemaran,* Universitas Indonesia, Jakarta.
- Day, R. A., dan Underwood, A. L. 1986. *Analisis Kimia Kuantitatif Edisi Kelima.* Erlangga. Jakarta.
- Dinas Pemukiman dan Prasarana Wilayah Propinsi Jawa Tengah. 2003. *Studi Evaluasi TPA Metropolitan Semarang.* Semarang.
- Fairus, Sirin. dkk. 2011. *Pemanfaatan Sampah Organik Secara Padu Menjadi Alternatif Energi : Biogas dan Precursor Briket.* Teknik Kimia, ITENAS. Bandung.
- Faizah. 2008. *Pengelolaan Sampah Rumah Tangga Berbasis Masyarakat (Studi Kasus Di Kota Yogyakarta),* Universitas Diponegoro. Semarang.
- Fardiaz, S., *Polusi Air dan Udara,* Penerbit Kanisius, Yogyakarta, 1995.
- G. Tchobanoglous, H. Theisen, and S. A. Vigil. 2004. *Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues,* McGraw-Hill, New York.
- Gounaris, V., Anderson, P.R., and Holsen, T.M. 1993. *Characteristics and environmental significance of colloids in landfill leachate. Environ. Sci. Technology.*
- Health Research Board. 2003. *Health and Environmental Effect Of Landfilling And Incineration Of Waste, A Literature Review,* Health Research Board, Dublin.

- Heryanto, Polar. 2004. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*, CV. Rineka Cipta. Jakarta.
- Iswanto, Astono, Sunaryati. 2007. *Pengaruh Penguraian Sampah Terhadap Kualitas Air Ditinjau Dari Perubahan Senyawa Organik Dan Nitrogen Dalam Reaktor Kontinyu Skala Laboratorium*. *Jurnal*. Volume 4 No 1. Hal 24-29.
- Jensen, D.L. and Christensen, T.H. 1999. *Colloidal and dissolved metals in leachates from four Danish landfills*. *Water Res.*
- Kale, S Sanjay, Ajay K. Kadam · Suyash Kumar · N. J. Pawar. (2009). *Evaluating pollution potential of leachate from landfill site, from the Pune metropolitan city and its impact on shallow basaltic aquifers*. *Environ Monit Assess* (2010) 162:327–346.
- Klein, T. and Niessner, R.1998. *Characterization of heavy-metal-containing seepage water colloids by flow FFF, ultrafiltration, ELISA and AAS*, *Mikrochim Acta*.
- Kementrian Lingkungan Hidup. 2005. *Undang – Undang Pengelolaan Sampah*, Jakarta.
- Knox, K. and Jones, P.H. 1979. *Complexation characteristics of sanitary landfill leachates*. *Water Res.*
- Kusnoputranto, Haryoto. 1996. *Toksikologi Lingkungan*, Dirjen Dikti, Jakarta.
- Liu, Hui Hu dan Shu Xun Sang. 2009. *Study on the law of heavy metal leaching in municipal solid waste landfill*. School of Resources and Earth Science. China University of Mining and Technology.
- Lun, X.Z. and Christensen, T.H. 1989. *Cadmium complexation by solid waste leachates*. *Water Res.*
- Martono, Djoko Heru. 2006 *Teknologi Pemanfaatan Gas Dari TPA*. BPPT.
- M.S.Faye, M.L. Diamond. 1996. *The Role Of Phytoplankton In The Removal Of Arsenic By Sedimentation From Surface Waters*. *Hydrobiologia* 324, 117 – 123.
- Olaosu, Olatunde.O. 2001. *Modeling leachate production in heterogeneous municipal solid waste landfills*. University of Calgary. Calgary.

- Priambodho, K. 2005. *Kualitas air lindi pada TPA Galuga Kabupaten Bogor*, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Putranto Rizky. 2011. *Pengaruh Fraksi Organik Terhadap Konsentrasi Logam Berat (Pb, Cd Dan Cr) Dalam Lindi Hasil Proses Biodegradasi Sampah*, Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Reinhart, D.R. and Grosh, C.J 1998. *Analysis of Florida MSW landfill leachate quality*, Florida Center for Solid and Hazardous Management, Gainesville, FL.
- S, Tyas Rini. 1998. *Analisis Kadar Timah Hitam Dalam Darah dan Pengaruhnya Terhadap Aktivitas Enzim Delta Aminolevulinic Acid Dehidratase dan Kadar Haemoglobin Dalam Darah Karyawan di Industri Peleburan Timah Hitam*. Universitas Padjajaran. Bandung.
- Setyaningrum, Putri Novi. 2011. *Pengaruh komposisi sampah terhadap karakter lindi (pH,BOD,COD, dan TDS) menggunakan Biorektor anaerobic sampah perkotaan*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Simon, Wira Afrianti. 2007. *Pemrosesan Sampah Di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Piyungan Melalui Usaha Daur Ulang dan Pengomposan*. Tesis Program Studi Teknologi dan Manajemen Lingkungan ITB. Bandung.
- Słomczyńska, B dan T. Słomczyński. 2004. *Physico-Chemical and Toxicological Characteristics of Leachates from MSW Landfills*. Institute of Environmental Engineering Systems, Department of Environmental Biology, Warsaw University of Technology, 20 Nowowiejska Str., 00-653 Warsaw. Poland.
- Sudarwin. 2008. *Analisis Spasial Pencemaran Logam Berat(Pb Dan Cd) Pada Sedimen Aliran Sungaidari Tempat Pembuangan Akhir (Tpa) Sampah Jatibarang Semarang*, Universitas Diponegoro. Semarang.
- Sunarto. *Emisi Gas Rumah Kaca Dari Sektor Persampahan dan Upaya Penurunannya Melalui Pengolahan Sampah Di Tempat Pengumpulannya*.
- UU RI Nomor 18. 2008. *Pengelolaan Sampah*.

Visvanathan, dkk. 2004. *State of the art review landfill leachate treatment*, Environmental Engineering and Managenet School of Environment, Resources and Development Asian Institute of Technology Klong Luang, Thailand.

Wibowo, Arianto & Darwin T Djajawinata. 2002. *Penanganan Sampah Perkotaan Terpad.*, Kumpulan Makalah. Bappenas.

Yazid, Estien. 2006. *Kimia Fisika untuk Paramedis*, ANDI. Yogyakarta.



LAMPIRAN



LAMPIRAN 1

HASIL PEMBACAAN KONSENTRASI

Pb DAN Cd



LAMPIRAN 2
SNI PENGUJIAN
Pb DAN Cd



LAMPIRAN 3

DOKUMENTASI PENELITIAN







