

TUGAS AKHIR

**ANALISIS KANDUNGAN LOGAM BERAT (Mn, Fe,
DAN Cd) PADA TIMBUNAN SAMPAH PERKOTAAN
BERDASARKAN UMUR TIMBUNAN DI TPST
PIYUNGAN YOGYAKARTA**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**

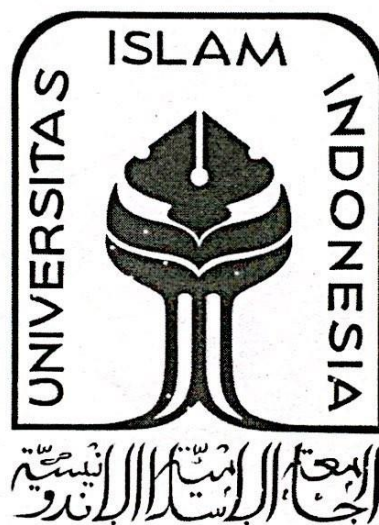


**AISYAH NURUL IZZAH
18513206**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2022**

TUGAS AKHIR
**ANALISIS KANDUNGAN LOGAM BERAT (Mn, Fe,
DAN Cd) PADA TIMBUNAN SAMPAH PERKOTAAN
BERDASARKAN UMUR TIMBUNAN DI TPST
PIYUNGAN YOGYAKARTA**

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



AISYAH NURUL IZZAH
18513206

Disetujui,

Pembimbing 1

Dr. Ir. Kasam, M.T.
NIK: 925110102
Tanggal: 14 Nov 2022

Pembimbing 2

Dr. Hijrah Purnama Putra, S.T., M.Eng.
NIK: 095130404
Tanggal: 14 Nov 2022



Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng.
NIK: 095130403
Tanggal: 14 Nov 2022

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS KANDUNGAN LOGAM BERAT (Mn, Fe,
DAN Cd) PADA TIMBUNAN SAMPAH PERKOTAAN
BERDASARKAN UMUR TIMBUNAN
DI TPST PIYUNGAN YOGYAKARTA**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Rabu

Tanggal : 16 November 2022

Disusun Oleh:

**AISYAH NURUL IZZAH
18513206**

Tim Penguji:

Dr. Ir. Kasam, M.T.

()

Dr. Hijrah Purnama Putra, S.T., M.Eng.

()

Yebi Yuriandala, S.T., M.Eng.

()

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.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian 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, November 2022

Yang membuat pernyataan,



Aisyah Nurul Izzah

NIM: 18513206

PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim.

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT., atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Kandungan Logam Berat (Mn, Fe, dan Cd) pada Timbunan Sampah Perkotaan Berdasarkan Umur Timbunan di TPST Piyungan Yogyakarta**”. Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademik untuk memenuhi persyaratan memperoleh derajat sarjana (S1) di Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dengan memberikan dukungan moral maupun informasi selama pengerjaan Tugas Akhir ini hingga selesai. Oleh karena itu, dengan segenap ketulusan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada:

- a) Ibu, Ayah, Mbak Ifa, Kak Dirja, dan Ara;
- b) Bapak Dr. Ir. Kasam, M.T., selaku Pembimbing I, Bapak Dr. Hijrah Purnama Putra, S.T., M.Eng., selaku Pembimbing II, serta Bapak Yebi Yuriandala, S.T. M.Eng., selaku Penguji;
- c) Civitas akademika Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII;
- d) Pihak TPST Piyungan, Bapak Ibnu beserta rekan-rekan;
- e) Rekan-rekan tugas akhir;
- f) Teman-teman SENANDIKA.

Penulisan Tugas Akhir ini dirasa masih banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran dari semua pihak sangat diharapkan demi penyempurnaan pembuatan laporan ini. Besar harapan penulis semoga isi yang terkandung dalam Tugas Akhir ini dapat memberi manfaat dan tambahan pengetahuan khususnya bagi penulis sendiri dan pembaca pada umumnya. Terima kasih.

ABSTRAK

AISYAH NURUL IZZAH. Analisis Kandungan Logam Berat (Mn, Fe, dan Cd) Pada Timbunan Sampah Perkotaan Berdasarkan Umur Timbunan di TPST Piyungan Yogyakarta. Dibimbing oleh Dr. Ir. Kasam, M.T. dan Dr. Hijrah Purnama Putra, S.T., M.Eng.

Kegiatan pengelolaan akhir sampah di TPA mengakibatkan potensi gas berbahaya dan emisi lindi yang disebabkan oleh dekomposisi sampah dan proses transformasi dari senyawa organik sampah. Sebagian besar zat kimia organik akan terdegradasi melalui reaksi biokimia atau terlindi keluar TPA. Namun sebagian besar logam berat akan tetap berada di TPA karena terbatasnya migrasi logam berat dibandingkan dengan jumlah logam yang terakumulasi di TPA. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kandungan logam berat Mn (mangan), Fe (besi), dan Cd (kadmium) pada timbunan sampah di berbagai umur sampah, kemudian membandingkan dengan penelitian sebelumnya. Sampel sampah dengan berbagai umur diperoleh dari TPST Piyungan, yang mana umur timbunan ditentukan melalui penelusuran catatan waktu penempatan sampah dan informasi dari pengelola. Umur sampah yang diteliti yaitu 0-6 bulan; 1-2 tahun; 3-4 tahun; dan ≥ 5 tahun. Sampel sampah dipreparasi berdasarkan SNI 6989.5:2009 (Mn), SNI 06-6989.4-2004 (Cd), dan SNI 06-6989.16-2004 (Fe), serta diuji menggunakan instrumen SSA merk GBC. Hasil analisis menunjukkan bahwa umur sampah mempengaruhi kandungan logam berat yang diteliti. Logam Mn dan Fe meningkat seiring dengan bertambahnya umur sampah. Sebaliknya, logam Cd menurun dari waktu ke waktu. Kandungan logam berat pada sampah di TPA dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu, jenis sampah di TPA, degradasi sampah, kandungan organik, pH, dan metode pengelolaan sampah di TPA.

Kata kunci: Timbunan Sampah, Umur Sampah, Logam Berat, Degradasi Sampah

ABSTRACT

AISYAH NURUL IZZAH. Analysis of Heavy Metal Contents (Mn, Fe, and Cd) in Municipal Solid Waste Based on Waste Age at Piyungan Landfill Yogyakarta. Supervised by Dr. Ir. KASAM, M.T., and Dr. HIJRAH PURNAMA PUTRA, S.T., M.Eng.

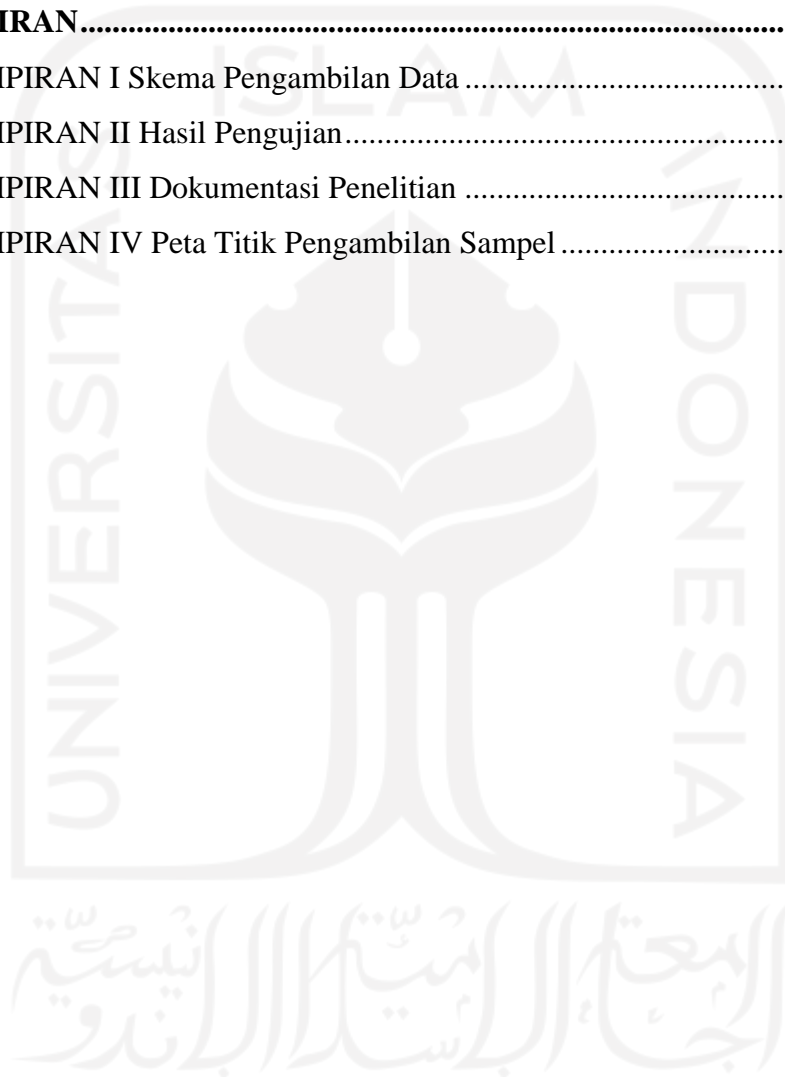
Final waste management activities in landfill result in the potential for harmful gases and leachate emissions caused by the decomposition of waste and the transformation process of organic waste compounds. Most organic chemicals were degraded through biochemical reactions or leached out of the landfill. However, most of the heavy metals will remain in the landfill because of the limited migration of heavy metals compared to the amount of metal that accumulates in the landfill. The purpose of this study is to analyze the content of heavy metals Mn (manganese), Fe (iron), and Cd (cadmium) contained in landfill at various ages of the waste and compare it with previous studies. Waste samples of various ages were obtained from the Piyungan Landfill, where the age of the waste was determined by tracing the records of the time of waste placement and information from the manager. The age of the waste studied were 0–6-months old; 1-2 years old; 3-4 years old; and ≥ 5 years old. Waste samples were prepared based on SNI 6989.5:2009 (Mn), SNI 06-6989.4-2004 (Cd), and SNI 06-6989.16-2004 (Fe), and tested using GBC AAS instruments. The result of the analysis shows that the age of the waste affects the content of heavy metals studied. Mn and Fe increase with the age of the waste. On the other hand, Cd decreases over time. The content of heavy metals in the landfill is influenced by several factors: the type of waste in the landfill, waste degradation, organic content, pH, and waste management practices at the landfill.

Keywords: *Municipal Solid Waste, Waste Age, Heavy Metals, Waste Degradation*

DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Ruang Lingkup	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 TPST Piyungan Bantul	4
2.2 Proses Degradasi Sampah Perkotaan	5
2.3 Logam Berat pada Timbunan Sampah	6
2.4 Spektrofotometri Serapan Atom (SSA).....	7
2.5 Perbedaan Penelitian Terdahulu Terhadap Penelitian Saat Ini.....	8
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	11
3.1 Kerangka Penelitian	11
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	12
3.3 Jenis dan Parameter Penelitian	13
3.4 Alat dan Bahan	13
3.5 Pengumpulan Data	13
3.6 Analisis Data	16
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS DATA.....	18
4.1 Kondisi Eksisting Lokasi Penelitian.....	18
4.2 Karakteristik Timbunan Sampah.....	20

4.3 Analisis Kandungan Logam Berat pada Timbunan Sampah.....	22
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	32
5.1 Simpulan.....	32
5.2 Saran.....	32
DAFTAR PUSTAKA	33
LAMPIRAN.....	39
LAMPIRAN I Skema Pengambilan Data	40
LAMPIRAN II Hasil Pengujian.....	42
LAMPIRAN III Dokumentasi Penelitian	49
LAMPIRAN IV Peta Titik Pengambilan Sampel	52



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang.....	9
Tabel 3.1 Standar acuan pengujian	16
Tabel 4.1 Konsentrasi logam berat pada sampah di berbagai umur (mg/kg).....	23
Tabel 4.2 Perbandingan konsentrasi logam berat pada penelitian sekarang dengan penelitian terdahulu.....	24



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	11
Gambar 3.2 Titik pengambilan sampel sampah.....	12
Gambar 3.3 Contoh proses pengambilan sampel.....	14
Gambar 3.4 Sampel sampah berbagai umur	16
Gambar 4.1 Kondisi di TPST Piyungan.....	19
Gambar 4.2 Suhu timbunan sampah di berbagai umur	20
Gambar 4.3 pH timbunan sampah di berbagai umur	21
Gambar 4.5 Konsentrasi Mn pada sampah di berbagai umur	25
Gambar 4.6 Konsentrasi Fe pada sampah di berbagai umur.....	27
Gambar 4.7 Konsentrasi Cd pada sampah di berbagai umur.....	30

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN.....	39
LAMPIRAN I Skema Pengambilan Data	40
LAMPIRAN II Hasil Pengujian.....	42
LAMPIRAN III Dokumentasi Penelitian	49
LAMPIRAN IV Peta Titik Pengambilan Sampel	52



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kegiatan pengelolaan akhir sampah di tempat pembuangan akhir mengakibatkan potensi gas berbahaya dan emisi lindi yang disebabkan oleh dekomposisi sampah dan proses transformasi dari senyawa organik sampah (Bäumler & Kögel-Knabner, 2008). Sejumlah besar lindi yang dihasilkan berasal dari dekomposisi sampah yang dikirim ke TPA, yang mana sampah ini mengandung sejumlah besar bahan organik dan logam berat (Rikta *et al.*, 2018). Umumnya, sampah kota mengandung sejumlah logam berat yang berisiko bagi lingkungan yang dapat memberikan potensi ancaman penyakit dan dapat dengan mudah menyebabkan kerusakan vegetasi dan pencemaran tanah serta air tanah, hingga pemanasan global jika pengelolaan di TPA tidak dilakukan dengan benar (Gworek *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2018). Menurut Adelopo *et al.* (2018), tidak seperti polutan organik, logam berat di TPA tidak dapat terurai dan waktu residunya bisa mencapai 150 tahun dengan laju lindi (*leaching rate*) 400 mm/tahun. Hal tersebut mengindikasikan bahwa lindi tidak mewakili keseluruhan konsentrasi logam berat yang ada di TPA. Sebagian besar logam berat di TPA terkandung di dalam sampah padat yang terbentuk dari interaksi antara sampah yang dibuang, kondisi cuaca/iklim, dan metode pengelolaan di TPA. Sebagian besar zat kimia organik akan terdegradasi melalui reaksi biokimia atau terlindi keluar TPA. Namun sebagian besar logam berat akan tetap berada di TPA karena terbatasnya migrasi logam berat dibandingkan dengan jumlah logam yang terakumulasi di TPA (Othman *et al.*, 2019).

