

TUGAS AKHIR

**PROFILING KANDUNGAN LOGAM BERAT Pb, Zn
dan Cu BERDASARKAN UMUR TIMBUNAN
SAMPAH DI TPA PIYUNGAN YOGYAKARTA**

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



**ELANIKA ARDA SAVIRA
18513216**

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

TUGAS AKHIR
PROFILING KANDUNGAN LOGAM BERAT Pb, Zn dan
Cu BERDASARKAN UMUR TIMBUNAN SAMPAH DI
TPA PIYUNGAN YOGYAKARTA

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



ELANIKA ARDA SAVIRA
18513216

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

**PROFILING KANDUNGAN LOGAM BERAT Pb, Zn
dan Cu BERDASARKAN UMUR TIMBUNAN
SAMPAH DI TPA PIYUNGAN YOGYAKARTA**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Rabu

Tanggal : 16 November 2022

Disusun Oleh:

ELANIKA ARDA SAVIRA

18513216

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, 11 November 2022

Yang membuat pernyataan,



Elanika Arda Savira

NIM : 18513216

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, yang telah memberikan penulis kekuatan, rahmat dan kesempatan dalam menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Profiling Kandungan Logam Berat Pb, Zn dan Cu Berdasarkan Umur Timbunan Sampah Di TPA Piyungan”.

Penulisan Tugas Akhir ini bertujuan agar para pembaca mendapatkan tambahan wawasan mengenai kandungan logam berat Pb, Zn dan Cu berdasarkan umur timbunan sampah di TPA Piyungan. Selain itu, Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan penulis dalam Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Pencapaian yang diraih oleh penulis dalam penyelesaian skripsi ini tak lepas dari dukungan banyak pihak. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada :

1. Allah Yang Maha Esa;
2. Bapak Paelan dan Ibu Sukarti selaku orangtua kandung penulis yang sedari dulu selalu mendukung dan membantu penulis baik berupa perbuatan maupun doa sehingga bisa mencapai titik pencapaian saat ini, serta Felicia Nuarika selaku kakak penulis yang sudah membantu dan menghibur penulis selama pengerjaan Tugas Akhir ini
3. Bapak Dr. Ir. Kasam, M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan saran, bimbingan dan juga penilaian kepada penulis mulai dari penyusunan proposal hingga penyelesaian Tugas Akhir ini;
4. Bapak Dr. Hijrah Purnama Putra, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan saran, bimbingan dan juga penilaian kepada penulis mulai dari penyusunan proposal hingga penyelesaian Tugas Akhir ini;
5. Bapak Yebi Yuriandala S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan masukan dan arahan pada penelitian Tugas Akhir ini;

6. Bapak Dr.Eng Joni Aldila Fajri, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan saran dan bimbingan selama menempuh Pendidikan di Fakultas Teknik Lingkungan;
7. Para dosen dan pengajar yang selama ini telah memberikan ilmu yang bermanfaat bagi penulis selama menempuh Pendidikan di Fakultas Teknik Lingkungan UII;
8. Bapak Ibnu dan Mas Heri selaku petugas di TPA Piyungan yang telah membantu dalam pengambilan sampel;
9. Elvira Meilinda Putri, Puput Asrofiani dan Eka Putri Ayustin selaku teman yang menemani dari TK yang turut memberikan dukungan dan semangat selama penyusunan Tugas Akhir ini;
10. Teman-teman kelas E terutama Salsabila Dyah Maharani yang selama perkuliahan selalu membantu penulis dalam memahami mata kuliah di Teknik Lingkungan UII;
11. Pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu penulis selama perkuliahan di Teknik Lingkungan UII.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca yang bersifat membangun untuk menjadikan Tugas Akhir ini lebih baik.

Penulis juga meminta maaf kepada pihak – pihak yang secara langsung maupun tidak langsung yang terlibat apabila terdapat ucapan maupun tindakan yang kurang berkenan

Yogyakarta, 2022

Elanika Arda Savira



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

ELANIKA ARDA SAVIRA. Profiling Kandungan Logam Berat Pb, Zn dan Cu Berdasarkan Umur Timbunan Sampah Di TPA Piyungan Yogyakarta. Dibimbing Oleh Dr. Ir. Kasam, M.T., Dr. Hijrah Purnama Putra, S.T., M.Eng. dan Yebi Yuriandala S.T., M.Eng.

Penimbunan di TPA Piyungan dilakukan secara kontinu selama bertahun-tahun dan akan mengalami degradasi. Perubahan karakteristik terjadi selama degradasi sampah sehingga dapat melarutkan senyawa-senyawa salah satunya adalah logam berat. Sampah perkotaan mengandung banyak logam berat yang dapat menimbulkan risiko karena tidak dapat terurai dan memiliki umur residu hingga 150 tahun dengan laju lindi (*leaching rate*) 400 mm/tahun, sumber logam berat ini berasal dari kaleng makanan, plastik, tekstil, besi tua dan sampah elektronik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan logam berat Pb, Zn dan Cu dalam timbunan sampah dengan berbagai umur di TPA Piyungan Yogyakarta. Variasi umur yang digunakan yaitu 0 – 6 bulan, 1 – 2 tahun, 3 – 4 tahun dan ≥ 5 tahun. Sampel sampah dengan berbagai umur diambil di TPA Piyungan yang didasarkan pada catatan waktu penempetan sampah dan informasi pengelola. Setelah melalui preparasi sesuai SNI 06-6992, selanjutnya dilakukan pengujian dengan menggunakan instrumen Spektrometer Serapan Atom (SSA). Sesuai hasil pengujian diperoleh bahwa kandungan logam berat Pb dan Zn mengalami fluktuatif tetapi cenderung menurun dan Cu mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya umur timbunan. Adapun faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kandungan Pb, Zn dan Cu adalah komposisi sampah, pH dan bahan organik. ukuran partikel sampah dan pengendapan sulfida.

Kata Kunci : Logam Berat, Umur Sampah, Timbunan Sampah

ABSTRACT

ELANIKA ARDA SAVIRA. Profiling of Pb, Zn and Cu Heavy Metal Content Based on Waste Age at Piyungan Landfill Yogyakarta. Supervised by Dr. Ir. Kasam, M.T., Dr. Hijrah Purnama Putra, S.T., M.Eng. and Yebi Yuriandala S.T., M.Eng.

Stockpiling at the Piyungan landfill is carried out continuously for years and will experience degradation. Characteristic changes occur during waste degradation so that it can dissolve compounds, one of which is heavy metals. Urban waste contains a lot of heavy metals that can pose a risk because it cannot be decomposed and has a residual life of up to 150 years with a leaching rate of 400 mm/year, the source of these heavy metals comes from food cans, plastics, textiles, scrap metal and garbage. electronic. This study aims to determine the content of heavy metals Pb, Zn and Cu in the waste heap of various ages at the Piyungan landfill Yogyakarta. Age variations used are 0-6 months, 1-2 years, 3-4 years and 5 years. Waste samples of various ages were taken at the Piyungan Landfill based on records of the time of deposition of the waste and information from the management. After going through the preparation according to SNI 06-6992, then testing was carried out using the Atomic Absorption Spectrometer (AAS). According to the test results, it was found that the concentration of heavy metals Pb and Zn experienced a fluctuating but tended to decrease and Cu experienced an increasing along with the age of the waste. The factors that can affect the content of Pb, Zn and Cu are the composition of waste, pH and organic matter. waste particle size and sulfide deposition.

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

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
1.6 Kerangka Berpikir	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Piyungan Bantul	5
2.2 Dekomposisi Sampah Landfill	5
2.3 Umur Timbunan Sampah	8
2.4 Logam Berat pada Landfill	9
2.5 Spektrometri Serapan Atom (SSA).....	11

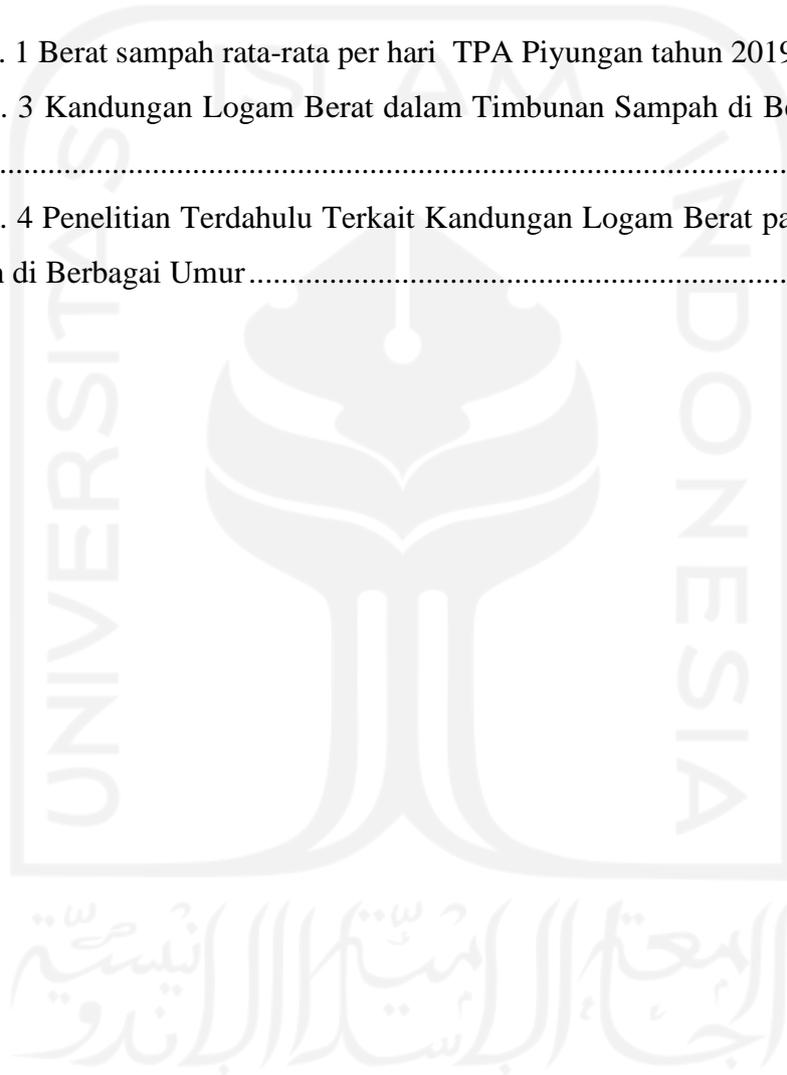
2.6 Perbedaan Penelitian Terdahulu Terhadap Penelitian Yang Dilakukan Sekarang	12
BAB III METODE PENELITIAN	15
3.1 Tahapan Penelitian	15
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	16
3.3 Parameter Pengujian.....	16
3.4 Instrumen Penelitian.....	17
3.4.1 Alat.....	17
3.4.1.1 Alat Pengambilan Sampel	17
3.4.1.2 Alat Pengujian Sampel	17
3.4.2 Bahan.....	18
3.5 Metode Pengumpulan Data	18
3.5.1 Pengambilan Sampel	18
3.5.2 Penyimpanan dan Perawatan Sampel.....	19
3.5.3 Pengujian Sampel.....	20
3.6 Metode Analisis Data Logam Berat	21
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS DATA	22
4.1 Kondisi Eksisting Lokasi Penelitian	22
4.2 Karakteristik Timbunan Sampah TPA Piyungan	24
4.2.1 Suhu.....	24
4.2.2 Derajat Keasaman (pH).....	26
4.3 Analisis Logam Berat pada Timbunan Sampah TPA Piyungan	28
4.3.1 Logam Berat Pb.....	29
4.3.2 Logam Berat Zn	31
4.3.3 Logam Berat Cu	33

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	36
5.1 Kesimpulan.....	36
5.2 Saran.....	36
DAFTAR PUSTAKA	37
LAMPIRAN.....	45



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian yang akan Dilakukan	12
Tabel 4. 1 Berat sampah rata-rata per hari TPA Piyungan tahun 2019 – 2020 ...	23
Tabel 4. 3 Kandungan Logam Berat dalam Timbunan Sampah di Berbagai Umur	28
Tabel 4. 4 Penelitian Terdahulu Terkait Kandungan Logam Berat pada Timbunan Sampah di Berbagai Umur	28



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian	15
Gambar 3. 2 Titik Lokasi Pengambilan Sampel	16
Gambar 3. 3 Contoh Proses Pengambilan Sampel.....	19
Gambar 3. 4 Sampel Uji Masing-Masing Umur	20
Gambar 4. 1 Kondisi TPA Piyungan.	24
Gambar 4. 2 Suhu dalam Timbunan Sampah dengan Berbagai Umur di TPA Piyungan.....	25
Gambar 4. 4 pH dalam Timbunan Sampah dengan Berbagai Umur di TPA Piyungan.....	26
Gambar 4. 5 Kandungan Pb dalam Timbunan Sampah dengan Berbagai Umur di TPA Piyungan.....	30
Gambar 4. 6 Kandungan Zn dalam Timbunan Sampah dengan Berbagai Umur di TPA Piyungan.....	32
Gambar 4. 7 Kandungan Cu dalam Timbunan Sampah dengan Berbagai Umur di TPA Piyungan.....	34

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Skema Pengerjaan Tugas Akhir	46
Lampiran 2. Hasil Uji pH, Logam Pb, Logam Zn dan Logam Cu.....	48
Lampiran 3. Dokumentasi Penelitian.....	57



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di sebagian besar kota di Indonesia, pengelolaan sampah perkotaan dilakukan dengan menimbun pada suatu lahan landfill, salah satu TPA yang menerapkan metode ini adalah TPA Piyungan Yogyakarta. Sekitar 47,13% sampah yang masuk ke TPA Piyungan adalah sisa makanan dan sisa organik lainnya yang terdiri dari 20,56% sampah kebun dan taman serta 3,39% kayu (Adidarma, 2014). Komposisi organik dan anorganik disuplai dalam jumlah besar ke sistem pembuangan di TPA Piyungan dan timbunan sampah dilakukan secara kontinu selama bertahun-tahun, dimana sampah tersebut akan terdegradasi menjadi tanah. Saat proses degradasi akan terjadi perubahan karakteristik fisik, biologi dan kimia sehingga dapat melarutkan senyawa-senyawa salah satunya adalah logam berat. Logam berat tidak dapat terurai dan memiliki umur residu hingga 150 tahun dengan laju lindi 400 mm/tahun. Umumnya logam berat yang terdapat pada timbunan sampah dihasilkan dari interaksi antar sampah yang dibuang, metode pengelolaan TPA dan kondisi cuaca di lingkungan TPA (Adepelo et al, 2018). Sampah padat perkotaan mengandung banyak logam berat sehingga dapat menimbulkan risiko terhadap lingkungan seperti pemanasan global serta mencemari tanah dan air tanah apabila pengelolaan yang dilakukan di TPA tidak benar (Gworek et al, 2016).

