

TA/TL/2022/1503

TUGAS AKHIR
UJI KANDUNGAN LOGAM BERAT Cu, Fe, DAN Pb
MENGGUNAKAN METODE *ATOMIC ABSORPTION*
***SPECTROPHOTOMETRY* (AAS) PADA AIR LINDI**
TPA PIYUNGAN, BANTUL.

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



FAISAL ABDUL RAHEEM

18513221

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

TUGAS AKHIR

UJI KANDUNGAN LOGAM BERAT Cu, Fe, DAN Pb MENGUNAKAN METODE *ATOMIC ABSORPTION SPECTROPHOTOMETRY* (AAS) PADA AIR LINDI TPA PIYUNGAN, BANTUL.

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



FAISAL ABDUL RAHEEM

18513221

Disetujui,
Dosen Pembimbing:

Ir. Luqman Hakim, S.T., M.Si.

NIK. 005130101

Tanggal: 21/10/22.

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII



Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng.

NIK. 095130403

Tanggal: 21 Oktober 2022

HALAMAN PENGESAHAN

UJI KANDUNGAN LOGAM BERAT Cu, Fe, DAN Pb MENGUNAKAN METODE *ATOMIC ABSORPTION SPECTROPHOTOMETRY* (AAS) PADA AIR LINDI TPA PIYUNGAN, BANTUL.

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : *Senin*
Tanggal : *10/10/2022*

Disusun Oleh:

FAISAL ABDUL RAHEEM

18513221

Tim Penguji:

Ir. Luqman Hakim, S.T., M.Si.

(*[Signature]*) *21/10/2022*

Nelly Marlina, S.T., M.T.

(*[Signature]*) *21/10/2022*

Luthfia Isna Ardhayanti, S.Si., M.Sc.

(*[Signature]*) *18/10/2022*

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini asli dan belum pernah diajukan untuk mendapat 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, 15 Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,



Faisal Abdul Raheem

18513221

PRAKATA

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah rabbil 'alamin. Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah Subhanahu wa ta'ala atas segala nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Uji Kandungan Logam Berat Cu, Fe, dan Pb Menggunakan Metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) Pada Air Lindi TPA Piyungan, Bantul” sebagai syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Dalam penulisan laporan ini, penulis menghaturkan terimakasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Sanusi Taslim dan Ibu Sakdiah Tetriyeni selaku orang tua penulis yang selalu memberi semangat serta dukungan dan doa kepada penulis.
2. Saudara Afna, Hisyam, Hari, Pitri, Safir, Zizi, Sufast, Nisa, Arbi, Sahana, dan Irwan selaku saudara, kakak dan keponakan yang selalu menemani penulis dalam keadaan apapun.
3. Bapak Ir. Luqman Hakim, S.T., M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah memberi arahan dan nasihat selama proses penelitian.
4. Saudara Ridwan dan Bagus serta seluruh laboran yang telah membantu penulis selama pengujian sampel penelitian.
5. Saudara Hafizh, Adrian, Idham, Lathifa, Caca, Tasya, Tari, dan *Tongkrongan Offside* yang selalu menemani dan menghibur penulis disetiap waktu.
6. Saudara Faathir, Arjuna, Ilham, dan Hanami selaku teman kelompok tugas akhir yang berjuang bersama dari awal hingga akhir.
7. Teman-teman angkatan 2018 terutama *Duri In TL* dan *Gondes TL* yang telah memotivasi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Pihak-pihak lain yang ikut membantu dalam pembuatan laporan penelitian ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu atas partisipasi, bantuan, dan dukungan yang telah diberikan, semoga mendapat imbalan yang setimpal dari ALLAH SWT.

Pada tugas akhir ini penulis menyadari masih banyak terdapat kekurangan. Maka dari itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari para pembaca agar tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Yogyakarta, 15 Agustus 2022



Faisal Abdul Raheem

18513221





"Halaman ini sengaja dikosongkan"

ABSTRAK

Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Piyungan Bantul menghasilkan air lindi yang akan diproses pada Instalasi Pengolahan Air Lindi (IPAL). Lindi merupakan cairan yang merembes melalui timbunan sampah yang membawa materi tersuspensi dari hasil proses dekomposisi materi sampah. Lindi dari hasil pengolahan IPAL Piyungan memiliki pengaruh terhadap pencemaran lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan logam berat Cu, Fe, dan Pb dan mengetahui pola persebaran pada air lindi TPA Piyungan. Untuk mengetahui kandungan logam berat perlu dilakukan pengambilan sampel dan diuji pada Laboratorium Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia yang mengacu pada SNI 6989-84 Tahun 2019 tentang Cara Uji Kadar Logam Terlarut dan Logam Total Secara Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)-nyala. Pengolahan air lindi terdiri atas kolam maturasi, kolam aerasi, kolam anaerob, dan kolam *outlet*. Logam berat yang terkandung melebihi baku mutu Peraturan Pemerintah No.82 Tahun 2001, Permen LHK No.59 Tahun 2016, dan *Food and Agriculture Organization: Water Quality for Agriculture. Irrigation and Drainage Paper 29 rev.1*, 1985. Hasil dari penelitian ini menunjukkan pengolahan air lindi TPA Piyungan pada kolam *outlet* berturut-turut setiap logam beratnya Cu = 0.030 mg/L, Fe = 0.412 mg/L, dan Pb = 0.606 mg/L. Persebaran kandungan logam berat pada air lindi semakin berkurang setiap titik penelitian dikarenakan adanya proses IPAL TPA Piyungan. Proses pengolahan sudah mengurangi konsentrasi logam berat namun beberapa aliran lindi dari sumber sampah masih ada yang langsung menuju sungai tanpa ada proses pengolahan dan masih tergolong tinggi sehingga mengganggu lingkungan sekitar TPA Piyungan.

Kata Kunci: Air lindi, TPA Piyungan, Tembaga, Besi, Merkuri.

ABSTRACT

The final disposal of Piyungan bantul produces leachate which will be processed at the Wastewater Treatment Plant (WWTP). Leachate is a liquid that seeps through a pile of garbage carrying suspended matter from the decomposition process of waste material. Leachate from the processing of the Piyungan WWTP has an influence on environmental pollution. This study aims to determine the content of heavy metals Cu, Fe, and Pb and to determine the distribution pattern of the leachate at the Piyungan landfill. To determine the content of heavy metals, it is necessary to take samples and test them at the Environmental Engineering Laboratory, Faculty of Civil Engineering and Planning, Islamic University of Indonesia, which refers to SNI 6989-84 of 2019 concerning Methods of Testing Dissolved Metals and Total Metals by Atomic Absorption Spectrophotometry (SSA). The leachate treatment consists of maturation ponds, aeration ponds, anaerobic ponds, and outlet ponds. The heavy metals contained exceed the quality standards of Government Regulation No. 82 of 2001, Permen LHK No. 59 of 2016 and Food and Agriculture Organization: Water Quality for Agriculture. Irrigation and Drainage Paper 29 rev.1, 1985. The results of this study indicate that the leachate treatment of the Piyungan landfill in the outlet pond, respectively, weighs Cu = 0.030 ppm, Fe = 0.412 ppm, and Pb=0.606 ppm. The distribution of heavy metal content in the leachate decreased at each research point due to the Piyungan TPA WWTP process. The treatment process has reduced the concentration of heavy metals, but some leachate flow from the waste source still goes directly to the river without any processing and is still high enough to disturb the environment around the Piyungan final disposal.

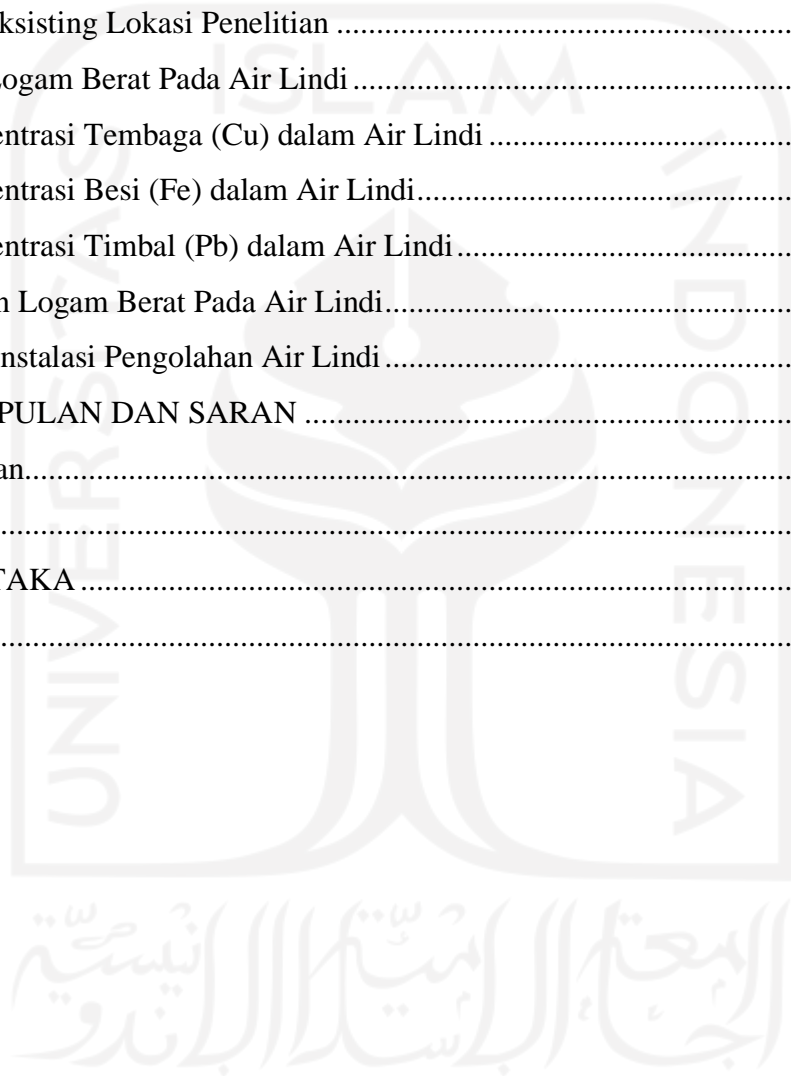
Keywords: *Leachate, TPA Piyungan, Copper, Ferrum, Plumbum*



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN*	ii
PERNYATAAN	iii
PRAKATA	iv
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Ruang lingkup Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Hidrologi Bantul	4
2.2 Tempat Pemrosesan Akhir	4
2.3 Air Lindi	4
2.4 Logam Berat	5
2.4.1 Tembaga (Cu)	5
2.4.2 Besi (Fe)	6
2.4.3 Timbal (Pb)	6
2.5 Instalasi Pengolahan Air Lindi	6
2.5.1 Proses Pengolahan Aerob	7
2.5.2 Proses Pengolahan Anaerob	7
2.6 <i>Atomic Absorption Spectrophotometry</i> (AAS)	8
2.7 Penelitian Terdahulu	8
BAB III METODE PENELITIAN	10
3.1 Tahapan Penelitian	10
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian	10

3.3 Lokasi Pengambilan Sampel	11
3.4 Metode Pengambilan Sampel.....	11
3.5 Metode Pengumpulan Data	12
3.6 Metode Analisis Data	12
3.7 Jenis dan Variabel Penelitian	14
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	15
4.1 Proses Pembentukan Air Lindi.....	15
4.2 Kondisi Eksisting Lokasi Penelitian	15
4.3 Analisis Logam Berat Pada Air Lindi	17
4.3.1 Konsentrasi Tembaga (Cu) dalam Air Lindi	17
4.3.2 Konsentrasi Besi (Fe) dalam Air Lindi.....	18
4.3.3 Konsentrasi Timbal (Pb) dalam Air Lindi.....	19
4.4 Persebaran Logam Berat Pada Air Lindi.....	19
4.5 Efisiensi Instalasi Pengolahan Air Lindi.....	22
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	25
5.1 Kesimpulan.....	25
5.2 Saran.....	25
DAFTAR PUSTAKA.....	26
LAMPIRAN.....	30