Dalam pengelolaan akhir sampahnya, Provinsi DI Yogyakarta, khususnya Kota Yogyakarta, Kabupaten Sleman, dan Kabupaten Bantul menggunakan lokasi yang sama yaitu TPA Regional Piyungan yang berlokasi di Desa Sitimulyo, Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul. Berdasarkan penelitian sebelumnya, wilayah di sekitar TPST Piyungan telah terindikasi terjadi pencemaran air tanah

oleh logam berat seperti Pb, Cu, Zn, dan Cd dengan konsentrasi logam berat yang terakumulasi pada lapisan tanah bagian atas (0-25 cm), namun konsentrasi logam berat tersebut kemudian menurun sampai ke kedalaman 100 cm. Tingginya konsentrasi logam berat pada tanah bagian atas ini diperkirakan karena adanya limpasan air lindi dari dekomposisi sampah. Selain itu, lapisan tanah di TPST Piyungan mampu menahan perpindahan atau migrasi logam berat dengan ditunjukkannya penurunan konsentrasi logam berat pada kedalaman 100 cm (Muyassar & Budianta, 2021).

Berdasarkan Adelopo *et al.* (2018) pada penelitiannya terhadap 2 (dua) TPA di Lagos, Nigeria dengan umur yang berbeda, TPA pasif dan TPA aktif. Secara signifikan, konsentrasi logam berat di TPA pasif lebih tinggi dibandingkan konsentrasi logam berat di TPA aktif. Perbedaan ini mungkin terjadi karena adanya perbedaan umur TPA. Dari hasil analisis PCA dan studi korelasi menunjukkan bahwa dibandingkan kedalaman sampel, konsentrasi logam berat lebih dipengaruhi oleh ukuran partikel sampah (*more degraded vs. less degraded*). Namun masih belum banyak ditemukan penelitian terkait pengaruh kedalaman dan umur TPA terhadap pencemaran logam berat di TPA. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis terkait konsentrasi logam berat (Mn, Fe, dan Cd) pada timbunan sampah di TPST Piyungan berdasarkan umur timbunan untuk mengetahui hubungan yang jelas terkait konsentrasi logam berat dan umur timbunan sampah dari satu lokasi TPA yang sama.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut, “Bagaimana perubahan konsentrasi logam berat Mn (mangan), Fe (besi), dan Cd (kadmium) di timbunan sampah TPST Piyungan di berbagai umur timbunan sampah?”.

1.3 Tujuan

Tujuan dari dilaksanakannya penelitian ini, adalah menganalisis konsentrasi logam berat Mn (mangan), Fe (besi), dan Cd (kadmium) yang terkandung dalam timbunan sampah di berbagai umur timbunan.

1.4 Manfaat

Berikut beberapa manfaat yang diharapkan dari penelitian ini.

1. Memberikan informasi terkait kandungan logam berat pada timbunan sampah berbagai umur di TPST Piyungan.
2. Sebagai informasi dalam melakukan manajemen risiko serta perkiraan potensi emisi yang dihasilkan dari kegiatan TPST Piyungan pada waktu mendatang.
3. Sebagai bahan pertimbangan bagi pengambil keputusan dalam menentukan kebijakan terkait dengan pengelolaan di TPST terkait.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Sampel yang digunakan yaitu sampah pada berbagai umur yang berada di TPST Piyungan.
2. Logam berat yang dianalisis yaitu logam berat Mn (mangan), Fe (besi), dan Cd (kadmium) pada 4 variasi umur timbunan sampah.
3. Penentuan umur sampah didasarkan pada catatan waktu penempatan sampah dan informasi dari pengelola TPST Piyungan.
4. Sampel sampah dipreparasi berdasarkan SNI 6989.5:2009 (Mn), SNI 06-6989.4-2004 (Cd), dan SNI 06-6989.16-2004 (Fe), serta diuji menggunakan instrumen SSA merk GBC.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 TPST Piyungan Bantul

Dalam pemrosesan akhir sampahnya, Provinsi DI Yogyakarta, khususnya Kota Yogyakarta, Kabupaten Sleman, dan Kabupaten Bantul menggunakan lokasi yang sama yaitu TPA Regional Piyungan yang berlokasi di Dusun Ngablak dan Watugender, Desa Sitimulyo, Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul, Yogyakarta (KEMEN PUPR, 2021). TPA (Tempat Pemrosesan Akhir) atau disebut juga TPST (Tempat Pemrosesan Sampah Terpadu) Piyungan ini dibangun pada tahun 1994 dan mulai operasional pada tahun 1996 dengan luas lokasi sekitar 12.5 Ha (Putra *et al.*, 2018; DLHK DI Yogyakarta, 2019). Sekitar 10 Ha dari total luas lokasi digunakan sebagai tempat pengumpulan sampah, dan sisanya digunakan sebagai fasilitas untuk mendukung kegiatan di TPST (Fakhurozi *et al.*, 2021). Berdasarkan Widiyanto (2022), saat ini TPST Piyungan harus menerima timbunan sampah dari daerah layanan sekitar 700 ton.

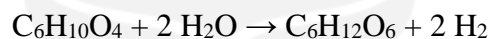
Menurut Fakhurozi *et al.* (2021), terdapat beberapa fasilitas seperti kantor sekretariat, tempat pengelolaan sampah organik, kolam lindi, dan tempat penimbangan sampah yang masuk. Masa operasional TPST Piyungan hanya sampai tahun 2012. Namun, pihak pemerintah provinsi masih belum menemukan lahan lain untuk mengakomodasi sampah, maka masa operasional diperpanjang sampai dengan tahun 2021. Karena sampah terus masuk dan melebihi kapasitas, maka menimbulkan berbagai pencemaran seperti pencemaran sungai, pencemaran ladang padi milik masyarakat, hingga aroma gas metan dari proses dekomposisi sampah. Kegiatan pemrosesan sampah di TPST Piyungan juga erat kaitannya dengan mata pencaharian warga yang hidup dari memungut sampah yang juga terkena dampak negatif secara langsung dari kegiatan pemrosesan sampah tersebut (Prihandoko *et al.*, 2020).

2.2 Proses Degradasi Sampah Perkotaan

Konstituen *biodegradable* utama di sampah perkotaan adalah selulosa dan hemiselulosa, yang menyumbang potensi metana lebih dari 90%. Dekomposisi sampah perkotaan merupakan proses mikroba yang terjadi dalam fase berurutan yaitu, hidrolisis, fermentasi/asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis. Berikut di bawah ini dijabarkan terkait fase-fase tersebut (Damanhuri & Padmi, 2019; Datta & Eastes, 2015).

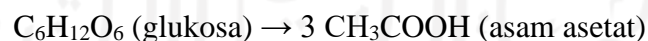
Hidrolisis

Fase pertama, terjadi proses pelarutan organik tidak terlarut dan pemecahan senyawa organik rantai panjang (karbohidrat, lemak, dan protein), menjadi senyawa yang mudah terlarut dan berantai sederhana seperti gula terlarut (glukosa), asam amino, asam karboksilat rantai panjang, dan gliserol. Persamaan di bawah ini menunjukkan contoh reaksi hidrolisis yang mana sampah organik dipecah menjadi gula sederhana, yang dalam hal ini glukosa.



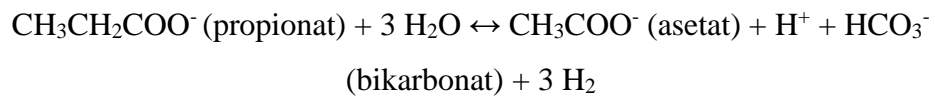
Fermentasi/Asidogenesis

Pada fase kedua, bakteri asidogenik merubah senyawa hasil proses hidrolisis dengan fermentasi menjadi asam organik terutama asam volatil rantai pendek (asetat, propionat, butirrat), H_2 , dan CO_2 . Berikut di bawah ini persamaan reaksi asidogenesis dimana glukosa diubah menjadi etanol, propionat serta asam asetat, dan sebaliknya.

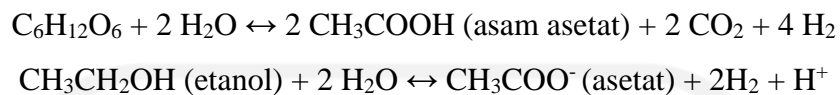


Asetogenesis

Di fase ini sisa produk dari asidogenesis seperti asam propionat, asam butirrat, alkohol diubah oleh mikroorganisme asetogen atau asam lemak menjadi hidrogen, karbon dioksida, dan asam asetat. Pada persamaan di bawah ini, menunjukkan konversi propionat menjadi asetat, yang hanya bisa terjadi pada tekanan hidrogen rendah.

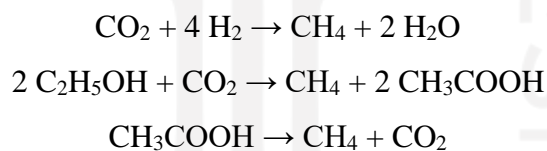


Glukosa dan etanol juga berubah menjadi asetat selama tahap ketiga biodegradasi anaerob, seperti dijabarkan di persamaan di bawah ini.



Metanogenesis

Di tahap akhir ini mikroorganisme mengubah hidrogen dan asam asetat menjadi gas metana dan karbon dioksida. Substrat metanogen yang paling umum adalah asetat dan $\text{CO}_2 + \text{H}_2$. Bakteri yang bertanggung jawab dalam konversi ini disebut sebagai metanogen dan bersifat *anaerobic strict*. Sebagian besar metanogen memiliki pH optimum sekitar 7. Jika aktivitas organisme fermentatif melebihi aktivitas pengurai asam karboksilat dan metanogen, maka akan terjadi ketidakseimbangan ekosistem. Asam karboksilat dan H_2 akan terakumulasi dan pH sistem akan turun, sehingga menghambat metanogenesis. Tercapainya stabilisasi limbah ketika gas metana dan karbon dioksida terbentuk.



2.3 Logam Berat pada Timbunan Sampah

Logam berat seringkali ditemukan di lindi dari TPA ataupun dari timbunan limbah padat. Senyawa kimia beracun seperti logam berat dan senyawa organik lainnya akan lepas ke atmosfer dan lingkungan ketika sampah dibakar atau dibuang di tempat terbuka. Lindi yang berasal dari TPA telah terbukti melepaskan logam beracun ke lingkungan, menimbulkan ancaman serius bagi tanah dan air tanah di sekitarnya, serta air permukaan. Begitu masuk ke lingkungan, logam berat akan bersifat bioakumulatif dan dapat menimbulkan risiko yang cukup besar bagi kesehatan masyarakat, seperti toksisitas akut, karsinogenesis dan mutagenesis, dan dampak merugikan lainnya bagi pertumbuhan organisme darat dan akuatik (Essien *et al.*, 2022).

Sampah perkotaan mengandung material seperti baterai, cat, botol plastik, bohlam, perangkat elektronik, dan sebagainya, yang sebagian besar berasal dari rumah tangga dan industri. Ketika jenis sampah ini terdekomposisi dan terbakar maka akan menghasilkan kontaminan tingkat sedang hingga tingkat tinggi seperti logam berat dan metaloid, yang dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman, kualitas air, kesehatan hewan serta kesehatan manusia. Selain itu kontaminan lain yang ditemukan di sampah perkotaan yang juga berdampak negatif terhadap lingkungan adalah pestisida, asbestos, kloroform, dan klorin. Jenis limbah ini dapat mencemari tanah dan air tanah atau bahkan air permukaan melalui proses ekstraksi padat cair (*leaching*) serta limpasan air hujan (*run-off*) (Essien *et al.*, 2019). Lindi yang dihasilkan dari presipitasi air hujan yang melewati sampah dan masuk ke zona air tanah, pergerakan lindi ini menyebabkan tanah dan air tanah terkontaminasi oleh logam berat seperti mangan, besi, kromium, kadmium, dan seng (Kanmani & Gandhimathi, 2013).

Menurut Karimian *et al.* (2021), logam berat bersifat tidak dapat terurai (*non-biodegradable*), dan dapat terakumulasi di dalam tubuh manusia melalui ingesti, inhalasi, dan paparan kontak kulit. Bioakumulasi logam berat pada jaringan organik dapat mengganggu fungsi sistem saraf, sistem kardiovaskular dan endokrin, sistem imun, dan sebagainya. Reaksi akut hingga kronis pada manusia yang disebabkan oleh logam berat bergantung pada konsentrasi, rute paparan, dan sensitivitas reseptor.

2.4 Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

SSA (Spektrofotometri Serapan Atom) atau AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*) merupakan metode untuk mengukur jumlah unsur kimia yang terdapat di dalam sampel lingkungan dengan mengukur radiasi yang diserap oleh unsur kimia yang diinginkan. Hal ini dilakukan dengan membaca spektrum yang dihasilkan ketika sampel distimulasi oleh radiasi. Atom menyerap sinar UV atau cahaya tampak dan berpindah ke tingkat energi yang lebih tinggi (García & Báez, 2012). Selain itu, menurut Filho *et al.* (2012), SSA merupakan teknik analitik yang umum digunakan untuk menentukan unsur pada sampel secara kuantitatif

maupun kualitatif, seperti larutan air (*aqueous solution*), air, air laut, logam dan alloy, kaca, obat-obatan, makanan, sampel lingkungan, limbah industri, dan sampel biologis lainnya. Teknik ini didasarkan pada pengukuran jumlah energi elektromagnetik dari panjang gelombang tertentu (ultraviolet atau cahaya tampak), yang diserap saat melewati atom unsur kimia tertentu yang berasal dari sampel atau standar. Teknik ini terjangkau secara ekonomi, relatif cepat, dan memungkinkan untuk menentukan lebih dari 60 unsur kimia.

