

TA/TL/2023/1755

TUGAS AKHIR

**PEMANFAATAN AIR LINDI TPA PIYUNGAN
YOGYAKARTA SEBAGAI PENGGANTI AIR BERSIH
PADA PEMBUATAN *PAVING BLOCK***

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



**Haswind Rachmadhany
19513201**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2023**

TUGAS AKHIR
PEMANFAATAN AIR LINDI TPA PIYUNGAN
YOGYAKARTA SEBAGAI PENGGANTI AIR BERSIH
PADA PEMBUATAN *PAVING BLOCK*

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



Disusun Oleh:

Haswind Rachmadhany
19513201

Disetujui,

Dosen Pembimbing:

Eko Siswono, S.T., M.Sc., ES., Ph.D.

NIK. 025100406

Tanggal: 25 Desember 2023

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res. Eng.), Ph.D.

NIK. 045130401

Tanggal : 26 Desember 2023

HALAMAN PENGESAHAN
PEMANFAATAN AIR LINDI TPA PIYUNGAN
YOGYAKARTA SEBAGAI PENGANTI AIR BERSIH PADA
PEMBUATAN *PAVING BLOCK*

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Selasa

Tanggal : 26 Desember 2023

Disusun Oleh:

Haswind Rachmadhany
19513201

Tim Penguji :

Eko Siswovo, S.T., M.Sc.,ES.,Ph.D.

Luqman Hakim, S.T., M.Si

Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D



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, 15 September 2023

Yang membuat pernyataan,

A handwritten signature in black ink is written over a yellow postage stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'SPULUH RIBU RUPIAH', '10000', 'TEL. 39', 'METERAI TEMPEL', and the serial number 'EE935AKX77564887'.

Haswind Rachmadhany

NIM : 19513201

PENGANTAR

Assalamualaikum Wr Wb

Puji syukur dipanjatkan kepada Allah SWT atas seluruh nikmat serta hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “**Pemanfaatan Air Lindi TPA Piyungan Yogyakarta sebagai Pengganti Air Bersih pada Pembuatan Paving Block**”. Penyusunan laporan tugas akhir ini dimaksudkan sebagai prasyarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata 1 (S1) Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Selain itu juga saya juga ini mengucapkan sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang turut serta dalam membantu selama proses pengerjaan ini tugas akhir ini berlangsung . diantaranya kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan kesempatan, nikmat, dan karunia-Nya sehingga atas ridho-Nya peneliti dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua peneliti, Bapak dan Ibu yang senantiasa memberikan dukungan dan doa untuk kelancaran penyusunan tugas akhir ini.
3. Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia Ibu Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng.), Ph.D.
4. Dosen pembimbing Tugas Akhir, Bapak Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.Es., Ph.D. yang telah membimbing serta berkenan memberikan waktu dan masukan selama penyusunan tugas akhir.
5. Seluruh dosen Program Studi Teknik Lingkungan FTSP UII yang sudah memberikan ilmu yang bermanfaat bagi peneliti.
6. Kepada para laboran, Pak Mardi, Mas Azka, Mas Bagus, dan Mas Ridwan yang juga turut serta dalam membantu dan membimbing selama proses pengerjaan tugas akhir,
7. Untuk rekan seperjuangan peneliti, Daffa Mu'aafii Herda yang telah kebersamai dan membantu dari awal pengerjaan skripsi hingga akhir dan menemani peneliti selama berproses di perkuliahan.
8. Kepada Ismi, Rini, Nia, Lea, dan Asty selaku teman peneliti selama menjalani kuliah.
9. Keluarga teman-teman Teknik lingkungan UII Angkatan 2019.

Peneliti berharap semoga amal baik dari seluruh pihak yang terlibat mendapat balasan dari Allah SWT. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga tugas akhir ini bermanfaat baik bagi pembaca maupun penulis sendiri.

Wassalamualaikum Wr Wb

Yogyakarta, 15 September 2023

Haswind Rachmadhany

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRACT

HASWIND RACHMADHANY. Utilization of Piyungan Yogyakarta Landfill Leachate as a Substitute for Clean Water in Making Paving Blocks. Supervised by EKO SISWOYO, S.T., M.Sc.Es., Ph.D.

There are various types of human activities that produce rubbish or waste. This has an impact on the increasing amount of leachate produced from landfills at the Piyungan Yogyakarta TPA. Waste produced from the landfill process contains various kinds of heavy metals due to its nature being mixed with various types of industrial and domestic activities. Leachate is water formed in waste heaps which dissolves many existing compounds so that it has a very high content of pollutants, especially organic substances. One of the contents in leachate that is dangerous for the environment is heavy metal content, so if it is not processed properly it will be dangerous for the environment. The aim of this research is to determine the characteristics and levels of heavy metals in leachate water and to carry out tests on the solidification results in the form of paving blocks. The metal testing instrument uses the Atomic Absorption Spectrophotometry (SSA) instrument and the Compressive Strength test uses a compressive strength press machine. The results of this research showed that the characteristics of the leachate, both pH and heavy metals, exceeded the quality standards stated in DIY Regional Regulation Number 7 of 2016. The TCLP test results of the five variations of paving blocks were below the metal TCLP quality standard. weight is <0,15 mg/L for Cd and <0,5 mg/L for Pb. The results of the TCLP test can be concluded that the heavy metals are immobile and strongly bound in the paving blocks so that they do not escape into the environment. Meanwhile, for the compressive strength test, it was found that the results from each variation of leachate application did not meet the established quality standards.

Keywords: Leachate, Heavy Metals, Solidification, Compressive Strength, TCLP

ABSTRAK

HASWIND RACHMADHANY. Pemanfaatan Air Lindi TPA Piyungan Yogyakarta sebagai Pengganti Air Bersih pada Pembuatan *Paving Block*. Dibimbing oleh EKO SISWOYO, S.T., M.Sc.Es., Ph.D.

Terdapat berbagai jenis kegiatan aktivitas manusia yang menghasilkan sampah ataupun limbah. Hal ini berdampak pada semakin banyaknya jumlah air lindi yang dihasilkan dari timbunan sampah di TPA Piyungan Yogyakarta. Limbah yang dihasilkan dari proses timbunan sampah mengandung berbagai macam logam berat dikarenakan sifatnya yang sudah bercampur dengan berbagai jenis kegiatan industri maupun domestik. Air lindi (*leachate*) adalah air yang terbentuk dalam timbunan sampah yang melarutkan banyak senyawa yang menyebabkan kandungan pencemarnya sangat tinggi, terutama zat organik. Kandungan logam berat dalam air lindi berbahaya bagi lingkungan jika tidak diolah dengan benar. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan karakteristik dan kadar logam berat dalam air lindi. Selain itu, pada penelitian ini akan menguji hasil solidifikasi *paving block* sebagai upaya untuk meremediasi sebaran logam berat yang ada di lingkungan. Instrument pengujian logam menggunakan instrument Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) serta uji Kuat Tekan menggunakan mesin press kuat tekan. Hasil dari penelitian ini di dapatkan bahwa hasil uji logam berat setelah melalui proses solidifikasi dengan *paving block* adalah di bawah baku mutu yang tertera pada Peraturan Daerah DIY Nomor 7 tahun 2016 untuk parameter logam Fe dan Permen LHK nomor 59 tahun 2016 untuk parameter logam Cd. Sedangkan untuk parameter Pb masih di atas baku mutu yang telah ditetapkan. Di dapatkan hasil uji TCLP dari *paving blocks* yang kelima variasi berada di bawah baku mutu TCLP-A logam berat yaitu <0,15 mg/L untuk parameter Cd dan <0,5 mg/L untuk parameter Pb. Hasil dari pengujian TCLP tersebut dapat disimpulkan bahwa logam berat *immobile* dan berikatan kuat di dalam *paving block* sehingga tidak keluar ke lingkungan. Sedangkan untuk pengujian kuat tekan didapatkan hasil dari tiap variasi pemberian air lindi belum memenuhi standar mutu yang telah ditetapkan.