Proses degradasi di TPA berlangsung dalam jangka waktu yang lama. Seiring dengan bertambahnya umur timbunan, bahan yang biodegradable seperti senyawa organik akan lebih cepat terurai dibandingkan senyawa anorganik (Bhala, 2013). Pada proses anaerobik sebagian besar logam berat akan tetap berada di TPA karena migrasi logam berat sangat terbatas dibandingkan dengan jumlah logam yang terakumulasi di TPA (Othman et al, 2019). Hasil penelitian mengenai komposisi fisik dan sifat kimia sampah

umur 1 – 4 tahun, penelitian ini dilakukan di TPA Xiao Jianxi Cina. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pH umur sampah 1 – 4 tahun menunjukkan tren yang meningkat seiring bertambahnya usia TPA. Pada logam berat, kandungan Arsen (As), Timbal (Pb) dan Nikel (Ni) menunjukkan tren penurunan seiring dengan bertambahnya usia TPA. Dan untuk kandungan Tembaga (Cu) dan Seng (Zn) menunjukkan tren peningkatan pada usia 1 – 2 tahun dan kemudian pada usia 3 – 4 tahun menunjukkan tren penurunan. Hal ini terjadi karena sampah di TPA Xiaojianxi Cina mengandung kadar air dan kandungan bahan organik yang relatif tinggi (>50 – 60%), sejumlah besar sampah yang mudah rusak dengan cepat terdegradasi selama periode awal penimbunan akibatnya kandungan logam berat secara umum menurun seiring dengan bertambahnya umur TPA (Wang et al, 2021).

Menurut Belevi et al (1989) timbunan sampah pada awal degradasi hingga ke tahap akhir menunjukkan bahwa tingkat pencucian kontaminan akan menurun secara eksponensial dari waktu ke waktu. Hal ini terkadang dianggap sebagai bukti bahwa penurunan ini akan terus berlanjut dan risiko kontaminan jangka panjang dari lindi relatif kecil. Berdasarkan hal tersebut, penting dilakukan identifikasi kandungan logam berat Pb, Zn dan Cu berdasarkan umur timbunan sampah di TPA Piyungan untuk memprofilkan logam berat Di TPA Piyungan, dan membantu instansi terkait mendapatkan informasi yang jelas terkait hubungan kandungan logam berat dengan umur timbunan sampah.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana kandungan logam berat Pb, Zn dan Cu berdasarkan umur timbunan sampah di TPA Piyungan Yogyakarta?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi kandungan logam berat Pb, Zn dan Cu dalam timbunan sampah berdasarkan umur timbunan di TPA Piyungan Yogyakarta.

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan dilakukannya penelitian ini manfaat yang akan diperoleh yaitu :

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

1.5 Ruang Lingkup

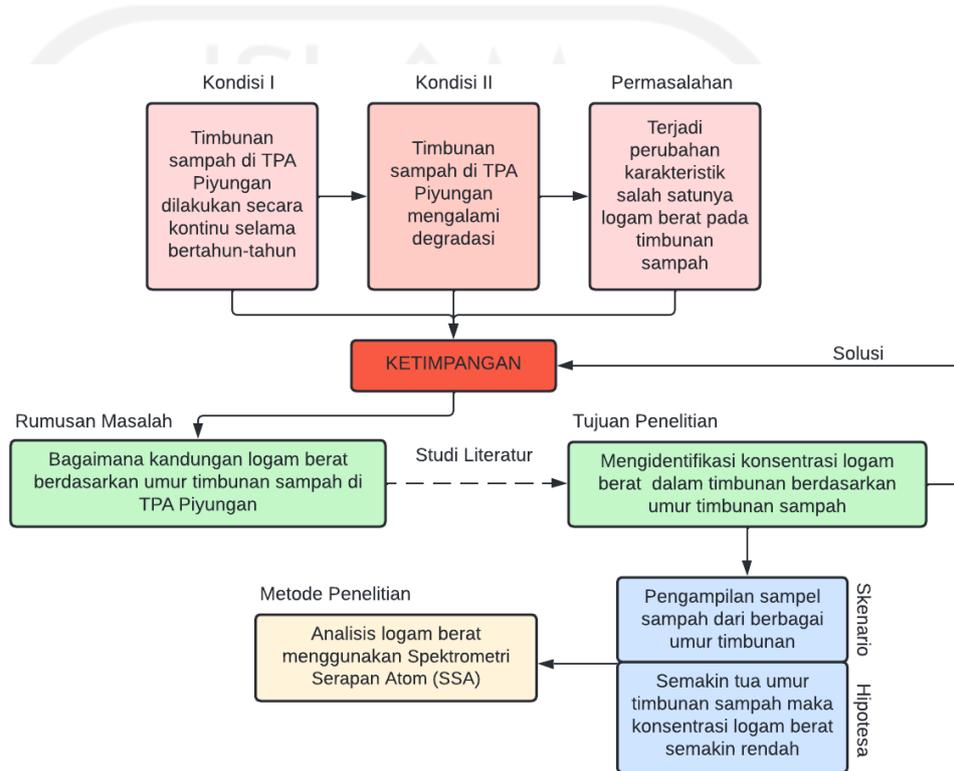
Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah :

1. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari timbunan sampah di TPA Piyungan Yogyakarta dengan berbagai jenis umur sampah
2. Variasi umur timbunan sampah sebagai berikut :
 - Umur timbunan sampah 0 – 6 bulan
 - Umur timbunan sampah 1 – 2 tahun
 - Umur timbunan sampah 3 – 4 tahun
 - Umur timbunan sampah \geq 5 tahun
3. Logam berat yang di analisis yaitu Pb, Zn dan Cu.
4. Metode pengambilan sampel yang digunakan adalah purposive sampling.
5. Metode pengujian parameter mengacu pada :
 - Logam berat (SNI 06-6992-2004)
 - Suhu (SNI 06-6989.23-2005)

- pH (SNI 6989.11-2019)

1.6 Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir berisi mengenai alur penelitian yang akan dilakukan secara garis besar. Kerangka berpikir dapat dilihat pada gambar 1.1.



Gambar 1.1 Kerangka Berpikir

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Piyungan Bantul

Berdasarkan Undang-Undang No. 18 Tahun 2008, Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) adalah tempat untuk memproses dan mengembalikan sampah ke media lingkungan secara aman bagi manusia dan lingkungan. TPA yang ada di D.I. Yogyakarta adalah TPA Piyungan, TPA Piyungan dibangun pada tahun 1992 dan mulai beroperasi pada tahun 1995. Pengelolaan sampah TPA Piyungan pada awalnya dilakukan oleh pemerintah provinsi. Pada tahun 2000, sesuai dengan SK Gubernur No.18 Tahun 2000, pengelolaan sampah dilakukan oleh Sekretariat Bersama (Sekber) Kartamantul. Kemudian pada 1 Januari 2015, TPA Piyungan dialihkan ke Pusat Pengelolaan Prasarana Sanitasi dan Air (Balai PISAMP), di bawah dinas PUPESDM sesuai dengan Peraturan Gubernur No. 99 Tahun 2014. TPA Piyungan melayani sampah di wilayah Kabupaten Bantul, Kabupaten Sleman dan Kota Yogyakarta. Rata-rata jumlah sampah harian yang dibuang ke TPA adalah 450 ton. TPA Piyungan memiliki luas 12,5 Ha, yang dimana 10 Ha merupakan lahan landfill yang terdiri dari tiga sel dengan luas sel I sebesar 3 Ha, sel II sebesar 3 Ha dan sel III sebesar 4 Ha. Sedangkan 2,5 Ha digunakan untuk fasilitas penunjang berupa perkantoran, buffer zone, bengkel dan jembatan timbang (Ariyani, 2018).

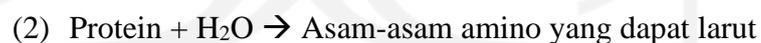
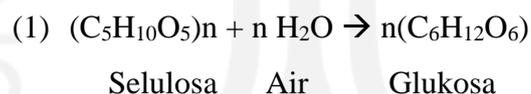
2.2 Dekomposisi Sampah Landfill

Proses dekomposisi sampah dapat dilakukan dengan dua cara yaitu aerobik dan anaerobik. Jika dekomposisi biologis sampah terjadi dengan adanya oksigen maka dikatakan aerobik, sedangkan apabila dekomposisi biologis sampah terjadi tanpa oksigen maka dikatakan anaerobik (Bozkurt et al, 1999). Fase aerobik diikuti oleh proses asam anaerobik yang kemudian menghasilkan metana. Selama proses aerobik, bahan organik diuraikan oleh bakteri dan menghasilkan CO₂. Dan dalam proses anaerobik, asam lemak dan

CO₂ diproduksi (Perdana, 2012). Dalam fase anaerobik terdiri dari fase anaerobik asam dimana pelepasan logam tinggi karena pH rendah, dan fase penghasil metana dimana pH distabilkan oleh sistem karbonat sekitar 8. Fase berikutnya yang dicapai mungkin setelah satu abad disebut fase humat (Bozkurt, 1998). Saat melewati fase humat, oksigen dan air hujan yang kaya oksigen mungkin menembus TPA. Intrusi oksigen ini dapat menyebabkan penipisan bahan organik dan jika kapasitas penyangga proton berkurang, mobilitas logam yang diendapkan akan meningkat (Bozkurt, 1999). Proses dekomposisi anaerobic memiliki empat fase yaitu :

1. *Hidrolisis/Pelarutan*

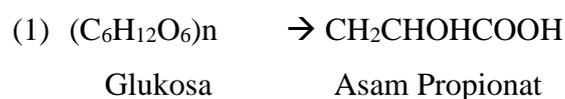
Pada tahap pertama, bakteri fermentasi mengubah zat organik yang tidak larut seperti polisakarida, selulosa dan lemak menjadi larut seperti gula, asam amino dan asam lemak. Bahan polimer kompleks dihidrolisis oleh mikroorganisme menjadi monomer seperti dari selulosa menjadi gula atau alkohol dan dari protein menjadi peptida atau asam amino oleh hidrolase (lipase, protease, amilase, dll). Aktivitas hidrolisis sangat penting untuk sampah yang sangat organik (Verma, 2002). Berikut ini adalah reaksi proses hidrolisis :

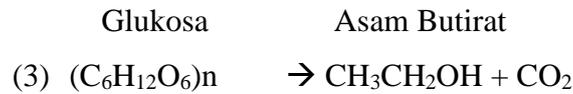


(Ni'mah, 2014)

2. *Acidogenesis*

Acidogenesis adalah dekomposisi monomer organik menjadi asam organik dan alkohol. Selama proses ini, monomer organik didegradasi lebih lanjut oleh bakteri pembentuk asam menjadi asam organik seperti format, asetat, propionat, butirat, laktat, CO₂, H₂, ammonia dan etanol (Fairus et al, 2011). Berikut ini adalah reaksi proses asidogenesis :





(Ni'mah, 2014)

3. *Acetogenesis*

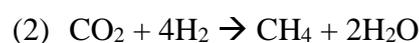
Pada tahap ini bakteri asetogenik yang juga dikenal sebagai acidifier, mengubah produk tahap pertama menjadi asam organik sederhana, karbon dioksida dan hydrogen. Asam utama yang dihasilkan adalah asam asetat, asam propionat, asam butirat dan etanol. Produk yang terbentuk selama produksi asam asetat disebabkan oleh banyak mikroorganisme yang berbeda, seperti pengurai asam propionate *Syntrophobacter wolinii* dan pengurai asam butirat *Syntrophobacter wolini*. Agen pengasam lainnya adalah *Clostridium*, *Peptococcus anaerobes*, *Lactobacillus* dan *Actinomycetes* (Verma, 2002). Berikut adalah reaksi produksi asam asetat :



(Ni'mah, 2014)

4. *Methanogenesis*

Pada tahap ini, metana diproduksi oleh dua jenis bakteri yang disebut metogen/metanogen dalam dua cara. Mengurai molekul asam asetat untuk menghasilkan karbon dioksida dan metana atau mengurangi karbon dioksida dengan hidrogen. Bakteri metanogen termasuk *Methanobacterium*, *Methanobacillus*, *Methanococcus* dan *Methanosarcina*. Metanogen juga dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu asetat dan konsumen H_2/CO_2 (Verma, 2002). Berikut ini reaksi metanogenesis :



(Ni'mah, 2014)

Dalam proses degradasi anaerobik, ada beberapa parameter yang mempengaruhi laju biodegradasi yaitu kadar air, suhu, pH dan lain-lain.

- a. pH merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme dalam proses dekomposisi anaerobik. Bakteri bekerja lebih aktif pada kisaran pH optimum yaitu antara 5 – 6,5 untuk bakteri penghasil asam, sedangkan untuk proses metanogenik adalah diatas 6,5 (Malina et al, 1992).
- b. Kadar air mempengaruhi proses biodegradasi, terutama dalam kaitannya dengan homogenisasi, ketersediaan nutrisi dan pemeliharaan suhu (Mustami, 2015).
- c. Suhu adalah salah satu parameter kunci dalam proses biodegradasi anaerobik. Proses dekomposisi anaerobik menghasilkan panas dari senyawa organik. Proses dekomposisi anaerobik dapat terjadi baik pada rentang suhu mesofilik (25°C - 40°C) dan rentang termofilik (55°C - 60°C) (Buekens, 2005).

2.3 Umur Timbunan Sampah

Kualitas lindi sangat dipengaruhi oleh lamanya waktu yang telah berlalu sejak penempatan sampah, jumlah bahan kimia dalam sampah terbatas dan oleh karena itu kualitas lindi mencapai puncaknya setelah kira-kira dua sampai tiga tahun diikuti oleh penurunan bertahap pada tahun-tahun berikutnya. Semua kontaminan tidak mencapai puncaknya pada saat yang sama karena sifat awalnya yang dapat terurai (Hutomo, 2012). Air yang masuk ke dalam timbunan mengalir ke bawah melalui sampah. Ketika air merembes melalui TPA, air akan berinteraksi dengan sampah dan melepaskan bahan kimia dari sampah. Tempat pembuangan akhir yang dalam menawarkan waktu kontak yang lebih besar antara fase padat dan fase cair yang meningkatkan kekuatan lindi (Kjeldsen et al, 2002). Senyawa organik terurai lebih cepat daripada senyawa anorganik dengan bertambahnya usia sampah. Anorganik hanya dihilangkan sebagai hasil dari pencucian oleh infiltrasi air hujan (Bhalla, 2013). Namun, senyawa organik menurun kandungannya melalui dekomposisi dan

washout. Penurunan konsentrasi sulfat yang cepat adalah akibat dari kondisi anaerobik yang dominan di tempat pembuangan sampah di mana sulfat direduksi menjadi sulfida. Sulfida kemudian mengendap dengan berbagai logam berat. Berbeda dengan konsentrasi sulfat, pH meningkat dari waktu ke waktu, yang mencerminkan penurunan konsentrasi asam lemak volatile bebas yang terionisasi sebagian (Hussein et al., 2019). Pada sebagian besar umur TPA, kualitas lindi diperkirakan berfluktuasi seiring dengan bertambahnya usia karena bahan organik mengalami stabilisasi (Naveen et al, 2017).