2.5 Perbedaan Penelitian Terdahulu Terhadap Penelitian Saat Ini

Sub bab ini berisi tentang perbandingan antara penelitian sebelumnya dengan penelitian saat ini. Hal ini dilakukan untuk mencegah munculnya plagiasi terhadap penelitian yang sudah ada, serta mempertahankan keaslian dari penelitian yang sedang dilakukan. Berikut di bawah ini uraian perbedaan penelitian yang sudah ada dengan penelitian yang sedang dilakukan.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Penelitian Terdahulu	Penelitian Sekarang
<p>Penelitian yang dilakukan oleh Adelopo <i>et al.</i> (2018) di Nigeria, terkait analisis logam berat pada TPA pasif dan TPA aktif untuk membandingkan tingkat risiko lingkungan dalam hubungannya dengan usia, ukuran partikel, dan kedalaman TPA. Sampel diambil di 2 TPA berbeda yaitu TPA aktif, Olusoshun beroperasi sejak 1992 dan TPA pasif, Abule-Egba yang beroperasi sejak 1984 dan tutup pada 2009. TPA pada penelitian ini menggunakan metode <i>controlled landfilling</i>. Sampah pada kedua TPA ini sebagian besar berasal dari rumah tangga dan kawasan komersil tanpa pemilahan sampah dari pengumpulan hingga pembuangan di TPA. Sampel diambil dari <i>upper-depth</i> (0-15 cm), <i>mid-depth</i> (16-35 cm), dan <i>low-depth</i> (36-50 cm). Larutan akhir dianalisis logam beratnya menggunakan ICP-MS. Logam berat yang diteliti yaitu Fe, Al, Mn, Cu, Pb, Ba, Co, Cr, Ni, Cd, As, Se, Ti, Ag, dan Zn.</p>	<p>Penelitian saat ini terkait analisis konsentrasi logam berat pada timbunan sampah di berbagai umur timbunan. Sampel sampah diambil dari 1 TPA, yaitu TPST Piyungan yang beroperasi sejak 1996 sampai saat ini. Umur sampah yang diambil yaitu, umur 0-6 bulan; 1-2 tahun; 3-4 tahun; dan ≥ 5 tahun. Penentuan titik pengambilan sampel didasarkan pada penelusuran catatan waktu penempatan sampah dan informasi dari pengelola TPST. Sampah di TPST Piyungan tidak mengalami pemilahan sejak dari sumber hingga pembuangan. Metode pengelolaan di TPST Piyungan sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Adelopo, yaitu <i>controlled landfilling</i>. Sampel sampah diambil pada kedalaman 30 cm dari permukaan timbunan. Sampel disiapkan berdasarkan SNI, dan dianalisis menggunakan instrumen AAS merk GBC. Logam berat yang diteliti yaitu Mn, Fe, dan Cd.</p>
<p>Penelitian yang dilakukan oleh Jain <i>et al.</i> (2005), yaitu melakukan karakterisasi logam berat pada tanah reklamasi dari TPA di Florida dan menganalisis dampak umur sampah dengan logam berat. Lokasi pengambilan sampel yaitu <i>The Alachua County Southwest Landfill</i></p>	<p>Penelitian saat ini menggunakan sampel yang diambil dari TPST Piyungan yang sampai saat ini masih beroperasi. Metode pengelolaan yang berlangsung adalah <i>controlled landfilling</i>. TPST Piyungan memiliki instalasi pengolahan lindi, terdiri dari kolam maturasi, kolam</p>

yang beroperasi sejak tahun 1988 hingga 1998. Pada TPA ini terdapat kolam resapan resirkulasi lindi (*infiltration pond leachate recirculation*). Pengambilan sampel dilakukan menggunakan *bucket auger* dan logam berat dianalisis menggunakan destruksi dengan hotplate serta asam nitrat. Sampel dianalisis untuk logam Ag, Al, As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Se, V, dan Zn. Konsentrasi logam berat didapatkan dari pengukuran menggunakan AAS, ICP-AES. Pada penelitian ini sampah berumur sekitar 8 tahun termasuk dalam sampah tua dan kisaran 3 tahun dikategorikan sampah muda. Umur sampah diperkirakan berdasarkan catatan penempatan sampah di TPA.

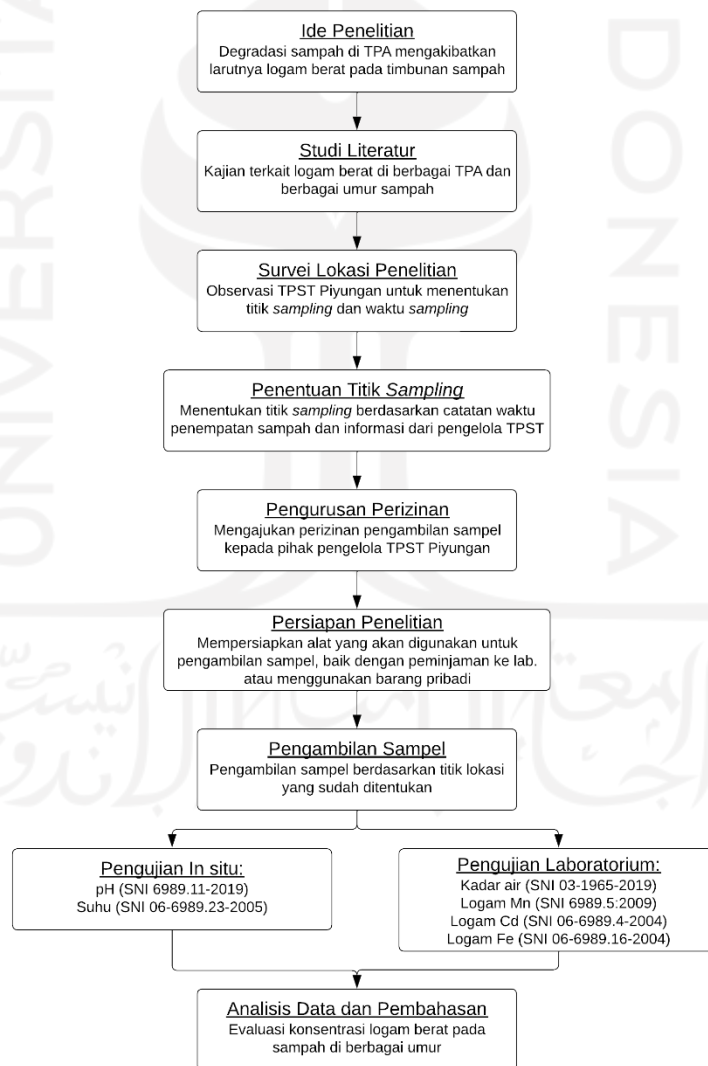
aerasi, kolam anaerob, *housing*, dan bak oksidasi. Metode analisis logam berat sama dengan yang dilakukan oleh Jain, dan menggunakan AAS. Pada penelitian ini sampah tertua berumur ≥ 5 tahun dan sampah termuda berumur 0-6 bulan. Sama seperti Jain, penentuan umur sampah dilakukan berdasarkan catatan penempatan sampah dan informasi dari pengelola. Logam berat yang diteliti yaitu, Mn, Fe, dan Cd.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian

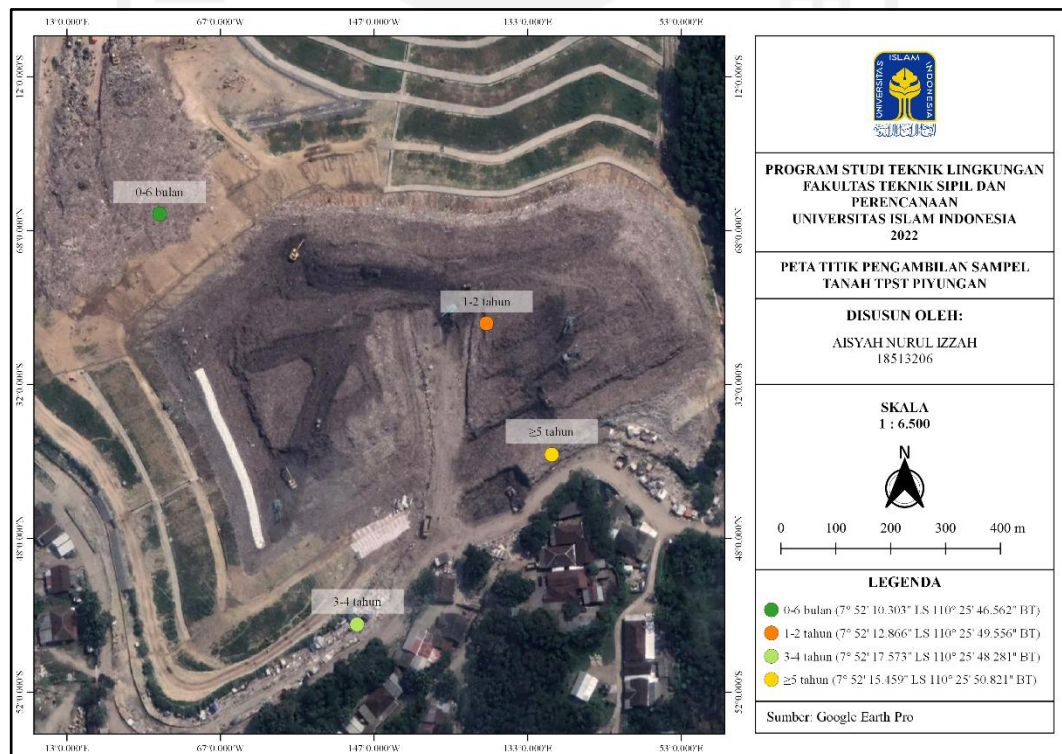
Penelitian yang dilakukan merupakan analisis terkait hubungan konsentrasi logam berat dengan umur timbunan sampah perkotaan. Objek yang akan diteliti adalah timbunan sampah di tempat pemrosesan akhir. Secara umum beberapa tahapan kegiatan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 3.1** berikut.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Pengambilan sampel sampah dilakukan di kawasan TPST Piyungan dengan koordinat $7^{\circ} 52' 10.475''$ LS $110^{\circ} 25' 47.856''$ BT. Untuk analisis logam berat dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pengambilan sampel berlangsung di pagi hingga siang hari pada saat cuaca panas. Sampel yang dianalisa berupa timbunan sampah di TPST Piyungan dengan titik pengambilan sebanyak 4 titik. Penentuan titik pengambilan sampel ini berdasarkan pertimbangan umur timbunan sampah yang diinginkan. Umur sampah didapatkan dari penelusuran catatan waktu penempatan sampah dan informasi dari pengelola. Selain pertimbangan tersebut, pemilihan titik sampel ini juga memperhatikan kemudahan dalam pengambilan sampel. Berdasarkan hasil pertimbangan tersebut, didapatkan titik pengambilan sampel seperti ditunjukkan pada **Gambar 3.2** berikut. Untuk gambar peta lebih jelas dapat dilihat pada **LAMPIRAN IV** Peta Titik Pengambilan Sampel.



Gambar 3.2 Titik pengambilan sampel sampah

3.3 Jenis dan Parameter Penelitian

Penelitian yang dikerjakan merupakan pekerjaan kuantitatif dimana dilakukan pengambilan sampel yang berasal dari timbunan sampah serta pengujian di laboratorium untuk menganalisis konsentrasi logam berat pada sampel tersebut. Parameter utama pada penelitian ini yaitu logam berat (Mn, Fe, dan Cd) dengan parameter pendukung adalah pH dan suhu.

3.4 Alat dan Bahan

3.4.1. Alat Pengambilan dan Penyimpanan Sampel

Peralatan yang digunakan dalam pengambilan dan penyimpanan sampel, terdiri dari sekop, cangkul, kertas label, timbangan, plastik *zip lock*, *trash bag*, spidol permanen, serta kontainer.

3.4.2. Alat Pengujian Sampel

Pengujian sampel di laboratorium menggunakan alat-alat seperti, Spektrofotometer Serapan Atom (SSA); timbangan analitik; mortar dan alu; cawan porselen; gelas ukur; pipet volumetri; pipet ukur; gelas piala; pemanas listrik (*hotplate*); corong gelas; erlenmeyer; labu ukur; botol vial; kertas saring *Whatman* no. 10 dan no. 42; labu semprot; lemari asam; spatula; mesh no. 50, no. 100, no. 200; dan *sieve shaker*.

3.4.3. Bahan Pengujian

Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain, sampel sampah, aquades, dan asam nitrat (HNO_3).

3.5 Pengumpulan Data

Data yang diperlukan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer mengenai konsentrasi logam berat didapatkan dari preparasi sampel dan pengujian di laboratorium. Untuk data sekunder terkait deskripsi TPST Piyungan dan logam berat di TPST Piyungan diperoleh dengan mengkaji berbagai literasi seperti penelitian terdahulu, artikel, dan lembaga-lembaga terkait penelitian. Pengambilan data primer dilakukan dengan observasi

dan pengambilan sampel sampah. Berikut di bawah ini merupakan metode pengambilan untuk data primer.

3.5.1. Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan di kawasan TPST Piyungan dengan menggunakan cangkul dan sekop. Berikut di bawah ini merupakan contoh proses pengambilan sampel.



Gambar 3.3 Contoh proses pengambilan sampel

(Sumber: Dokumentasi, 2022)

Pemilihan lokasi penelitian dilakukan menggunakan metode *purposive sampling*, berdasarkan catatan waktu penempatan sampah dan informasi dari pengelola TPST. Titik lokasi pengambilan sampel berjumlah 4 (empat) titik, hal ini dilakukan berdasarkan kelompok umur timbunan sampah yang diinginkan. Dari tiap umur timbunan sampah, sampel dikumpulkan secara komposit dari 3 titik sampel yang berbeda. Sampel diambil sebanyak 1 (satu) kg, disimpan menggunakan plastik *zip lock*, diberi label, dan diletakkan di *container*. Adapun pengelompokan umur sampel yang diambil adalah sebagai berikut.