Kata Kunci : Air Lindi, Logam Berat, Solidifikasi, Kuat Tekan, TCLP

DAFTAR ISI

BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Piyungan Yogyakarta.....	5
2.2 Lindi (<i>Leachate</i>).....	6
2.3 Proses Pembentukan Air Lindi	6
2.4 Logam Berat.....	8
2.5 Logam Berat di Lingkungan	8
2.5.1 Besi (Fe).....	8
2.5.2 Timbal (Pb)	9
2.5.3 Kadmium (Cd)	9
2.6 Pengolahan Air Lindi.....	10
2.7 Solidifikasi	11
2.8 <i>Paving Block</i>	11
2.9 Bahan Penyusun <i>Paving Block</i>	13
2.9.1 Semen Portland	13
2.9.2 Agregat Halus	13
2.10 Uji TCLP.....	14
2.11 Uji Kuat Tekan.....	14
2.12 Penelitian Terdahulu	15
BAB III	19
METODE PENELITIAN.....	19
3.1 Kerangka Penelitian	19

3.4 Pengambilan Sampel Air Lindi.....	21
3.5 Uji Karakteristik Air Lindi.....	21
3.6 Uji Kadar Logam Berat Air Lindi.....	21
3.7 Solidifikasi.....	22
3.7.1 Persiapan Bahan dan Peralatan.....	23
3.7.1.1 Bahan.....	23
3.7.1.2 Peralatan.....	23
3.7.2 Proses Pencampuran.....	23
3.7.3 Pembuatan Benda Uji.....	24
3.7.4 Pengeringan Benda Uji.....	24
3.7.5 Pengujian <i>Paving Block</i>	25
BAB IV.....	29
HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS DATA.....	29
4.1 Kondisi Eksisting Lokasi Penelitian.....	29
4.2 Analisis Karakteristik pada Air Lindi.....	31
4.2.1 Uji pH.....	31
4.2.2 Uji Logam Berat.....	31
4.3 Analisis Hasil Pengujian <i>Paving Block</i>	33
4.3.1 Pengujian Densitas/Massa Jenis <i>Paving Block</i>	33
4.3.2 Pengujian Kuat Tekan <i>Paving Block</i>	35
4.4 Analisis Hasil Pengujian TCLP.....	37
4.5 Penentuan Kriteria Penetapan Limbah Bahan Berbahaya dan Bercaun (Kategori 1 atau Kategori 2).....	41
BAB V.....	44
KESIMPULAN DAN SARAN.....	44
5.1 Kesimpulan.....	44
5.2 Saran.....	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat-Sifat Fisika (SNI 03-0691-1996).....	13
Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu	16
Tabel 3.1 Jadwal Penelitian	20
Tabel 3.2 Komposisi <i>Paving Block</i>	22
Tabel 4.1 Hasil Uji Pembacaan AAS Logam Berat	32
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Laboratorium Lingkungan	32
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Berat Volume Variasi 0%	34
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Berat Volume Variasi 25%	34
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Berat Volume Variasi 50%	34
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Berat Volume Variasi 75%	34
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Berat Volume Variasi 100%	34
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Kuat Tekan Kering Rata-Rata	36
Tabel 4.9 Hasil Pengujian AAS setelah TCLP	39
Tabel 4.10 Efisiensi Immobilisasi Logam Berat (Fe)	39
Tabel 4.11 Efisiensi Immobilisasi Logam Berat (Pb).....	40
Tabel 4.12 Efisiensi Immobilisasi Logam Berat (Cd)	40
Tabel 4.22 Penentuan Kategori Limbah B3.....	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Faktor-faktor yang berpengaruh pada pembentukan lindi	7
(Sumber : Qasim 1994).....	7
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	19
Gambar 3.2 Metode Pengambilan Sampel.....	21
Gambar 3.3 Pengukuran Logam Berat.....	22
Gambar 3.4 Pengujian Kuat Tekan	26
Gambar 3.5 Diagram Alir Persiapan Sampel Uji.....	26
Gambar 3.6 Diagram Alir Penentuan TCLP Logam Berat	28
Gambar 4.1 Bagan Alir IPAL TPA Regional Piyungan	30
Gambar 4.3 Pengujian Kuat Tekan Paving Block	37
Gambar 4.4 Proses Ekstraksi	39

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sampah adalah salah satu masalah terbesar bagi lingkungan saat ini. Bahkan di tempat-tempat tertentu, produksi sampah tidak pernah berhenti. Semakin banyaknya kebutuhan individu yang berkembang seiring perkembangan wilayahnya mendorong penduduk setempat untuk meningkatkan pembangunan dan pengembangan dalam berbagai bidang seperti kesehatan, industri, energi, dan teknologi. Di balik kualitas *side product* yang tinggi, sektor-sektor tersebut menghasilkan sampah atau limbah dari proses dan hasil dari aktivitas manusia. Sampah atau limbah dapat mencemari udara, air, dan tanah jika tidak dikelola dengan baik dan bijaksana.

Semakin banyaknya sampah atau limbah yang dihasilkan oleh berbagai aktivitas manusia pasti akan berdampak pada sarana yang disediakan oleh pemerintah, yaitu Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Masalah sampah yang terkait dengan tempat penampungan sampah di area terbuka menjadi masalah khusus di kota-kota (Suyono, 2010). Dan aktivitas TPA akan menyebabkan banyak masalah, salah satunya produksi air lindi yang terus meningkat dan tidak dikelola dengan baik berakibat pada pencemaran lingkungan. Jika tidak segera ditangani, hal ini dapat mengancam eksistensi masyarakat. Di kebanyakan kota-kota besar, seperti Jakarta (Bantargarang), Surabaya (Keputih, Sukolilo), dan Semarang (Jantibarang), dampak TPA bahkan menjadi konflik vertikal.

TPA Piyungan Yogyakarta adalah satu-satunya tempat pemrosesan akhir di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) yang terletak di Kabupaten Bantul, sekitar 16 km sebelah tenggara pusat Kota Yogyakarta. Tepatnya berada di Dusun Ngablak, Desa Sitimulyo, Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul, Yogyakarta. Menurut penelitian Mulasari (2016), Kota Yogyakarta menghasilkan sampah terbanyak, diikuti oleh Kabupaten Sleman dan Bantul.

Prasarana pengumpulan dan sarana yang terbuka sangat mungkin menghasilkan lindi, terutama saat hujan. Instalasi pengolahan berskala besar menghasilkan limbah dalam jumlah yang besar. Akibatnya, lindi yang dihasilkan di sana juga cukup potensial untuk mencemari saluran atau tanah di sekitarnya. Lindi dari Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) dapat mencemari air tanah di bawahnya karena rembesan dari dasar TPA atau akibat lainnya. Kecepatan aliran air tanah yang tinggi dapat mencemari sumur penduduk yang berada di elevasi yang lebih

rendah di daerah dengan kemiringan. Selain itu, efluen pengolahan pada air lindi yang tidak memenuhi syarat untuk dibuang ke badan air penerima dapat mencemari lingkungan. Karakteristik pencemar lindi yang sangat tinggi dapat mempengaruhi kondisi badan air penerima, terutama air permukaan, yang dengan mudah mengalami kekurangan oksigen terlarut dan berakibat pada kematian biota.