2.4 Logam Berat pada Landfill

Logam berat merupakan unsur logam yang memiliki massa jenis lebih besar dari 5 g/cm³. Terdapat dua jenis logam berat yaitu logam berat esensial dan non esensial. Logam berat esensial, dimana unsur-unsur yang terkandung dalam logam berat masih esensial bagi makhluk hidup tetapi jika konsentrasinya dikonsumsi atau terpapar melebihi batas dapat menjadi racun bagi organisme hidup. Logam berat yang termasuk golongan ini adalah Fe, Mn, Cu dan Zn. Selain itu terdapat logam berat non esensial yaitu logam berat yang keberadaannya belum diketahui manfaatnya seperti Pb dan Cd (Irhamni, 2017).

TPA Piyungan menerima dari berbagai lokasi yang berbeda dengan komposisi sampah yang bervariasi setiap harinya. Ada kemungkinan sampah tersebut mengandung unsur logam berat. Pembuangan sampah dengan cara penimbunan telah dilakukan secara berabad-abad (Al-Maaded et al, 2012). Teknik pembuangan sampah ini termasuk yang efisien dan hemat biaya untuk menghilangkan sampah perkotaan. Namun teknik ini mengalami banyak ketidaksempurnaan seperti bau, biogas dan terutama lindi. Lindi dihasilkan oleh perkolasi air hujan melalui sampah, proses kimia dan biologis dalam sampah dan kandungan air yang melekat pada sampah itu sendiri (Manurung, 2020). Proses aktivitas mikroba, penyerapan koloid, desorpsi, pengendapan, sedimentasi, kristalisasi dan kompleksasi dengan konstituen lain di lingkungan seperti ligan anorganik dan organik. Proses ini dapat terjadi secara individu atau bersamaan, serta dapat meningkatkan atau menurunkan mobilitas logam

berat. Misalnya, jika unsur-unsur ini berasosiasi dengan unsur yang bergerak, mobilitas unsur-unsur meningkat, sehingga menyebabkan pencemaran tanah, begitu juga sebaliknya (Talalaj, 2015; Slavinskiene, 2016). Logam seperti Pb, Zn, Ni, Cd dan Cu dapat bergabung dengan sulfida dan karbonat. Kelarutan logam lebih tinggi dari pada logam sulfida yang meningkatkan mobilitas logam di tanah. Pada tingkat pH tinggi, logam berat dapat membentuk endapan hidroksida. Jika endapan teradsorpsi pada konstituen bergerak seperti senyawa organik terlarut, mobilitas logam berat meningkat. Pelepasan logam berat merupakan fungsi karakteristik lindi seperti pH, laju alir dan konsentrasi zat pengompleks. Dengan meningkatnya pH, kelarutan logam umumnya menurun. Selain itu, konsentrasi ion hidrogen secara tidak langsung akan mempengaruhi kelarutan logam yang berdampak pada disosiasi asam untuk menghasilkan anion dan reaksi reduksi-oksidasi (Altaher et al, 2011).

Seiring waktu, zat seperti humus dengan berat molekul sedang hingga tinggi terbentuk dari bahan organik sampah dalam proses yang mirip dengan humifikasi tanah. Zat ini cenderung membentuk kompleks kuat dengan logam berat. Pembentukan kompleks antara logam berat dan ligan cenderung meningkatkan kelarutan logam meskipun ada kondisi yang sebaliknya dapat diharapkan. Pembentukan logam sulfida dalam kondisi anaerobik secara efektif menghilangkan sebagian besar logam berat dalam lindi (Al-Yoquot et al, 2020). Dalam sebuah penelitian peneliti juga melaporkan bahwa pembentukan logam sulfida dalam kondisi anaerobik dapat menghilangkan sebagian besar logam berat dalam lindi. Dalam beberapa kasus, remobilisasi logam terjadi setelah kandungan organik telah stabil dan kondisi oksik. Adsorpsi adalah mekanisme penting lainnya yang mengontrol kandungan logam berat. Dalam kondisi pengoksidasi, adsorpsi dapat mengatur kandungan logam jauh di bawah tingkat yang dikendalikan oleh efek presipitasi (Altaher et al, 2011). Laju dan jumlah penetrasi polutan melalui tanah juga mempengaruhi kandungan logam berat yang ada di timbunan sampah TPA (Agumuthu et al, 2010). Kandungan logam berat di TPA umumnya lebih tinggi pada tahap awal karena kelarutan logam yang lebih tinggi sebagai akibat dari pH rendah yang

disebabkan oleh asam organik. Akibat peningkatan pH pada tahap selanjutnya, terjadi penurunan kelarutan logam sehingga terjadi penurunan kandungan logam berat secara cepat. Konsentrasi ion logam pada umumnya rendah karena penurunan kelarutan banyak ion logam dengan meningkatnya pH (Kulikowska, 2008). Secara umum, kekuatan lindi menurun seiring waktu karena penguraian biologis senyawa organik dan pengendapan unsur-unsur terlarut seperti logam berat. Karena sifatnya yang biodegradable, senyawa organik menurun lebih cepat daripada senyawa anorganik dengan bertambahnya usia timbunan (Bhalla, 2013).

2.5 Spektrometri Serapan Atom (SSA)

Spektrometri Serapan Atom (SSA) adalah instrumen yang didasarkan pada proses dimana atom yang terletak pada tingkat energi dasar menyerap energi radiasi. Penyerapan ini menyebabkan elektron pada kulit atom tereksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi (Nasir, 2019). Metode SSA ini didasarkan pada prinsip bahwa atom menyerap cahaya dan atom menyerap cahaya dengan Panjang gelombang tertentu tergantung pada karakteristik unsur. Cahaya dengan Panjang gelombang tertentu memiliki energi yang cukup untuk mengubah tingkat elektron dalam atom. Adanya penyerapan energi berarti bahwa atom-atom dalam keadaan dasar tereksitasi. Prinsip dasar SSA merupakan interaksi antara radiasi elektromagnetik dan sampel. SSA menggunakan yang sangat akurat untuk menganalisis zat pada konsentrasi rendah. Metode ini didasarkan pada emisi dan penyerapan uap atom. Komponen utama dari SSA adalah sistem atau perangkat yang digunakan untuk menghasilkan uap logam dari sampel (Khopkar, 2008).

2.6 Perbedaan Penelitian Terdahulu Terhadap Penelitian Yang Dilakukan Sekarang

Sebelum melakukan penelitian, perlu dilakukan perbandingan penelitian sebelumnya dengan penelitian saat ini untuk menghindari plagiarisme dari penelitian sebelumnya. Tidak hanya menjaga orisinalitas penelitian yang dilakukan. Perbedaan antara penelitian sebelumnya dan penelitian saat ini dapat dilihat pada Tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian yang akan Dilakukan

No	Penulis	Judul Penelitian	Hasil	Penelitian yang Dilakukan
1	Wang et al, 2021	Evaluating the physicochemical properties of refuse with a short-term landfill age and odorous pollutants emission during landfill mining: A case study	Penelitian di ini dilakukan di TPA Xiaojianxi yang terletak Cina dengan metode operasional sampah yang digunakan adalah sanitary landfill. Pada penelitian ini komposisi fisik dan sifat kimia sampah umur TPA 1 – 4 tahun dipelajari, dan karakteristik emisi polutan yang berbau selama periode penggalian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pH sampah 1 – 4 tahun menunjukkan tren yang meningkat seiring bertambahnya usia TPA dengan nilai berkisar 7,03 hingga 8,25. Pada logam berat, kandungan As, Pb dan Ni menunjukkan tren penurunan seiring dengan	Penelitian yang dilakukan meliputi analisis kandungan berat Pb, Zn dan Cu dalam timbunan sampah kota dengan berbagai umur. Variasi umur timbunan sampah yang akan digunakan adalah 0 – 6 bulan, 1 – 2 tahun, 3 – 4 tahun dan ≥ 5 tahun. Penelitian ini dilakukan di TPA Piyungan Yogyakarta dengan metode operasional sampah yang diterapkan adalah controlled landfill.

			bertambahnya usia TPA. Kandungan Cr menunjukkan tren peningkatan pada usia 1 – 3 tahun tetapi pada usia 4 tahun terjadi penurunan. Dan untuk kandungan Cu dan Zn menunjukkan tren peningkatan pada usia 1 – 2 tahun dan kemudian pada usia 3 – 4 tahun menunjukkan tren penurunan.	
2	Gutierrez et al, 2015	Evaluating the physicochemical properties of refuse with a short-term landfill age and odorous pollutants emission during landfill mining: A case study,	Tujuan penelitian ini adalah untuk menilai keberadaan logam penting di dalam tempat pembuangan sampah. Sampel dikumpulkan dari empat tempat pembuangan sampah tertutup di Inggris dan menguji 27 logam berat salah satunya Cu. Umur sampah yang digunakan pada penelitian ini adalah 7 tahun (situs A), 7 tahun (situs B), 19 tahun (situs C) dan 28 tahun (situs D). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan Cu mengalami tren fluktuatif tetapi cenderung meningkat.	Penelitian yang dilakukan meliputi analisis kandungan berat Pb, Zn dan Cu dalam timbunan sampah kota dengan berbagai umur. Variasi umur timbunan sampah yang akan digunakan adalah 0 – 6 bulan, 1 – 2 tahun, 3 – 4 tahun dan ≥ 5 tahun. Penelitian ini dilakukan di satu lokasi yaitu TPA Piyungan Yogyakarta
3	Singh et al, 2022	Mobility and environmental fate	Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi mobilitas dan spesiasi kimia logam berat (HMs)	Penelitian yang dilakukan meliputi analisis kandungan berat Pb, Zn dan Cu dalam

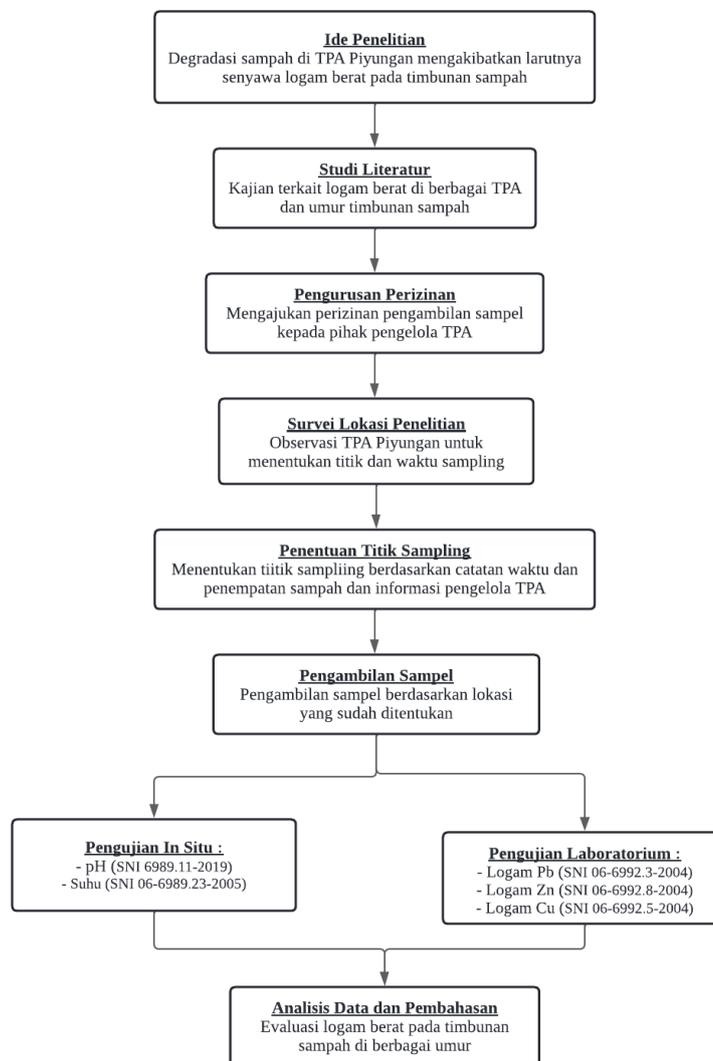
		<p>of heavy metals in fine fraction of dumped legacy waste: Implications on reclamation and ecological risk</p>	<p>dalam fraksi halus. Penelitian ini dilakukan di TPA Mulund India, dengan variasi sampah 2 tahun (Zona A) ,4 tahun (Zona B), 5 tahun (Zona C), 7 tahun (Zona D) dan 10 tahun (Zona E). Hasil penelitian menunjukkan bahwa Zn memiliki kandungan tertinggi pada fraksi halus, diikuti oleh Cu> Cr>Pb>Ni>Cd. Kandungan Cr, Pb dan Cu menunjukkan bahwa pada fraksi halus sampah tua lebih tinggi dibandingkan sampah muda, sedangkan kandungan Ni dan Zn menunjukkan bahwa pada fraksi halus tidak memiliki tren yang jelas tetapi zona C, zona D dan zona E memiliki nilai yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan zona A dan zona B.</p>	<p>timbunan sampah kota dengan berbagai umur. Variasi umur timbunan sampah yang akan digunakan adalah 0 – 6 bulan, 1 – 2 tahun, 3 – 4 tahun dan ≥ 5 tahun. Objek penelitian ini sampah yang terdekomposisi menjadi tanah dan penelitian ini dilakukan di TPA Piyungan Yogyakarta</p>
--	--	---	---	--