1. 0-6 bulan
2. 1 tahun s/d 2 tahun
3. 3 tahun s/d 4 tahun

4. ≥ 5 tahun

Berikut cara pengambilan sampel sampah:

1. Timbunan sampah digali dengan cangkul sampai dengan kedalaman 30 cm
2. Secara komposit, dari tiap umur timbunan, sampah sebanyak 1 kg diambil dari tiap 3 titik dimasukkan ke dalam plastik *zip lock*
3. Plastik diberi label yang berisikan informasi tanggal pengambilan sampel, titik pengambilan sampel, kedalaman pengambilan sampel, dan umur timbunan sampah
4. Sampel dimasukkan ke dalam *trash bag* dan disimpan di dalam kontainer yang ditutup rapat

3.5.2. Penyimpanan dan Perawatan Sampel

Sampel disimpan menggunakan plastik *zip lock* yang dirangkap 2 (dua) untuk mencegah rusaknya sampel karena gangguan dari luar. Setiap sampel diberi label yang berisi informasi tanggal pengambilan sampel, titik pengambilan sampel, kedalaman pengambilan sampel, dan umur timbunan sampah. Hal ini dilakukan untuk mencegah tertukarnya sampel dengan sampel lainnya. Sampel dalam plastik disusun di dalam kontainer. Di bagian dasar kontainer dan di atas sampel diberi pelindung untuk mengurangi getaran selama pengangkutan. Selama pengangkutan semua sampel tidak boleh bercampur satu sama lain. Sebelum dibawa ke laboratorium, sampel dikeringkan menggunakan nampan dengan cara diangin-anginkan selama 2 hari.



Gambar 3.4 Sampel sampah berbagai umur

(Sumber: Dokumentasi, 2022)

3.5.3. Pengujian Sampel

Sampel diuji untuk mendapatkan data logam berat, pH dan suhu. Sampel dianalisis berdasarkan standar SNI di bawah ini.

Tabel 3.1 Standar acuan pengujian

Parameter		Acuan	Metode	Lokasi
Parameter Utama	Mn	SNI 6989.5:2009	SSA	Laboratorium
	Fe	SNI 06-6989.16-2004		
	Cd	SNI 06-6989.4-2004		
Parameter Pendukung	Suhu	SNI 06-6989.23-2005	Termometer	In situ
	pH	SNI 6989.11-2019	pH meter	

3.6 Analisis Data

Pada tahapan ini dilakukan pengolahan data untuk menggambarkan konsentrasi logam berat dan kadar air pada setiap umur timbunan sampah TPST Piyungan. Konsentrasi logam berat didapatkan dengan menggunakan instrumen Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Persamaan yang digunakan untuk menentukan logam berat Mn, Fe, dan Cd adalah sebagai berikut.

$$C_{act} (mg/kg) = \frac{C \times V}{W} \times fp$$

Keterangan:

C_{act} : kadar logam berat (mg/kg)

C : konsentrasi dari hasil SSA (mg/L)

V : volume larutan sampel (L)

W : berat kering sampel (kg)

fp : faktor pengenceran



BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS DATA

4.1 Kondisi Eksisting Lokasi Penelitian

TPST Piyungan telah beroperasi sejak tahun 1996, dan sejak saat itu sampah dari Kabupaten Bantul, Kabupaten Sleman, dan Kota Yogyakarta ditumpuk di lahan seluas 12.5 Ha tersebut. Berdasarkan Dokumen Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah DLHK Yogyakarta, kelebihan kapasitas di TPST Piyungan telah terjadi sejak tahun 2012. Sistem pengelolaan yang dilakukan saat ini mendatangkan permasalahan seperti, menguarnya bau busuk, banjir air lindi, hingga tercemarnya air sumur warga. Disebabkan oleh permasalahan ini, warga di sekitar kawasan TPST Piyungan melakukan blokade terhadap akses truk pengangkut sampah ke TPST Piyungan. Mereka menuntut adanya pembetulan pengelolaan terhadap dampak pencemaran sampah. Setelah dibukanya blokade TPST Piyungan pada 12 Mei 2022 atas hasil kesepakatan warga Desa Sitimulyo dengan Pemda DIY, TPST Piyungan kembali menerima sampah yang telah tertumpuk di wilayah layanan sejak diblokadanya TPST Piyungan pada tanggal 7 Mei 2022 (Aditya, 2022; Edi, 2022).

Dalam upaya untuk mengatasi kelebihan kapasitas di TPST Piyungan, Pemerintah membangun TPST Transisi Piyungan seluas 10,121 m². Berdasarkan artikel dari Tugu Jogja pada tanggal 21 Juni 2022, proyek pembangunan TPST Transisi Piyungan sudah sekitar 30% dengan target akan selesai pada akhir Agustus 2022 dan bisa mulai digunakan pada September 2022. TPST Transisi ini direncanakan akan digunakan sebagai tampungan dengan volume 171,000 m³ sampah dan disertai lapisan *geomembrane* dan geotekstil (Subarkah, 2022; Tugu Jogja, 2022). Selain itu, dilakukan pula revitalisasi oleh Kementerian PUPR bekerjasama dengan Balai Prasarana Pemukiman Wilayah (BPPW) DIY dengan mengaktifkan pengelolaan sampah dengan metode terasering menggunakan lapisan geotekstil dan *landstone*, perbaikan instalasi pengolahan lindi (IPL), pemasangan pipa gas, dan pembuatan saluran (Sari, 2022). Berdasarkan

Sunartono (2022), pemerintah DIY sedang mempersiapkan kawasan seluas 5.8 Ha untuk pemrosesan sampah dengan menggunakan teknologi, berdasarkan skema KPBU (Kerjasama Pemerintah dengan Badan Usaha) yang akan dimulai pada tahun 2024.



Gambar 4.1 Kondisi di TPST Piyungan

(Sumber: Dokumentasi, 2022)

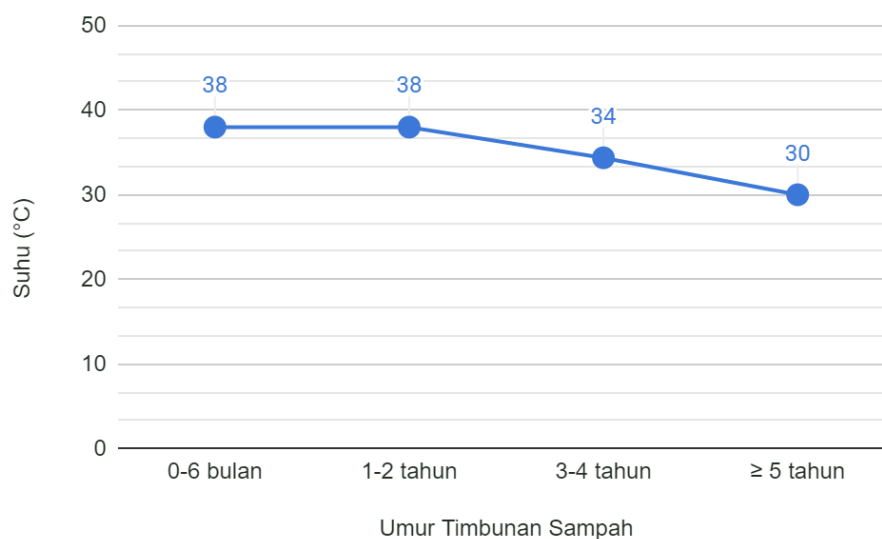
Dari total luas 12.5 Ha, digunakan 2.5 Ha untuk fasilitas seperti kantor sekretariat, area pengelolaan sampah organik, kolam lindi, dan tempat untuk menimbang sampah yang masuk. Di pintu masuk TPST Piyungan terdapat pos jaga, jembatan timbang, garasi, kantor tata usaha TPST Piyungan, ruang pembibitan dan pengomposan, serta musholla. Saat ini zona aktif TPST Piyungan terdiri dari zona A dan zona B, dengan luas 10 Ha. Zona A merupakan zona yang digunakan untuk pengumpulan sampah pasca penutupan. Zona ini adalah zona transisi dengan luas 4.2 Ha yang mana zona transisi 1.1 seluas 1.9 Ha dan zona transisi 1.2 seluas 2.3 Ha. Metode yang digunakan di zona transisi adalah metode tanggul (*slope*), yaitu dengan menggali sebagian tanah kemudian menimbun sampah dengan tanah galian. Di zona B digunakan metode area, karena pada zona

ini karakteristik tanah relatif datar. Kegiatan di zona B adalah pemadatan dan penimbunan sampah sampai ketinggian yang ditentukan (16 meter), menggunakan metode terasering (Sari, 2022).

4.2 Karakteristik Timbunan Sampah

4.2.1. Suhu

Analisis suhu dilakukan secara langsung di titik lokasi pengambilan sampel dengan menggunakan termometer yang ditancapkan pada timbunan sampah. Dari hasil pengukuran suhu yang ditunjukkan pada **Gambar 4.2**, terlihat bahwa suhu tertinggi ditemukan di timbunan sampah berumur muda (0-6 bulan, 1-2 tahun), dengan nilai yang sama, 38°C. Sementara itu pada umur lebih tua (3-4 tahun, ≥ 5 tahun) terjadi penurunan suhu secara bertahap, 34°C dan 30°C. Tingginya suhu pada timbunan sampah muda kemungkinan dipengaruhi oleh suhu udara saat pengambilan sampel. Sampel sampah muda diambil pada saat suhu udara 36°C, sedangkan sampel sampah tua diambil pada saat suhu udara sebesar 31°C.



Gambar 4.2 Suhu timbunan sampah di berbagai umur

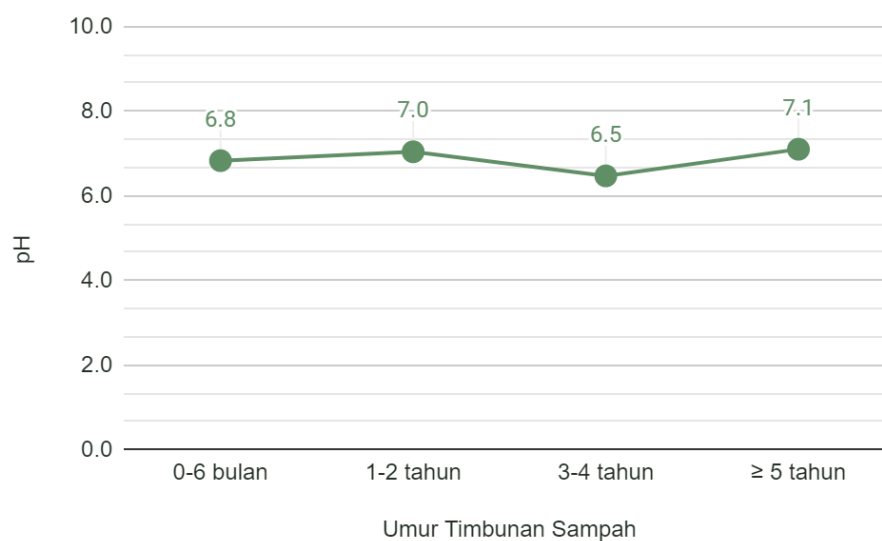
(Sumber: Hasil analisis, 2022)

Hasil pada penelitian ini selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Coccia *et al.* (2013) di Michigan, Amerika Serikat dimana suhu tertinggi pada

sampah muda, kemudian pada sampah tua berangsur-angsur menurun. Menurut (Yesiller *et al.*, 2003) laju kenaikan suhu pada sampah muda lebih tinggi dibandingkan sampah tua. Suhu yang lebih tinggi pada sampah umur 0-6 bulan dan 1-2 tahun dapat dikaitkan dengan aktivitas biologi yaitu, proses dekomposisi yang sedang berlangsung karena kandungan sampah organik yang lebih besar dibandingkan dengan kedua umur lainnya. Sementara itu pada sampah umur tua cenderung menurun karena proses dekomposisi sampah organik pada umur tersebut mendekati sempurna.

4.2.2. pH (Derajat Keasaman)

pH merupakan parameter yang dapat digunakan untuk memperkirakan mobilitas unsur kimia. Maka dari itu, pH dapat digunakan untuk mengukur ketersediaan unsur hara dan logam berat (Kazlauskaitė-Jadzevičė *et al.*, 2014; Król *et al.*, 2020 dalam Sintorini *et al.*, 2021). Nilai pH memiliki pengaruh yang penting dalam mobilitas logam berat. pH asam dapat meningkatkan kelarutan dan mobilitas logam berat dalam timbunan sampah dengan mengasamkan air dan dengan membentuk kompleks larut dengan logam. Analisis pH dilakukan dengan menggunakan pH meter tanah yang ditancapkan pada timbunan sampah dan ditunggu sekitar 1-2 menit.



Gambar 4.3 pH timbunan sampah di berbagai umur

(Sumber: Hasil analisis, 2022)

Dari **Gambar 4.3** dapat dilihat bahwa nilai pH cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya umur sampah. Hal ini serupa dengan yang dilaporkan oleh Wang *et al.* (2021). Berdasarkan Tchobanoglous *et al.* (2002), pH 6.0-7.5 merupakan pH optimal bagi sebagian besar mikroorganisme untuk mendegradasi limbah organik, sedangkan rentang optimum untuk jamur adalah 5.5 sampai 8.0. Oleh karena itu, pH di seluruh umur sampah pada penelitian ini berada dalam kondisi optimum. Secara keseluruhan, nilai pH yang diperoleh pada penelitian ini lebih rendah dibandingkan nilai pH yang diperoleh oleh Wang *et al.* (2021) pada TPA di Cina, yaitu berkisar antara 7.03 hingga 8.25.

pH timbunan sampah berkisar antara 6.5 sampai 7.1, dengan sebagian besar sampel memiliki nilai pH di bawah 7.00. pH sampah umur 0-6 bulan lebih rendah dibandingkan pH sampah umur 1-2 tahun. Bozkurt *et al.* (1999) berpendapat peningkatan pH hingga mendekati netral dapat terjadi karena degradasi asam lemak volatil yang disangga (*buffered*) oleh sistem bikarbonat. Pada saat proses dekomposisi substrat yang tersisa menjadi lebih sulit, aktivitas mikroba akan melambat dan fase humus dimulai. Sementara itu, terjadi penurunan pH pada sampah umur 1-2 tahun menuju sampah umur 3-4 tahun. Terjadinya penurunan pH kemungkinan dapat terjadi karena selama fase anaerobik, oksidan berkurang dan senyawa organik bermolekul rendah akan berfermentasi. Proses ini kemudian menurunkan potensi redoks, dan karena terjadi pembentukan asam karboksilat maka pH juga akan menurun. Selain itu, penurunan pH dapat terjadi akibat oksidasi sulfida dan infiltrasi hujan asam (Bozkurt *et al.*, 1999).

4.3 Analisis Kandungan Logam Berat pada Timbunan Sampah

Tabel 4.1 menyajikan konsentrasi logam berat pada sampah di berbagai umur. Berdasarkan hasil tersebut, urutan konsentrasinya adalah $Fe > Mn > Cd$. Tabel di bawah menunjukkan pada semua logam yang dianalisis, konsentrasi logam berat pada sampah tua lebih tinggi dibandingkan dengan sampah muda, kecuali Cd. Di seluruh umur timbunan yang diamati, logam Cd memiliki konsentrasi terkecil. Sementara itu, logam Fe memiliki konsentrasi tertinggi.