Karena pencemaran logam berat, TPA Piyungan dianggap merusak lingkungan (Muyassar & Budianta, 2021). Sebuah survei yang dilakukan oleh Badan Pusat Statistik Daerah Istimewa Yogyakarta pada tahun 2012 dan 2016 menunjukkan bahwa jumlah limbah yang dihasilkan oleh penduduk kota Yogyakarta secara keseluruhan masuk ke TPA Piyungan sangat tinggi. Proses pemrosesan sampah organik biasanya menghasilkan gas dan cairan yang disebut Lindian atau *leachate*. Lindi tersebut juga mengandung bahan-bahan yang berbahaya seperti amoniak, timbal, khrom, dan mikroba parasite seperti kutu air (*sarcoptes sp*), yang dapat menyebabkan gatal pada kulit. Oleh karena itu, sebelum dibuang melalui sistem pengolahan biologi dan kimia, air lindi harus diproses atau dirawat dengan baik.

Secara umum, sistem pengolahan limbah cair dapat dikategorikan ke dalam tiga kategori: fisik, kimia, dan biologi. Selain itu, pengolahan limbah cair juga dapat dilakukan dengan menggunakan prinsip 4R yaitu (*reuse, reduce, recycle, dan recovery*) dengan tujuan untuk meminimalkan jumlah limbah yang dihasilkan. Dalam penelitian tugas akhir ini, prinsip *reuse* (pemakaian kembali) akan digunakan selama proses solidifikasi.

Solidifikasi adalah proses pencampuran limbah dengan zat pengikat untuk mengurangi pelindian kontaminan secara fisik dan kimia. Ini mengubah limbah (B3) menjadi bentuk limbah yang dapat diterima oleh lingkungan untuk dibuang ke lahan pembuangan atau digunakan sebagai bahan konstruksi. Limbah radioaktif tingkat rendah, berbahaya, dan campuran telah banyak diatasi dengan solidifikasi. Pembuatan *paving block* adalah bagian dari proses solidifikasi.

Berdasarkan masalah di atas, peneliti ingin melakukan penelitian tentang pemanfaatan air lindi atau limbah cair yang menunjukkan logam berat di TPA Piyungan sebagai pengganti air atau campuran *paving blok* dengan metode solidifikasi. Air lindi TPA Piyungan memiliki potensi yang sangat besar untuk mencemari lingkungan dan berdampak buruk pada lingkungan sekitar, maka peneliti memilih judul penelitian yaitu **“Pemanfaatan Air Lindi TPA Piyungan Yogyakarta sebagai Pengganti Air Bersih pada Pembuatan *Paving Block*”**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan penelitian sebagai berikut :

1. Apakah proses solidifikasi menggunakan *paving block* dapat menurunkan kadar logam berat yang terkandung dalam limbah cair TPA Piyungan?
2. Apakah variasi pemberian limbah cair TPA Piyungan terhadap bahan *paving block* akan berpengaruh terhadap hasil kuat tekan dari *paving block* tersebut?
3. Apakah variasi pemberian limbah cair TPA Piyungan terhadap bahan *paving block* akan berpengaruh terhadap hasil uji toksisitas (TCLP) dari *paving block* tersebut?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa seberapa besar proses solidifikasi dengan *paving block* dapat menurunkan kadar logam berat yang terkandung dalam air lindi TPA Piyungan dan komposisi yang sesuai.
2. Mengetahui pengaruh setiap variasi pemberian limbah cair TPA Piyungan terhadap hasil kuat tekan *Paving Block*.
3. Mengetahui pengaruh setiap variasi pemberian limbah cair TPA Piyungan terhadap hasil uji toksisitas (TCLP) *Paving Block*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Memberikan data informasi bahwa dengan menggunakan metode solidifikasi dapat menurunkan kadar logam berat pada air lindi.
2. Hasil dari pemanfaatan air lindi TPA Piyungan ini akan berbentuk padatan yang dapat dijadikan alternatif pembuatan *paving block* yang memiliki nilai ekonomis dan nilai jual.
3. Memberikan strategi pengolahan air limbah B3 cair kepada TPA Piyungan Yogyakarta sehingga dapat dilakukan pengolahan alternatif untuk mengurangi jumlah air lindi di TPA Piyungan.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pengambilan sampel dilakukan di TPA Piyungan Bantul dengan mengacu pada SNI 6989.57:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Permukaan.
2. Penelitian dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan FTSP UII dan Laboratorium Teknik Bahan Konstruksi Teknik Sipil FTSP UII.
3. Parameter yang diuji berupa kadar logam berat dalam air limbah/ air lindi di TPA Piyungan Yogyakarta menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) sesuai dengan SNI 6989.84:2019.
4. Pengujian kuat tekan dan syarat mutu pada *paving block* sesuai dengan SNI 03-0961-1996 Bata Beton (*Paving Block*)
5. Pengujian Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) sesuai dengan SNI 8808 : 2019.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Piyungan Yogyakarta

TPA adalah tempat di mana proses pengelolaan sampah mencapai puncaknya, yaitu sumber, pengumpulan, pemindahan, pengolahan, dan pembuangan. Namun, pola Kumpul-Angkut-Buang yang digunakan selama ini, bersama dengan keterbatasan biaya dan kapasitas sumber daya manusia, berdampak signifikan dan sangat membebani TPA dalam hal jumlah lahan yang dibutuhkan dan dampak pencemaran lingkungan. Di kebanyakan TPA, pemrosesan terakhir adalah pengurugan, yang biasanya dilakukan melalui dumping terbuka, yang menyebabkan masalah lingkungan seperti asap, bau, dan air tanah tercemar.

TPA Piyungan dibangun pada tahun 1992 dan mulai beroperasi pada tahun 1995. TPA Piyungan memiliki luas 13 hektare dan memiliki kapasitas 2,7 meter kubik sampah (Nugrahadi, 2014). Limbah dikirim ke TPA Piyungan dari Kota Yogyakarta, sebagian Kabupaten Sleman, dan sebagian Kabupaten Bantul. Akibatnya, TPA Piyungan dikelola oleh pemerintahan bersama dari ketiga daerah tersebut dengan bekerja sama dengan Kartamantul.

Karena proses pengelolaan limbah mulai menggunakan metode *sanitary landfill* pada tahun 2012, istilah TPA berubah menjadi TPST. *Sanitary landfill* didefinisikan dalam Pasal 22 (1) b Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 81 Tahun 2012 Tentang Pengelolaan Limbah Rumah Tangga dan Limbah Sejenis Limbah Rumah Tangga, sebagai sarana pengurugan limbah ke lingkungan yang disiapkan dan dioperasikan secara sistematis, dengan penyebaran dan pemadatan limbah di area pengurugan, dan penutupan limbah setiap hari. Salah satu alasan mengapa metode ini digunakan adalah karena metode pembuangan bebas tidak berhasil mengurangi volume limbah, yang menyebabkan kapasitas TPA Piyungan menjadi terlalu besar. Tempat pembuangan sampah saniter diharapkan dapat menyelesaikan masalah ini dengan mengurangi jumlah limbah secara lebih cepat. Untuk proses pengelolaan limbah di TPST Piyungan menerapkan metode *controlled landfill*. Ini berarti pengurugan di area pengurugan limbah dengan dipadatkan dan ditutup dengan tanah penutup setidaknya setiap tujuh hari sekali karena belum siap menggunakan metode *sanitary landfill*. Kedua metode ini menghasilkan peningkatan produksi limbah yang sebanding dengan jumlah ruang yang diperlukan untuk pengurugan limbah. Selain itu, peningkatan produksi limbah meningkatkan polusi tanah, udara, dan air tanah.