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Studi Penelitian Terdahulu.....	9
Tabel 3.1 Standar Acuan dan Metode Pengukuran.....	12
Tabel 4.1 Tabel Konsentrasi Tembaga (Cu) dalam Air Lindi	18
Tabel 4.2 Tabel Konsentrasi Besi (Fe) dalam Air Lindi.....	18
Tabel 4.3 Tabel Konsentrasi Timbal (Pb) dalam Air Lindi	19
Tabel 4.4 Efisiensi Instalasi Pengolahan Air Lindi Logam Berat Cu.....	22
Tabel 4.5 Efisiensi Instalasi Pengolahan Air Lindi Logam Berat Fe	22
Tabel 4.6 Efisiensi Instalasi Pengolahan Air Lindi Logam Berat Pb	22



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian.....	10
Gambar 3. 2 Peta Lokasi Pengambilan Sampel	11
Gambar 3. 3 Metode Pengambilan Sampel.....	12
Gambar 3.4 Pengukuran Logam Berat.....	13
Gambar 4.1 Kondisi Eksisting IPAL TPA Piyungan.....	16
Gambar 4.2 Peta Persebaran Logam Berat Tembaga (Cu).....	20
Gambar 4.3 Peta Persebaran Logam Berat Besi (Fe).....	21
Gambar 4.4 Peta Persebaran Logam Berat Timbal (Pb).....	21



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Lokasi Pengambilan Sampel Air Lindi	30
Lampiran 2. Pengujian Sampel di Laboratorium Kualitas Air FTSP UII.....	32
Lampiran 3. Perhitungan Konsentrasi Logam Berat Cu Pada Air Lindi	33
Lampiran 4. Perhitungan Konsentrasi Logam Berat Fe Pada Air Lindi.....	34
Lampiran 5. Perhitungan Konsentrasi Logam Berat Pb Pada Air Lindi.....	35
Lampiran 6. Perhitungan Efisiensi Pengolahan Air Lindi Konsentrasi Cu	36
Lampiran 7. Perhitungan Efisiensi Pengolahan Air Lindi Konsentrasi Fe	37
Lampiran 8. Perhitungan Efisiensi Pengolahan Air Lindi Konsentrasi Pb.....	38



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta memiliki Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Piyungan yang terletak di Kabupaten Bantul. TPA Piyungan menerima sampah sebanyak 316,9 ribu ton pada tahun 2021 (Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional, 2021). Berdasarkan data SIPSAN Tahun 2021 komposisi sampah didominasi oleh sisa makanan sebesar 53.51%, sampah plastik sebesar 12.77%, sampah kayu/ranting sebesar 9.95%, sampah kertas/karton sebesar 8.56%, sampah kaca sebesar 5.36%, sampah logam sebesar 1.73%, sampah kain sebesar 0.41%, sampah karet/kulit sebesar 0.12%, dan sampah lainnya sebesar 7.59%. Sedangkan sumber sampah berasal dari rumah tangga sebesar 40.84%, perniagaan sebesar 32.67%, fasilitas publik sebesar 17.05%, pasar sebesar 7.14%, perkantoran sebesar 0.96%, kawasan sebesar 0.48%, dan lainnya sebesar 0.86%.

TPA Piyungan telah beroperasi dari tahun 1995 dan telah habis masa pakainya pada tahun 2015, namun hingga saat ini masih dioperasikan dengan mengoptimalkan zona 1 yang sebelumnya telah ditutup (Putra dkk, 2016). Metode pengelolaan yang digunakan di TPA Piyungan yaitu *sanitary landfill*, dimana sampah ditumpuk, dipadatkan lalu ditimbun dengan tanah (Hartantyo, 2005). TPA Piyungan diindikasikan memiliki dampak negatif bagi lingkungan sekitar karena adanya pencemaran yang berasal dari logam berat (Muyassar & Budianta, 2021).

Air lindi adalah limbah cair yang timbul akibat masuknya air eksternal ke dalam timbunan sampah, melarutkan dan membilas materi-materi terlarut, termasuk juga materi organik hasil proses dekomposisi biologis (Hakim, 2016). Air lindi umumnya berasal dari TPA yang mengandung berbagai zat beracun dengan konsentrasi rendah, selain itu juga mengandung zat organik yang tinggi, beberapa komponen warna, dan ammonia-nitrogen ($\text{NH}_4\text{-n}$). Polutan yang paling banyak di dalam air lindi adalah logam berat (Gonti et al., 2017). Kandungan logam air lindi yang baru (*acetogenic*) biasanya lebih besar dibandingkan dengan air lindi yang sudah lama (*methanogenic*) (Kjeldsen et al., 2002).

Logam berat digolongkan dalam polutan beracun bagi lingkungan, meskipun berbagai sumber logam berat ada yang terjadi secara alami di lingkungan yang berperan sebagai manfaat pada lingkungan, terutama dalam pertumbuhan tanaman (Aydinalp & Marinova, 2009). Namun, saat logam berat dalam konsentrasi yang tinggi, polutan dapat berdampak buruk karena efeknya pada mikroba. Terkadang logam secara khas mengganggu aktivitas tanah dan

biomassa bahkan mengurangi komposisi serta keragaman komunitas mikroba tanah (XU dkk, 2015). Salah satu sumber pencemaran logam berat adalah lindi yang dihasilkan oleh operasi TPA, terutama pada negara berkembang (Histopatologi dkk., 2015)

Dari permasalahan diatas, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian tentang kandungan logam berat pada air lindi di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Piyungan. Karena pada air lindi TPA Piyungan tersebut memiliki potensi pencemaran lingkungan yang sangat besar. Air lindi tersebut dapat mengontaminasi kandungan tanah dan memberikan dampak buruk bagi lingkungan sekitar. Maka dari itu peneliti membawa judul penelitian adalah **“Uji Kandungan Logam Berat Cu, Fe, dan Pb Menggunakan Metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) Pada Air Lindi TPA Piyungan, Bantul.”**

1.2 Rumusan Masalah

Adapun permasalahan penelitian ini sebagai berikut:

- 1) Apakah air lindi TPA Piyungan mengandung logam berat Cu, Fe, dan Pb.
- 2) Bagaimana persebaran kandungan logam berat di dalam air lindi TPA Piyungan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

- 1) Menganalisis kandungan logam berat Cu, Fe, dan Pb pada air lindi TPA Piyungan.
- 2) Menganalisis persebaran kandungan logam berat di dalam air lindi TPA Piyungan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

- 1) Bagi Universitas

Sebagai studi literatur mengenai analisis kandungan logam berat di TPA Piyungan.

- 2) Bagi Mahasiswa

Sebagai wadah dan pengalaman bagi mahasiswa menerapkan pengetahuan yang telah didapatkan di Universitas terkait dengan analisis kandungan logam berat di TPA Piyungan.

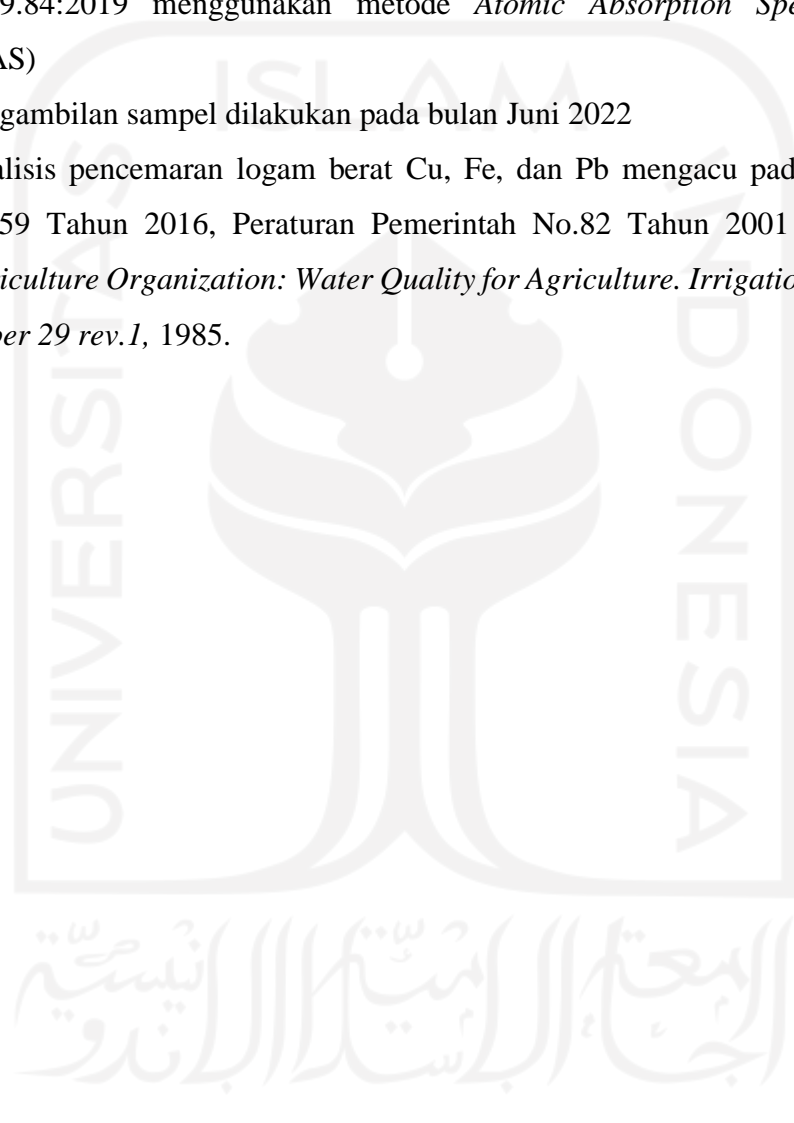
- 3) Bagi Pemerintah dan Masyarakat

Hasil dari penelitian ini dapat dijadikan bahan referensi bagi pemerintah dan masyarakat untuk melihat bagaimana logam berat di dalam air lindi sehingga mendapatkan gambaran mengenai langkah pasti yang akan dilakukan.

1.5 Ruang lingkup Penelitian

Ruang lingkup atau Batasan pada penelitian ini adalah:

- 1) Lokasi penelitian dilakukan di TPA Piyungan, Bantul
- 2) Metode sampling mangacu pada SNI 6989.57:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Permukaan
- 3) Metode pengukuran kandungan logam berat Cu, Fe, dan Pb mengacu pada SNI 6989.84:2019 menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS)
- 4) Pengambilan sampel dilakukan pada bulan Juni 2022
- 5) Analisis pencemaran logam berat Cu, Fe, dan Pb mengacu pada Permen LHK No.59 Tahun 2016, Peraturan Pemerintah No.82 Tahun 2001 dan *Food and Agriculture Organization: Water Quality for Agriculture. Irrigation and Drainage Paper 29 rev.1, 1985.*



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hidrologi Bantul

Kabupaten Bantul terletak pada 110°12'34" sampai 110°31'08"BT dan antara 7°44'04" sampai 8°00'27" LS dengan ketinggian wilayah antara 12-200 MDPL. Kabupaten Bantul merupakan salah satu kabupaten yang memiliki jumlah penduduk sebanyak 954.706 jiwa. Penduduk terbanyak berada di Kapanewon Banguntapan berjumlah 113.298 jiwa, dan paling sedikit berada di Kapanewon Srandakan berjumlah 31.082 jiwa (BPS Kab. Bantul 2021). Menurut klasifikasi iklim Koppen, Bantul memiliki iklim muson tropis. Sama seperti kabupaten lain di Indonesia, musim hujan di Kabupaten Bantul dimulai pada bulan Oktober hingga bulan Maret, dan musim kemarau pada bulan April hingga bulan September. Rata-rata curah hujan di Bantul adalah 90,76 mm, curah hujan paling tinggi pada bulan Desember, Januari, dan Februari. Suhu udara relatif konsisten sepanjang tahun, dengan suhu rata-rata 30°C.