Berdasarkan Adelopo *et al.* (2018), sumber logam berat di TPA tergantung pada komposisi sampah dan kandungan mineral pada tanah penutup TPA. Sampah elektronik (*e-waste*) merupakan komponen utama sampah padat yang mengandung logam berat dengan konsentrasi tinggi (Karimian *et al.*, 2021). Degradasi sampah yang terjadi di TPA dapat mengurangi berat sampah yang ditimbun, tetapi konsentrasi logam berat tidak berkurang melainkan logam terdistribusi kembali melalui proses pelindian (*leaching*) (Adelopo *et al.*, 2018). Selain itu, menurut Karimian *et al.* (2021), pengelolaan sampah yang tidak efisien, kurangnya penegakan hukum, dan tempat pembuangan sampah yang tidak dikelola dapat memperburuk berbagai masalah kesehatan dan lingkungan. Hasil dari kegiatan penimbunan di TPA adalah lindi yang mengandung logam berat dan berbahaya bagi lingkungan. Keberadaan logam berat di TPA berkaitan dengan jenis sampah yang dibuang, metode pengelolaan, dan proses degradasi sampah (Adelopo *et al.*, 2018).

Tabel 4.1 Konsentrasi logam berat pada sampah di berbagai umur (mg/kg)

Umur	Mn	Fe	Cd
0-6 bulan	123	1033	1.3
1-2 tahun	203	1387	1.1
3-4 tahun	321	1681	0.9
≥5 tahun	407	2908	0.6

(Sumber: Hasil analisis, 2022)

Konsentrasi rata-rata logam pada penelitian ini dibandingkan dengan konsentrasi yang dilaporkan dari penelitian lain. Berikut di bawah ini konsentrasi logam berat yang didapatkan dari penelitian sebelumnya.

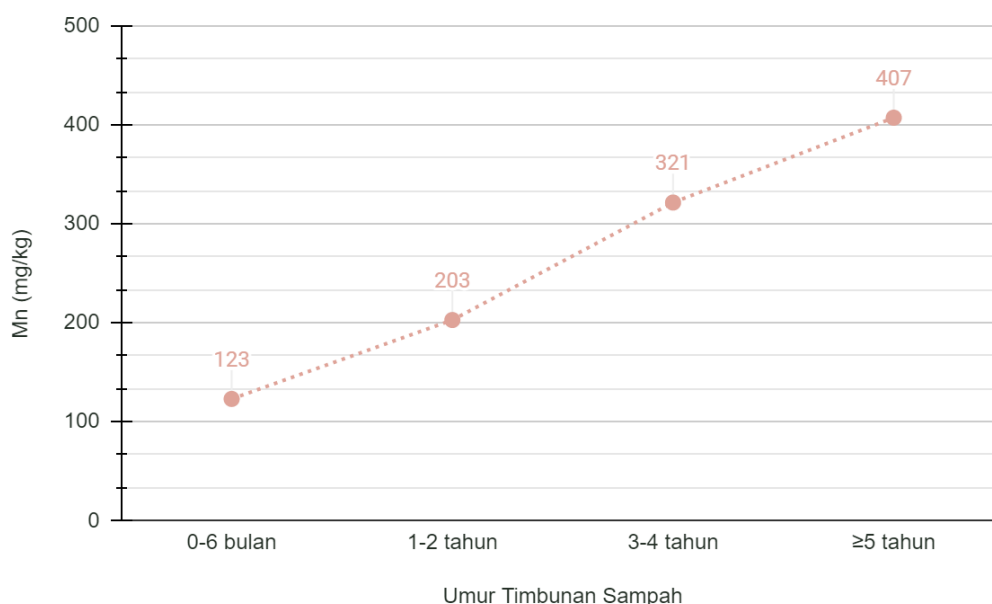
Tabel 4.2 Perbandingan konsentrasi logam berat pada penelitian sekarang dengan penelitian terdahulu

Lokasi	Umur Sampah	Jenis TPA	Konsentrasi Logam Berat		
			Mn	Fe	Cd
TPST Piyungan (Yogyakarta, Indonesia)	0-6 bulan	<i>Controlled landfill</i>	123	1033	1.3
TPST Piyungan (Yogyakarta, Indonesia)	1-2 tahun	<i>Controlled landfill</i>	203	1387	1.1
Alachua Landfill (Alachua County, Florida, Amerika Serikat) ¹	3 tahun	<i>Closed sanitary landfill</i>	377	6800	1.7
TPST Piyungan (Yogyakarta, Indonesia)	3-4 tahun	<i>Controlled landfill</i>	321	1681	0.9
TPST Piyungan (Yogyakarta, Indonesia)	≥5 tahun	<i>Controlled landfill</i>	407	2908	0.6
Efkarpia Landfill (Makedonia Tengah, Yunani) ²	7 tahun	<i>Closed unlined landfill</i>			0.50-18.75
Alachua Landfill (Alachua County, Florida, Amerika Serikat) ¹	8 tahun	<i>Closed sanitary landfill</i>	451	18800	2.3
Laogang Landfill (Shanghai, Cina) ³	24 tahun	<i>Sanitary landfill</i>			0.07-0.40
Abule-Egba Landfill (Nigeria, Afrika Barat) ⁴	25 tahun	<i>Closed controlled landfill</i>	236-363	16707-11910	3.09-4.48
Olusoshun Landfill (Nigeria, Afrika Barat) ⁴	26 tahun	<i>Controlled landfill</i>	161-296	10249-15092	0.88-1.83
Kahrizak Landfill (Tehran, Iran) ⁵	≥40 tahun	<i>Sanitary landfill</i>	799-1254	30543-46364	0.24-0.86

¹Jain *et al.* (2005); ²Kasassi *et al.*, (2008); ³Liu *et al.*, (2013); ⁴Adelopo *et al.* (2018); ⁵Karimian *et al.* (2021)

4.3.1. Logam Mn

Hasil pada **Gambar 4.4** menunjukkan konsentrasi logam Mn pada sampah di TPST Piyungan dengan berbagai umur timbunan. Konsentrasi Mn pada penelitian ini memiliki rentang antara 123 hingga 407 mg/kg, yang mana angka ini hampir serupa dengan penelitian yang dilakukan oleh Adelo *et al.* (2018), konsentrasi Mn pada TPA aktif dan pasif adalah 161-363 mg/kg, seperti ditunjukkan pada **Tabel 4.2**. Namun, konsentrasi tersebut lebih rendah jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Karimian *et al.* (2021), dengan konsentrasi 799-1254.0 mg/kg.



Gambar 4.4 Konsentrasi Mn pada sampah di berbagai umur

(Sumber: Hasil analisis, 2022)

Grafik di atas menunjukkan bahwa konsentrasi Mn meningkat seiring bertambahnya umur timbunan. Kenaikan konsentrasi Mn yang diiringi oleh bertambahnya umur sampah pada penelitian ini serupa dengan hasil penelitian diperoleh Adelo *et al.* (2018) dan Jain *et al.* (2005). Tingkat degradasi yang relatif tinggi di timbunan berumur tua, dapat menyebabkan peningkatan konsentrasi logam berat pada sampel. Hal ini disebabkan pada lokasi ini ada kemungkinan difusi logam berat ke dalam pori mikro tanah dan bahan padat

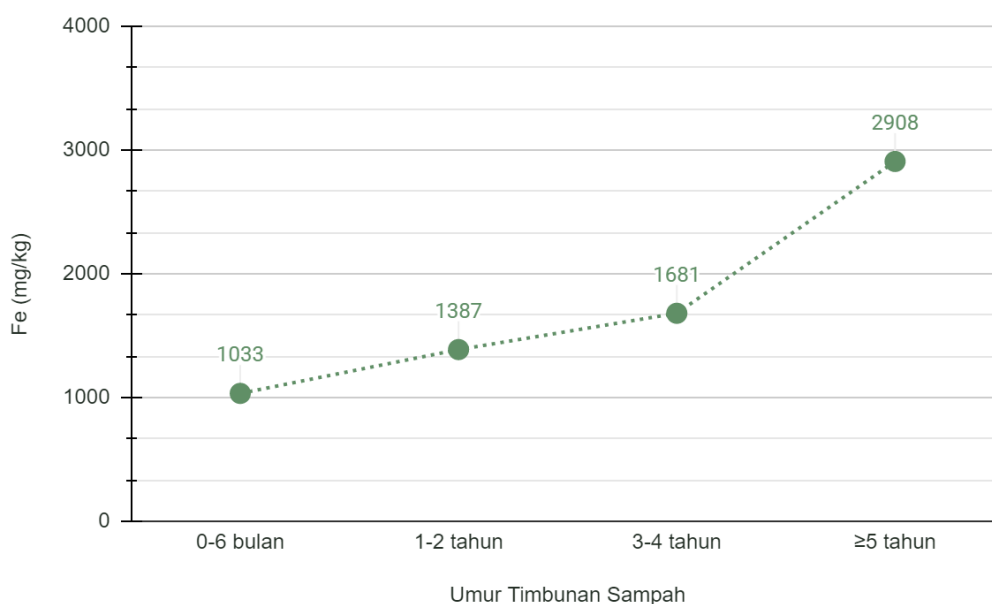
melalui proses kopresipitasi dan koflokulasi, dan penjebakan dalam rongga (US EPA, 2007). Selain itu, Adelopo *et al.* (2018) berpendapat bahwa TPA yang lebih tua (lebih terdegradasi) memiliki potensi lebih besar dalam penyerapan logam berat karena peningkatan porositas di area permukaan dan kemampuan untuk membentuk sistem ikatan yang lebih kuat.

Mn sangat penting untuk tumbuhan dan hewan. Mangan dioksida dan senyawa mangan lainnya digunakan dalam produk seperti baterai, kaca, dan kembang api. Kalium permanganat digunakan sebagai bahan pembersih, pemutih, dan disinfeksi. Senyawa mangan lainnya digunakan dalam pupuk dan sebagai suplemen pakan ternak. Di lokasi penelitian ini ditemukan jenis sampah yang menjadi sumber Mn seperti, baterai, kaca, dan kemasan pembersih. Hal ini membuktikan bahwa pemilahan sampah berbahaya yang tidak tepat di TPA, meningkatkan kadar logam berat dari waktu ke waktu. Menerapkan pemilahan yang tepat dapat mengurangi sampah yang mengandung logam berat seperti cat, pelarut, pestisida, tinta kertas, dan plastik dan pada akhirnya mengurangi pencemaran logam berat di TPA (Akobundu *et al.*, 2013; Karimian *et al.*, 2021).

Adsorpsi Mn dipengaruhi oleh kandungan organik (*organic content*), pH, ukuran partikel, dan kapasitas tukar kation (Akobundu *et al.*, 2013). Kelarutan mangan meningkat seiring dengan penurunan pH. Mn akan tersedia pada $\text{pH} < 7$, namun jika pH terlalu rendah (< 5.5), Mn akan menjadi toksik. pH pada penelitian ini cenderung asam hingga netral, sehingga kondisi ini meningkatkan presipitasi dan bioakumulasi Mn. Selain itu, peningkatan kandungan Mn dapat disebabkan karena rendahnya kandungan organik. Ketika kandungan organik menurun, jumlah Mn yang dapat ditukar meningkat karena terjadi penurunan pembentukan bahan organik dan kompleks Mn (Schulte & Kelling, 1999; Sela, 2019). Berdasarkan Kong *et al.* (2018) dalam Karimian *et al.* (2021), sifat logam berat yang tidak dapat terurai secara alami membantu meningkatkan kandungan logam berat secara bertahap selama proses degradasi dan pengomposan.

4.3.2. Logam Fe

Berdasarkan beratnya, logam Fe (besi dan baja) adalah kategori logam terbesar dalam sampah perkotaan. Logam Fe banyak ditemukan di barang-barang tahan lama seperti, perkakas, furnitur, dan *tires* (ban). Selain itu, sumber lain dari logam Fe adalah wadah dan kemasan. Sejumlah besar logam Fe berasal dari sektor konstruksi dan sektor transportasi seperti, mobil dan lokomotif (US EPA, 2021). Logam Fe memiliki konsentrasi paling tinggi dibandingkan kedua logam lainnya. Sekitar 10 kali lebih tinggi dibandingkan logam Mn, dan 100 kali lebih tinggi dibandingkan logam Cd. Tingginya konsentrasi Fe di semua titik kemungkinan disebabkan karena besi terkandung dalam beberapa bahan rumah tangga dan industri. Konsentrasi logam Fe pada sampah berumur tua ditemukan secara signifikan lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi logam pada sampah berumur muda. Angka ini selaras dengan konsentrasi yang didapatkan oleh Jain *et al.* (2005) pada **Tabel 4.2**, yang mana rata-rata konsentrasi Fe pada sampel lama lebih besar daripada sampah baru.



Gambar 4.5 Konsentrasi Fe pada sampah di berbagai umur

(Sumber: Hasil analisis, 2022)

Konsentrasi logam Fe bervariasi mulai dari 1033 mg/kg hingga 2908 mg/kg. Nilai ini jauh lebih rendah dibandingkan hasil penelitian sebelumnya (Karimian *et al.*, 2021), dengan konsentrasi Fe berkisar antara 30,542.5-46,363.7 mg/kg. **Gambar 4.5** memperlihatkan bahwa konsentrasi logam Fe meningkat secara bertahap dari waktu ke waktu. Hasil pada penelitian ini serupa dengan hasil yang didapatkan oleh Adelo *et al.* (2018), dimana pada sampah tua konsentrasi logam berat lebih tinggi daripada sampah muda.