2.2 Lindi (*Leachate*)

Air lindi (*leachate*) adalah air yang terbentuk dalam timbunan sampah yang melarutkan banyak senyawa, yang menyebabkan kandungan pencemarnya sangat tinggi, terutama zat organik. Lindi harus dirawat dengan baik karena sangat berpotensi mencemari air baik air tanah maupun permukaan. Lindi terjadi ketika air dari luar masuk ke dalam timbunan sampah. Ini dapat terjadi dari air permukaan, air hujan, air tanah, atau sumber lain. Cairan kemudian mengisi rongga sampah, dan ketika tekanan air sampah melebihi kapasitasnya, cairan akan keluar dan mengekstraksi bahan organik dan anorganik. Ini adalah hasil dari proses fisika, kimia, dan biologis yang terjadi pada sampah (Tchobanoglous et al.,1993).

Dikarenakan berbagai kontaminan yang terbawa, selain kuantitas, kualitas lindi juga penting untuk menentukan dampaknya terhadap kualitas air permukaan dan air tanah di sekitarnya. Komposisi sampah dan aktivitas fisik, kimia, dan biologi timbunan sampah menentukan kontaminan yang dibawa ke dalam lindi.

Penelitian ini menggunakan limbah dari TPA Piyungan, yang jelas berasal dari aktivitas masyarakat di Yogyakarta dan sekitarnya. Sebagian besar orang di Yogyakarta menggunakan bahan yang berbahaya bagi lingkungan apabila limbah tidak diolah terlebih dahulu sebelum dibuang. Dalam limbah tersebut terdapat berbagai logam dan zat organik, seperti besi (Fe), kadmium (Cd), timbal (Pb), tembaga (Cu), seng (Zn), dan kromium (Cr).

2.3 Proses Pembentukan Air Lindi

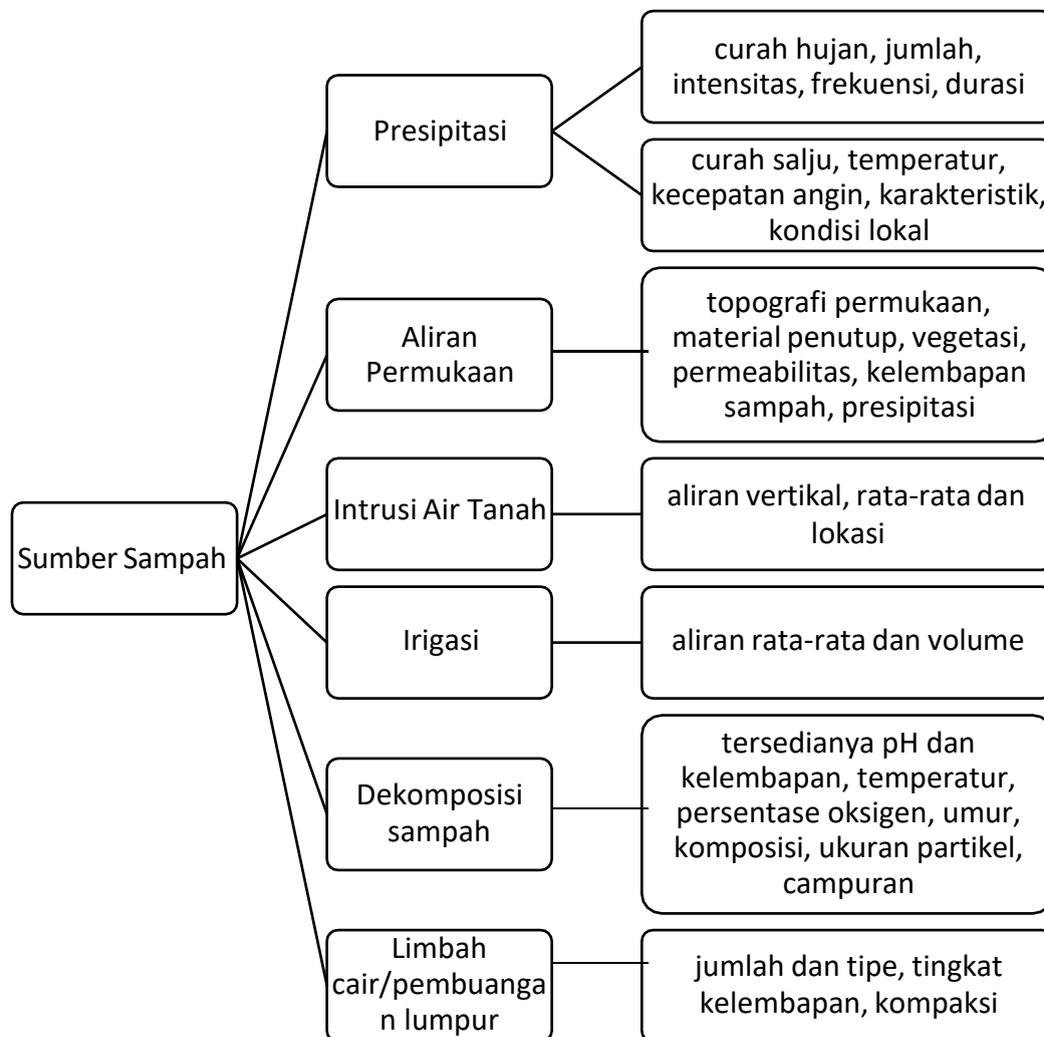
Proses dekomposisi terjadinya lindi adalah ketika sampah mengalami perubahan secara fisik, biologis, dan kimia pada sampah. Proses yang terjadi (Chen, 1975), yaitu;

- a) Penguraian biologis bahan organik secara aerob dan anaerob yang menghasilkan gas dan cairan.
- b) Oksidasi kimiawi.
- c) Gas yang dilepaskan dari timbunan sampah.
- d) Penggabungan bahan organik dan anorganik dengan lindi dan air melalui timbunan sampah.
- e) Pergeseran materi terlarut sebagai akibat dari gradien konsentrasi dan osmosis.
- f) Penurunan permukaan akibat pemadatan sampah yang mengisi ruang kosong di timbunan sampah.

Terbentuknya lindi cair adalah salah satu hasil dari berbagai proses di atas. Air di timbunan sampah ini dapat berasal dari dua sumber :

1. Aliran permukaan yang berinfiltrasi ke dalam timbunan
2. Air tanah dari sumber lain yang bergerak horizontal melalui tempat penimbunan.
3. Komponen dari sampah itu sendiri.
4. Air yang dihasilkan dari proses pemrosesan bahan organik padat dari sampah.