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

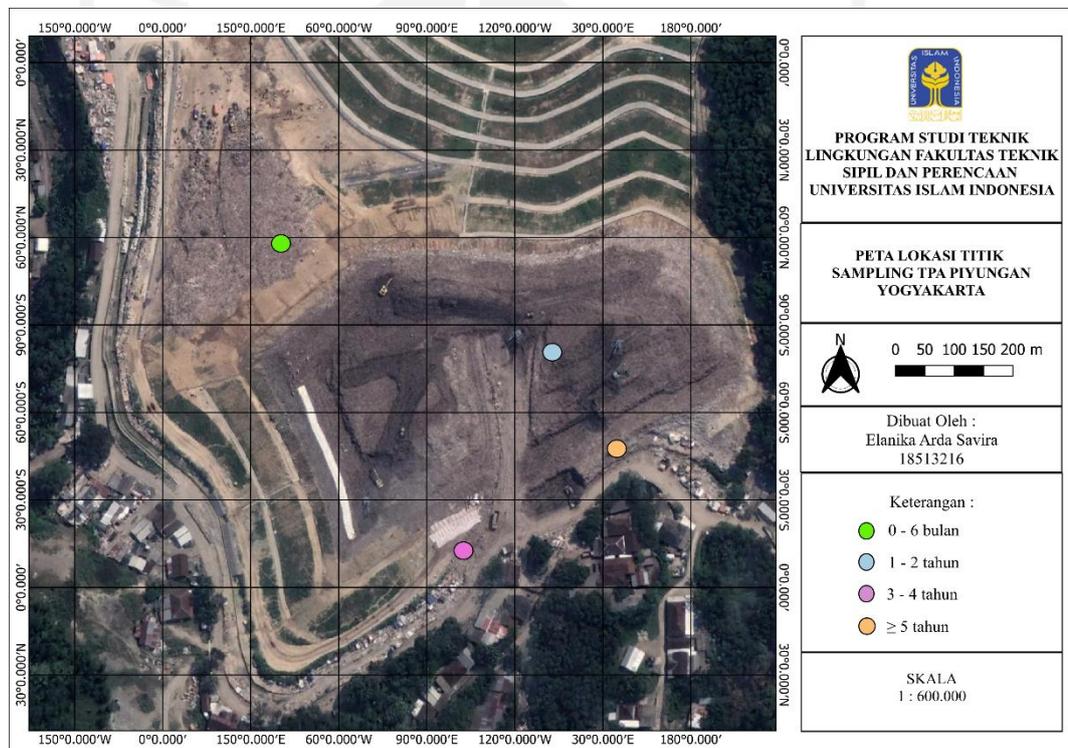
Secara garis besar, tahapan dari penelitian yang akan dilakukan yaitu pada bagan berikut ini :



Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian

3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Pengambilan sampel dilakukan di TPA Piyungan yang berlokasi di Dusun Ngablak dan Watugender, Desa Sitimulyo, Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul, Yogyakarta dengan titik koordinat $7^{\circ}52'10.475''$ LS $110^{\circ}25'47.856''$ BT. Sampel akan diuji di Laboratorium Sampah dan Limbah Berbahaya dan Beracun, Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Waktu pengambilan dilakukan pada tanggal 23 Juni 2022 yang mana ketika dilakukan pengambilan sampel cuaca panas. Peta lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut ini :



Gambar 3. 2 Titik Lokasi Pengambilan Sampel

3.3 Parameter Pengujian

Penelitian yang dilakukan adalah penelitian kuantitatif. Penelitian kuantitatif dilakukan dengan pengambilan sampel sampah dan pengujian laboratorium untuk menentukan kandungan logam berat pada umur timbunan sampah TPA Piyungan. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini terdiri

parameter primer yaitu logam berat Pb, Zn dan Cu dan parameter pendukung yang terdiri dari pH dan suhu

3.4 Instrumen Penelitian

3.4.1 Alat

3.4.1.1 Alat Pengambilan Sampel

Alat yang digunakan untuk melakukan pengambilan sampel sebagai berikut :

1. Cangkul
2. Box Kontainer
3. Sarung Tangan
4. Plastic Klip
5. Alat Tulis

3.4.1.2 Alat Pengujian Sampel

Alat yang digunakan untuk melakukan pengujian sampel meliputi alat utama dan alat pendukung sebagai berikut :

1. Saringan 100 Mesh
2. Mortar dan Alu
3. Timbangan Digital
4. Cawan Porselen
5. Spatula
6. Erlenmeyer
7. Gelas Ukur
8. Pipet Ukur
9. Piper Volumetri
10. Gelas Piala
11. Pemanas Listrik
12. Batang Pengaduk
13. Corong Gelas
14. Kertas Saring Whatman 40

15. Labu Ukur
16. Botol Vial
17. pH Meter
18. Termometer
19. Spektrometri Serapan Atom (SSA)

3.4.2 Bahan

Dalam membuat benda uji untuk penelitian ini, bahan-bahan yang dipergunakan sebagai berikut :

1. Sampel
2. Aquades
3. Larutan Asam Nitrat (HNO_3)
4. Larutan standar logam Pb, Zn dan Cu

3.5 Metode Pengumpulan Data

Adapun metode pengumpulan data pada penelitian ini yaitu pengambilan data primer dan data sekunder. Pengambilan data primer yaitu mengenai data terkait kandungan logam berat pada sampel sampah yang diteliti, selanjutnya sampel akan diambil dan diuji di Laboratorium. Sedangkan pengambilan data sekunder diperoleh dari penelitian terdahulu atau sumber yang sudah ada seperti DLHK.

3.5.1 Pengambilan Sampel

Dalam penelitian ini sampel yang diambil adalah timbunan sampah TPA Piyungan yang diambil secara *purposive sampling*. Pemilihan lokasi penelitian didasarkan pada catatan waktu penempatan sampah dan informasi pengelola. Berdasarkan umur yang sama, sampel diambil dari 3 titik. Selanjutnya dari ketiga titik dilakukan pencampuran (komposit). Pengambilan sampel dilakukan dengan menggali timbunan sedalam 30 cm. Kemudian sampel di timbang dan di masukan kedalam plastik klip bening (ukuran 1 kg) rangkap dua.



Gambar 3. 3 Contoh Proses Pengambilan Sampel

3.5.2 Penyimpanan dan Perawatan Sampel

Cara penyimpanan sampel yaitu dengan memasukkan sampel ke plastik klip bening berukuran 1 kg dan tempatkan label diantara dua kantong plastik lalu tutup kembali. Label berisikan informasi tanggal pengambilan sampel, lokasi pengambilan sampel dan umur timbunan sampah agar tidak tertukar dengan sampel yang lainnya. Sampel dalam plastik disusun di dalam box kontainer. Di bagian dasar kotak dan diatas sampel diberi pelindung dari gabus atau bahan lain untuk mengurangi getaran selama pengangkutan. Selama pengangkutan semua sampel tidak boleh bercampur satu sama lain agar tidak mengalami perubahan. Untuk pengujian logam berat sampel dari masing-masing titik diambil sebanyak 100 gram. Sampel dikeringkan dalam oven dengan suhu 105°C selama 3 jam. Sampel yang telah kering disimpan pada gelas beaker dan diberi label yang berisikan informasi tanggal pengambilan sampah, lokasi pengambilan sampel dan umur timbunan sampah



Gambar 3. 4 Sampel Uji Masing-Masing Umur

3.5.3 Pengujian Sampel

Dalam penelitian ini parameter yang diuji adalah logam berat, pH dan suhu. Logam berat yang dianalisa adalah Pb, Zn dan Cu.

Tabel 3. 1 Standar Acuan dan Metode Pengukuran

Parameter	Parameter	Acuan	Metode	Pengukuran
Parameter Utama	Pb	SNI 06-6992.3-2004	SSA	Ex Situ
	Zn	SNI 06-6992.8-2004		
	Cu	SNI 06-6992.5-2004		
Parameter Pendukung	Suhu	SNI 06-6989.23-2005	Termometer	In Situ
	pH	SNI 6989.11-2019	pH meter	

3.6 Metode Analisis Data Logam Berat

Data yang telah diperoleh kemudian diolah dan dianalisis untuk menggambarkan kandungan logam berat pada setiap umur timbunan sampah di TPA Piyungan. Parameter logam berat yang dianalisa dalam penelitian ini, yaitu Pb, Zn dan Cu. Metode yang digunakan untuk menganalisis data mengacu pada SNI 8910:2021 mengenai cara uji kadar logam dalam contoh uji padat, sedimen dan tanah dengan metode destruksi asam menggunakan Spektrometer Serapan Atom (SSA) yang dilakukan di Laboratorium Sampah dan Limbah Berbahaya dan Beracun, Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Persamaan yang digunakan untuk menentukan kandungan logam berat Pb, Zn dan Cu adalah sebagai berikut :

$$\text{Kandungan logam berat (mg/kg)} = \frac{C_{reg} \times P \times V}{G}$$

Keterangan :

C_{reg} : Kandungan yang didapat hasil pengukuran (mg/l)

P : Faktor pengenceran

G : Berat sampel (kg)

V : Volume larutan sampel (L)

(Warni et al, 2017).

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS DATA

4.1 Kondisi Eksisting Lokasi Penelitian

TPA Piyungan telah beroperasi sejak tahun 1996. Menurut hasil Laporan Akhir Survei Peningkatan Kinerja TPA Piyungan tahun 2017, menyebutkan usia teknis TPA hanya sampai pada tahun 2019. Oleh karena itu, dalam rangka memperpanjang umur kapasitas pengelolaan sampah di TPA, dilakukan revitalisasi oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) yang bekerjasama dengan Balai Prasarana Permukiman Wilayah (BPPW) DIY untuk melakukan pengaktifan kegiatan pengelolaan sampah dengan metode terasering menggunakan lapisan geotekstil dan landstone, perbaikan Instalasi Pengolahan Limbah (IPL), pemasangan pipa gas dan pembuatan saluran (Sari, 2022). Sampai saat ini pengelolaan sampah di TPA Piyungan dilakukan dengan menggunakan metode controlled landfill yaitu metode penimbunan kembali di area pengurugan sampah dengan cara dipadatkan dan ditutup dengan tanah minimal setiap 7 hari sekali, sehingga yang terjadi adalah sampah menumpuk dan memakan banyak tempat, yang mengakibatkan akses ke area bongkar sampah (*unloading*) lebih sempit dan tempat untuk menimbun sampah semakin sedikit. Dampak keterbatasan lahan penimbunan sampah dan ruang yang tersedia untuk *unloading* sampah mengakibatkan antrian panjang saat proses *unloading* sehingga menyebabkan pengelolaan sampah menjadi tidak efektif. Selain itu yang menyebabkan pengelolaan sampah tidak efektif adalah terbatasnya jumlah alat berat untuk mendukung proses *unloading* (Sari, 2022).

Zona landfill pasif pada TPA Piyungan terdiri dari Zona A dan Zona B dengan luas 10 ha. Zona yang disiapkan Pemda DIY untuk pengumpulan sampah pasca penutupan Zona A adalah zona transisi dengan luas 4,2 ha yang dimana 1,9 ha untuk zona transisi 1.1 dan 2,3 ha untuk zona transisi 1.2. Metode pembuangan akhir untuk zona transisi menggunakan metode tanggul/*slope*, di mana sebagian tanah digali dan sampah ditimbun kembali

menggunakan tanah penutup yang diambil dari galian. Sedangkan metode pembuangan akhir di zona B menggunakan metode area karena karakteristik tanahnya relatif datar. Pekerjaan yang berlangsung di zona B adalah proses pemadatan dan penimbunan sampah hingga ketinggian yang ditentukan yaitu 16 meter dengan metode terasering dan pemadatan 8 meter (Sari, 2022). Untuk mendukung kegiatan operasional dan kegiatan dalam pelaksanaan pengelolaan sampah di TPA Piyungan, sarana dan prasarana yang digunakan meliputi ruang kantor balai pengelolaan sampah, ruang kantor TPA piyungan, pos jembatan timbang, dermaga sampah, zona landfill pasif, zona transisi, area instalasi pengolahan lindi, zona penyangga, sumber pantau, bengkel, garasi, fasilitas pengomposan, kendaraan dan alat berat. Berdasarkan yang dilaporkan oleh Tugu Jogja pada tanggal 21 Juni 2022, proyek pembangunan TPA Transisi Piyungan sudah sekitar 30% dengan target akan selesai pada akhir Agustus 2022 dan bisa mulai digunakan pada September 2022. TPA Transisi ini direncanakan akan digunakan sebagai tampungan dengan volume 171,000 m³ sampah (Tugu Jogja, 2022; Subarkah, 2022).

Sesuai dengan Peraturan Gubernur No. 99 Tahun 2014. TPA Piyungan melayani sampah di wilayah Kabupaten Bantul, Kabupaten Sleman dan Kota Yogyakarta. Kota Yogyakarta menghasilkan sampah terbanyak, disusul oleh Kabupaten Sleman dan Kabupaten Bantul (Mulasari, 2016). Berikut ini adalah rata-rata berat sampah per hari yang masuk ke TPA Piyungan tahun 2019 hingga 2021.

Tabel 4. 1 Berat sampah rata-rata per hari TPA Piyungan tahun 2019 – 2020

Tahun	Berat Sampah (ton/hari)
2019	541,78
2020	567,36
2021	698,98

Sumber : Sari, 2022

Berdasarkan data tabel 4.1 terjadi peningkatan rata-rata jumlah sampah yang masuk ke TPA Piyungan. Pada tahun 2020 terjadi peningkatan sebesar 25,58 ton/hari dibandingkan tahun 2019. Pada tahun 2021, rata-rata jumlah sampah yang masuk sebesar 698,98 ton/hari, meningkat signifikan sebesar 131,62 ton/hari dibandingkan tahun 2020. Sampah yang dibuang ke lokasi TPA tidak dilakukan proses pemilahan sampah (Kasam, 2011).

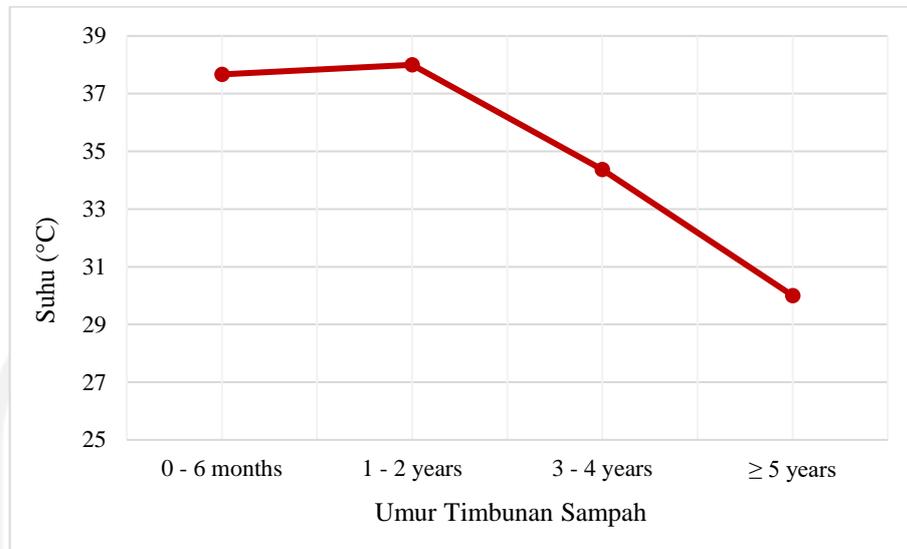


Gambar 4. 1 Kondisi TPA Piyungan.