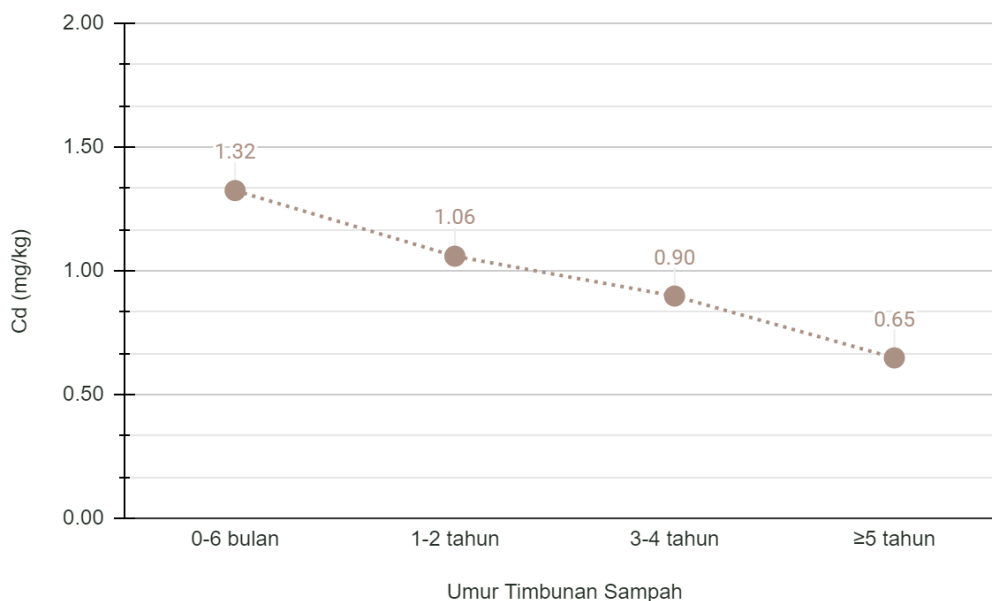
Jain *et al.* (2005) beranggapan bahwa meningkatnya konsentrasi logam berat pada sampah tua dapat disebabkan oleh periode degradasi yang lebih panjang dibandingkan periode degradasi di sampah muda. Hal ini juga didukung oleh Putra *et al.* (2016), bahwa lamanya timbunan sampah di TPA sangat berpengaruh terhadap logam berat yang tersedia. Selain itu, tingginya konsentrasi ini kemungkinan besar terjadi karena proses pelindian (*leaching*) dan dekomposisi sampah. Tingginya konsentrasi logam berat di TPA aktif disebabkan resirkulasi dan akumulasi lindi pada permukaan tanah. Dekomposisi sampah pada TPA pasif dapat meningkatkan konsentrasi logam berat. Konsentrasi logam berat di TPA dipengaruhi oleh komposisi sampah yang masuk dan laju degradasi mikroba. Selain itu, konsentrasi yang tinggi juga dapat diakibatkan kesalahan pengelolaan TPA, seperti sistem pengumpulan lindi yang tidak memadai, pembuangan sampah tidak sesuai dengan sel TPA, serta pemilahan sampah yang tidak tepat (Adelo *et al.*, 2018; Karimian *et al.*, 2021).

Faktor lain yang mempengaruhi pengayaan akumulasi logam Fe adalah karakteristik tanah penutup TPA seperti pH, kandungan liat (*clay*), dan kandungan organik. Berdasarkan Muyassar & Budianta (2021), tanah di TPA Piyungan dan sekitarnya umumnya bertekstur halus dengan kandungan liat sekitar 40%, sehingga mampu menampung lebih banyak air. Kandungan lempung yang mengandung mineral montmorilonit dapat meningkatkan kemampuan tanah dalam menyerap unsur logam berat karena lempung memiliki luas permukaan yang besar, sehingga reaksi dengan logam berat lebih besar. Pada saat yang sama, adanya kandungan organik dalam tanah akan meningkatkan kapasitas tukar kation. Kapasitas tukar kation yang tinggi akan membuat tanah lebih reaktif dan lebih

mudah menyerap kation dalam logam berat (Muyassar & Budianta, 2021). Selain itu adanya kandungan lempung yang mungkin mendorong penyerapan dan pengendapan Fe. Logam berat Fe memiliki afinitas untuk kandungan organik dan mineral lempung serta mengendap pada tingkat pH yang tinggi (Makuleke & Ngole-Jeme, 2020). Kandungan organik meningkatkan ketersediaan Fe dengan menggabungkan diri dengan Fe, sehingga mengurangi fiksasi kimiawi atau pengendapan Fe sebagai besi hidroksida. Pengurangan fiksasi dan pengendapan ini menghasilkan konsentrasi Fe tersisa yang lebih tinggi. Bahan organik juga dapat mempengaruhi ketersediaan besi dengan bertindak sebagai sumber energi bagi mikroorganisme. Ketika mikroorganisme menguraikan bahan organik, besi yang sebelumnya terikat dalam senyawa organik akan terlepas (Schulte, 1992).

4.3.3. Logam Cd

Secara umum, konsentrasi logam Cd lebih rendah dibandingkan dengan kedua logam lainnya (Mn, Fe) dengan rentang 0.65-1.32 mg/kg. Nilai ini selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Kasassi *et al.* (2008) dengan konsentrasi Cd 0.5-18.75 mg/kg. Namun, konsentrasi ini relatif lebih tinggi dibandingkan studi sebelumnya (Liu *et al.*, 2013), Cd 0.07-0.40 mg/kg. Rendahnya konsentrasi Cd dibandingkan kedua logam lainnya dapat dikaitkan dengan mobilisasi Cd. Logam Cd merupakan salah satu logam berat yang paling mudah berpindah (*mobile*) di lingkungan. Potensi mobilisasi yang tinggi ini menyebabkan pelepasan Cd dari tanah ke airtanah (Kubier *et al.*, 2019). Selain itu, meskipun dekomposisi sampah di TPA memberikan pengaruh yang signifikan terhadap tanah di sekitarnya, penting untuk dicatat bahwa perilaku masing-masing logam berat tidak sama. Dari konsentrasi Mn, Cd, dan Fe, diduga Mn dan Fe lebih mudah tertahan oleh lapisan tanah dan bahan padat seperti sampah, dibandingkan dengan Cd. Hal ini disebabkan karena Mn dan Fe memiliki sifat kimia yang berbeda dengan Cd, dimana Mn dan Fe memiliki nilai keelektronegatifan yang lebih besar dari Cd. Perbedaan nilai ini akan mempengaruhi proses adsorpsi logam berat pada media adsorpsi tanah dan sampah (Muyassar & Budianta, 2021).



Gambar 4.6 Konsentrasi Cd pada sampah di berbagai umur

(Sumber: Hasil analisis, 2022)

Umumnya, konsentrasi logam pada sampah tua lebih tinggi daripada konsentrasi logam pada sampah muda. Namun, seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.6**, konsentrasi logam Cd turun seiring dengan bertambahnya umur timbunan sampah. Hasil pada penelitian ini bertentangan dengan yang dilaporkan oleh Adelo *et al.* (2018) dan Jain *et al.* (2005), seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.2**. Menurut Hamon *et al.* (1998) dalam Adelo *et al.* (2018), penurunan logam berat seiring bertambahnya umur sampah kemungkinan disebabkan karena berkurangnya bioavailabilitas logam pada komponen timbunan karena terbentuknya sistem ikatan yang lebih kuat di dalam komponen tersebut. Selain itu, berdasarkan Putra *et al.* (2016), adanya kemungkinan kandungan logam telah larut dan mengalir bersama air limbah ke instalasi pengolahan air limbah. Bersumber pada Lasota *et al.* (2020), kandungan organik dan mineral lempung adalah konstituen utama yang memiliki kapasitas adsorpsi yang signifikan untuk logam melalui pertukaran adsorpsi, kompleksing, dan khelasi. Bahan organik terlibat dalam retensi logam berat, berkurangnya mobilitas logam berat, dan berkurangnya bioavailabilitas logam berat. Kondisi basa ($\text{pH} > 8$) akan membatasi mobilisasi

logam berat, sehingga mengurangi penyerapan logam berat (Sharma *et al.*, 2007 dalam Liu *et al.*, 2013). Keterkaitan antara pH dan konsentrasi Cd juga dinyatakan oleh Rahman *et al.* (2021), yang mana akumulasi Cd akan menurun seiring dengan meningkatnya pH ke basa. Pada sampah berumur ≥ 5 tahun kondisi pH berada sedikit di atas 7, kondisi inilah yang memungkinkan terjadinya penurunan konsentrasi Cd pada sampah berumur tua.

Dikutip dari Akobundu N. *et al.* (2013), logam Cd digunakan sebagai anti korosi, *electroplating* pada baja, kadmium sulfida dan selenida sebagai pigmen pada plastik, baterai, dan pada komponen elektronik lainnya. Jenis sampah tersebut dapat ditemukan di lokasi penelitian, karena tidak adanya kegiatan pemilahan sampah. Cd juga digunakan pada pupuk anorganik yang terbuat dari bijih fosfat. Produk-produk ini akan dibuang ke TPA jika tidak bisa digunakan lagi. Selama proses degradasi, Cd akan tercuci (*leaching*) dan terakumulasi seiring waktu. Logam Cd sangat beracun dan jika sampai tertelan oleh manusia, Cd akan terakumulasi di organ pencernaan. Paparan kronis Cd dapat memicu penyakit ginjal, kanker, dan *osteomalacia*. Selain itu, emisi Cd di atmosfer berasal dari alam dan antropogenik. Umumnya, 10-15% total emisi bersumber dari alam (contoh: gunung meletus), sedangkan sumber terbesar emisi Cd berasal dari produksi logam, insinerasi sampah, produksi baterai, pembakaran batu bara, proses industri, dan produksi pupuk (Kasassi *et al.*, 2008).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Dari hasil analisis diperoleh bahwa umur sampah mempengaruhi kandungan logam berat yang diteliti (Mn, Fe, Cd). Logam Mn dan Fe meningkat seiring bertambahnya umur sampah, dengan konsentrasi logam Mn pada umur 0-6 bulan, 1-2 tahun, 3-4 tahun, dan ≥ 5 tahun berturut-turut adalah 123 mg/kg, 203 mg/kg, 321 mg/kg, dan 407 mg/kg. Untuk konsentrasi logam Fe dengan umur sampah yang sama adalah 1033 mg/kg, 1387 mg/kg, 1681 mg/kg, dan 2908 mg/kg. Namun untuk logam Cd menurun dari waktu ke waktu, dengan konsentrasi 1.32 mg/kg, 1.06 mg/kg, 0.90 mg/kg, dan 0.65 mg/kg. Kandungan logam berat pada sampah di TPA dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu, jenis sampah di TPA, degradasi sampah, kandungan organik, pH, dan metode pengelolaan sampah di TPA.

5.2 Saran

Penelitian selanjutnya diharapkan adanya pengambilan sampel pada musim kemarau dan musim penghujan, untuk membandingkan konsentrasi logam berat pada kedua musim tersebut. Selain itu, perlunya menambah jangkauan umur sampah dan variabel parameter logam berat lainnya. Diperlukan peningkatan aspek teknis dan operasional di TPA untuk kinerja dan keberlanjutan yang lebih baik, serta mempertimbangkan pengaplikasian metode *landfill mining* untuk mengoptimalkan dan menerapkan TPA yang berkelanjutan. Upaya lain yang dapat dilakukan yaitu, memberlakukan kebijakan pelarangan penggunaan barang sekali pakai, mengoptimalkan bank sampah yang ada, serta perubahan perilaku dan meningkatkan kesadaran masyarakat untuk melakukan pengurangan sampah dan pemilahan sampah sesuai jenisnya sejak dari sumber.

DAFTAR PUSTAKA

- Adelopo, A. O., Haris, P. I., Alo, B. I., Huddersman, K., & Jenkins, R. O. (2018). Multivariate analysis of the effects of age, particle size and landfill depth on heavy metals pollution content of closed and active landfill precursors. *Waste Management*, 78, 227-237. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.05.040>
- Aditya, I. (2022, May 12). *Blokade TPST Piyungan Dibuka*. Retrieved July 28, 2022 from [krjogja.com: https://www.krjogja.com/berita-lokal/diy/bantul/blokade-tpst-piyungan-dibuka/](https://www.krjogja.com/berita-lokal/diy/bantul/blokade-tpst-piyungan-dibuka/)
- Akobundu N, A., & H O, N. (2013). Evaluation of Heavy Metal in Soils From Enyimba Dumpsite in Aba, Southeastern Nigeria Using Contamination Factor and Geo-Accumulation Index. *Energy and Environment Research*, 3(1), 125-134. doi:<https://doi.org/10.5539/eer.v3n1p125>
- Bäumler, R., & Kögel-Knabner, I. (2008). Spectroscopic and Wet Chemical Characterization of Solid Waste Organic Matter of Different Age in Landfill Sites, Southern Germany. *Journal of Environmental Quality*, 37(1), 146-153. doi:10.2134/jeq2006.0191
- Bozkurt, S., Moreno, L., & Neretnicks, I. (1999). Long-term fate of organics in waste deposits and its effect on metal release. *The Science of the Total Environment*, 228, 135-152. doi:10.1016/s0048-9697(99)00047-9
- Coccia, C. J., Gupta, R., Morris, J., & McCartney, J. S. (2013). Municipal solid waste landfills as geothermal heat sources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 463-474. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.07.028>
- Damanhuri, E., & Padi, T. (2019). *Pengelolaan Sampah Terpadu*. (E. Warsidi, Ed.) Bandung, Jawa Barat: ITB Press.
- Datta, S., & Eastes, L. (2015, November 19). *Biodegradation in Municipal Solid Waste landfills*. From [Geoengineer.org: https://www.geoengineer.org/education/web-class-projects/cee-549-geoenvironmental-engineering-fall-2015/assignments/biodegradation-in-municipal-solid-waste-landfills#biodegradation-of-msw](https://www.geoengineer.org/education/web-class-projects/cee-549-geoenvironmental-engineering-fall-2015/assignments/biodegradation-in-municipal-solid-waste-landfills#biodegradation-of-msw)
- DLHK DI Yogyakarta. (2019). *Sekilas Info TPST Piyungan / Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan DIY*. Retrieved February 23, 2022 from Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan DIY: <http://dlhk.jogjapro.go.id/sekilas-info-tpst-piyungan>