Berikut adalah faktor-faktor yang menjadi pengaruh dari proses terbentuknya lindi, dapat dilihat pada Gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1 Faktor-faktor yang berpengaruh pada pembentukan lindi

(Sumber : Qasim 1994)

2.4 Logam Berat

Logam-logam lain memiliki karakteristik yang sama dengan logam berat. Mereka berbeda karena bagaimana logam berat ini memengaruhi atau masuk ke dalam tubuh organisme hidup. Sekelompok logam berat, seperti timbal (Pb), tembaga (Cu), nikel (Ni), kromium (Cr), merkuri (Hg), kadmium (Cd), dan arsen (As), dapat ditemukan di perairan yang tercemar oleh limbah (Nugroho, 2006).

Sifat tidak mudah terurai senyawa logam membuatnya menjadi polutan yang sangat toksik. Banyak industri yang menggunakan senyawa logam sebagai bahan baku atau bahan penunjang produksi. Ini termasuk raksa (Hg), kromium heksavalen (Cr) (VI), arsen (As), kadmium (Cd), tembaga (Cu), timbal (Pb), seng (Zn), dan nikel (Ni) (Sastrawijaya, 1991).

2.5 Logam Berat di Lingkungan

Suatu logam berat yang masuk ke dalam tubuh makhluk hidup, mereka memiliki efek yang berbeda. Sementara logam berat sangat dibutuhkan oleh tubuh makhluk hidup, hampir semua logam berat dapat menjadi racun dan dapat meracuni mereka yang memakan makanan atau minuman yang mengandung logam berat. Namun, meskipun logam berat dapat menjadi racun, tubuh makhluk hidup tidak dapat mendapatkan jumlah yang cukup dari logam berat untuk bertahan hidup. Karena tubuh masih membutuhkan beberapa logam, logam berat disebut sebagai logam-logam atau mineral-mineral esensial tubuh. Namun, jika masuk ke dalam tubuh terlalu banyak, akan berbahaya bagi tubuh (Palar, 1994).

Widowati (2008) menyatakan bahwa logam berat yang memiliki potensi mencemari lingkungan baik pada air maupun tanah udara dapat berasal dari proses alami dan kegiatan manusia. Salah satu proses alami yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan adalah bebatuan gunung api. Selain itu, kegiatan manusia dapat berasal dari kegiatan domestik dan industri.

2.5.1 Besi (Fe)

Logam berat besi (Fe) adalah logam yang paling banyak ditemukan di kerak bumi dan yang keempat paling umum (Kiswanto et al., 2020, hlm. 21). Logam berat besi (Fe) yang melebihi batas produktivitas pertumbuhan dapat merusak dinding usus, menyebabkan gangguan kesehatan, dan kematian. Logam berat besi (Fe) yang berasal dari limbah rumah tangga dan industri dapat mencemari lingkungan sungai dalam jumlah besar. Keberadaan logam berat besi (Fe) pada tubuh tidak hanya memberikan

manfaat bagi tubuh tetapi juga berbahaya baginya. Orang yang mengonsumsi zat seperti air yang mengandung zat besi dapat mengalami mual. Menurut Nashan et al. (2017, hlm. 12), jika zat besi masuk ke dalam tubuh melebihi ambang batas atau standar yang ditetapkan, itu dapat menyebabkan masalah bagi kesehatan manusia, terutama menyebabkan kerusakan pada dinding usus, mengganggu sistem saraf, dan mengganggu fungsi ginjal.

2.5.2 Timbal (Pb)

Timbal, logam berwarna kebiru-biruan atau abu-abu keperakan, memiliki titik leleh di atmosfer pada 327,5°C dan titik didih di atmosfer pada 1740 °C (Gusnita, 2012). Dalam konsentrasi tinggi, timbal dapat menyebabkan keracunan karena merupakan zat yang beracun dan berbahaya. Timbal dapat mengganggu ekosistem sungai karena terakumulasi pada sedimen bawah perairan. Menurut Amirah (2013), rantai makanan juga akan membawa logam berat ini ke manusia.

Bahaya timbal (Pb) di sekitar kita Logam berat dapat dengan mudah mengikat bahan organik dan mengendap ke dasar perairan. Setelah mengendap ke sedimen, logam berat dan padatan tersuspensi akan terendapkan, yang berdampak pada kualitas sedimen dasar dan perairan sekitarnya. Karena sifat racun logam berat, pencemaran yang disebabkan oleh logam berat sangat berbahaya (Usman et al., 2013).

Selain itu, timbal adalah racun kumulatif yang dapat memengaruhi banyak sistem tubuh manusia, termasuk sistem saraf, hematologis, gastrointestinal, kardiovaskular, dan ginjal. Timbal juga dapat menyebabkan anemia pada manusia dan infertilitas pada wanita (Kragulj, dkk., 2018).

2.5.3 Kadmium (Cd)

Cd adalah logam berat lunak, mengkilap, berwarna putih perak yang tidak larut dalam basa dan mudah bereaksi. Jika dipanaskan, juga menghasilkan Cd oksida (Widowati et al., 2008). Banyak industri yang menggunakan logam kadmium dalam berbagai proses produksi, seperti metalurgi, pelapisan logam, pigmen, baterai, peralatan elektronik, pelumas, peralatan fotografi, gelas, keramik, tekstil, dan plastik, dapat menyebabkan keracunan kadmium (Cd) (Effendi, 2003). Kemampuan kadmium untuk mengganggu fungsi ginjal dan paru-paru, meningkatkan tekanan darah, dan menyebabkan kemandulan pada pria dewasa adalah hasil dari efek kumulatifnya yang sangat toksik bagi manusia (Effendi, 1999).

Dalam konsentrasi tertentu, larutan Cd dalam badan air dapat membunuh biota perairan. Logam Cd dapat menyebabkan keracunan ikan pada konsentrasi 200 mg/L jika masuk ke dalam perairan melalui proses biomagnifikasi dan bioakumulasi pada berbagai makhluk hidup, termasuk hewan, tumbuhan, dan manusia. Konsumsi logam Cd oleh manusia dapat menyebabkan masalah ginjal, paru-paru, kekurangan darah, kerapuhan tulang, masalah dengan sistem reproduksi, dan kanker (Palar, 2008). Dengan sifat bioavailabilitas Cd, bioakumulasi senyawa yang sangat larut di dalam air lebih mudah terjadi..

2.6 Pengolahan Air Lindi

Anonim (2006) menyatakan bahwa berbagai pendekatan telah dicoba untuk mengolah air buangan untuk menyisihkan bahan polutan. Tiga metode pengolahan umum untuk pengolahan air buangan yang telah dikembangkan tersebut:

1. Pengolahan secara fisika

Biasanya, sebelum melakukan pengolahan lanjutan, bahan tersuspensi berukuran besar dan mudah mengendap harus disisihkan terlebih dahulu. Proses pengendapan dapat digunakan untuk menyisihkan bahan tersuspensi yang mudah mengendap. Penyaringan, juga dikenal sebagai *screening*, adalah cam yang murah dan efisien untuk menyisihkan bahan tersuspensi yang berukuran besar. Kecepatan partikel mengendap dan waktu detensi hidrolis di bak pengendap adalah parameter desain utama proses pengendapan ini.

2. Pengolahan secara kimia

Secara umum, pengolahan air buangan secara kimiawi digunakan untuk mengeluarkan koloid, logam-logam berat, senyawa fosfor, dan zat organik beracun. Pada dasarnya, penyisihan bahan-bahan ini disebabkan oleh perubahan sifat mereka; mereka berubah dari tidak dapat diendapkan menjadi lebih mudah diendapkan. Ini juga dapat disebabkan oleh reaksi oksidasi, yang dapat terjadi dengan atau tanpa oksodasireduksi.