2.2 Tempat Pemrosesan Akhir

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

TPA Piyungan yang terletak di Kabupaten Bantul memiliki jarak ±16 km dari Kota Yogyakarta dan memiliki luas 12 Ha. Jumlah sampah kering dan basah yang masuk ke TPA Piyungan mencapai 1500 m³/hari, namun disaat melayani wilayah Kabupaten Bantul dan Kabupaten Sleman, total sampah naik menjadi 1800 m³/hari.

2.3 Air Lindi

Tumpukan sampah di TPA menghasilkan cairan berwarna coklat tua yang disebut *leachate*. Air tersebut dapat merembes dan masuk ke pori-pori tanah lalu bercampur dengan air tanah (*groundwater*) maupun air permukaan. Jika terkontaminasi, kontaminan tersebut

dapat terpapar ke lingkungan sekitar TPA (SEPA, 2002). Air lindi mengandung senyawa-senyawa organik dan anorganik yang tinggi. Sebagai benda cair, air lindi akan mengalir dari tempat yang tinggi menuju tempat yang rendah. Air lindi dapat masuk ke dalam tanah dan bercampur dengan air tanah sampai dengan 200 meter, atau mengalir di permukaan tanah dan bermuara pada aliran sungai. Hal ini dapat menyebabkan tercemarnya air tanah atau air sungai. Air lindi juga dapat mencemari sumber air minum pada jarak 100 meter dari sumber pencemaran (Mahardika 2010).

2.4 Logam Berat

Logam berat merupakan unsur penting yang diperlukan makhluk hidup. Sebagai *trace element*, Dalam kadar yang sesuai logam berat esensial seperti Selenium (Se), Tembaga (Cu), Besi (Fe), dan Seng (Zn) dibutuhkan untuk menjaga metabolisme tubuh manusia. Sebaliknya logam berat non esensial (*micro element*) tidak memiliki fungsi didalam tubuh manusia, bahkan sangat berbahaya hingga dapat menyebabkan keracunan (toksik) pada manusia diantaranya Merkuri (Hg), Timbal (Pb), Tembaga (Cu), dan Arsenik (As). Logam berat merupakan komponen alami yang terdapat pada kulit bumi dan tidak dapat terdegradasi atau dihancurkan dan merupakan zat berbahaya karena dapat terjadi bioakumulasi. Bioakumulasi adalah peningkatan konsentrasi zat kimia dalam tubuh makhluk hidup dalam waktu yang cukup lama dibandingkan dengan konsentrasi zat kimia yang terdapat di alam (Arifah, 2018).

Logam berat yang mencemari lingkungan baik di udara, air, dan tanah berasal dari proses alami dan kegiatan industri. Proses alami dapat berasal dari bebatuan gunung berapi yang memberikan kontribusi ke lingkungan udara, air, dan tanah. Kegiatan industri, pertambangan, pembakaran bahan bakar, serta kegiatan domestik lain yang mampu meningkatkan kandungan logam di lingkungan udara, air, dan tanah yang dilakukan manusia dapat mencemari lingkungan (Widowati, 2008). Kadmium dan Timbal yang berasal dari pengolahan akhir dapat masuk ke tanah, lindi, dan air tanah. Logam tersebut berbahaya bagi kehidupan organisme, pencernaan, dan kulit (Anita, 2015).

2.4.1 Tembaga (Cu)

Tembaga merupakan unsur logam berbentuk kristal berwarna kemerahan. Tembaga banyak ditemui dalam bentuk logam bebas, namun juga banyak ditemui berupa senyawa padat dalam bentuk mineral. Tembaga dapat masuk ke lingkungan secara alamiah dan non alamiah. Secara alamiah, tembaga dapat masuk dari adanya erosi batuan mineral dan ada yang terbawa ke udara dan dibawa turun oleh air hujan sedangkan secara non alamiah

akibat aktivitas manusia seperti buangan industri yang memakai tembaga dalam proses produksinya (Yudo, 2006).

Tembaga bersifat toksik bagi organisme. Efek dari paparan debu Tembaga dapat membuat gangguan pada saluran pernafasan dan kerusakan atropik pada selaput lendir yang berhubungan dengan hidung. Toksitas tembaga akan bekerja dan mempengaruhi tubuh organisme jika jumlahnya melebihi toleransi rata-rata (Yudo, 2006).

2.4.2 Besi (Fe)

Logam Fe merupakan logam yang berbahaya jika jumlahnya berlebih pada organisme hidup. Tingginya kandungan logam dapat menimbulkan keracunan (muntah), kerusakan usus, penuaan dini, kematian mendadak, radang sendi, cacat lahir, gusi berdarah, kanker, sirosis ginjal, sembelit, diabetes, hepatitis, hipertensi, insomnia dan lainnya (Parulian, 2009). Besi dapat berasal dari pekerjaan kapal laut dan tiang-tiang laut yang mudah berkarat dan dapat masuk ke udara dengan bantuan air hujan (Sonya dkk, 2009).

2.4.3 Timbal (Pb)

Timbal merupakan logam berat yang bersifat lunak serta berwarna biru atau silver abu-abu dengan kilau logam, mempunyai titik leleh 327,4°C dan titik didih 1.620°C. senyawa timbal yang masuk ke dalam tubuh melalui makanan akan mengendap pada jaringan tubuh, sisanya akan terbuang bersama bahan sisa metabolisme (Darmono, 2001). 95% timbal bersifat anorganik dan pada umumnya dalam bentuk gara, anorganik yang umumnya kurang larut dalam air selebihnya berbentuk timbal organik.

Keberadaan timbal dipengaruhi oleh arus angin dan curah hujan. Timbal tidak menguap namun dapat ditemukan di udara dalam bentuk partikel karena timbal merupakan sebuah unsur dan tidak mengalami degradasi dan tidak dapat dihancurkan. Timbal digunakan sebagai bahan pembuat baterai, amunisi, produk logam, perlengkapan medis, keramik, cat, dan campuran bahan untuk meningkatkan oktan.

2.5 Instalasi Pengolahan Air Lindi

Instalasi Pengolahan Air Lindi (IPAL) merupakan suatu struktur yang dibangun untuk membuang limbah biologis dan kimia dari air sehingga memungkinkan air tersebut dapat diolah dan bisa dialirkan secara aman. IPAL memiliki manfaat untuk mengolah air lindi agar dapat digunakan kembali sesuai kebutuhannya, membuat aliran air menuju sungai menjadi bersih, dan melindungi ekosistem serta makhluk hidup yang tinggal di sungai atau saluran pembuangan. Pengolahan lindi adalah suatu kombinasi antara fisik, kimia, dan biologis.

Pengolahan fisik bertujuan mengurangi zat padat yang tersuspensi maupun yang terlarut. Pengolahan ini biasanya digabung dengan pengolahan kimia dan biologis. Pengolahan secara kimia bertujuan untuk mengurangi kandungan ion-ion pada lindi. Proses pengolahan biologis merupakan gabungan pengolahan aerob dan anaerob yang bertujuan mengurangi kandungan bahan organik dalam lindi (Muljadi dan Hari, 2011).

2.5.1 Proses Pengolahan Aerob

Pada proses pengolahan air lindi dengan bakteri aerob, senyawa kimia seperti sulfida dan ammonia, polutan organik akan menguraikan senyawa yang stabil dan aman terhadap lingkungan. Menurut (Yuniarti, 2006) dan (Idaman, 2015), senyawa organik yang terkandung pada air limbah dapat terdegradasi oleh mikroorganisme secara aerob (dengan oksigen). Proses aerob dapat mendegradasi beban pengolahan yang rendah. Reaksi yang terjadi seperti berikut:



Senyawa organik tersebut digunakan oleh mikroorganisme sebagai makanan yang berfungsi untuk tumbuh kembang demi kelangsungan hidup. Pada proses ini menghasilkan lumpur aktif dan perlu dilakukan pengolahan lumpur. Kolam aerob biasanya relative dangkal agar memungkinkan cahaya untuk menembus lapisan air hingga bagian dasar kolam. Hal tersebut bertujuan untuk menjaga DO tersebar di seluruh bagian kolam. Pada saat penyebaran DO merata akan merangsang kinerja ganggang sehingga mencegah terjadinya kondisi anaerob. DO pada air berasal dari fotosintesis yang dilakukan oleh ganggang atau alga dan oksigen yang berasal dari permukaan kolam.

Pemanfaatan dan stabilisasi kandungan organik di air lindi oleh bakteri anaerob bertujuan untuk memperoleh nutrisi. Penggunaan kolam aerob biasanya dilakukan pada daerah yang beriklim hangat dan cerah. Terutama pada daerah yang memiliki tingkat penghapusan BOD yang tinggi tapi dengan ketersediaan lahan yang tidak terbatas.

2.5.2 Proses Pengolahan Anaerob

Proses biologi anaerob merupakan cara pengolahan yang sudah lama dikenal dan ekonomis. Pada awal 1900 proses ini digunakan untuk mengolah lumpur organik yang berasal dari kolam pengendap pada unit pengolahan limbah cair domestik. Menurut (Yuniarti, 2006) dan (Idaman, 2015), zat organik yang terdegradasi secara biologis dalam lingkungan anaerob (tanpa oksigen) oleh mikroorganisme yang dapat menggunakan molekul selain oksigen. Mikroorganisme beraktivitas dengan mendekomposisi secara

anaerobik dan menghasilkan biogas yang mengandung gas metana (CH₄), CO₂ dan Sebagian H₂S. Proses anaerob dapat mendegradasi beban pengolahan yang lebih besar. Reaksi yang terjadi sebagai berikut:



Kolam anaerob biasanya memiliki kedalaman 2-5 m dan menerima limbah dengan beban organik tinggi. Kolam anaerob berfungsi untuk mengolah air yang keluar dari kolam penampungan yang mengandung BOD tinggi. Proses yang terjadi yaitu proses anaerob (tanpa oksigen) sehingga kedalaman kolam ini dibuat sedemikian rupa dan pada permukaan dibiarkan terbentuk kerak buih sebagai pencegah sinar matahari masuk ke dalam kolam (Mara, 2003).

2.6 Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)

Spektrofotometer merupakan suatu cara dalam menentukan kandungan logam berat pada suatu materi dalam bentuk kuantitatif maupun kualitatif. Spektrofotometer (AAS) merupakan alat yang menerapkan prinsip kerja untuk menentukan konsentrasi logam berat pada kandungan air dan tanah. Prinsip kerja spektrofotometer pada dasarnya mempunyai prinsip penyerapan sinar dengan 8 variabel gelombang yang telah ditentukan oleh atom-atom yang dibebaskan oleh api dan nyala. Untuk memperkuat prinsip kerja ini didasarkan dengan hukum AAS yaitu Hukum Lambert dan Hukum Beer yang dikombinasikan menjadi Hukum Lambert Beer. Hukum Lambert berbunyi “bila suatu sinar monokromatik melewati medium transparan, maka intensitas sinar yang diteruskan berkurang dan bertambahnya ketebalan medium yang dilalui sinar”, dan Hukum Beer berbunyi “Intensitas sinar yang diteruskan berkurang secara eksponensial dengan bertambahnya konsentrasi unsur yang menyerap sinar tersebut” (Sugianto dkk, 2013).