- Edi, P. (2022, May 12). *Blokade TPST Piyungan Dibuka, Butuh Sepekan Bersihkan Tumpukan Sampah di Yogyakarta*. Retrieved July 28, 2022 from merdeka.com: https://www.merdeka.com/peristiwa/blokade-tpst-piyungan-dibuka-butuh-sepekan-bersihkan-tumpukan-sampah-di-yogyakarta.html?utm_source=dlvr.it&utm_medium=twitter&utm_campaign=merdekatwitter
- Essien, J. P., Ikpe, D. I., Inam, E. D., Okon, A. O., Ebong, G. A., & Benson, N. U. (2022). Occurrence and spatial distribution of heavy metals in landfill leachates and impacted freshwater ecosystem: An environmental and human health threat. *PLoS ONE*, *17*(2). doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263279>
- Essien, J. P., Inam, E. D., Ikpe, D. I., Udofia, G. E., & Benson, N. U. (2019). Ecotoxicological status and risk assessment of heavy metals in municipal solid wastes dumpsite impacted soil in Nigeria. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, *11*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enmm.2019.100215>
- Fakhurozi, A., Suhariyanto, T. T., & Faishal, M. (2021). Analysis of Environmental Impact and Municipal Waste Management Strategy: A Case of the Piyungan Landfill, Yogyakarta, Indonesia. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, *20*(1), 61-71. doi:<https://doi.org/10.25077/josi.v20.n1.p61-71.2021>
- Filho, H. J., Salazar, R. F., Capri, M. d., Neto, Â. C., de Alcântara, M. A., & Peixoto, A. L. (2012). State-of-the-Art and Trends in Atomic Absorption Spectrometry. In M. A. Farrukh (Ed.), *Atomic Absorption Spectroscopy*. IntechOpen. doi:<https://doi.org/10.5772/26076>
- García, R., & Báez, A. P. (2012). Atomic Absorption Spectrometry (AAS). In M. A. Farrukh (Ed.), *Atomic Absorption Spectroscopy*. IntechOpen. doi:<https://doi.org/10.5772/25925>
- Gworek, B., Dmuchowski, W., Koda, E., Marecka, M., Baczewska, A. H., Brągoszewska, P., . . . Osiński, P. (2016). Impact of the Municipal Solid Waste Łubna Landfill on Environmental Pollution by Heavy Metals. *Water*, *8*(10), 470. doi:<https://doi.org/10.3390/w8100470>
- Hamon, R. E., McLaughlin, M. J., Naidu, R., & Correll, R. (1998). Long-term changes in cadmium bioavailability in soil. *Environmental Science & Technology*, *32*(23), 3699-3703. doi:10.1021/es980198b
- Jain, P., Kim, H. D., & Townsend, T. G. (2005). Heavy metal content in soil reclaimed from a municipal solid waste landfill. *Waste Management*, *25*(1), 25-35. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.08.009>

- Kanmani, S., & Gandhimathi, R. (2013). Assessment of heavy metal contamination in soil due to leachate migration from an open dumping site. *Applied Water Science*, 3, 193-205. doi:<https://doi.org/10.1007/s13201-012-0072-z>
- Karimian, S., Shekoohiyan, S., & Moussavi, G. (2021). Health and ecological risk assessment and simulation of heavy metal-contaminated soil of Tehran landfill. *Royal Society of Chemistry Advances*, 11, 8080-8095. doi:<https://doi.org/10.1039/D0RA08833A>
- Kasassi, A., Rakimbei, P., Karagiannidis, A., Zabaniotou, A., Tsiouvaras, K., Nastis, A., & Tzafeiropoulou, K. (2008). Soil contamination by heavy metals: Measurements from a closed unlined landfill. *Bioresource Technology*, 99, 8578-8584. doi:10.1016/j.biortech.2008.04.010
- Kazlauskaitė-Jadzevičė, A., Volungevičius, J., Gregorauskienė, V., & Marcinkonis, S. (2014). The role of pH in heavy metal contamination of urban soil. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 22(4). doi:10.3846/16486897.2013.872117
- KEMEN PUPR. (2021, March 9). *Kementerian PUPR Targetkan Revitalisasi TPA Regional Piyungan di Yogyakarta Rampung Maret 2022 9 Maret 2021*. Retrieved March 7, 2022 from Kementerian PUPR: <https://pu.go.id/kanal-gallery/284>
- Kong, Z., Wang, X., Liu, Q., Li, T., Chen, X., Chai, L., . . . Shen, Q. (2018). Evolution of various fractions during the windrow composting of chicken manure with rice chaff. *Journal of Environmental Management*, 207, 366-377. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.023>
- Król, A., Mizerna, K., & Bożym, M. (2020). An assessment of pH-dependent release and mobility of heavy metals from metallurgical slag. *Journal of Hazardous Materials*, 384. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121502>
- Kubier, A., Wilkin, R. T., & Pichler, T. (2019). Cadmium in soils and groundwater: A review. *Appl Geochem*, 108, 1-16. doi:10.1016/j.apgeochem.2019.104388
- Lasota, J., Błońska, E., Łyszczarz, S., & Tibbett, M. (2020). Forest humus type governs heavy metal accumulation in specific organic matter fractions. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231(80). doi:<https://doi.org/10.1007/s11270-020-4450-0>
- Liu, C., Cui, J., Jiang, G., Chen, X., Wang, L., & Fang, C. (2013). Soil heavy metal pollution assessment near the largest landfill of China. *Soil and*

Sediment Contamination: An International Journal, 22(4), 390-403.
doi:<http://dx.doi.org/10.1080/15320383.2013.733447>

- Makuleke, P., & Ngole-Jeme, V. M. (2020). Soil Heavy Metal Distribution with Depth around a Closed Landfill and Their Uptake by *Datura stramonium*. *Applied and Environmental Soil Science*, 2020. doi:<https://doi.org/10.1155/2020/8872475>
- Muyassar, M., & Budianta, W. (2021). Assessment of Heavy Metal Contamination in Soil around Piyungan Landfill, Yogyakarta, Indonesia. *Journal of Applied Geology*, 6(2), 128-135. doi:<http://dx.doi.org/10.22146/jag.65651>
- Muyassar, M., & Budianta, W. (2021). Pencemaran Logam Berat Pada Tanah di Sekitar Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Piyungan, Bantul, Yogyakarta. *KURVATEK*, VI(1), 11-22.
- Othman, R., Mohd Latif, N. H., Baharuddin, Z. M., Hashim, K. S., & Lukman Hakim Mahamod, L. H. (2019). Closed landfill heavy metal contamination distribution profiles at different soil depths and radiuses. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(4), 8059-8067. doi:http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1704_80598067
- Prihandoko, D., Budiman, A., Fandeli, C., & Setyono, P. (2020). A New Paradigm for Solid Waste Management in Integrated Waste Management Site Piyungan Yogyakarta, Indonesia. *Applied Mechanics and Materials*, 51-57. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.898.51
- Putra, H. P., Damanhuri, E., & Marzuko, A. (2018). The concept of "Loop Cycle" in landfill management (Case study at Piyungan landfill, Yogyakarta, Indonesia). *MATEC Web of Conferences*, 158. doi:<http://dx.doi.org/10.1051/mateconf/201815402003>
- Putra, H. P., Marzuko, Sari, K., Septhiani, T., & Rahmadani, F. (2016). Identification of compost potential on degraded solid waste in Piyungan Landfill, Bantul, Yogyakarta as a step of landfill management optimization by using landfill mining method. *ICSBE*, 151-159. From <https://icsbe.uui.ac.id/4th-2016/01/downloads/archive/2016/TOPIC%201/16.%20IDENTIFICATIO%20N%20OF%20COMPOST%20POTENTIAL%20ON%20DEGRADED%20SOLID%20WASTE.pdf>
- Rahman, S. U., Xuebin, Q., Riaz, L., Yasin, G., Shah, A. N., Shahzad, U., . . . Du, Z. (2021). The interactive effect of pH variation and cadmium stress on wheat (*Triticum aestivum* L.) growth, physiological and biochemical parame. *PLoS ONE*, 17(7). doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253798>

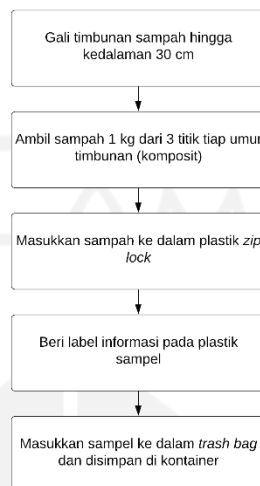
- Rikta, S. Y., Tareq, S. M., & Uddin, M. K. (2018). Toxic metals (Ni²⁺, Pb²⁺, Hg²⁺) binding affinity of dissolved organic matter (DOM) derived from different ages municipal landfill leachate. *Applied Water Science*, 8(1), 1-8. doi:<https://doi.org/10.1007/s13201-018-0642-9>
- Sari, E. (2022). *Laporan Aktualisasi Nilai-Nilai Dasar Pegawai Negeri Sipil Sebagai Penyusun Program Anggaran Dan Pelaporan Dalam Penerapan Metode Sanitary Landfill Pada Pengelolaan Sampah Di TPA Regional Piyungan Balai Pengelolaan Sampah DLHK DIY*. Yogyakarta: Bandiklat DIY. From <https://imt.jogjaprovo.go.id/simperpus/index.php?p=fstream-pdf&fid=4325&bid=16092>
- Schulte, E. E. (1992). *Understanding Plant Nutrients Soil and Applied Iron (A3554)*. From [corn.agronomy.wisc.edu: http://corn.agronomy.wisc.edu/Management/pdfs/a3554.pdf](http://corn.agronomy.wisc.edu/Management/pdfs/a3554.pdf)
- Schulte, E. E., & Kelling, K. A. (1999). *Soil and Applied Manganese (A2526)*. From [corn.agronomy.wisc.edu: http://corn.agronomy.wisc.edu/Management/pdfs/a2526.pdf](http://corn.agronomy.wisc.edu/Management/pdfs/a2526.pdf)
- Sela, G. (2019, August 15). *Manganese in plants and soil*. From Cropaia: <https://cropaia.com/blog/manganese-in-plants-and-soil/>
- Sharma, R. K., Agrawal, M., & Marshall, F. (2007). Heavy metal contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi, India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 66, 258-266. doi:10.1016/j.ecoenv.2005.11.007
- Sintorini, M. M., Widyatmoko, H., Sinaga, E., & Aliyah, N. (2021). Effect of pH on metal mobility in the soil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 737. doi:10.1088/1755-1315/737/1/012071
- Subarkah, L. (2022, June 20). *Apa Kabar Proyek TPST Transisi Piyungan? Ini Progres dan Target Pembangunannya*. (A. Junianto, Editor) Retrieved July 28, 2022 from [Harian Jogja: https://jogjapolitan.harianjogja.com/read/2022/06/20/511/1103992/apa-kabar-proyek-tpst-transisi-piyungan-ini-progres-dan-target-pembangunannya?utm_source=dlvr.it&utm_medium=twitter](https://jogjapolitan.harianjogja.com/read/2022/06/20/511/1103992/apa-kabar-proyek-tpst-transisi-piyungan-ini-progres-dan-target-pembangunannya?utm_source=dlvr.it&utm_medium=twitter)
- Sunartono. (2022, July 25). *Sultan Bertemu Perusahaan Calon Kontraktor TPST Piyungan, Ini Hasilnya?* (B. Suryani, Editor) Retrieved July 2022, 2022 from [Harian Jogja: https://jogjapolitan.harianjogja.com/read/2022/07/25/510/1107147/sultan-bertemu-perusahaan-calon-kontraktor-tpst-piyungan-ini-hasilnya?utm_source=dlvr.it&utm_medium=twitter](https://jogjapolitan.harianjogja.com/read/2022/07/25/510/1107147/sultan-bertemu-perusahaan-calon-kontraktor-tpst-piyungan-ini-hasilnya?utm_source=dlvr.it&utm_medium=twitter)
- Tchobanoglous, G., & Kreith, F. (2002). *Handbook of Solid Waste Management* (2nd ed.). New York: McGraw-Hill Handbooks. doi:10.1036/0071356231

- Tugu Jogja. (2022, June 21). *Proyek TPST Transisi Piyungan Capai 30 Persen*. Retrieved July 28, 2022 from kumparan.com: https://kumparan.com/tugujogja/proyek-tpst-transisi-piyungan-capai-30-persen-1yJTcs5zbWV/full?utm_campaign=int&utm_medium=post&utm_source=Twitter
- US EPA. (2007, March). *Framework for Metals Risk Assessment*. Retrieved August 3, 2022 from EPA.gov: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2013-09/documents/metals-risk-assessment-final.pdf>
- US EPA. (2021, December 21). *Ferrous Metals: Material-Specific Data*. Retrieved August 4, 2022 from US EPA: <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/ferrous-metals-material-specific-data>
- Wang, Y.-n., Xu, R., Kai, Y., Wang, H., Sun, Y., Zhan, M., & Gong, B. (2021). Evaluating the physicochemical properties of refuse with a short-term landfill age and odorous pollutants emission during landfill mining: A case study. *Waste Management*, 121, 77-86. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.12.001>
- Widiyanto, D. (2022, January 25). *Darurat! TPST Piyungan Hampir Penuh – KRJOGJA*. Retrieved March 3, 2022 from KRJOGJA: <https://www.krjogja.com/berita-lokal/diy/bantul/darurat-tpst-piyungan-hampir-penuh/>
- Yesiller, N., & Hanson, J. L. (2003). Analysis of temperatures at a municipal solid waste landfill. In Christensen (Ed.), *Ninth International Waste Management and Landfill Symposium* (pp. 1-10). Sardinia: CISA.
- Zhang, H. B., Zhang, H. Y., Wang, G. Q., & Bai, X. J. (2018). Analysis of physical composition and heavy metals pollution of municipal solid waste (MSW) in Beijing. *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science*, 128(1). doi:<http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/128/1/012061>

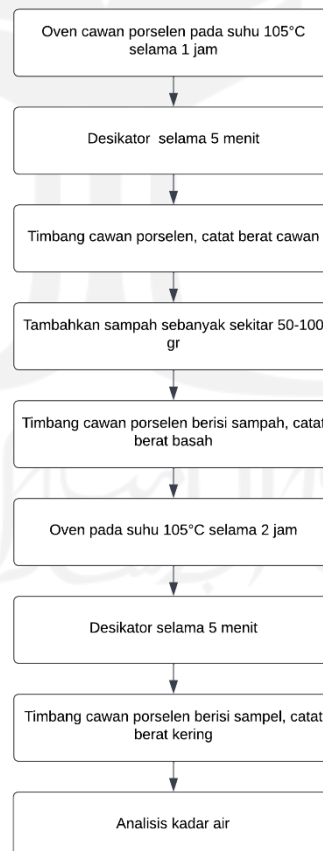


LAMPIRAN I Skema Pengambilan Data

1. Pengambilan Sampel



2. Kadar Air



3. Logam Berat



LAMPIRAN II Hasil Pengujian

1. pH

No	Umur	pH			
		Titik I	Titik II	Titik III	Rata-rata
1	0-6 bulan	6.8	6.8	6.9	6.8
2	1-2 tahun	6.9	7.0	7.1	7.0
3	3-4 tahun	6.2	6.3	6.9	6.5
4	≥5 tahun	7.3	6.9	7.0	7.1