4.2 Karakteristik Timbunan Sampah TPA Piyungan

4.2.1 Suhu

Analisis suhu dilakukan secara langsung di titik lokasi pengambilan sampel dengan menggunakan termometer yang ditancapkan pada timbunan. Suhu memiliki peran penting dalam memberikan informasi tentang aktivitas mikroba yang ada selama proses dekomposisi. Selain itu, suhu juga menunjukkan perubahan aktivitas mikroba selama dekomposisi bahan organik (Siagian et al, 2021). Berikut ini adalah hasil pengujian suhu dalam timbunan sampah dengan berbagai umur :



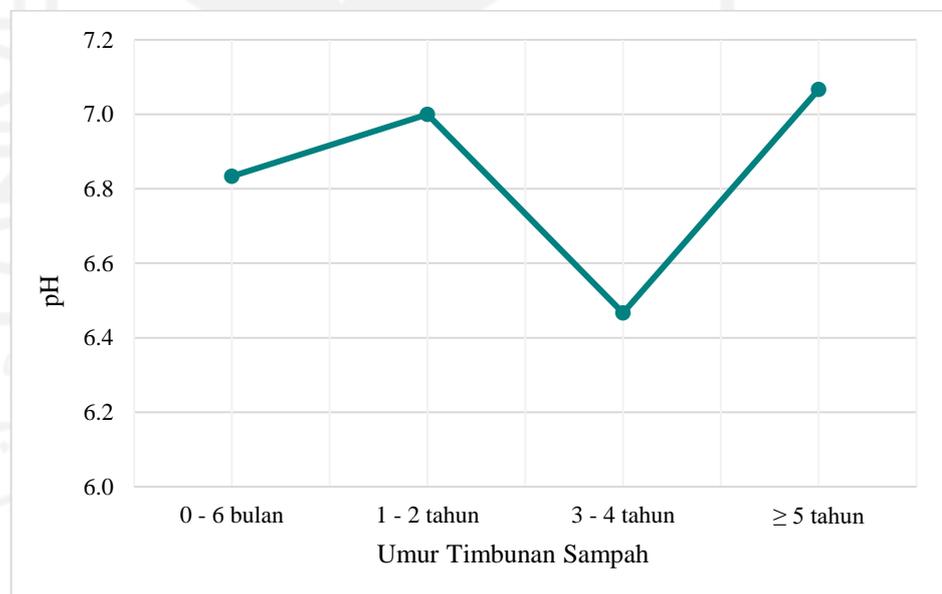
Gambar 4. 2 Suhu dalam Timbunan Sampah dengan Berbagai Umur di TPA Piyungan

Dari **Gambar 4.3** menunjukkan bahwa suhu mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya umur timbunan sampah. Hasil penelitian ini selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Coccia et al (2013) di TPA Michigan Amerika Serikat, dimana terjadi peningkatan cepat suhu sampah muda ke suhu maksimal setelah 2 hingga 7 tahun dan suhu menurun secara bertahap hingga umur 25 tahun. Suhu pada TPA ini berkisar antara 5°C – 50°C. Perubahan suhu dapat terjadi karena perbedaan suhu pada lingkungan saat pengambilan sampel dan kondisi cuaca. Selain itu penurunan suhu dapat terjadi karena penurunan aktivitas mikroba dalam mendegradasi kandungan bahan organik yang tersedia (Siagian et al, 2021). Menurut Yesiller et al (2003), laju kenaikan suhu pada sampah yang berumur muda lebih tinggi dibandingkan sampah yang berumur tua. Hal ini disebabkan karena pada sampah muda masih terjadi aktivitas biologi yaitu proses dekomposisi anaerobik yang menghasilkan panas dari sampah organik. Sedangkan pada sampah tua cenderung menurun karena proses dekomposisi sudah hampir sempurna. Mirwan (2018) juga berpendapat bahwa penurunan suhu terjadi setelah memasuki fase

termofilik dimana dapat menunjukkan bahwa aktivitas mikroba pengurai organik telah menurun sehingga menghasilkan energi panas yang sedikit. Selama penguraian bahan organik, mikroorganisme akan menguraikan bahan organik menjadi CO_2 , NH_3^+ , uap air dan panas melalui system metabolisme dengan bantuan oksigen. Setelah sebagian besar bahan organik terurai maka suhu akan mengalami penurunan (Nurdiana et al, 2018).

4.2.2 Derajat Keasaman (pH)

Keasaman disebut juga sifat kimiawi yang menyeimbangkan asam dan basa dalam tanah. pH memiliki beberapa tingkat pH yang terdiri dari asam, netral dan basa. pH netral adalah 7, pH masam (pH rendah < 7) dan pada basa nilai keasamannya > 7 (Nazir, 2017). Berikut ini adalah hasil pengujian pH dalam timbunan sampah dengan berbagai umur :



Gambar 4. 3 pH dalam Timbunan Sampah dengan Berbagai Umur di TPA Piyungan

Dari **Gambar 4.5** menunjukkan bahwa nilai pH mengalami fluktuatif tetapi cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya umur timbunan sampah. Nilai pH sangat berpengaruh terhadap proses pertumbuhan pengurai (*decomposer*). Kondisi pH optimum untuk proses biodegradasi anaerobik adalah 6 – 8 (ARRPET, 2004). Perubahan pH menunjukkan adanya aktivitas mikroba pengurai bahan organik. Penurunan pH dapat terjadi karena pembentukan asam organik seperti asam piruvat, laktat dan asetat selama fase *acidogenesis* dan *acetogenesis*. Asam organik ini berasal dari pemecahan karbohidrat, protein dan lemak (Suwatanti et al, 2017). Selain itu, oksidasi sulfida dan infiltrasi hujan asam juga dapat membuat pH menjadi asam. Serta selama fase anaerobik, oksidan akan berkurang dan senyawa bermolekul rendah seperti asam sitrat dan oksalat akan berfermentasi. Proses ini akan menurunkan potensi redoks karena asam karboksilat (-COOH) terbentuk sehingga pH juga akan menurun (Bozkurt, 1998). Sedangkan peningkatan pH terjadi karena mikroba mulai mengubah nitrogen organik menjadi ammonium. Beberapa ammonia dilepaskan atau diubah menjadi nitrat denitrifikasi oleh mikroba, menghasilkan pH netral hingga basa dalam dekomposisi (Suwatanti et al, 2017). Selain itu, pH ke tingkat yang hampir netral dapat terjadi karena degradasi asam lemak volatil yang disangga oleh sistem bikarbonat. Pada saat proses dekomposisi, substrat yang tersisa menjadi lebih sulit, aktivitas mikroba akan melambat dan fase humus dimulai (Bozkurt et al, 1999).

Hasil penelitian ini selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Wang et al (2021) di TPA Xiaojianxi Cina menunjukkan bahwa nilai pH mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya umur timbunan sampah dengan nilai berkisar antara 7,03 hingga 8,25. Menurut Oyedele et al (2008), pH tanah lapisan atas (0 – 15 cm) di seluruh lokasi pembuangan sampah kota di Ile-Ife Nigeria berkisar antara 6 hingga 7,5 pada musim kemarau dan dari 6,3 hingga 7,7 pada musim hujan. Hal ini terjadi karena sebagian besar tanah di daerah tropis memiliki rentang dari asam hingga sedikit netral. Nilai pH memiliki pengaruh dalam mobilitas logam berat.

Menurut Al-Yaqout et al (2020) pH memiliki dua efek kontradiktif pada mobilitas logam berat. pH yang netral dan sedikit basa dapat menurunkan mobilitas semua logam berat. Sebaliknya, nilai pH yang tinggi akan meningkatkan kandungan organik terlarut yang tersedia dalam timbunan dan ada kemungkinan bahwa pH tinggi menyebabkan peningkatan kelarutan asam humat sehingga mobilitas logam berat meningkat.

4.3 Analisis Logam Berat pada Timbunan Sampah TPA Piyungan

Dari hasil analisis penelitian ini, urutan kandungan logam berat tertinggi adalah $Zn > Pb > Cu$. Dari **Tabel. 4.3** menunjukkan bahwa kandungan Pb dan Zn fluktuatif cenderung menurun, kecuali Cu yang menunjukkan peningkatan seiring dengan bertambahnya umur timbunan sampah.

Tabel 4. 2 Kandungan Logam Berat dalam Timbunan Sampah di Berbagai Umur

Umur	Rerata Content Pb (mg/kg)	Rerata Content Zn (mg/kg)	Rerata Content Cu (mg/kg)
0 - 6 bulan	89,19	223,69	24,52
1 - 2 tahun	99,83	257,35	30,79
3 - 4 tahun	65,94	201,53	32,74
≥ 5 tahun	68,60	241,55	37,76

Kandungan rata-rata logam berat pada penelitian ini dibandingkan dengan kandungan yang dilaporkan dari penelitian sebelumnya.

Tabel 4. 3 Penelitian Terdahulu Terkait Kandungan Logam Berat pada Timbunan Sampah di Berbagai Umur

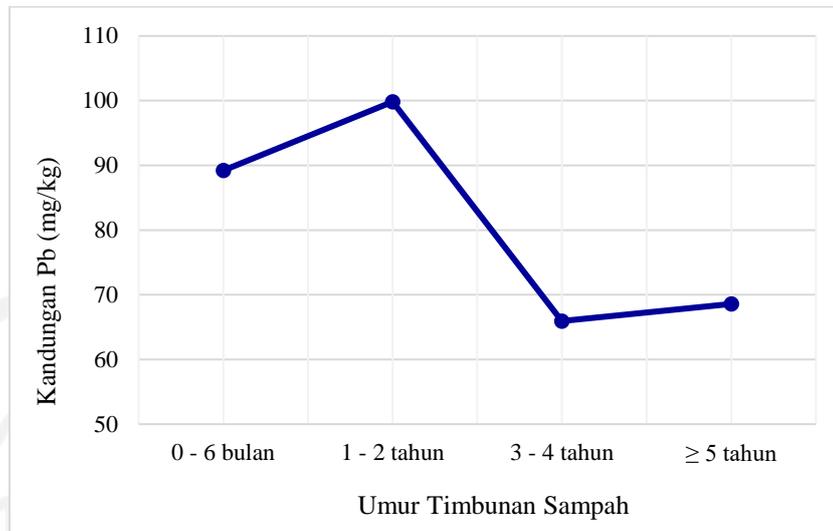
Nama TPA	Metode Pengelolaan	Umur Sampah (Tahun)	Kandungan Logam Berat (mg/kg)		
			Pb	Zn	Cu
TPA Xionjianxi China ¹	Sanitary Landfill	1	120 – 135	500 – 600	160 – 180
		2	100 –	700 –	180 –

			120	800	200
		3	70 – 90	500 – 600	120 – 150
		4	40 - 60	400 – 500	100 – 120
TPA Mulund India²	Open Dumping	2 (Zona A)	35 – 525	309 – 1984	147 – 988
		4 (Zona B)			
		5 (Zona C)			
		7 (Zona D)			
		10 (Zona E)			
TPA Inggris³	Sanitary Landfill	7 (Situs A)	-	-	1076
		7 (Situs B)	-	-	1027
		19 (Situs C)	-	-	2595
		20 (Situs D)	-	-	1830

¹Wang et al., (2021); ²Singh et al., (2021); ³Gutierrez et al., (2015)

4.3.1 Logam Berat Pb

Pb merupakan logam berat yang secara alami terdapat di kerak bumi. Pencemaran Pb berasal dari sumber alami dan limbah dari aktivitas manusia seperti sampah rumah tangga. Sampah rumah tangga memiliki potensi emisi logam berat yang tinggi. Rotter et al (2004) menemukan bahwa kandungan Pb tertinggi ditemukan pada sampah elektronik, sepatu, produk plastik, karet, film non-kemasan, baterai, kulit, kemasan plastik, kayu, logam non-ferro, sampah organik, popok, tekstil, kertas/karton, logam besi dan kaca. Logam Pb tidak mengalami penguraian dan tidak dapat dihancurkan, serta sangat mudah berpindah (Sudarwin, 2008; Priyanto et al, 2010). Berikut ini hasil pengujian logam berat Pb dalam timbunan sampah dengan berbagai umur :



Gambar 4. 4 Kandungan Pb dalam Timbunan Sampah dengan Berbagai Umur di TPA Piyungan

Dari **Gambar 4.6** menunjukkan bahwa kandungan Pb mengalami fluktuatif tetapi cenderung menurun seiring dengan bertambahnya umur timbunan sampah. Perubahan kandungan Pb disetiap umur sampah dapat disebabkan karena perbedaan komposisi sampah yang dikonsumsi setiap tahunnya (Quaghebeur et al, 2013). Penurunan kandungan Pb dapat terjadi karena bahan organik didalam timbunan dapat mempengaruhi mobilitas logam berat. Bahan organik ini dapat membentuk kompleks dengan logam Pb dan bahan organik didalam timbunan akan diuraikan menjadi asam-asam organik dan bereaksi dengan logam membentuk senyawa organologam kompleks. Sehingga penurunan Pb dapat disebabkan karena bahan organiknya sedikit, maka peluang terbentuknya senyawa organologam kompleks kecil dan kandungan logam Pb menjadi rendah (Akoto et al, 2016). Sedangkan peningkatan kandungan Pb dapat terjadi karena pH timbunan netral hingga sedikit basa. Menurut Akoto et al (2016) pH yang netral dan basa dapat membatasi mobilitas logam berat karena pH dapat menyebabkan pengendapan hidroksida dan karbonat dalam timbunan dan akan meningkatkan penyerapan logam berat. Hal ini berkaitan pada timbunan sampah yang berumur 1 – 2 tahun dan ≥ 5 tahun

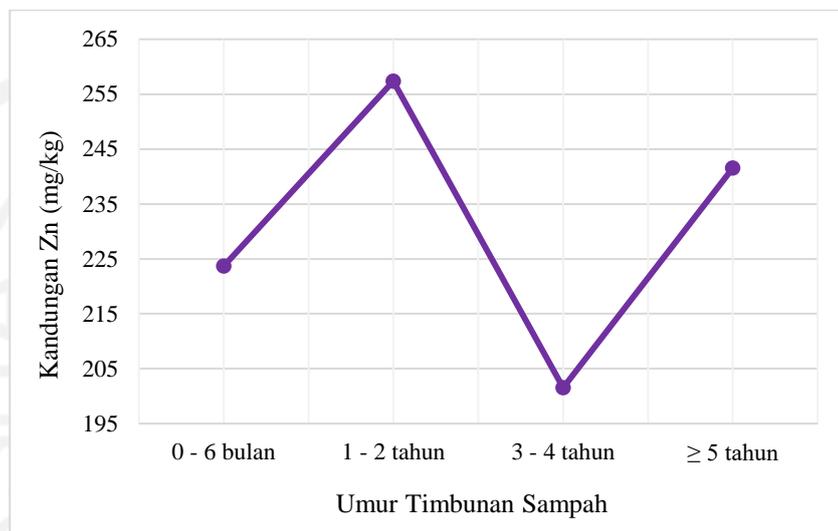
mengalami peningkatan nilai pH ≥ 7 , sehingga kandungan Pb pada umur tersebut lebih tinggi. Selain itu kandungan Pb yang tinggi pada umur 1 – 2 tahun dan ≥ 5 tahun dapat disebabkan karena bahan organik yang tinggi. Bahan organik mampu membentuk senyawa organologam kompleks dan membuat kandungan Pb menjadi tinggi.