2.7 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai kandungan logam berat di Tempat Pemrosesan Akhir telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya, hal ini penting karena dapat menjadi rujukan pembahasan pada kegiatan penelitian. Berikut beberapa hasil penelitian yang telah dilakukan :

Tabel 2.1 Studi Penelitian Terdahulu

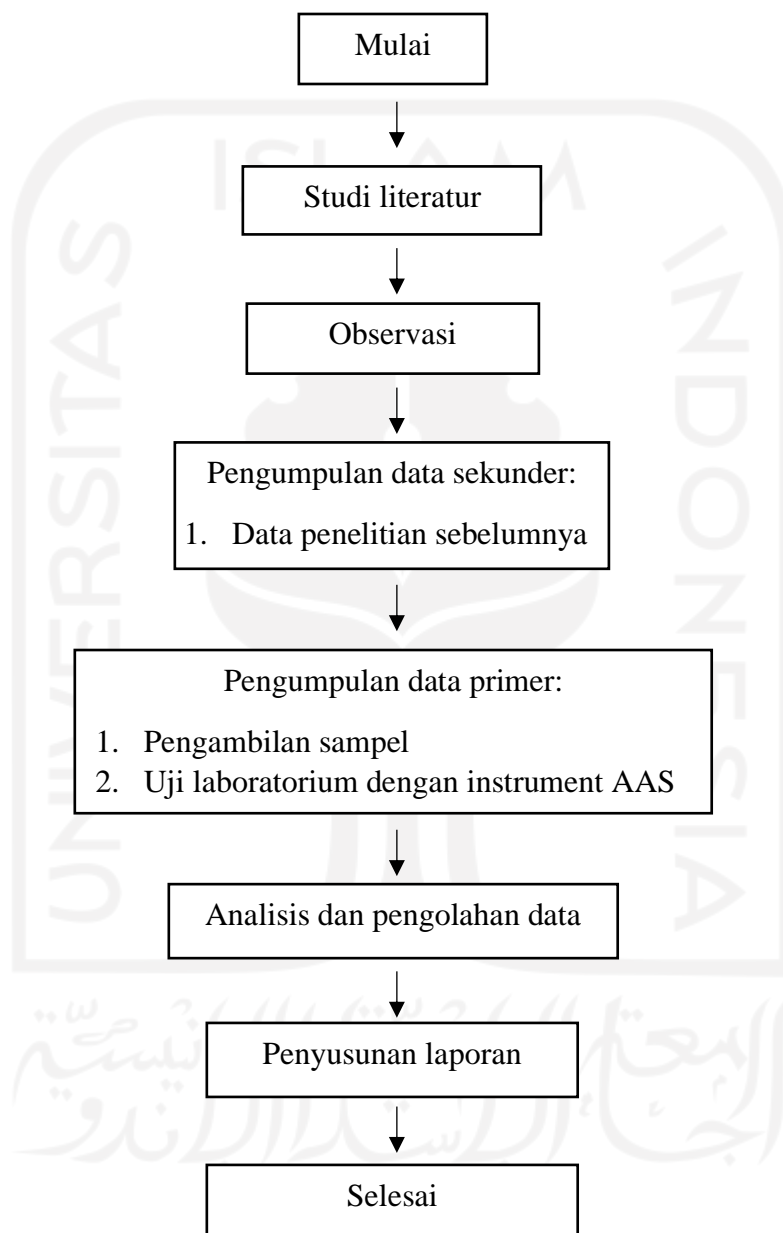
No	Peneliti	Tahun	Judul	Hasil Penelitian
1	Fadlul Laili	2021	Analisa Kualitas Air Lindi dan Potensi Penyebarannya Ke Lingkungan sekitar TPA Gunung Tugel Kabupaten Banyumas	Konsentrasi rata-rata logam berat Pb = 0.126 mg/L; Cd = 0.034 mg/L; Cu = 0.034 mg/L; Mn = 0.903 mg/L; Cr = 0.012 mg/L; Zn = 0.789 mg/L dan Fe = 3.77 mg/L
2	Faisal Akbar	2020	Analisis Kandungan Logam Berat di Dalam Tanah TPA Gunung Tugel Banyumas	Kandungan Cu di area TPA 7.35 mg/kg lebih tinggi dibandingkan dengan area persawahan 1.16 mg/kg
3	J. Sartobadi, dkk	2005	Penyebaran Air Tanah Bebas Tercemar Air Lindi di Sekitar TPA Piyungan Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta	Pola persebaran airtanah bebas tidak merata disekitar TPA Piyungan.
4	Erwin A, dkk	2017	Studi Interrelasi Air Tanah dan Air Lindi di Sekitar TPST Piyungan Yogyakarta	Tidak adanya sampel tanah TPA Piyungan yang mengalami interrelasi dengan air lindi



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Adapun tahapan penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian

3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Waktu untuk penelitian direncanakan berlangsung selama 6 bulan terhitung sejak Maret 2022 hingga September 2022. Penelitian ini dilakukan di TPA Piyungan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Pengambilan dilakukan pada kolam pengolahan air lindi TPA

Piyungan dan aliran air lindi. Setelah dilakukan pengambilan sampel air maka akan diteliti di Laboratorium Kualitas Air Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

3.3 Lokasi Pengambilan Sampel

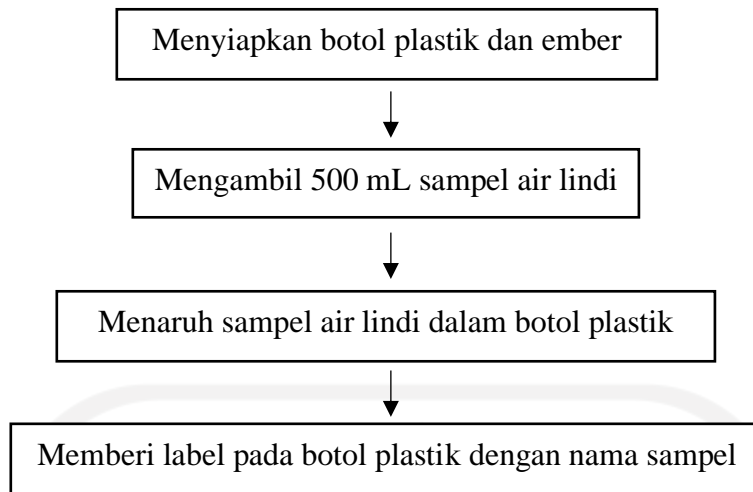
TPA Piyungan memiliki kolam pengolahan air lindi yang sejak tahun 1955 sudah dibangun dan sudah beberapa kali dilakukan pembaharuan. Pengambilan sampel dilakukan pada 6 titik yaitu selokan utara, selokan selatan, kolam maturasi, kolam aerasi, kolam anaerob, dan kolam *outlet*. Pengambilan sampel untuk mengetahui konsentrasi logam berat disetiap kolam pengolahan.



Gambar 3. 2 Peta Lokasi Pengambilan Sampel

3.4 Metode Pengambilan Sampel

Metode pengambilan sampel air lindi dilakukan pada beberapa aliran dan kolam pengolahan. Pengambilan sampel menggunakan ember dan diambil pada bagian tengah kolam sebanyak 500 mL. Setelah diambil lalu dimasukkan ke dalam botol plastik dan diberi label. Berikut merupakan Gambar 3.3 cara pengambilan sampel air lindi:



Gambar 3. 3 Metode Pengambilan Sampel

3.5 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada penelitian ini berdasarkan data primer dan data sekunder. Data primer didapat dari survei lokasi penelitian dan pengujian air lindi TPA Piyungan. Sedangkan data sekunder berdasarkan jurnal ilmiah, web resmi, buku-buku, tugas akhir dan referensi lainnya yang terpercaya. Pengujian air lindi diukur secara *in situ* dan *ex situ*. Pengujian *in situ* dilakukan pada pH. Sedangkan pengujian *ex situ* dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Metode pengambilan sampel mengacu pada SNI 6989.57:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Permukaan, penentuan lokasi sampling menggunakan metode *purposive sampling* yaitu sampel diambil dengan mengidentifikasi kriteria atau karakteristik tertentu untuk mendukung penelitian.

Tabel 3.1 Standar Acuan dan Metode Pengukuran

Variabel	Parameter	Acuan	Metode	Pengukuran
Variabel Utama	Tembaga (Cu)	SNI 6989.84:2019	Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)	Ex situ Laboratorium
	Besi (Fe)			
	Timbal (Pb)			

3.6 Metode Analisis Data

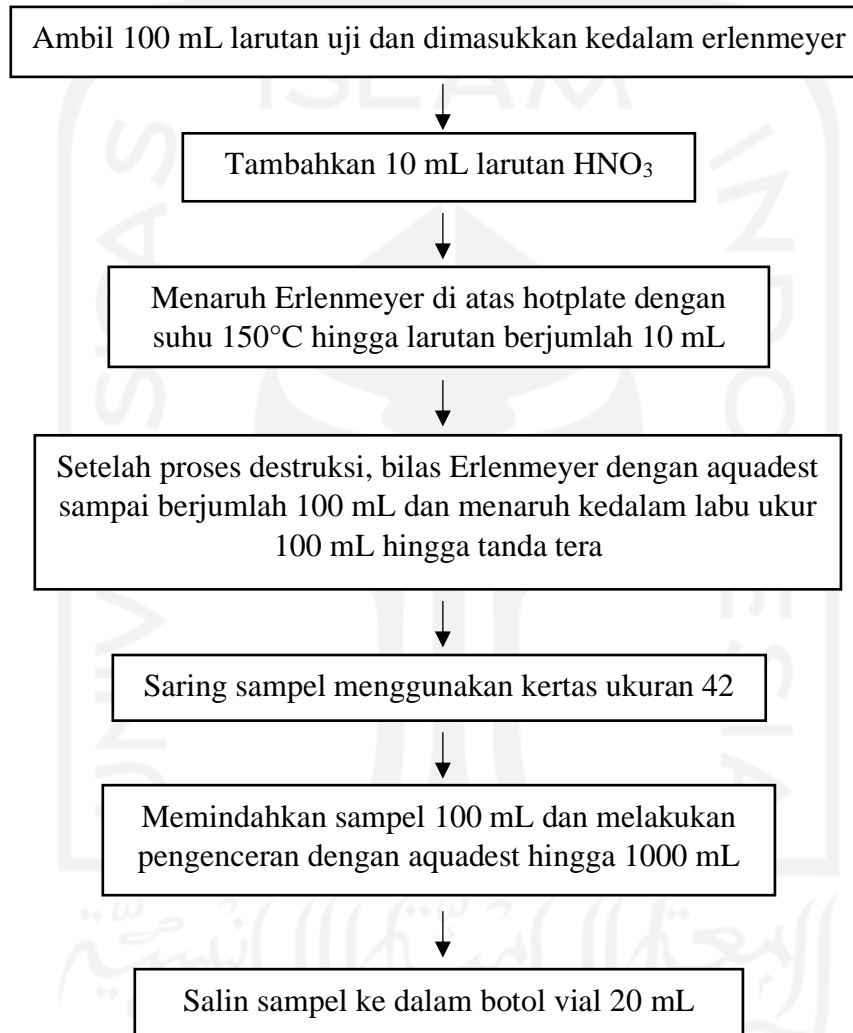
3.6.1 Analisis Kandungan Logam Berat

Logam berat yang akan dianalisa keberadaannya dalam sampel air lindi yaitu Besi (Fe), Tembaga (Cu), dan Timbal (Pb). Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 6989.84:2019) dan logam berat dalam suatu sampel dapat dianalisa dengan metode Spektrofotometri Serapan

Atom (SSA) sistem nyala. Analisa dilakukan di Laboratorium Kualitas Air, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia dengan bantuan dari laboratorian setempat.