2. Berat Sampel Uji Logam Berat

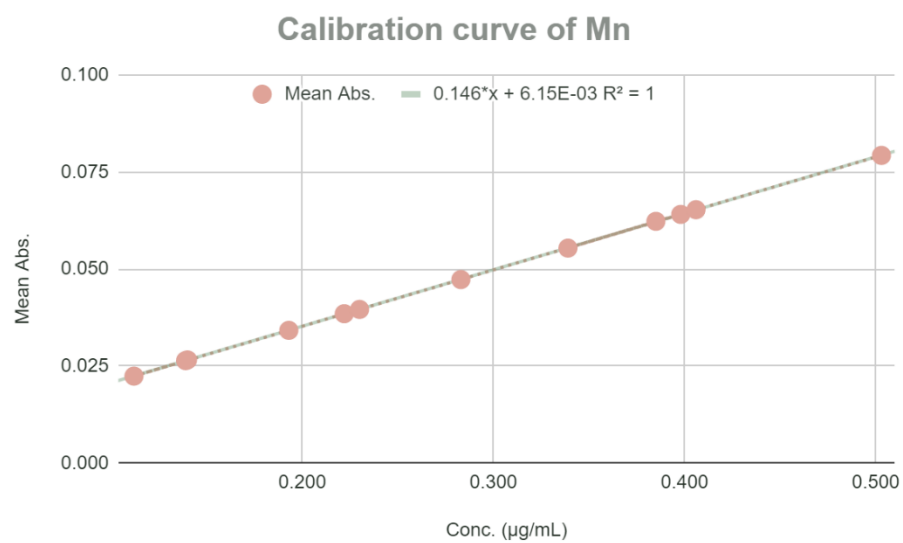
No	Umur	Label Sampel	Berat Sampel (gr)
1	0-6 bulan	Sample 1	1.063
2		Sample 2	1.045
3		Sample 3	1.071
4	1-2 tahun	Sample 4	1.056
5		Sample 5	1.065
6		Sample 6	1.061
7	3-4 tahun	Sample 7	1.049
8		Sample 8	1.073
9		Sample 9	1.052
10	≥5 tahun	Sample 10	1.068
11		Sample 11	1.047
12		Sample 12	1.064

3. Logam Mangan (Mn)

Hasil uji SSA dan kurva kalibrasi

No	Umur	Label Sampel	Conc. (µg/mL)	Mean Abs.
1	0-6 bulan	Sample 1	0.140	0.0266
2		Sample 2	0.139	0.0264
3		Sample 3	0.112	0.0224
4	1-2 tahun	Sample 4	0.193	0.0342
5		Sample 5	0.222	0.0385

6		Sample 6	0.230	0.0396
7		Sample 7	0.283	0.0473
8	3-4 tahun	Sample 8	0.398	0.0641
9		Sample 9	0.339	0.0554
10		Sample 10	0.385	0.0623
11	≥5 tahun	Sample 11	0.406	0.0653
12		Sample 12	0.503	0.0793



Perhitungan konsentrasi logam Mn

Konsentrasi Mn (mg/kg) dihitung dengan persamaan berikut.

$$C_{act} (mg/kg) = \frac{C \times V}{W} \times fp$$

Keterangan:

C_{act} : kadar logam berat (mg/kg)

C : konsentrasi dari hasil SSA (mg/L)

V : volume larutan sampel (L)

W : berat kering sampel tanah (kg)

fp : faktor pengenceran

Contoh perhitungan:

Umur 0-6 bulan

Diketahui:

C : 0.140 mg/L
 V : 10 mL = 0.01 L
 W : 1.060 gr = 0.001060 kg
 fp : 100

Penyelesaian:

$$C_{act} (mg/kg) = \frac{C \times V}{W} \times fp$$

$$C_{act} \left(\frac{mg}{kg} \right) = \frac{0.130 \times 0.01}{0.001060} \times 100 = 123 \text{ mg/kg}$$

Hasil perhitungan konsentrasi logam Mn

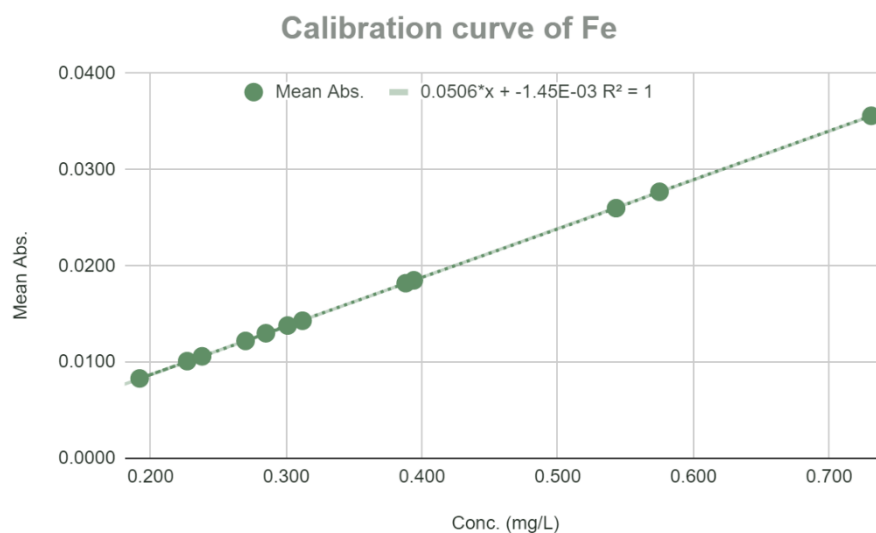
Umur	Label Sampel	Berat Sampel (gr)	Conc. (µg/mL)	Rerata Berat Sampel (gr)	Rerata conc. (µg/mL)	Conc. (mg/kg)
0-6 bulan	Sample 1	1.063	0.140	1.060	0.130	123
	Sample 2	1.045	0.139			
	Sample 3	1.071	0.112			
1-2 tahun	Sample 1	1.056	0.193	1.061	0.215	203
	Sample 2	1.065	0.222			
	Sample 3	1.061	0.230			
3-4 tahun	Sample 1	1.049	0.283	1.058	0.340	321
	Sample 2	1.073	0.398			
	Sample 3	1.052	0.339			
≥5 tahun	Sample 1	1.068	0.385	1.060	0.431	407
	Sample 2	1.047	0.406			
	Sample 3	1.064	0.503			

4. Logam Besi (Fe)

Hasil uji SSA dan kurva kalibrasi

No	Umur	Label Sampel	Conc. (µg/mL)	Mean Abs.
1	0-6 bulan	Sample 1	0.227	0.0101
2		Sample 2	0.238	0.0106
3		Sample 3	0.192	0.0083
4	1-2 tahun	Sample 4	0.312	0.0143

5		Sample 5	0.270	0.0122
6		Sample 6	0.301	0.0138
7		Sample 7	0.285	0.0130
8	3-4 tahun	Sample 8	0.394	0.0185
9		Sample 9	0.388	0.0182
10		Sample 10	0.543	0.0260
11	≥5 tahun	Sample 11	0.575	0.0277
12		Sample 12	0.731	0.0356



Perhitungan konsentrasi logam Fe

Konsentrasi Mn (mg/kg) dihitung dengan persamaan berikut.

$$C_{act} (mg/kg) = \frac{C \times V}{W} \times fp$$

Keterangan:

C_{act} : kadar logam berat (mg/kg)

C : konsentrasi dari hasil SSA (mg/L)

V : volume larutan sampel (L)

W : berat kering sampel tanah (kg)

fp : faktor pengenceran

Contoh perhitungan:

Umur 0-6 bulan

Diketahui:

C : 0.233 mg/L
 V : 10 mL = 0.01 L
 W : 1.060 gr = 0.001060 kg
 fp : 500

Penyelesaian:

$$C_{act} (mg/kg) = \frac{C \times V}{W} \times fp$$

$$C_{act} \left(\frac{mg}{kg} \right) = \frac{0.219 \times 0.01}{0.001060} \times 500 = 1033 \text{ mg/kg}$$

Hasil perhitungan konsentrasi logam Fe

Umur	Label Sampel	Berat Sampel (gr)	Conc. (µg/mL)	Rerata Berat Sampel (gr)	Rerata conc. (µg/mL)	Conc. (mg/kg)
0-6 bulan	Sample 1	1.063	0.227	1.060	0.219	1033
	Sample 2	1.045	0.238			
	Sample 3	1.071	0.192			
1-2 tahun	Sample 1	1.056	0.312	1.061	0.294	1387
	Sample 2	1.065	0.270			
	Sample 3	1.061	0.301			
3-4 tahun	Sample 1	1.049	0.285	1.058	0.356	1681
	Sample 2	1.073	0.394			
	Sample 3	1.052	0.388			
≥5 tahun	Sample 1	1.068	0.543	1.060	0.616	2908
	Sample 2	1.047	0.575			
	Sample 3	1.064	0.731			

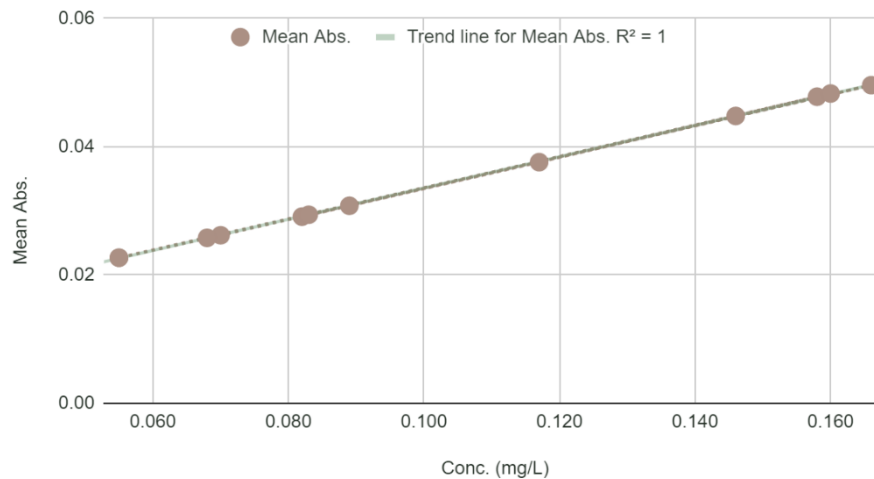
5. Logam Kadmium (Cd)

Hasil uji SSA dan kurva kalibrasi

No	Umur	Label Sampel	Conc. (µg/mL)	Mean Abs.
1	0-6 bulan	Sample 1	0.158	0.0478
2		Sample 2	0.146	0.0448
3		Sample 3	0.117	0.0376
4	1-2 tahun	Sample 4	0.082	0.0291

5		Sample 5	0.089	0.0308
6		Sample 6	0.166	0.0496
7		Sample 7	0.055	0.0227
8	3-4 tahun	Sample 8	0.070	0.0262
9		Sample 9	0.160	0.0483
10		Sample 10	0.083	0.0294
11	≥5 tahun	Sample 11	0.068	0.0258
12		Sample 12	0.055	0.0227

Calibration curve of Cd



Perhitungan konsentrasi logam Cd

Konsentrasi Cd (mg/kg) dihitung dengan persamaan berikut.

$$C_{act} (mg/kg) = \frac{C \times V}{W} \times fp$$

Keterangan:

C_{act} : kadar logam berat (mg/kg)

C : konsentrasi dari hasil SSA (mg/L)

V : volume larutan sampel (L)

W : berat kering sampel tanah (kg)

fp : faktor pengenceran

Contoh perhitungan:

Umur 0-6 bulan

Diketahui:

C : 0.152 mg/L

V : 10 mL = 0.01 L

W : 1.060 gr = 0.001060 kg

fp : 1

Penyelesaian:







$$C_{act} (mg/kg) = \frac{C \times V}{W} \times fp$$

$$C_{act} \left(\frac{mg}{kg} \right) = \frac{0.140 \times 0.01}{0.001060} \times 1 = 1.32 mg/kg$$

Hasil perhitungan konsentrasi logam Cd

Umur	Label Sampel	Berat Sampel (gr)	Conc. (µg/mL)	Rerata Berat Sampel (gr)	Rerata conc. (µg/mL)	Conc. (mg/kg)
0-6 bulan	Sample 1	1.063	0.158	1.060	0.140	1.32
	Sample 2	1.045	0.146			
	Sample 3	1.071	0.117			
1-2 tahun	Sample 1	1.056	0.082	1.061	0.112	1.06
	Sample 2	1.065	0.089			
	Sample 3	1.061	0.166			
3-4 tahun	Sample 1	1.049	0.055	1.058	0.095	0.90
	Sample 2	1.073	0.070			
	Sample 3	1.052	0.160			
≥5 tahun	Sample 1	1.068	0.083	1.060	0.069	0.65
	Sample 2	1.047	0.068			
	Sample 3	1.064	0.055			

LAMPIRAN III Dokumentasi Penelitian

1	<p>Survei lapangan</p> 	2	<p>Persiapan sebelum melakukan pengambilan sampel</p> 	3	<p>Pengambilan sampel dengan penggalian sedalam 30 cm</p> 
4	<p>Pengukuran kedalaman</p> 	5	<p>Pengukuran suhu dengan termometer</p> 	6	<p>Pengukuran pH dengan pH meter</p> 

7	<p>Penyimpanan dan perawatan sampel</p> 	8	<p>Sampel dioven pada suhu 105°C selama 2 jam</p> 	9	<p>Sampel dihaluskan menggunakan mortar dan alu</p> 
10	<p>Sampel diayak dengan ayakan no. 100</p> 	11	<p>Sampel hasil ayakan</p> 	12	<p>Sampel ditimbang sebanyak 1 gr</p> 

	Sampel didestruksi	Sampel disaring dengan kertas saring	Sampel diencerkan 10 dan 100 kali
1 3		1 4 	1 5 

LAMPIRAN IV Peta Titik Pengambilan Sampel