Hasil penelitian ini serupa dengan penelitian yang dilakukan oleh Wang et al (2021) di TPA Xiaojianxi Cina dimana kandungan Pb yang terkandung dalam timbunan sampah mengalami penurunan secara dinamis seiring dengan bertambahnya umur timbunan sampah, dengan kisaran nilai kandungan tertera pada **Tabel 4.4**. Penurunan kandungan logam berat ini dapat terjadi karena sampah di TPA Xiaojianxi Cina mengandung kadar air dan kandungan bahan organik yang relatif tinggi ($>50 - 60\%$), serta sejumlah besar sampah yang mudah terurai dengan cepat terdegradasi selama periode awal penimbunan. Namun hasil penelitian ini bertentangan dengan yang dilaporkan oleh Singh et al (2022), dimana penelitian tersebut dilakukan di TPA Mulund India yang menunjukkan bahwa pada sampah yang berumur tua memiliki kandungan Pb yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampah yang berumur muda, dengan kisaran nilai kandungan tertera pada **Tabel 4.4**. Perbedaan hasil penelitian ini dapat terjadi karena komposisi dan fase degradasi yang berbeda pada setiap umur, dimana sampah akan mengalami degradasi dan terjadi perubahan ukuran partikel seiring waktu sehingga logam berat dapat masuk kedalam fraksi dan dapat menyebabkan peningkatan kandungan logam berat.

4.3.2 Logam Berat Zn

Logam Zn dapat masuk ke lingkungan dari berbagai sumber seperti sampah rumah tangga. Rotter et al (2004) menemukan bahwa kandungan Zn tertinggi ditemukan pada sampah elektronik, produk plastik, kayu, sepatu, kulit, kemasan plastik, film non-kemasan, tekstil, popok, kertas/karton, sampah organik, logam besi, baterai, kaca, logam non-ferro dan karet. Logam Zn yang masuk kedalam tanah akan terdispersi dalam

fase larutan dan fase padatan (Gerberding, 2005). Berikut ini hasil pengujian logam berat Zn dalam timbunan sampah dengan berbagai umur di TPA Piyungan :



Gambar 4. 5 Kandungan Zn dalam Timbunan Sampah dengan Berbagai Umur di TPA Piyungan

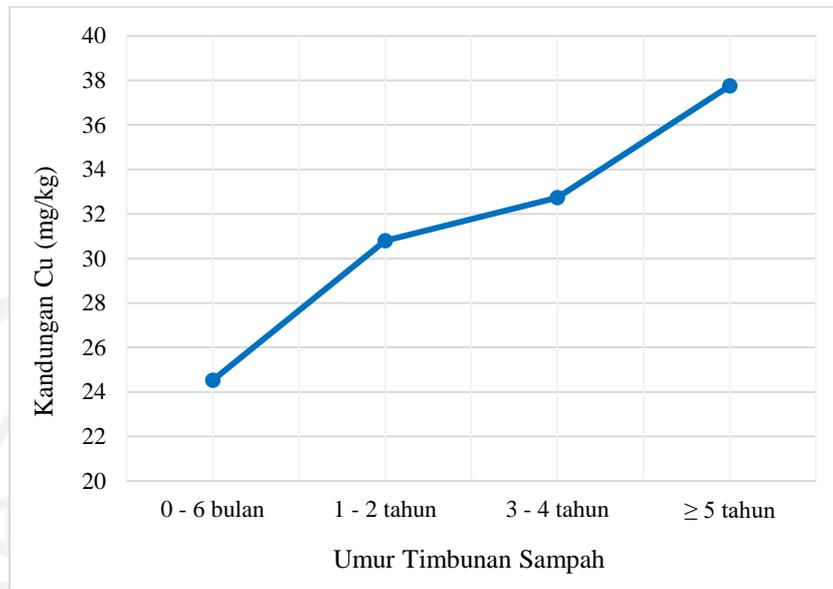
Dari **Gambar 4.7** menunjukkan bahwa kandungan Zn mengalami fluktuatif tetapi cenderung menurun namun tidak signifikan seiring dengan bertambahnya umur timbunan sampah. Penurunan kandungan Zn dapat terjadi karena selama fase metanogenesis, lindi memiliki daya serap yang tinggi terhadap logam berat. Selain itu pengendapan sulfida yang sering disebut sebagai penjelasan untuk kandungan logam yang rendah dalam timbunan. Logam sulfida terbentuk melalui reduksi sulfat selama dekomposisi sampah. Sulfida mampu membentuk endapan dengan logam berat, namun logam berat yang terikat pada sulfida dapat lepas karena oksidasi (Kjeldsen et al, 2002). Sedangkan peningkatan Zn dapat terjadi karena kandungan bahan organik yang tinggi seperti humus cenderung meningkatkan penyerapan logam berat. Zat humat seperti asam humat dan fulvat mampu mengikat logam pada gugus karboksil (-COOH) dan hidroksil (-OH), dan menunda pelepasan logam berat (Bozkurt et al,

1999). Hal ini dapat dikaitkan dengan timbunan sampah yang berumur 1 – 2 tahun dan ≥ 5 tahun yang mengalami peningkatan kandungan Zn karena kandungan bahan organik yang tinggi pada umur tersebut. Selain itu, kenaikan kandungan Zn dapat terjadi karena peningkatan nilai pH. Pada timbunan sampah yang berumur 1 – 2 tahun dan ≥ 5 tahun mengalami peningkatan nilai pH ≥ 7 . Quaghebeur et al (2013) juga menyatakan bahwa peningkatan kandungan Zn dapat terjadi karena perbedaan dalam komposisi sampah yang bergantung dari jenis barang yang diproduksi dan dikonsumsi selama periode tertentu.

Hasil penelitian ini serupa dengan penelitian yang dilakukan oleh Wang et al (2021) di TPA Xiaojianxi Cina, dimana kandungan Zn menunjukkan tren fluktuatif tetapi cenderung menurun seiring dengan bertambahnya umur timbunan, dengan kisaran nilai kandungan tertera pada **Tabel 4.4**. Selain itu, dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Singh et al (2022) di TPA Mulund India juga menunjukkan kandungan Zn yang fluktuatif dengan kisaran kandungan tertera pada **Tabel 4.4**. Hal ini terjadi karena perbedaan komposisi dan fase degradasi yang berbeda pada setiap umur.

4.3.3 Logam Berat Cu

Logam Cu dapat menjangkau semua lapisan lingkungan, termasuk air, tanah dan udara (lapisan atmosfer) dari berbagai sumber. Salah satu sumber logam Cu berasal dari sampah rumah tangga. Zhang et al (2009) menemukan bahwa kandungan Cu tertinggi pada sampah rumah tangga di temukan di sampah logam non-ferro, plastik, tekstil, kertas, sampah organik, kaca dan kayu. Logam Cu merupakan logam yang paling tidak bergerak (Azeez et al, 2011). Berikut ini hasil pengujian kandungan Cu dalam timbunan sampah dengan berbagai umur :



Gambar 4. 6 Kandungan Cu dalam Timbunan Sampah dengan Berbagai Umur di TPA Piyungan

Dari **Gambar 4.8** menunjukkan bahwa kandungan Cu mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya umur timbunan sampah. Peningkatan kandungan Cu dapat terjadi karena perubahan ukuran partikel. Zhao et al (2012) menemukan bahwa kandungan logam berat meningkat dengan menurunnya ukuran partikel di TPA, dimana pada partikel halus memiliki luas permukaan spesifik yang besar dan kemampuan adsorpsi yang kuat sehingga dapat memperkaya logam berat dalam ukuran partikel yang sangat kecil. Kandungan Cu dalam timbunan berhubungan langsung dengan ukuran partikel, dimana ketika ukuran partikelnya menjadi halus maka konsentrasi Cu akan meningkat. Serta bioavailabilitas Cu dikendalikan oleh pH dan bahan organik (Alvarez et al, 2003). Nilai pH mempengaruhi kandungan Cu karena pada pH netral hingga basa dapat menyebabkan pengendapan hidroksida dan karbonat dengan logam berat. Hal ini dapat dilihat pada timbunan sampah yang berumur ≥ 5 tahun memiliki kondisi $\text{pH} \geq 7$ yang dapat membatasi mobilitas logam berat dan meningkatkan penyerapan logam berat dalam timbunan (Akoto et al, 2016).

Hal penelitian ini serupa dengan penelitian yang dilakukan oleh Gutierrez et al (2015) yang dilakukan di 4 lokasi TPA Inggris, dimana kandungan Cu menunjukkan tren fluktuatif tetapi cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya umur timbunan dengan nilai kandungan tertera pada **Tabel 4.4**. Selain itu, hasil penelitian ini juga serupa dengan penelitian yang dilakukan oleh Singh et al (2022) di TPA Mulund India menunjukkan bahwa sampah yang berumur tua memiliki kandungan Cu yang lebih tinggi dari pada sampah yang berumur muda, dengan kisaran nilai kandungan tertera pada **Tabel 4.4**. Salah satu metode yang digunakan dalam rangka optimalisasi TPA dan mewujudkan TPA yang berkelanjutan adalah dengan metode *landfill mining*, dimana tanah yang terdegradasi di TPA Piyungan dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik untuk kegiatan pertanian, namun diperlukan pengolahan terlebih dahulu untuk meningkatkan kandungan unsur hara dan menurunkan kandungan logam berat yang tinggi agar memenuhi kebutuhan kompos organik (Putra et al, 2016).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis diperoleh bahwa umur timbunan sampah 0 – 6 bulan, 1 – 2 tahun, 3 – 4 tahun dan ≥ 5 tahun mempengaruhi kandungan logam berat yang diteliti (Pb, Zn dan Cu). Dari hasil pengujian menggunakan Spektrometri Serapan Atom (SSA) didapatkan hasil pengukuran bahwa kandungan Pb dan Zn mengalami fluktuatif tetapi cenderung menurun seiring dengan bertambahnya umur timbunan, dengan kandungan Pb berturut-turut 89,19 mg/kg, 99,83 mg/kg, 65,94 mg/kg dan 68,6 mg/kg. Dan kandungan Zn berturut-turut 223,69 mg/kg, 257,35 mg/kg, 201,53 mg/kg dan 241 mg/kg. Sedangkan kandungan Cu mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya umur timbunan, dengan kandungan 24,52 mg/kg, 30,79 mg/kg, 32,74 mg/kg dan 37,76 mg/kg. Zn memiliki kandungan yang paling tinggi dan Cu memiliki kandungan yang paling rendah pada timbunan sampah TPA Piyungan. Kandungan logam berat berdasarkan umur timbunan sampah yang berbeda di TPA Piyungan dapat mengalami penurunan dan peningkatan seiring waktu. Adapun faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kandungan Pb, Zn dan Cu adalah komposisi sampah, pH, bahan organik, ukuran partikel sampah dan pengendapan sulfida.

5.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya diharapkan adanya pengambilan sampel pada musim kemarau dan musim hujan sebagai perbandingan kandungan logam berat pada kedua musim. Selain itu perlu menambahkan variasi umur timbunan sampah dan variabel parameter logam berat lainnya seperti As, Cr, Hg, Al dan Ni.

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. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.05.040>
- Adidarma, K. P., AL-ROSYID, L. M., Putra, H. K., & FARAHDIBA, A. U. (2014, October). Gas emissions inventory of methane (CH₄) with First Order Decay (FOD) method in TPA Piyungan, Bantul, DIY. In *International Conference on Sustainable Built Environment* (pp. 119-128). <http://repository.unmuhjember.ac.id/9334/1/PROCEEDING%20ICSB%202014.pdf#page=138>
- Akoto, O., Nimako, C., Asante, J., & Bailey, D. (2016). Heavy metals enrichment in surface soil from abandoned waste disposal sites in a hot and wet tropical area. *Environmental Processes*, 3(4), 747-761. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40710-016-0183-x>
- Al-Maaded, M., Madi, N. K., Kahraman, R., Hodzic, A., & Ozerkan, N. G. (2012). An overview of solid waste management and plastic recycling in Qatar. *Journal of Polymers and the Environment*, 20(1), 186-194. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10924-011-0332-2>
- Altaher, H., Dietrich, A., & Novak, J. (2011). Factors affecting copper sorption and mobility through A and B horizon soils from the eastern shore of Virginia. *Yanbu J Eng Sci*, 2, 91-105.
- Al-Yaqout, A., & Hamoda, M. F. (2020). Long-Term Temporal Variations In Characteristics Of Leachates From A Closed Landfill In An Arid Region. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231(6), 1-18. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-020-04688-7>
- Alvarez, E., Marcos, M. F., Vaamonde, C., & Fernández-Sanjurjo, M. J. (2003). Heavy metals in the dump of an abandoned mine in Galicia (NW Spain) and

- in the spontaneously occurring vegetation. *Science of the total environment*, 313(1-3), 185-197. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(03\)00261-4](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(03)00261-4)
- Ariyani, S. F. (2018). *Evaluasi Pengelolaan Sampah Di Tpa Piyungan Kabupaten Bantul*. Skripsi. Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/8214>
- ARRPET. (2004). *Enhancement Of Solid Waste Degradation Using Different Operating Techniques In Bioreactor Landfill*. Draft Final Report. Faculty Of Engineering. Kasetsart University Bangkok. Thailand.
- Azeez, J. O., Hassan, O. A., & Egunjobi, P. O. (2011). Soil contamination at dumpsites: implication of soil heavy metals distribution in municipal solid waste disposal system: a case study of Abeokuta, Southwestern Nigeria. *Soil and Sediment Contamination*, 20(4), 370-386. <https://doi.org/10.1080/15320383.2011.571312>
- Belevi, H., & Baccini, P. (1989). Long-term behavior of municipal solid waste landfills. *Waste Management & Research*, 7(1), 43-56. [https://doi.org/10.1016/0734-242X\(89\)90007-4](https://doi.org/10.1016/0734-242X(89)90007-4)
- Bhalla, B., Saini, M. S., & Jha, M. K. (2013). Effect of age and seasonal variations on leachate characteristics of municipal solid waste landfill. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2(8), 223-232.
- Bozkurt, S., & Neretnieks, I. (1998). Peat as a natural analogue assessment of the long term behaviour of organic material. Swedish Environmental protection Agency.
- Bozkurt, S., Moreno, L., & Neretnieks, I. (1999). Long-term fate of organics in waste deposits and its effect on metal release. *Science of the Total Environment*, 228(2-3), 135-152. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00047-9](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00047-9)
- Buekens, A. (2005, November). Energy recovery from residual waste by means of anaerobic digestion technologies. In Conference "The future of residual waste management in Europe (pp. 17-18).