3.6.2 Pengukuran Logam Berat

Pengukuran logam berat Cu, Fe, dan Pb sebelum dilakukannya pengujian dan perhitungan kadar logam harus melewati proses destruksi. Adapun langkah-langkah sebagai berikut:



Gambar 3.4 Pengukuran Logam Berat

Pengujian dilakukan dengan pembuatan larutan contoh uji, larutan baku logam Tembaga (Cu) 100 mg/L, larutan baku logam Tembaga (Cu) 10 mg/L, larutan kerja logam Tembaga (Cu). Setelah diketahui kandungan Tembaga (Cu) pada setiap titik sampling, dibuat grafik berdasarkan konsentrasi Tembaga (Cu) untuk mengetahui pola sebaran Tembaga (Cu) di lokasi penelitian. Konsentrasi logam Tembaga (Cu) dapat dihitung sebagai berikut:

$$Cu \text{ (mg/L)} = C \times fp$$

C = Konsentrasi yang didapat hasil pengukuran

Fp = Faktor pengencer

Jika kandungan logam berat tidak dapat dibaca oleh instrumen karena terlalu tinggi konsentrasi, maka akan dilakukan pengenceran yang berguna untuk mendeteksi kandungan tersebut.

3.6.3 Efisiensi Instalasi Pengolahan Air Lindi

Efisiensi instalasi pengolahan air lindi dapat dilihat dari penurunan parameter pencemar air lindi (logam berat Cu, Fe, dan Pb) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$E = \frac{C_o - C_i}{C_o} \times 100\%$$

E = efisiensi (%)

C_o = konsentrasi logam berat sebelum diolah (mg/L)

C_i = konsentrasi logam berat setelah diolah (mg/L)

(Muljadi dan Hari, 2011)

3.7 Jenis dan Variabel Penelitian

Penelitian kualitatif yang dilakukan dengan mengambil sampel air lindi dan menguji agar mengetahui besar kandungan logam berat Cu, Fe, dan Pb pada air lindi TPA Piyungan. Variabel yang digunakan yaitu variabel utama dan variabel pendukung. Variabel utama yaitu logam berat Cu, Fe, dan Pb. Dan variabel pendukung yaitu suhu dan pH yang diukur langsung pada lokasi penelitian.

Mencari persebaran logam berat yang terdapat pada air lindi bisa menggunakan *Geographic Information System (GIS)* yaitu QGIS untuk membantu dalam pembuatan peta titik, zona, dan persebaran. Lalu tiap titik koordinat sampel dimasukkan ke dalam Microsoft Excel dan diubah menjadi format *Universal Transverse Mercator (UTM)* dan disimpan pada Microsoft Excel dalam bentuk X dan Y, setelah itu disimpan dan mengekspor ke QGIS agar dapat mengetahui titik logam berat sampel berdasarkan titik koordinat. Kemudian hasil ditampilkan pada peta. Titik sampel ditandai dengan point.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses Pembentukan Air Lindi

Menurut Chen (1975), Proses dekomposisi terjadinya lindi ketika penumpukan sampah yang ditandai dengan adanya perubahan secara fisik, kimia, dan biologis pada sampah. Proses yang terjadi yaitu:

- 1) Penguraian biologis bahan organik secara aerob dan anaerob yang menghasilkan gas dan cairan.
- 2) Oksidasi kimiawi.
- 3) Pelepasan gas dari timbunan sampah.
- 4) Pelarutan bahan organik dan anorganik oleh air dan lindi yang melewati timbunan sampah.
- 5) Perpindahan materi terlarut karena gradien konsentrasi dan osmosis
- 6) Penurunan permukaan yang disebabkan oleh pemadatan sampah yang mengisi ruang kosong pada timbunan sampah.

Salah satu hasil dari rangkaian proses pembentukan diatas yaitu terbentuknya lindi yang berupa cairan. Kuantitas lindi yang timbul oleh timbunan sampah pada di TPA dipengaruhi oleh:

- 1) Presipitasi atau aliran permukaan yang berinfiltrasi ke dalam timbunan.
- 2) air tanah dari sumber lain yang bergerak dalam arah horizontal melalui tempat penimbunan.
- 3) Kandungan dari sampah itu sendiri.
- 4) Air dari proses dekomposisi bahan organik pada sampah,

Sampah domestik akan membuat keberagaman kualitas air lindi yang tinggi. Waktu menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas air lindi. Air lindi yang masih baru membuat kandungan bahan organik dan bahan pencemar lebih tinggi dibandingkan dengan air lindi yang sudah berada lama di *landfill*.

4.2 Kondisi Eksisting Lokasi Penelitian

TPA Piyungan yang terletak di Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul telah beroperasi sejak tahun 1995. Pemerintah Daerah Istimewa Yogyakarta mengelola TPA Piyungan sampai dengan tahun 2019. Setelah itu, TPA Piyungan dikelola oleh Badan

Pengelolaan Sampah Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan DIY. Dalam meningkatkan kegunaan TPA Piyungan, Kementerian PUPR melalui BPPW DIY memperbaiki dan menata sel sampah berbentuk terasering, optimalisasi Instalasi Pengolahan Lindi, dan dilakukan perbaikan sarana dan prasarana pada sel eksisting TPA Piyungan. Kondisi ini berguna untuk menampung kapasitas sampah hingga akhir tahun 2022.



Gambar 4.1 Kondisi Eksisting IPAL TPA Piyungan

Lindi merupakan cairan dengan bau tidak sedap dan warna gelap yang umumnya mengandung bahan organik dan anorganik tinggi (Yao, 2013). Warna lindi menggambarkan besarnya konsentrasi bahan organik pada lindi. Pada umumnya TPA melalui proses dekomposisi sampah organik akan menghasilkan gas-gas dan cairan yang disebut lindi. Lindi mengandung bahan-bahan biologi, kimia, baik organik maupun anorganik dan sejumlah bakteri patogen. Dalam lindi tersebut mengandung amoniak, krom, dan mikroba parasit seperti kutu air (*sarcoptes sp*) yang dapat menyebabkan gatal pada kulit. Dengan demikian buangan lindi yang berwarna keruh dan melebihi baku mutu limbah cair akan mencemari tanah dan sungai apabila tidak diolah terlebih dahulu (Joko dan Budi, 2007).

Timbunan sampah pada TPA Piyungan semakin hari semakin banyak yang mengharuskan adanya pembangunan IPAL. Pada saat pengambilan sampel, pembangunan kolam sedang dilakukan. Diantaranya yaitu kolam filtrasi yang menggunakan batu kerikil untuk menyaring kotoran dan pembuatan saluran dari selokan menuju kolam pengolahan. Lokasi penelitian dilakukan pada beberapa titik. Titik pertama yaitu pada selokan utara dan titik kedua pada selokan selatan dimana selokan tersebut merupakan aliran lindi dari tumpukan sampah menuju IPAL. Titik ketiga adalah kolam maturasi yang berfungsi menampung aliran dari pipa dan selokan untuk tahapan pertama pemrosesan, pada kolam maturasi lindi ditampung pada dua buah kolam utama dan diberikan *Poly Aluminium Chlorida* yang berfungsi sebagai bahan penjernih air. Setelah itu lindi akan dialirkan menuju kolam aerasi berjumlah tiga yang

akan melewati proses pemberian udara tambahan oleh mesin yang disebut *Bubble Orator* selama 24 jam tanpa henti. Setelah itu pada akhir kolam aerasi akan ditambahkan *Calcium Hypochlorite* untuk mengurangi kandungan logam pada lindi. Lalu lindi dialirkan menuju titik kelima yaitu kolam anaerob dimana pada tahapan ini dilakukan sedimentasi agar kotoran yang terkandung pada lindi mengendap dibawah. Pada proses akhir menuju titik keenam yaitu kolam *outlet* yang berfungsi untuk tahapan akhir penampungan sebelum lindi dibuang menuju aliran sungai.

4.3 Analisis Logam Berat Pada Air Lindi

Metode *open dumping* merupakan suatu cara yang membuang dengan hanya menumpuk sampah begitu saja tanpa ada perlakuan khusus, sehingga dapat menyebabkan gangguan terhadap lingkungan (Royadi, 2006). Metode ini dapat menimbulkan perembesan air lindi melalui kapiler-kapiler air dalam tanah hingga mencemari sumber air tanah, terlebih di musim hujan. Efek pencemaran bisa berakumulasi jangka Panjang dan membutuhkan pemulihan yang lama. Metode ini sudah sangat kuno dan tidak diperbolehkan lagi karena sangat berpotensi mencemari lingkungan (Agung, 2013).

Kandungan air lindi berbahaya karena dapat masuk ke lingkungan sekitar. Air lindi berdampak bagi air tanah, ekosistem sungai, aliran air, dan laut. Air lindi mengandung parasit dan logam berat. Kualitas air lindi dipengaruhi oleh karakteristik limbah, musim, umur sampah, dan waktu pengambilan sampel (Anita, 2015). Logam berat yang terkandung pada air lindi dipengaruhi oleh air hujan yang tercampur dengan sampah dan membawa kandungan logam tersebut menuju kolam lindi. Parameter logam berat yang diuji pada penelitian ini yaitu Tembaga (Cu), Besi (Fe), dan Timbal (Pb). Sampel air lindi didestruksi menggunakan HNO_3 kemudian dibaca menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometry*. Pengambilan sampel dilakukan pada tanggal 30 Juni 2022. Sampel dibandingkan dengan baku mutu Permen LHK No.59 Tahun 2016, Peraturan Pemerintah No.82 Tahun 2001 dan *Food and Agriculture Organization*.

4.3.1 Konsentrasi Tembaga (Cu) dalam Air Lindi

Logam tembaga secara alami masuk ke lingkungan dari peristiwa erosi, pengikisan batuan maupun dari air hujan. Tembaga juga dapat berasal dari kegiatan industri, kegiatan rumah tangga dan dari pembakaran serta mobilitas bahan bakar. Tembaga termasuk logam berat esensial. Meskipun beracun tetapi tetap dibutuhkan manusia dalam jumlah kecil (Palar, 1994). Logam tembaga biasanya berasal dari batu

baterai, kabel, alat listrik, pipa, dan lain sebagainya (Sari dan Afdal, 2017). Berikut Tabel 4.1 menunjukkan konsentrasi tembaga di dalam air lindi TPA Piyungan:

Tabel 4.1 Tabel Konsentrasi Tembaga (Cu) dalam Air Lindi

No	Titik Lokasi	Konsentrasi (mg/L)
1	Selokan Utara (S1)	0.131
2	Selokan Selatan (S2)	0.136
3	Kolam Maturasi (S3)	0.109
4	Kolam Aerasi (S4)	0.064
5	Kolam Anaerob (S5)	0.017
6	Kolam <i>Outlet</i> (S6)	0.030
Baku Mutu PP No.82 Tahun 2001		0.2

Pada tabel 4.1 konsentrasi logam berat Tembaga (Cu) pada sampel air lindi TPA Piyungan tidak melebihi baku mutu PP No.82 Tahun 2001. Konsentrasi Tembaga paling tinggi terdapat pada selokan selatan sebesar 0.131 mg/L dan paling rendah terdapat pada kolam anaerob sebesar 0.017 mg/L.