3. Pengolahan secara biologi

Semua air buangan biodegradable dapat diolah secara biologi; ini dianggap sebagai pengolahan sekunder yang paling murah dan efektif. Reaktor pengolahan biologi pada dasarnya terdiri dari dua jenis:

- a. Reaktor pertumbuhan tersuspensi (*suspended growth reactor*)
- b. Reaktor pertumbuhan terikat (*attached growth reactor*)

2.7 Solidifikasi

Penambahan zat aditif atau bahan lain untuk memadatkan limbah dikenal sebagai solidifikasi (Trihadiningrum, 2016). Untuk mengurangi pelindian kontaminan secara fisik maupun kimia, limbah dicampur dengan zat pengikat. Solidifikasi adalah proses penambahan bahan yang dapat memadatkan limbah menjadi massa limbah yang padat. Proses ini mengubah limbah (B3) menjadi bentuk limbah yang dapat diterima oleh lingkungan untuk dibuang ke lahan pembuangan atau digunakan untuk konstruksi bangunan.

Tujuan solidifikasi adalah untuk mengurangi kelarutan pencemar, meningkatkan karakteristik fisik dan penanganan limbah, dan mengurangi luas permukaan sehingga kontaminan yang lolos menjadi lebih sedikit. Selain itu, proses ini bertujuan untuk membuat limbah yang berbahaya menjadi tidak berbahaya karena permeabilitasnya berkurang dan kekuatan fisiknya meningkat, sehingga mudah diangkut dan ditimbun. Metode ini didasarkan pada kenyataan bahwa sebagian besar bahan berbahaya dan beracun paling berbahaya dalam bentuk gas dan padat. Menurut Vaddoriya (2016), pemadatan dilakukan dengan penambahan reagen yang meningkatkan kekuatan, menurunkan kompresibilitas, dan menurunkan permeabilitas. Beton atau paving block dapat digunakan sebagai pemadat limbah.

2.8 Paving Block

Menurut SNI 03-0691-1996, bata beton (*paving block*) adalah campuran bahan bangunan yang dibuat dari semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air, dan agregat, dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak menurunkan mutu bata beton. Bata beton dapat digunakan untuk halaman di dalam dan di luar bangunan. Mereka dapat diberi zat warna pada komposisinya atau berwarna seperti warna aslinya.

Paving Block adalah jenis bangunan yang terbuat dari semen yang digunakan sebagai alternatif untuk menutup atau mengeras permukaan tanah. Biasanya digunakan untuk mempercantik trotoar jalan, halaman, taman, dan jalan di kompleks perumahan (Sulistiyono, 2018).

Secara umum, *paving block* memiliki beberapa bentuk, termasuk *horizontally interlocking blocks*, *vertically interlocking blocks*, dan *grass stones and grids*. Namun, jenis *horizontally interlocking blocks* paling banyak digunakan karena sangat mudah dibuat, murah, dan mudah dipasang. *Paving block* dapat digunakan dalam berbagai bentuk, sehingga banyak digunakan pada berbagai jenis pekerjaan konstruksi. Ini termasuk perkerasan jalan, jalan lingkungan, trotoar, carpot, dan lainnya. *Paving block* dianggap sebagai salah satu produksi konstruksi yang

paling diminati oleh banyak pihak, karena itu diproduksi dalam jumlah besar (masal) dan membutuhkan banyak tenaga kerja.

Ketebalan *paving block* yang sering di gunakan (*spesification for precast concrete*) *paving block* ,1980 yaitu :

1. Ketebalan 6 cm , digunakan untuk beban lalu lintas ringan yang frekuensinya terabas, seperti pejalan kaki, sepeda motor.
2. Ketebalan 8 cm digunakan untuk beban lalu lintas super berat seperti crane, loader.

Badan Standarisasi Nasional (SNI 03-0691-1996) mengklarifikasikan *paving block* (Bata Beton) ada 4 jenis yaitu :

- a) Bata beton mutu A, digunakan untuk jalan
- b) Bata beton mutu B digunakan untuk parkir
- c) Bata beton mutu C digunakan untuk pejalan kaki
- d) Bata beton mutu D digunakan untuk taman dan pengguna lain.

Menurut SK SNI T-04-1990, pembagian kelas *paving block* berdasarkan mutu betonnya, antara lain :

1. *Paving Block* dengan mutu beton A, nilai f_c 35 - 40 Mpa.
2. *Paving Block* dengan mutu beton B, nilai f_c 17 – 20 Mpa.
3. *Paving Block* dengan mutu beton C, nilai f_c 12,5 – 15 Mpa.
4. *Paving Block* dengan mutu beton D, nilai f_c 8,5-10 Mpa

Klasifikasi *paving block* berdasarkan mutu SK SNI 03-0691-1996 terbagi atas 2 macam yaitu :

- a. *Paving Block* bentuk persegi empat
- b. *Paving Block* segi banyak

Syarat mutu paving blok menurut SNI 03-09691-1996 adalah sebagai berikut :

- a. Sifat Tampak

Tampak bata beton untuk lantai harus memiliki bentuk yang sempurna tanpa retak atau cacat. Selain itu, rusuk dan bagian sudutnya tidak mudah dibersihkan dengan tangan.

- a. Bentuk dan Ukuran

Setiap produsen harus memberikan penjelasan tertulis dalam pamphlet mengenai bentuk, ukuran, dan konstruksi pemasangan bata beton untuk lantai, karena bentuk

dan ukuran bata beton untuk lantai dapat disepakati antara pengguna dan produsen. Penyimpangan tebal bata beton untuk lantai diperkenankan 0,3 mm.

- b. Bata beton untuk lantai harus memiliki kekuatan fisik, ada 4 (empat) kelas mutu *paving block* sebagaimana terlihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sifat-Sifat Fisika (SNI 03-0691-1996)

Mutu	Kuat Tekan (Mpa)		Penyerapan air rata-rata maks (%)
	Rata-Rata	Min	
A	40	35	3
B	20	17,0	6
C	15	12,5	8
D	10	8,5	10

2.9 Bahan Penyusun *Paving Block*

Paving Block terbuat dari campuran pasir, semen, dan air. Ini juga disebut mortar (bukan plesteran). Mortar adalah campuran pasir, bahan perekat, dan air yang harus diaduk secara homogen. Pasir sebagai bahan dasar harus direkatkan dengan bahan perekat, yang dapat berupa tanah liat, kapur, semen merah, atau semen Portland (Tjokrodimulyo, 1996 dalam Pramuji, 2007).

2.9.1 Semen Portland

Dalam semua bidang konstruksi, semen Portland selalu digunakan. Semen portland adalah semen hidrolis yang dibuat dengan menggiling terak semen portland, yang terutama terdiri dari kalsium silikat hidrolis. Ini digiling dengan satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat, dan dapat ditambahkan dengan bahan tambahan lainnya (SNI 2049-2015).

Karena berfungsi sebagai bahan ikat, semen sangat penting dalam bidang konstruksi. Karena semen mengikat butiran agregat, massa dapat mengisi lubang udara agregat. Meskipun jumlah semen hanya 10% dari campuran beton, fungsinya sebagai bahan ikat tetap penting (Mulyono, 2005).

2.9.2 Agregat Halus

Agregat halus, menurut SNI 03-6820-2002, didefinisikan sebagai agregat dengan butir maksimum 4,76 mm yang berasal dari sumber alam atau hasil olahan.