- 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. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.07.028>
- Fairus, S., Salafudin, S., Rahman, L., & Apriani, E. (2011, February). Pemanfaatan sampah organik secara padu menjadi alternatif energi: biogas dan precursor briket. In *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" 2011*. <http://repository.upnyk.ac.id/id/eprint/343>
- Gutierrez, S. C., Coulon, F., Jiang, Y., & Wagland, S. (2015). Rare earth elements and critical metal content of extracted landfilled material and potential recovery opportunities. *Waste Management*, 42, 128-136. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.04.024>
- Gworek, Barbara, Wojciech Dmuchowski, Eugeniusz Koda, Marta Marecka, Aneta H. Baczewska, Paulina Brągoszewska, Anna Sieczka, and Piotr Osiński. Impact of the municipal solid waste Łubna Landfill on environmental pollution by heavy metals. *Water* 8, no. 10 (2016): 470. <https://doi.org/10.3390/w8100470>
- Hussein, M., Yoneda, K., Zaki, Z. M., & Amir, A. (2019). Leachate characterizations and pollution indices of active and closed unlined landfills in Malaysia. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 12, 100232. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2019.100232>
- Hutomo, N. T. (2012). *Analisa Karakter Timbulan Lindi (pH, COD, BOD dan TSS) Dari Berbagai Umur Sampah Perkotaan Menggunakan Kolom Landfill Secara Seri*. Skripsi. Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/35358>
- Kasam, I. (2011). Analisis Resiko Lingkungan Pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah (Studi Kasus: TPA Piyungan Bantul). *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 3(1), 19-30. <https://doi.org/10.20885/jstl.vol3.iss1.art2>
- Khopkar, S.M. (2008). *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: UI Press.

- Kjeldsen, P., Barlaz, M. A., Rooker, A. P., Baun, A., Ledin, A., & Christensen, T. H. (2002). Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a review. *Critical reviews in environmental science and technology*, 32(4), 297-336. <https://doi.org/10.1080/10643380290813462>
- Kulikowska, D., & Klimiuk, E. (2008). The effect of landfill age on municipal leachate composition. *Bioresource technology*, 99(13), 5981-5985. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.10.015>
- Malina, J. F., & Pohland, F. G. (1992). Anaerobic sludge digestion. *Design of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal wastes*, 7, 214.
- Manurung, D. W., & Santoso, E. B. (2020). Penentuan Lokasi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah yang Ramah Lingkungan di Kabupaten Bekasi. *Jurnal Teknik ITS*, 8(2), C123-C130. doi: 10.12962/j23373539.v8i2.48801
- Mustami, R. (2015). Karakteristik substrat dalam proses anaerob menggunakan biodigester. *Jurnal Reka Lingkungan*, 3(2), 63-75. <https://doi.org/10.26760/rekalingkungan.v3i2.%25p>
- Mirwan, M. (2018). Pemanfaatan Bioaktivator Alami Untuk Pengomposan Sampah Organik. *Jurnal Envirotek*, 9(1). <https://doi.org/10.33005/envirotek.v9i1.1044>
- Nasir, M. (2020). *Spektrometri Serapan Atom*. Syiah Kuala University Press.
- Naveen, B. P., Mahapatra, D. M., Sitharam, T. G., Sivapullaiah, P. V., & Ramachandra, T. V. (2017). Physico-chemical and biological characterization of urban municipal landfill leachate. *Environmental Pollution*, 220, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.09.002>
- Nazir, M., Muyassir, M., & Syakur, S. (2017). Pemetaan Kemasaman Tanah dan Analisis Kebutuhan Kapur di Kecamatan Keumala Kabupaten Pidie. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 2(1), 21-30. <https://doi.org/10.17969/jimfp.v2i1.2149>
- Ni'mah, L. (2014). Biogas from solid waste of tofu production and cow manure mixture: composition effect. *Chemica*, 1(1), 1-9. doi:10.26555/chemica.v1i1.500

- Nurdiana, J., Meicahayanti, I., & Indriana, H. F. (2018). Pengolahan Sampah Organik Domestik Melalui Windrow Composting. In Prosiding Seminar Nasional Teknologi, Inovasi dan Aplikasi di Lingkungan Tropis (Vol. 1, No. 1, pp. 41-46).
- Othman, R., Mohd, L.N.H., Baharuddin, Z.M., Hasim, K.S.H.Y., Lukman, H.M.LJ., (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/aecer/1704_80598067
- Oyedele, D. J., Gasu, M. B., & Awotoye, O. O. (2008). Changes in soil properties and plant uptake of heavy metals on selected municipal solid waste dump sites in Ile-Ife, Nigeria. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 2(5), 107-115. <https://doi.org/10.5897/AJEST.9000017>
- Perdana, Y. P. (2012). Analisa Timbulan Lindi Pada Berbagai Umur Sampah Perkotaan Menggunakan Kolom Landfill Paralel. Skripsi. Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/35361>
- Priyanto, B., & Prayitno, J. (2000, July). Fitoremediasi sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran, Khususnya Logam Berat. In Prosiding Seminar Nasional Peranan Teknologi Lingkungan dalam Pengembangan Industri dan Pengelolaan Sumberdaya Alam yang Berkelanjutan–BPPT, Jakarta (pp. 11-12).
- Putra, H. P., Marzuko, A., 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 mining management optimization by using landfill mining methode. In *Proceeding of 4th International Conference on Sustainable Built Environment*, Faculty of Civil Engineering and Planning, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Quaghebeur, M., Laenen, B., Geysen, D., Nielsen, P., Pontikes, Y., Van Gerven, T., & Spooren, J. (2013). Characterization of landfilled materials: screening

- of the enhanced landfill mining potential. *Journal of Cleaner Production*, 55, 72-83. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.06.012>
- Rotter, V. S., Kost, T., Winkler, J., & Bilitewski, B. (2004). Material flow analysis of RDF-production processes. *Waste management*, 24(10), 1005-1021. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.07.015>
- 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
- Siagian, S. W., Yuriandala, Y., & Maziya, F. B. (2021). Analisis suhu, pH dan kuantitas kompos hasil pengomposan reaktor aerob termodifikasi dari sampah sisa makanan dan sampah buah. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 13(2), 166-176. <https://doi.org/10.20885/jstl.vol13.iss2.art7>
- Singh, A., & Chandel, M. K. (2022). Mobility and environmental fate of heavy metals in fine fraction of dumped legacy waste: Implications on reclamation and ecological risk. *Journal of Environmental Management*, 304, 114206. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114206>
- Slavinskienė, G., & Jurevičius, A. (2016). Speciation of heavy metals in the homogeneous sandy aquifer affected by landfill leachate. *Univers. J. Geosci.*, 4, 8-14. doi: 10.13189/ujg.2016.040102
- 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
- Suwatanti, E. P. S., & Widiyaningrum, P. (2017). Pemanfaatan MOL limbah sayur pada proses pembuatan kompos. *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences*, 40(1), 1-6. <https://doi.org/10.15294/ijmns.v40i1.12455>

- Talalaj, I. A. (2015). Release Of Heavy Metals From Waste Into Leachate In Active Solid Waste Landfill. *Environment Protection Engineering*, 41(1). doi: 10.5277/epe150107
- 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-persen1yJTcs5zbWV/full?utm_campaign=int&utm_medium=post&utm_source=Twitter
- Undang-Undang Republik Indonesia No 18 Tahun 2008 Tentang Pengelolaan Sampah.
- Verma, S. (2002). Anaerobic digestion of biodegradable organics in municipal solid wastes. *Columbia University*, 7(3), 98-104.
- Wang, H., Fan, X., Wang, Y. N., Li, W., Sun, Y., Zhan, M., & Wu, G. (2018). Comparative leaching of six toxic metals from raw and chemically stabilized MSWI fly ash using citric acid. *Journal of environmental management*, 208, 15-23. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.071>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.12.001>
- Warni, D., Karina, S. And Nurfadillah, N., (2017). Analisis Logam Pb, Mn, Cu Dan Cd Pada Sedimen Di Pelabuhan Jetty Meulaboh, Aceh Barat. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kelautan Perikanan Unsyiah*, 2(2).
- Yesiller, N., & Hanson, J. L. (2003). Analysis of temperatures at a municipal solid waste landfill. https://digitalcommons.calpoly.edu/cenv_fac/164
- Zhang, H., He, P. J., & Shao, L. M. (2008). Implication of heavy metals distribution for a municipal solid waste management system—a case study in Shanghai. *Science of the total environment*, 402(2-3), 257-267. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.04.047>

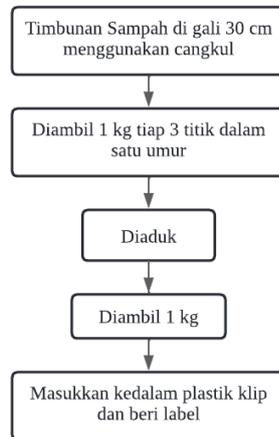
Zhao, S., Liu, X., & Duo, L. (2012). Physical and Chemical Characterization of Municipal Solid Waste Compost in Different Particle Size Fractions. *Polish Journal of Environmental Studies*, 21(2).



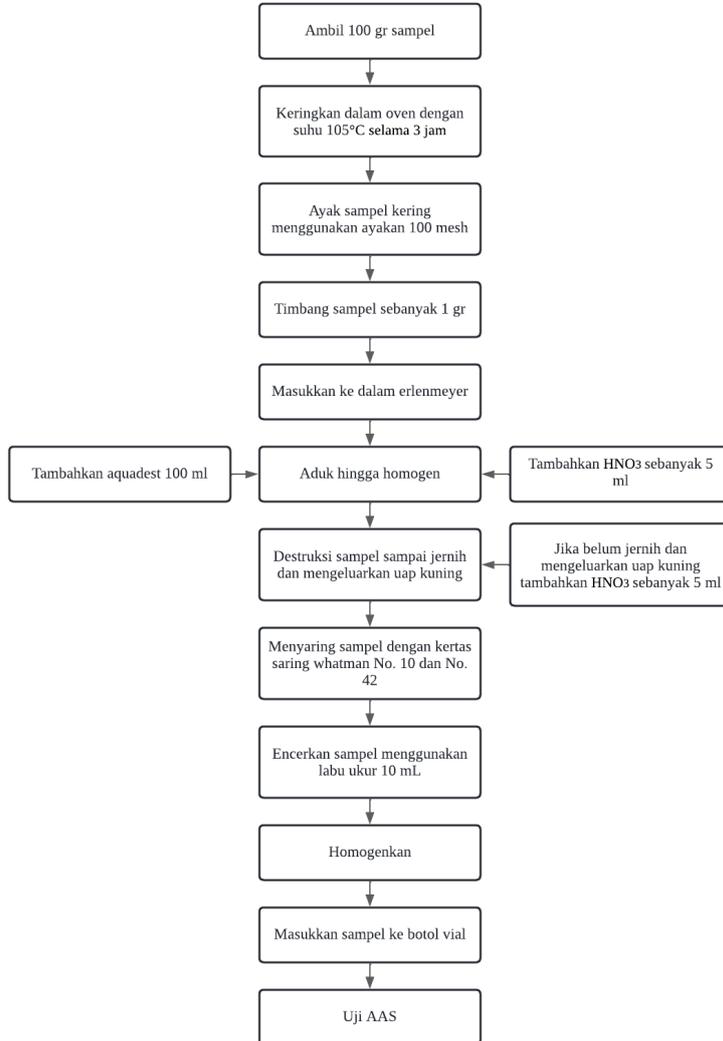


Lampiran 1. Skema Pengerjaan Tugas Akhir

1. Pengambilan Sampel



2. Analisis Logam Berat



الجمهورية الإسلامية الجزائرية

Lampiran 2 Hasil Uji pH, Logam Pb, Logam Zn dan Logam Cu

a. pH

Umur	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rerata
0 - 6 bulan	6.8	6.8	6.9	6.8
1 - 2 tahun	6.9	7	7.1	7.0
3 - 4 tahun	6.2	6.3	6.9	6.5
≥ 5 tahun	7.3	6.9	7	7.1

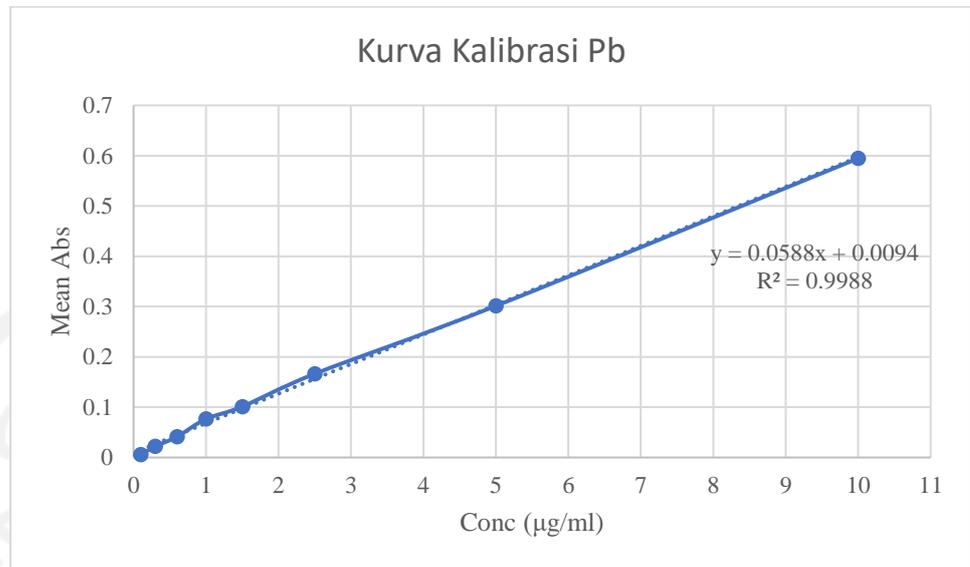
b. Berat Sampel Uji Logam Berat

Umur	Sample Label	Berat Sampel	
		g	kg
0 - 6 bulan	Sample 1	1.063	0.001063
	Sample 2	1.045	0.001045
	Sample 3	1.071	0.001071
1 - 2 tahun	Sample 1	1.056	0.001056
	Sample 2	1.065	0.001065
	Sample 3	1.061	0.001061
3 - 4 tahun	Sample 1	1.049	0.001049
	Sample 2	1.073	0.001073
	Sample 3	1.052	0.001052
≥ 5 tahun	Sample 1	1.068	0.001068
	Sample 2	1.047	0.001047
	Sample 3	1.064	0.001064

c. Logam Pb

- Kurva Kalibrasi

Sample Label	Conc. (µg/ml)	Mean Abs.
Table Blank	-	0
Standard 4	0.1	0.0057
Standard 5	0.3	0.022
Standard 6	0.6	0.0415
Standard 7	1	0.0766
Standard 8	1.5	0.1011
Standard 6	2.5	0.1664
Standard 7	5	0.3014
Standard 8	10	0.5947