4.3.2 Konsentrasi Besi (Fe) dalam Air Lindi

Besi secara alami di sungai, danau, dan air bawah tanah, ini juga dapat dilepas dari deposit alami, limbah industri, korosi logam, dan pemurnian bijih besi (Sari dan Afdal, 2017). Berikut Tabel 4.2 menunjukkan konsentrasi besi didalam air lindi TPA Piyungan:

Tabel 4.2 Tabel Konsentrasi Besi (Fe) dalam Air Lindi

No	Titik Lokasi	Konsentrasi (mg/L)
1	Selokan Utara (S1)	6.616
2	Selokan Selatan (S2)	5.935
3	Kolam Maturasi (S3)	6.827
4	Kolam Aerasi (S4)	4.089
5	Kolam Anaerob (S5)	0.457
6	Kolam <i>Outlet</i> (S6)	0.412
Baku Mutu <i>Food and Agriculture Organization</i>		0.3

Pada tabel 4.2 konsentrasi logam berat Besi (Fe) pada sampel air lindi TPA Piyungan secara keseluruhan melebihi baku mutu *Food and Agriculture Organization: Water Quality for Agriculture. Irrigation and Drainage Paper 29 rev.1, 1985.*

Konsentrasi besi paling tinggi terdapat pada kolam maturasi sebesar 6.616 mg/L dan paling rendah terdapat pada kolam *outlet* sebesar 0.412 mg/L. Rata-rata. Konsentrasi Fe yang tinggi dapat dilihat berdasarkan air lindi yang berwarna hitam coklat pekat (Suhendrayatna, 2017). Pada IPAL TPA Piyungan, air yang berwarna hitam kecoklatan terdapat pada selokan utara, selokan selatan, kolam maturasi dan kolam aerasi.

4.3.3 Konsentrasi Timbal (Pb) dalam Air Lindi

Logam berat timbal yang tersuspensi dalam perairan pada nilai tertentu akan menjadi racun bagi kehidupan perairan. Meskipun daya racun yang dihasilkan terhadap semua biota tidak sama, namun dapat memutuskan suatu mata rantai kehidupan. Pada tingkat lanjut, keadaan ini dapat menghancurkan suatu tatanan ekosistem.

Pada TPA Piyungan ditemukan beberapa benda yang kemungkinan penyebab dari pencemaran timbal seperti batu baterai, bekas kaleng cat, dan lain sebagainya (Sari dan Afdal, 2017). Berikut tabel yang menunjukkan konsentrasi timbal didalam air lindi TPA Piyungan:

Tabel 4.3 Tabel Konsentrasi Timbal (Pb) dalam Air Lindi

No	Titik Lokasi	Konsentrasi (mg/L)
1	Selokan Utara (S1)	1.131
2	Selokan Selatan (S2)	1.146
3	Kolam Maturasi (S3)	1.073
4	Kolam Aerasi (S4)	1.088
5	Kolam Anaerob (S5)	0.854
6	Kolam <i>Outlet</i> (S6)	0.606
Baku Mutu Permen LHK No.59 Tahun 2016		0.005

Pada tabel 4.3 konsentrasi logam berat Timbal (Pb) pada sampel air lindi TPA Piyungan melebihi baku mutu PP No.82 Tahun 2001. Konsentrasi timbal paling tinggi terdapat pada selokan selatan sebesar 1.146 mg/L dan paling rendah terdapat pada kolam *outlet* sebesar 0.060 mg/L.

4.4 Persebaran Logam Berat Pada Air Lindi

Persebaran arah potensi air lindi berguna untuk mengetahui kemana arah aliran air lindi yang keluar dari beberapa titik di area TPA akan menuju. TPA Piyungan berada pada area perbukitan yang dibawahnya terdapat pemukiman dan persawahan. Pada dasarnya, area TPA yang terletak di perbukitan akan membuat aliran lindi mengikuti topografi wilayah. Aliran

utama air lindi menuju selokan utara, selokan selatan, dan kolam maturasi. Setelah itu melewati pengolahan.

Berdasarkan data konsentrasi logam berat, maka dapat disimpulkan bahwa air lindi dari TPA Piyungan masih berpotensi mencemari lingkungan karena kandungan logam berat pada kolam *outlet* masih melebihi baku mutu. Sebagian air lindi yang muncul dari timbunan tanah akan merembes masuk dan terakumulasi di dalam tanah. Sebagian lagi akan mengalir mengikuti topografi yang lebih rendah dan masuk ke dalam IPAL. Persebaran logam berat pada air lindi TPA Piyungan memiliki nilai konsentrasi yang bervariasi. Kondisi yang belum stabil ini dapat dipengaruhi oleh adanya proses pembangunan disekitar IPAL yang membuat pengolahan tidak berjalan dengan maksimal.

Sampling dilakukan pada enam titik. Titik pertama dan kedua yaitu selokan utara dan selokan selatan yang alirannya tidak melalui proses pengolahan IPAL TPA Piyungan. Titik ke tiga yaitu kolam maturasi, setelah itu menuju titik ke empat yaitu kolam aerasi. Titik ke lima yaitu kolam anaerob dan terakhir menuju kolam *outlet* sebelum dibuang ke aliran sungai.

Pada penjelasan persebaran digambarkan dengan simbol segitiga merah untuk kandungan logam kurang dari baku mutu dan segitiga biru untuk kandungan logam berat lebih dari baku mutu. Berikut merupakan peta persebaran logam berat pada air lindi:



Gambar 4.2 Peta Persebaran Logam Berat Tembaga (Cu)



Gambar 4.3 Peta Persebaran Logam Berat Besi (Fe)



Gambar 4.4 Peta Persebaran Logam Berat Timbal (Pb)

Pada Gambar 4.2 menggambarkan bahwa kandungan logam berat Cu di setiap titik tidak melewati baku mutu Peraturan Pemerintah No.82 Tahun 2001. Kandungan Cu saat pertama masuk dari timbunan sampah sebesar 0.1 mg/L dan saat proses akhir pada yang akan dialirkan menuju sungai sebesar 0.03 mg/L. Kemudian Pada Gambar 4.3 menggambarkan persebaran logam berat Fe di setiap titik melebihi baku mutu. Saat pertama masuk sebesar 6 mg/L dan saat pengolahan akhir masih melebihi baku mutu sebesar 0.4 mg/L yang mana baku

mutu *Food and Agriculture Organization* 0.3 mg/L. Proses pengolahan di IPAL sudah mengurangi kandungan Fe secara signifikan namun masih belum di bawah baku mutu. Sedangkan Pada Gambar 4.4 menggambarkan persebaran logam berat Pb masih melebihi baku mutu Permen LHK No.59 Tahun 2016. Kandungan logam pada air lindi yang masuk sebesar 1.1 mg/L dan saat proses akhir sebesar 0.6 mg/L. Baku mutu yang diharuskan sebesar 0.005 mg/L.

Dari peta persebaran logam berat menggambarkan bahwa hampir keseluruhan parameter masih berada di atas baku mutu. Kondisi ini dapat menyebabkan aliran setelah pengolahan menjadi tercemar akibat air lindi TPA Piyungan. Faktor kondisi lingkungan sekitar perlu diperhatikan agar air lindi tidak membahayakan lingkungan dan ekosistem air.

4.5 Efisiensi Instalasi Pengolahan Air Lindi

Hasil pengujian menunjukkan bahwa efisiensi instalasi pengolahan air lindi di TPA Piyungan dengan proses kolam maturasi, kolam aerasi, kolam anaerob, dan kolam *outlet* terhadap penurunan logam berat Cu dapat dilihat pada tabel 4.4, sedangkan untuk logam berat Fe dapat dilihat pada tabel 4.5, dan untuk logam berat Pb dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.4 Efisiensi Instalasi Pengolahan Air Lindi Logam Berat Cu

Titik Lokasi	Cu (mg/L)	Co-Ci	Efisiensi (%)
Kondisi Awal	0.134	0	0
Kolam Maturasi	0.109	0.025	18
Kolam Aerasi	0.064	0.045	41
Kolam Anaerob	0.017	0.047	73
Kolam <i>Outlet</i>	0.030	-0.013	-76

Tabel 4.5 Efisiensi Instalasi Pengolahan Air Lindi Logam Berat Fe

Titik Lokasi	Fe (mg/L)	Co-Ci	Efisiensi (%)
Kondisi Awal	6.275	0	0
Kolam Maturasi	6.827	-0.552	-8
Kolam Aerasi	4.089	2.738	40
Kolam Anaerob	0.457	3.632	88
Kolam <i>Outlet</i>	0.412	0.045	9.8

Tabel 4.6 Efisiensi Instalasi Pengolahan Air Lindi Logam Berat Pb

Titik Lokasi	Pb (mg/L)	Co-Ci	Efisiensi (%)
Kondisi Awal	1.138	0	0

Titik Lokasi	Pb (mg/L)	Co-Ci	Efisiensi (%)
Kolam Maturasi	1.073	0.065	57
Kolam Aerasi	1.088	-0.015	-1.4
Kolam Anaerob	0.854	0.234	21
Kolam <i>Outlet</i>	0.606	0.248	29

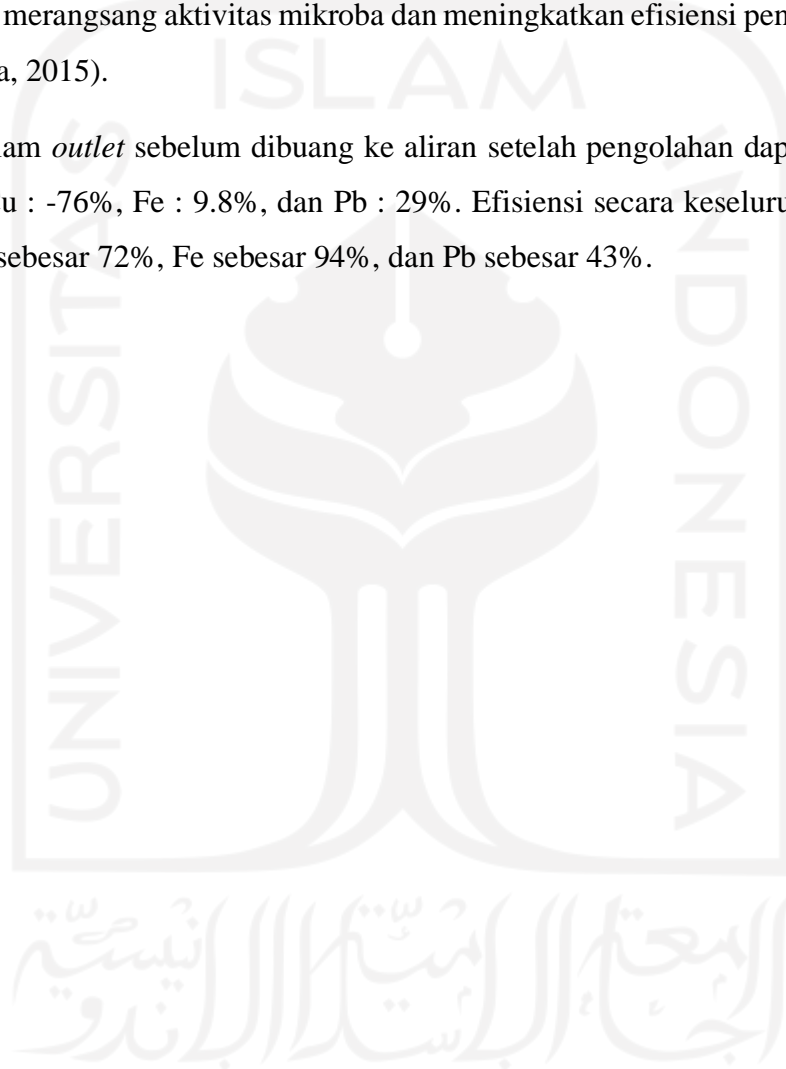
Efisiensi instalasi pengolahan dijelaskan dengan satuan persen (%). Hasil efisiensi dapat berupa hasil positif maupun hasil negatif. Hasil positif jika uji kandungan turun dari pengolahan sebelumnya seperti pada Tabel 4.6 menunjukkan hasil positif karena hasil uji kandungan turun dari angka 1.088 mg/L pada kolam aerasi ke angka 0.854 mg/L pada kolam anaerob. Sedangkan jika hasil negatif ketika uji kandungan turun seperti Tabel 4.6 kolam maturasi dengan angka 1.073 mg/L dan pada kolam aerasi dengan angka 1.088 mg/L. Adapun hal yang dapat mempengaruhi hasil negatif atau kenaikan konsentrasi pada pengolahan ketika suatu logam berat memiliki sifat amfoter yaitu reaksi antara logam berat dengan asam maupun basa yang bisa mempengaruhi kelarutan logam berat pada air lindi (Muljadi dan Hari, 2011). Selain itu, jika kolam pengolahan masih terdapat sampah yang tidak tersaring maka akan menjadi bahan biosorpsi kadar logam berat disekitarnya, karena bahan organik dapat mengikat logam berat yang ada di air (Ramliia dkk, 2018).