Agregat halus olahan berasal dari batuan yang dipecah oleh mesin pemecah atau saringan ayakan. Agregat halus alam berasal dari batuan yang hancur secara alami, seperti saat letusan gunung merapi.

Dalam pembuatan paving block, agregat halus digunakan sebagai pengisi dan bahan campuran. Karena pentingnya, agregat halus harus diperiksa untuk memastikan bahwa mereka memenuhi persyaratan sebagai bahan campuran selama pembuatan *paving block*.

2.9.3 Air

Salah satu bahan campuran yang digunakan dalam pembuatan paving block adalah air. Air sangat penting untuk pembuatan agregat karena menghasilkan reaksi kimia yang menghasilkan pasta semen, yang berfungsi sebagai pengikat agregat. Selain itu, air harus digunakan dalam takaran yang tepat agar agregat dapat diproses lebih mudah.

2.10 Uji TCLP

Uji toksisitas adalah uji hayati yang bermanfaat untuk mengukur toksisitas suatu zat atau bahan pencemar dan juga digunakan untuk memantau limbah secara teratur. Suatu senyawa kimia dianggap "racun akut" jika dapat menimbulkan efek racun yang berkelanjutan karena kontak berulang (walaupun dalam jumlah sedikit) (Pradipta, 2007).

Sebelum logam berat dibuang ke lingkungan, pengujian sifat beracun logam berat yang dikenal sebagai TCLP dilakukan. Selama proses ekstraksi logam berat, uji TCLP akan terlepas (Galilius, 2010). Tujuan pengujian TCLP adalah untuk menentukan tingkat beracun logam berat yang terkandung di limbah. Menurut Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, baku mutu lingkungan TCLP adalah 0,9 mg/L untuk TCLP A dan 0,15 mg/L untuk TCLP B. Sampel yang diuji harus lebih kecil dari 9,5 mm. Selanjutnya, diputuskan dengan menggunakan larutan pengeskrak tipe I atau II, tergantung pada pH larutan sampel (US-EPA, 1992). Setelah itu, ekstraksi dan pengukuran kadar logam berat dilakukan menggunakan SSA, atau spektrofotometer penyerapan atom. TCLP ditambahkan ke karakteristik toksisitas. Toksisitas adalah sifat limbah padat yang termasuk limbah berbahaya atau digolongkan ke dalam limbah berbahaya.

2.11 Uji Kuat Tekan

Kuat tekan beban beton adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur ketika dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin

tekan (SNI 03-1974-1990). Kuat tekan biasanya diukur dalam MPa (Mega Pascal), KN/cm², atau Ton/m².

Dalam mekanika batuan, uji kuat tekan adalah sifat teknis yang umum digunakan untuk menentukan titik runtuh atau sifat elastisitas batuan terhadap pembebanan tekanan maksimum. Ketika batuan tidak lagi mampu mempertahankan elastisitasnya, titik runtuh menunjukkan kekuatan batuan itu sendiri. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan seberapa lama batuan mempertahankan kekuatan atau sifat elastisitasnya ketika diberikan tekanan. Selain itu, pengujian ini juga bertujuan untuk menentukan perbedaan antara kekuatan antara batuan yang memiliki rekahan dan batuan yang kompak.

Persamaan yang berlaku untuk kuat tekan adalah :

$$\sigma_c = \frac{P}{L}$$

Keterangan :

σ_c : kuat tekan dinyatakan dalam N/mm² (MPa)

P : beban maksimum (N)

A : luas penampang benda uji (mm²)

2.12 Penelitian Terdahulu

Salah satu cara penulis melakukan penelitian adalah dengan membaca referensi penelitian sebelumnya. Dari beberapa referensi tersebut, mereka menemukan bahwa judul penelitian yang direncanakan tidak sepadan dengan judul penelitian yang dimaksudkan. Hasil referensi penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 2.2 dibawah ini .

Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu

No	Judul Penelitian	Penulis	Tujuan	Metode	Hasil Penelitian
1	Solidifikasi Limbah Kromium Industri Penyamakan Kulit dengan Teknologi Keramik	Fikry Rhidany, 2004	Mengetahui kemampuan kapur Ca(OH)_2 dalam mengikat logam berat dan mengetahui efektivitas keramik dalam menurunkan kadar logam berat pada air limbah.	Stabilisasi dan Solidifikasi	Kalsium Hidroksida Ca(OH)_2 dapat dipergunakan sebagai adsorben pada pengolahan limbah krom dan prosentase penambahan lumpur limbah krom yang optimal dalam pembentukan keramik guna mengungkung limbah krom
2	Efektivitas Membran Keramik Terhadap Penurunan Konsentrasi Ammonium (NH_4) dan Warna pada Limbah Cair Lindi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Piyungan, Yogyakarta	Fitria Andriany, 2006	Mengetahui efisiensi membrane keramik dalam menurunkan ammonium (NH_4) dan warna dalam limbah cair lindi dan mencari komposisi membrane keramik yang paling optimum	Membran keramik, proses sedimentasi, filtrasi, dan adsorpsi	Reactor membrane keramik mampu menurunkan konsentrasi ammonium (NH_4) pada limbah cair lindi sebesar 53,60% dan reactor membrane keramik yang paling efektif untuk menurunkan konsentrasi ammonium (NH_4) adalah dengan variasi serbuk gergaji 5% dan kualitas limbah cair lindi hasil pengolahan belum memiliki kualitas yang memenuhi standar baku mutu limbah cair