- Hasil Uji AAS

Umur	Sample Label	Konsentrasi (µg/ml)	%RSD	Mean Abs
Sample Blank		-	HIGH	0.0151
0 - 6 bulan	Sample 1	0.9992	1.04	0.0681
	Sample 2	1.0000	3.01	0.0681
	Sample 3	0.8342	0.97	0.0584
1 - 2 tahun	Sample 1	0.9464	1.31	0.0650
	Sample 2	1.0409	10.52	0.0705
	Sample 3	1.1897	0.54	0.0793
3 - 4 tahun	Sample 1	0.5611	1.5	0.0424
	Sample 2	0.8376	1.69	0.0586
	Sample 3	0.6972	3.32	0.0504
≥ 5 tahun	Sample 1	0.7908	0.89	0.0558
	Sample 2	0.7244	0.14	0.0520
	Sample 3	0.6658	4.96	0.0485

- Kandungan Logam Pb

Menentukan kandungan logam berat (mg/kg) dengan persamaan :

$$\text{Konsentrasi logam berat (mg/kg)} = \frac{C_{\text{reg}} \times P \times V}{G}$$

Keterangan :

C_{reg} : Konsentrasi yang didapat hasil pengukuran (mg/l)

P : Faktor pengenceran

G : Berat sampel (kg)

V : Volume larutan sampel (L)

Contoh perhitungan kandungan logam berat Pb :

Umur 0 – 6 bulan sampel 1

Diketahui :

Creg : 0,9992 µg/ml

P : 10 kali

V : 10 ml = 0,01 L

G : 1,063 g = 0,001063 kg

Penyelesaian :

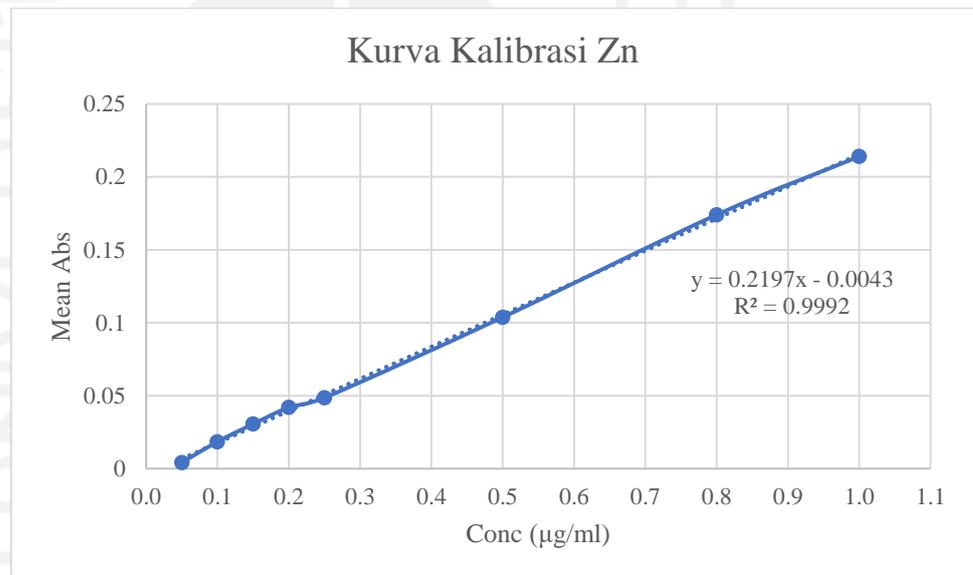
$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi Pb} &= \frac{C_{reg} \times P \times V}{G} \\ &= \frac{0,9992 \frac{\mu\text{g}}{\text{ml}} \times 10 \times 0,01 \text{ ml}}{0,001063 \text{ kg}} \\ &= 94 \text{ mg/kg}\end{aligned}$$

Umur	Sample Label	Conc Pb (mg/kg)	Conc Pb (mg/kg)
0 - 6 bulan	Sample 1	94.00	89.19
	Sample 2	95.69	
	Sample 3	77.89	
1 - 2 tahun	Sample 1	89.62	99.83
	Sample 2	97.74	
	Sample 3	112.13	
3 - 4 tahun	Sample 1	53.49	65.94
	Sample 2	78.06	
	Sample 3	66.27	
≥ 5 tahun	Sample 1	74.04	68.60
	Sample 2	69.19	
	Sample 3	62.58	

d. Logam Zn

- Kurva Kalibrasi

Sample Label	Conc. (µg/ml)	Mean Abs.
Table Blank	-	0
Standard 4	0.050	0.0042
Standard 5	0.100	0.0185
Standard 6	0.150	0.0306
Standard 7	0.200	0.0420
Standard 8	0.250	0.0486
Standard 6	0.500	0.1038
Standard 7	0.800	0.1740
Standard 8	1.000	0.2140



- Hasil Uji AAS

Umur	Sample Label	Konsentrasi (µg/ml)	%RSD	Mean Abs
Sample Blank		-	12.44	-0.0042
0 - 6 bulan	Sample 1	0.317	0.39	0.0654
	Sample 2	0.214	6.28	0.0426
	Sample 3	0.180	1.18	0.0354
1 - 2 tahun	Sample 1	0.252	2.27	0.0511
	Sample 2	0.280	4.62	0.0573
	Sample 3	0.287	0.85	0.0588
3 - 4 tahun	Sample 1	0.203	1.25	0.0403
	Sample 2	0.232	0.71	0.0467
	Sample 3	0.205	2.74	0.0407
≥ 5 tahun	Sample 1	0.252	0.72	0.0510
	Sample 2	0.245	3.87	0.0496
	Sample 3	0.271	1.15	0.0552

- Kandungan Logam Zn

Menentukan kandungan logam berat (mg/kg) dengan persamaan :

$$\text{Konsentrasi logam berat (mg/kg)} = \frac{C_{reg} \times P \times V}{G}$$

Keterangan :

C_{reg} : Konsentrasi yang didapat hasil pengukuran (mg/l)

P : Faktor pengenceran

G : Berat sampel (kg)

V : Volume larutan sampel (L)

Contoh perhitungan kandungan logam berat Zn :

Umur 0 – 6 bulan sampel 2

Diketahui :

C_{reg} : 0,214 µg/ml

P : 100 kali

V : 10 ml = 0,01 L

G : 1,063 g = 0,001063 kg

Penyelesaian :

$$\text{Konsentrasi Zn} = \frac{C_{reg} \times P \times V}{G}$$

$$= \frac{0.214 \frac{\mu\text{g}}{\text{ml}} \times 100 \times 0,01 \text{ml}}{0,001063 \text{ kg}}$$

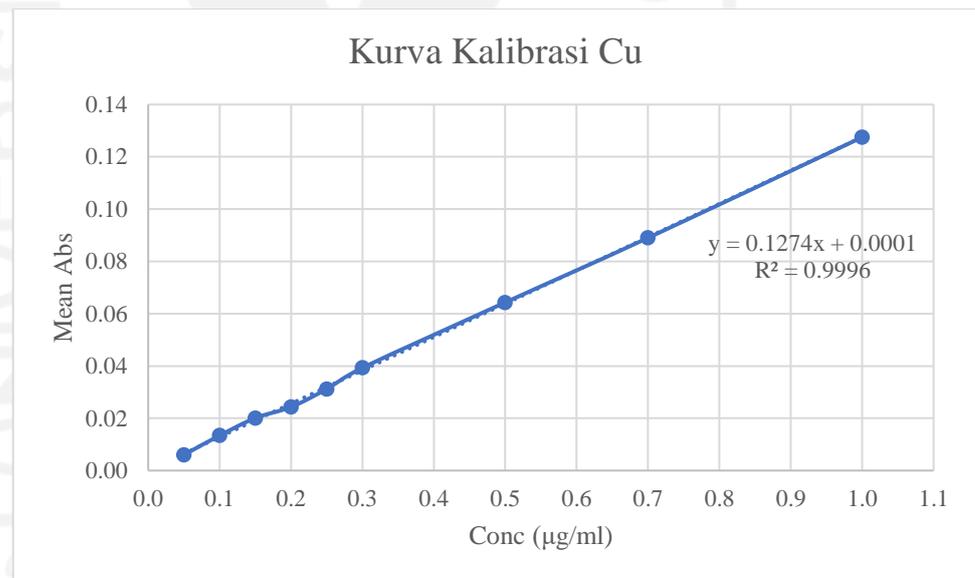
$$= 204,78 \text{ mg/kg}$$

Umur	Sample Label	Conc Zn (mg/kg)	Conc Zn (mg/kg)
0 - 6 bulan	Sample 1	298.21	223.69
	Sample 2	204.78	
	Sample 3	168.07	
1 - 2 tahun	Sample 1	238.64	257.35
	Sample 2	262.91	
	Sample 3	270.50	
3 - 4 tahun	Sample 1	193.52	201.53
	Sample 2	216.22	
	Sample 3	194.87	
≥ 5 tahun	Sample 1	235.96	241.55
	Sample 2	234.00	
	Sample 3	254.70	

e. Logam Cu

- Kurva Kalibrasi

Sample Label	Conc. (µg/ml)	Mean Abs.
Table Blank	-	0
Standard 1	0.050	0.0060
Standard 2	0.100	0.0134
Standard 3	0.150	0.0201
Standard 4	0.200	0.0243
Standard 5	0.250	0.0312
Standard 6	0.300	0.0393
Standard 7	0.500	0.0643
Standard 8	0.700	0.0890
Standard 9	1.000	0.1275



- Hasil Uji AAS

Umur	Sample Label	Konsentrasi (µg/ml)	%RSD	Mean Abs
Sample Blank		-	18.65	0.0053
0 - 6 bulan	Sample 1	0.033	16.08	0.0044
	Sample 2	0.022	HIGH	0.0029
	Sample 3	0.023	HIGH	0.0030
1 - 2 tahun	Sample 1	0.030	6.78	0.0039
	Sample 2	0.034	11.35	0.0044
	Sample 3	0.034	11.36	0.0044
3 - 4 tahun	Sample 1	0.034	HIGH	0.0045
	Sample 2	0.040	10.46	0.0053
	Sample 3	0.030	12.01	0.0039
≥ 5 tahun	Sample 1	0.026	12.82	0.0034
	Sample 2	0.038	3.08	0.0050
	Sample 3	0.056	6.94	0.0072

- Kandungan Logam Cu

Menentukan kandungan logam berat (mg/kg) dengan persamaan :

$$\text{Konsentrasi logam berat (mg/kg)} = \frac{C_{reg} \times P \times V}{G}$$

Keterangan :

C_{reg} : Konsentrasi yang didapat hasil pengukuran (mg/l)

P : Faktor pengenceran

G : Berat sampel (kg)

V : Volume larutan sampel (L)

Contoh perhitungan kandungan logam berat Cu :

Umur 0 – 6 bulan sampel 2

Diketahui :

C_{reg} : 0,022 µg/ml

P : 100 kali

V : 10 ml = 0,01 L

G : 1,063 g = 0,001063 kg

Penyelesaian :

$$\text{Konsentrasi Cu} = \frac{C_{reg} \times P \times V}{G}$$

$$= \frac{0.022 \frac{\mu\text{g}}{\text{ml}} \times 100 \times 0,01 \text{ml}}{0,001063 \text{ kg}}$$

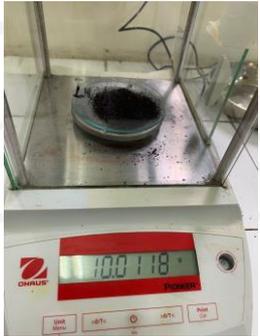
$$= 21,05 \text{ mg/kg}$$

Umur	Sample Label	Conc Cu (mg/kg)	Conc Cu (mg/kg)
0 - 6 bulan	Sample 1	31.04	24.52
	Sample 2	21.05	
	Sample 3	21.48	
1 - 2 tahun	Sample 1	28.41	30.79
	Sample 2	31.92	
	Sample 3	32.05	
3 - 4 tahun	Sample 1	32.41	32.74
	Sample 2	37.28	
	Sample 3	28.52	
≥ 5 tahun	Sample 1	24.34	37.76
	Sample 2	36.29	
	Sample 3	52.63	

Lampiran 3 Dokumentasi Penelitian

No	Gambar	Keterangan
1		<p>Melakukan pengambilan sampel sampah pada area TPA piyungan dengan menggali sedalam 30 cm dengan menggunakan cangkul</p>
2		<p>Melakukan pengecekan suhu pada tiap titik sampel dengan termometer</p>
3		<p>Melakukan pengecekan pH pada tiap titik sampel dengan pH meter tanah</p>

No	Gambar	Keterangan
4		<p>Sampel dimasukkan ke dalam plastik dan diberi label</p>
5		<p>Melakukan pengeringan sampel dengan menggunakan oven dengan suhu 105°C selama jam 3 jam</p>
6		<p>Menghaluskan sampel menggunakan mortar dan alu</p>

No	Gambar	Keterangan
7		Mengayak sampel dengan ayakan 100 mesh
8		Sampel yang sudah diayak
9		Menimbang sampel dengan timbangan digital sebanyak 1 gr

No	Gambar	Keterangan
10		Mendestruksi sampel
11		Menyaring sampel yang telah di destruksi menggunakan kertas whatman no. 10 dan no. 42
12		Melakukan pengenceran 10 kali dan 100 kali

No	Gambar	Keterangan
13		<p>Analisis logam berat menggunakan AAS</p>
14		<p>Sampel umur 0 – 6 bulan</p>
15		<p>Sampel umur 1 – 2 tahun</p>

No	Gambar	Keterangan
16		Sampel umur 3 – 4 tahun
17		Sampel umur \geq 5 tahun