Pada kolam maturasi menggunakan *Poly Aluminium Chloride* yang dapat berpengaruh terhadap pengurangan konsentrasi logam berat. Fungsi utama PAC sebagai penjernih air namun dapat mengurangi kandungan logam berat dengan efisiensi pada Cu : 18%, Fe : -8%, dan Pb : 57%. Fungsi utama dari kolam maturasi untuk menghancurkan patogen *I*. Pada kolam ini bakteri *Faecal* dan virus mati dengan kecepatan yang tinggi sebab pada kolam ini merupakan kolam dengan kondisi lingkungan yang tidak baik bagi bakteri tersebut (Minson dkk, 2020).

Pada kolam aerasi menggunakan alat *Bubble Orator* yang sering berfungsi untuk menurunkan kadar logam berat pada air. Metode ini berguna untuk menghasilkan interaksi antara air lindi dan udara agar logam berat bereaksi dengan oksigen di udara. Semakin banyak pengulangan maka semakin bagus hasil yang diperoleh. Aerasi dan penambahan *Calcium Hypochlorite* pada kolam aerasi mengurangi kadar kandungan logam berat dengan efisiensi pada Cu : 41%, Fe : 40%, dan Pb : -1.4%. Dalam proses aerasi oksigen digunakan untuk menguraikan polutan dan jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai polutan tersebut harus sebanding dengan konsentrasi polutan yang terkandung dalam air limbah (Nusa dan Dinda, 2015).

Pada kolam anaerob melakukan sedimentasi atau pengendapan secara fisik membuat kandungan logam berat turun di dasar kolam dan menjadi lumpur. Kandungan logam berat tersebut memiliki efisiensi saat sedimentasi pada Cu : 73%, Fe : 88%, dan Pb : 21%. Proses anaerob dapat mengurai mikroorganisme dan menghasilkan gas methane dan H₂S (Wahyu dan Nusa, 2005). Fungsi dari gas methane berguna untuk bahan bakar gas yang kaya energi seperti yang dapat digunakan untuk generator pembangkit listrik atau boiler/pembangkit uap. Jumlah bakteri berpengaruh terhadap kecepatan reaksi polutan. Hal ini dikarenakan pembagian mineral anorganik dapat merangsang aktivitas mikroba dan meningkatkan efisiensi pengolahan air lindi (Nusa dan Dinda, 2015).

Pada kolam *outlet* sebelum dibuang ke aliran setelah pengolahan dapat menunjukkan efisiensi pada Cu : 76%, Fe : 9.8%, dan Pb : 29%. Efisiensi secara keseluruhan pengolahan pada logam Cu sebesar 72%, Fe sebesar 94%, dan Pb sebesar 43%.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

- 1) Hasil dari penelitian ini menunjukkan pengolahan air lindi TPA Piyungan pada awal pengolahan kolam maturasi berturut-turut setiap logam beratnya Cu = 0.109 mg/L, Fe = 6.827 mg/L, dan Pb = 1.073 mg/L sedangkan pada akhir pengolahan kolam *outlet* berturut-turut setiap logam beratnya Cu = 0.030 mg/L, Fe = 0.412 mg/L, dan Pb = 0.606 mg/L.
- 2) Persebaran logam berat pada air lindi terus berkurang dari awal pengolahan hingga akhir pengolahan karena adanya Instalasi Pengolahan Air Lindi TPA Piyungan.

5.2 Saran

- 1) TPA Piyungan perlu memperbaiki kolam pengolahan karena jumlah lindi yang terus meningkat dan beberapa kandungan logam berat masih di atas baku mutu.
- 2) TPA Piyungan perlu lebih memperhatikan aliran buangan dari lindi karena ada beberapa aliran yang tidak masuk dalam pengolahan kolam lindi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anita, D. M., dan Rahayu, S. R., 2015. "Cadmium (Cd) and Mercury (Hg) in the Soil, Leachate, and Ground Water at the final Waste Disposal Pakusari Jember Distric Area". Universitas Jember. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR)*.
- Arifah, I. 2018. "Penurunan Kadar Logam Cu (II) Dalam Air Menggunakan Zeolit ZSM-5 Terimpregnasi TiO₂ Dengan Variasi Konsentrasi". Semarang. *Repository Universitas Muhammadiyah Semarang*.
- Aydinalp, C., & Marinova, S. 2009. "The effects of heavy metals on seed germination and plant growth on alfalfa plant (*Medicago sativa*)". *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 15(4), 347–350.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Bantul, 2021.
- Budi, P. Joko, P. 2007. "Fitoremediasi Sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran, Khususnya Logam Berat". Jayapura. *Jurnal Tanaman*.
- Chen, Y.K., 1975, "Mechanism of Leachate Formation in Sanitary Landfill, Ann ArborScience", Michigan.
- Darmono, 2001, "Lingkungan Hidup dan Pencemaran : Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam", DKI Jakarta. UI Press.
- Fatimawali, Kepel, B., & Tallei, T. E. 2017. "Overproduction of mercuricreductase proteinexpressed by synthetic merAgene and reduction of inorganic mercury HgCl₂". *Bioscience Research*, 14(4), 1253–1260.
- Gonti, E. A. P., Wijatna, A. B., & Satrio. 2017. "Studi Interrelasi Air Tanah Dan Air Lindi Di Sekitar TPST Piyungan Yogyakarta". *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah XV -2017*, 17–27.
- Hakim, buddin al (badan penerap). 2016. "Studi Awal Potensi Limbah Cair Sampah (Lindi) Sebagai Sumber". Semarang. *Ilmu Lingkungan Konsentrasi Rekayasa Lingkungan Universitas Diponegoro, January*.
- Hartantyo, E. 2005. "Distribution of Leachate Polution in the Final Disposal of Piyungan , Bantul , Yogyakarta",.

- Heryando, Palar. 2004. "Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat". Jakarta. *Rineka Cipta*.
- Histopatologi, G., Hati, O., Insang, D. A. N., Tasykal, A. R., Studi, P., Hewan, K., Kedokteran, F., & Hasanuddin, U. (2015). *OLEH* :
- 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..
- Mahardika, A., Muhammad D.Z., dan Akhmad A.L. 2010. "Mendeteksi Dampak Polutan Sampah Terhadap Air Tanah Permukiman di Sekitar Tempat Pembuangan Akhir (TPA) dengan Menggunakan Metode Geolistrik". Malang. *Program Kreativitas Mahasiswa-Gagasan Tertulis, Universitas Negeri Malang*.
- Malkoc, E., Hazard, J., dan Mater. 2007. "Removal of Cromium (Cr) from Wastewater". pp142-219. *Arabian Journal*
- Mara, Duncan. 2003. Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Yogyakarta: *Penerbit Kanisius*.
- Minson Simatupang, Lukas Kano, Agustinus Lolok, Romy Suryaningrat, La Ode, Fitrah. 2020. Pemanfaatan Instalasi Pengolahan Limbah untuk Mereduksi Limbah Berbahaya pada Tempat Pembuangan Akhir Andoolo. Makassar. *LP2M Universitas Hasanuddin*.
- Muljadi, Muljadi. dan Hari Asriyanto. 2011. "Unjuk Kerja dan Efisiensi IPAL Industri Batik Cetak di Makamhaji, Sukoharjo Dengan Proses Bar Screen, Sedimentasi dan Proses Koagulasi-Flokulasi Terhadap Penurunan Parameter COD, BOD dan Logam Berat Cr". Surakarta. *Ekuilibrium 10.1 25-29*.
- Muyassar, M., Budianta, W. 2021. "Pencemaran Logam Berat Pada Tanah di Sekitar Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Piyungan, Bantul, Yogyakarta". *Kurvatek*, 6(1), 11–22.
- Nusa Idaman Said, Dinda Rita Krishumartani Hartaja. 2015. Pengolahan Air Lindi Dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob dan Denitrifikasi. *Pusat Teknologi Lingkungan, BPPT*.
- Parulian, A. 2009. "Monitoring dan Analisis Kadar Aluminium (Al) dan Besi (Fe) Pada Pengolahan Air Minum PDAM Tirtanadi Sunggal". Medan. *Repository Universitas Sumatera Utara*.

- Putra, H. P., Damanhuri, E. 2016. "Performance and operational of landfill piyungan as the regional landfill in Yogyakarta Special Region, Indonesia, Proceedings of The 9th Asia Pasific Landfill Symposium". Hongkong. *The University of Hong Kong*.
- Rahadi, B. dan N. L. 2012. "Penentuan Kualitas Ait Tanah Dangkal dan Arahan Pengolahan(Studi Kasus Kabupaten Sumenep)". *Jurnal Teknologi Pertanian*, 13(2), 97–104.
- Ramlia. Rahmi, A. Abidin, D. 2018. "Uji Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) di Perairan Wilayah Pesisir Parepare". Parepare. *Jurnal Univeristas Muhammadiyah Parepare*.
- Resti, N., Afdal. 2017. Karakteristik Air Lindi (*Leachate*) di Tempat Pembuangan Akhir Sampah Air Dingin Kota Padang. Padang. *Jurnal Fisika Unand Vol. 6, No.1*.
- Yudo, S. 2006. "Kondisi Pencemaran Logam Berat di Perairan Sungai DKI Jakarta". DKI Jakarta. *Jurnal Air Indonesia*.
- Sani, Elly Yuniarti. 2006. Pengolahan Air Limbah Tahu Menggunakan Reaktor Anaerob Bersekat dan Aerob. Semarang. *Master Thesis, Program Pascasarjana Universitas Diponegoro*.
- Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, 2021.
- SEPA. 2002. "The Geological Barrier, Mineral Layer and the Leachate Sealing and Drainage System, Framework for Risk Assessment for Landfill Sites".
- Suhendrayatna, dkk. 2017. Prosiding Seminar Nasional Pascasarjana Universitas Syiah Kuala. Banda Aceh. *Jurnal Universitas Syiah Kuala*.
- Sugianto. Abdul, H, S. dan Tengku, E. 2013. "Menentukan Pola Penyebaran Logam Berat (Cu, Fe, Zn) di Sungai Siak Dengan Menggunakan Spektrofotometer (AAS)". Pekanbaru. *Repository Universitas Riau*.
- Sonya, D. Nikmatun, K. Subekti, R. Andree, E. dan Meine, V, N. "Carbon Footprint of Indonesian Palm Oil Production: I.a Pilot Study". Bogor. *World Agro Forestry*.
- Wahyu Widayat, Nusa Idaman Said. 2005. Rancang Bangun Paket IPAL Rumah Sakit Dengan Proses Anaerob-Aerob, Kapasitas 20-30 M³ Per Hari. *Kelompok Teknologi Pengolahan Air Bersih dan Limbah Cair, Pusat Pengujian dan Penerapan Teknologi Lingkungan, BPPT*.

Widowati, W, Sastiono, R, dan Jusuf, R. 2008. “Efek Toksik Logam (Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran)”. Yogyakarta: *Rineka Cipta*.

Yao, J. Kong Q. Li, W. Zhu, H. Shen, DS. 2013. “Effect of leachate recirculation on the migration of copper and zinc in municipal solid waste and municipal solid waste incineration bottom ash co-disposed landfill”. Taizhou, China. *Journal of Material Cycles and Waste Management*.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Lokasi Pengambilan Sampel Air Lindi



Selokan Utara



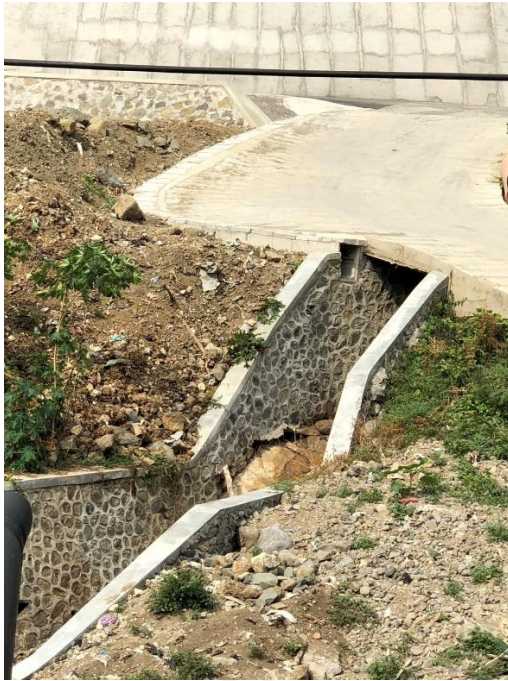
Kolam Maturasi



Kolam Aerasi



Kolam Anaerob



Selokan Selatan



Kolam *Outlet*

Titik Sampling	Deskripsi
Selokan Utara	Aliran lindi berasal dari tumpukan sampah yang melewati bagian utara IPAL dan tidak melalui proses pengolahan.
Selokan Selatan	Aliran lindi berasal dari tumpukan sampah yang melewati bagian selatan IPAL dan tidak melalui proses pengolahan.
Kolam Maturasi	Jumlah 2 dengan masing-masing ukuran. Kolam 1: Panjang 25m, lebar 7 dan 11m, dalam 4m. Kolam 2: Panjang 23m, lebar 8,5m, dalam 4m.
Kolam Aerasi	Jumlah 3 dengan masing-masing ukuran. Kolam 1: Panjang 14,8m, lebar 11m, dalam 3m. Kolam 2: Panjang 14,6m, lebar 11m, dalam 3m. Kolam 3: Panjang 13m, lebar 11m, dalam 3m.
Kolam Anaerob	Jumlah 3 dengan ukuran: Panjang 24,7m, lebar 11,9m, dalam 8,5m.
Kolam <i>Outlet</i>	Jumlah 1 dengan ukuran: Panjang 15m, lebar 8m, dalam 4m.

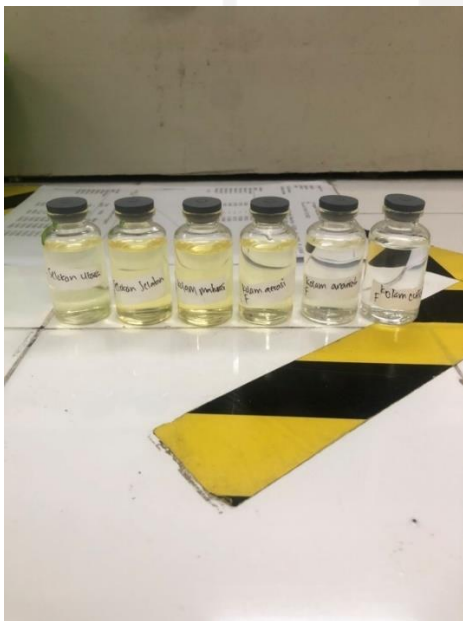
Lampiran 2. Pengujian Sampel di Laboratorium Kualitas Air FTSP UII



Destruksi Logam Berat



Penyaringan menggunakan kertas 42



Memasukkan dalam botol vial



Pengujian Menggunakan AAS

Lampiran 3. Perhitungan Konsentrasi Logam Berat Cu Pada Air Lindi

a. Selokan Utara:

$$\text{Cu (mg/L)} = C \times fp$$

$$\text{Cu (mg/L)} = 0.013 \times 10$$

$$\text{Cu (mg/L)} = 0.131$$

b. Selokan Selatan:

$$\text{Cu (mg/L)} = C \times fp$$

$$\text{Cu (mg/L)} = 0.013 \times 10$$

$$\text{Cu (mg/L)} = 0.136$$

c. Kolam Maturasi:

$$\text{Cu (mg/L)} = C \times fp$$

$$\text{Cu (mg/L)} = 0.010 \times 10$$

$$\text{Cu (mg/L)} = 0.109$$

d. Kolam Aerasi:

$$\text{Cu (mg/L)} = C \times fp$$

$$\text{Cu (mg/L)} = 0.006 \times 10$$

$$\text{Cu (mg/L)} = 0.064$$

e. Kolam Anerob:

$$\text{Cu (mg/L)} = C \times fp$$

$$\text{Cu (mg/L)} = 0.001 \times 10$$

$$\text{Cu (mg/L)} = 0.017$$

f. Kolam *Outlet*:

$$\text{Cu (mg/L)} = C \times fp$$

$$\text{Cu (mg/L)} = 0.003 \times 10$$

$$\text{Cu (mg/L)} = 0.030$$

Lampiran 4. Perhitungan Konsentrasi Logam Berat Fe Pada Air Lindi

a. Selokan Utara:

$$\text{Fe (mg/L)} = C \times fp$$

$$\text{Fe (mg/L)} = 0.662 \times 10$$

$$\text{Fe (mg/L)} = 6.616$$

b. Selokan Selatan:

$$\text{Fe (mg/L)} = C \times fp$$

$$\text{Fe (mg/L)} = 0.593 \times 10$$

$$\text{Fe (mg/L)} = 5.935$$

c. Kolam Maturasi:

$$\text{Fe (mg/L)} = C \times fp$$

$$\text{Fe (mg/L)} = 0.683 \times 10$$

$$\text{Fe (mg/L)} = 6.827$$

d. Kolam Aerasi:

$$\text{Fe (mg/L)} = C \times fp$$

$$\text{Fe (mg/L)} = 0.409 \times 10$$

$$\text{Fe (mg/L)} = 4.089$$

e. Kolam Anerob:

$$\text{Fe (mg/L)} = C \times fp$$

$$\text{Fe (mg/L)} = 0.046 \times 10$$

$$\text{Fe (mg/L)} = 0.457$$

f. Kolam *Outlet*:

$$\text{Fe (mg/L)} = C \times fp$$

$$\text{Fe (mg/L)} = 0.041 \times 10$$

$$\text{Fe (mg/L)} = 0.412$$

اجتازت دارالعلوم

Lampiran 5. Perhitungan Konsentrasi Logam Berat Pb Pada Air Lindi

a. Selokan Utara:

$$\text{Pb (mg/L)} = C \times fp$$

$$\text{Pb (mg/L)} = 0.113 \times 10$$

$$\text{Pb (mg/L)} = 1.131$$

b. Selokan Selatan:

$$\text{Pb (mg/L)} = C \times fp$$

$$\text{Pb (mg/L)} = 0.115 \times 10$$

$$\text{Pb (mg/L)} = 1.146$$

c. Kolam Maturasi:

$$\text{Pb (mg/L)} = C \times fp$$

$$\text{Pb (mg/L)} = 0.107 \times 10$$

$$\text{Pb (mg/L)} = 1.073$$

d. Kolam Aerasi:

$$\text{Pb (mg/L)} = C \times fp$$

$$\text{Pb (mg/L)} = 0.108 \times 10$$

$$\text{Pb (mg/L)} = 1.088$$

e. Kolam Anerob:

$$\text{Pb (mg/L)} = C \times fp$$

$$\text{Pb (mg/L)} = 0.085 \times 10$$

$$\text{Pb (mg/L)} = 0.854$$

f. Kolam *Outlet*:

$$\text{Pb (mg/L)} = C \times fp$$

$$\text{Pb (mg/L)} = 0.061 \times 10$$

$$\text{Pb (mg/L)} = 0.606$$

اجتازت در این

Lampiran 6. Perhitungan Efisiensi Pengolahan Air Lindi Konsentrasi Cu

a. Kolam maturasi:

- $E = \frac{Co-Ci}{Co} \times 100\%$
- $E = \frac{0.1335-0.109}{0.1335} \times 100\%$
- $E = 18\%$

b. Kolam Aerasi:

- $E = \frac{Co-Ci}{Co} \times 100\%$
- $E = \frac{0.109-0.064}{0.109} \times 100\%$
- $E = 41\%$

c. Kolam Anaerob:

- $E = \frac{Co-Ci}{Co} \times 100\%$
- $E = \frac{0.064-0.017}{0.064} \times 100\%$
- $E = 73\%$

d. Kolam *Outlet*:

- $E = \frac{Co-Ci}{Co} \times 100\%$
- $E = \frac{0.017-0.030}{0.017} \times 100\%$
- $E = -76\%$

Lampiran 7. Perhitungan Efisiensi Pengolahan Air Lindi Konsentrasi Fe

a. Kolam maturasi:

- $E = \frac{Co-Ci}{Co} \times 100\%$
- $E = \frac{6.275-6.827}{6.275} \times 100\%$
- $E = -8\%$

b. Kolam Aerasi:

- $E = \frac{Co-Ci}{Co} \times 100\%$
- $E = \frac{6.827-4.089}{6.827} \times 100\%$
- $E = 40\%$

c. Kolam Anaerob:

- $E = \frac{Co-Ci}{Co} \times 100\%$
- $E = \frac{4.089-0.457}{4.089} \times 100\%$
- $E = 88\%$

d. Kolam *Outlet*:

- $E = \frac{Co-Ci}{Co} \times 100\%$
- $E = \frac{0.457-0.412}{0.457} \times 100\%$
- $E = 9.8\%$

Lampiran 8. Perhitungan Efisiensi Pengolahan Air Lindi Konsentrasi Pb

a. Kolam maturasi:

- $E = \frac{C_o - C_i}{C_o} \times 100\%$
- $E = \frac{1.138 - 1.073}{1.138} \times 100\%$
- $E = 5.7\%$

b. Kolam Aerasi:

- $E = \frac{C_o - C_i}{C_o} \times 100\%$
- $E = \frac{1.073 - 1.088}{1.073} \times 100\%$
- $E = -1.4\%$

c. Kolam Anaerob:

- $E = \frac{C_o - C_i}{C_o} \times 100\%$
- $E = \frac{1.088 - 0.854}{1.088} \times 100\%$
- $E = 21\%$

d. Kolam *Outlet*:

- $E = \frac{C_o - C_i}{C_o} \times 100\%$
- $E = \frac{0.854 - 0.606}{0.854} \times 100\%$
- $E = 29\%$