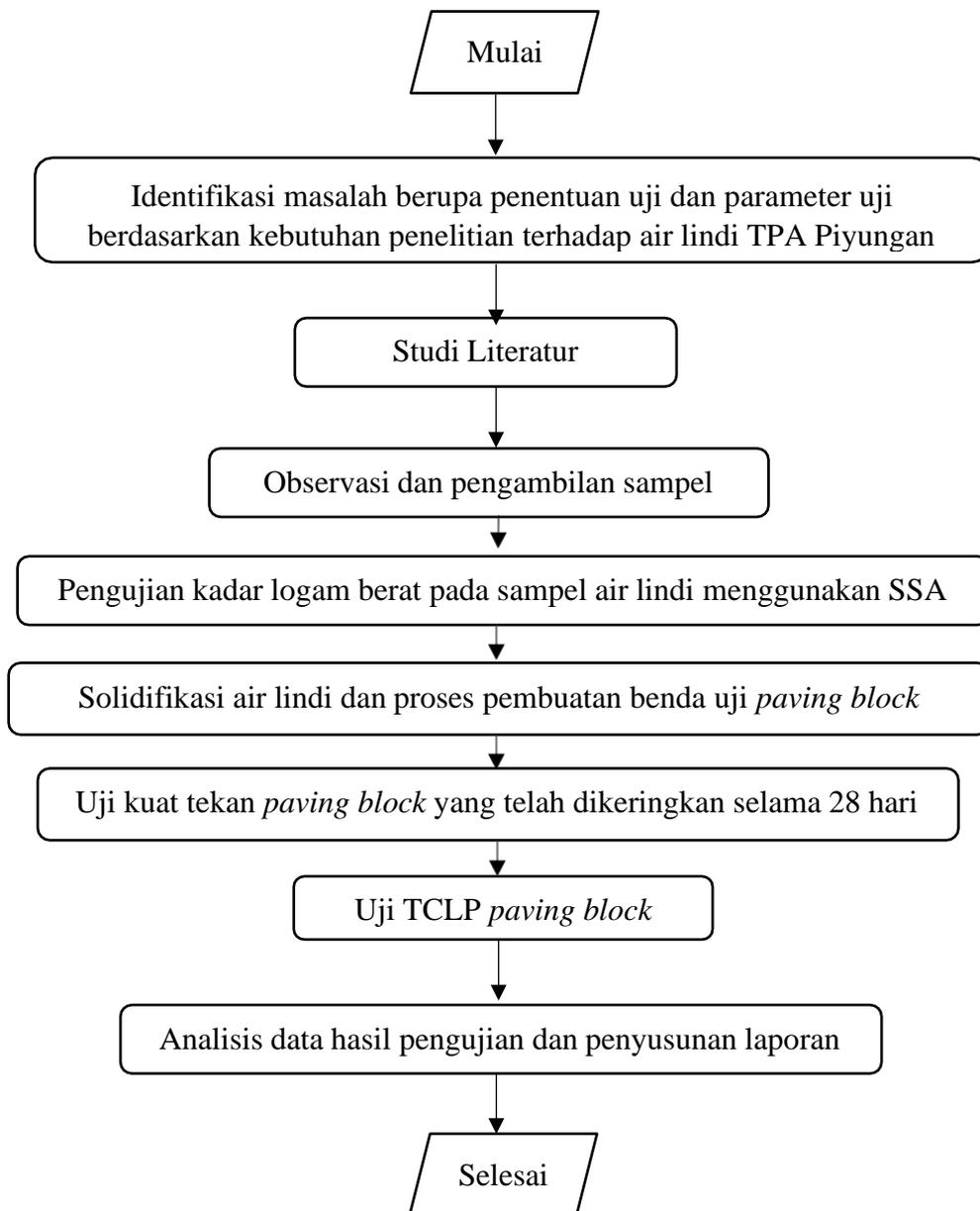
3	Pengaruh Penambahan Abu Tempurung Kelapa terhadap Kuat Tekan Mortar sebagai Bahan Dasar Paving Block	Zaki Zhafirin. 2012	mengetahui karakteristik mortar yang dibuat dengan variasi penambahan abu tempurung kelapa, meliputi : kuat tekan kering, kuat tekan basah, serapan air dan kuat lentur mortar pada umur pengujian 28 hari.	Kuat tekan kering, kuat tekan basah, serapan air, dan kuat lentur	Setiap penambahan limbah abu tempurung kelapa menghasilkan peningkatan kuat tekan, baik dalam kondisi kering maupun basah, tetapi berkurang setelah mencapai kondisi terbaik. Dibandingkan dengan paving block normal tanpa limbah abu tempurung kelapa, pengujian daya serap air pada paving block meningkat dengan setiap penambahan limbah abu tempurung kelapa. Nilai kuat lentur berbanding lurus dengan penambahan limbah abu tempurung kelapa dan berkurang saat kondisi kuat lentur terbaik.
4	Pengolahan Limbah B3 Logam Kromium (Cr) di Laboratorium Kualitas Lingkungan Menggunakan Metode Stabilisasi/Solidifikasi	Ega Elita Mahardika Rusli, 2022	Melakukan analisis mengenai karakteristik fisika dan kimia limbah cair di laboratorium kualitas lingkungan FTSP UII dan pengolahan menggunakan metode stabilisasi/solidifikasi terhadap limbah cair yang	Stabilisasi/solidifikasi, TCLP	hasil uji karakteristik limbah cair tidak memenuhi baku mutu dan termasuk ke dalam Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun dan hasil kadar Cr dalam air limbah berada di bawah baku mutu yaitu kurang dari 0,05 mg/L sehingga tidak dapat terbaca dengan instrument AAS. Hal tersebut juga dibuktikan dengan hasil dari TCLP dengan hasil yang rendah dibawah baku mutu.

			mengandung logam berat Krom (Cr).		
5	Uji Kandungan Logam Berat Cu, Fe, dan Pb Menggunakan Metode Atomic Absorption Spevtrophotometry (AAS) pada Air Lindi TPA Piyungan, Bantul	Faisal Abdul Raheem, 2022	Menganalisis kandungan logam berat Cu, Fe, dan Pb pada air lindi TPA Piyungan dan menganalisis persebaran kandungan logam berat di dalam air lindi TPA Piyungan	Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)	Dalam penelitian didapatkan kesimpulan bahwa setelah melalui pembacaan kembali kadarlogam berat air lindi didapatkan hasil penurunan logam berat dan persebaran logam berat yang terus berkurang dalam setiap parameternya.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian pada penelitian kali ini digambarkan dengan diagram alir yang merupakan tahapan dari pengerjaan tugas akhir ini. Diagram alir dapat dilihat pada Gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan dengan waktu dan lokasi yang telah ditentukan menyesuaikan dengan tahapan pada kerangka penelitian yang ditunjukkan pada Tabel 3.1 berikut ini :

Tabel 3.1 Jadwal Penelitian

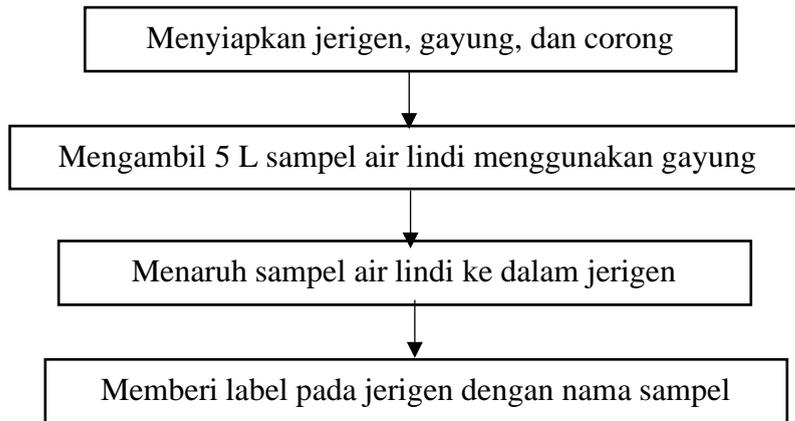
No	Jenis Kegiatan	Waktu Pelaksanaan	Lokasi
1	Pengambilan Sampel	- 15 Juni 2023 - 30 Agustus 2023 - 15 September 2023	TPA Piyungan Bantul
2	Pengujian kadar logam berat air lindi	Juli, Agustus, dan September 2023	Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan FTSP UII
3	Pembuatan benda uji <i>paving block</i>	- 15 s.d. 21 September 2023 (percobaan 1) - 23 Oktober-19 November 2023 (percobaan 2)	Laboratorium Pusat Inovasi UII dan rumah
4	Pengujian benda uji	- 26 September – 5 Oktober 2023 (percobaan 1) - 20 s.d. 28 November 2023 (percobaan 2)	Laboratorium Teknik Bahan Konstruksi Teknik Sipil dan Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan FTSP UII
5	Olah data dan penyusunan laporan	Agustus – November 2023	Yogyakarta

3.3 Metode Pengumpulan Data

Data penelitian ini terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer berasal dari survei di lokasi penelitian dan pengujian air lindi di TPA Piyungan. Data sekunder berasal dari jurnal ilmiah, web resmi, buku, tugas akhir, dan referensi lainnya yang dapat diandalkan. Pengujian air lindi dilakukan secara *in situ* dan *ex situ*. Pengujian *in situ* dilakukan di TPA Piyungan Bantul untuk mengukur pH. Pengujian *ex situ* dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia untuk mengukur kadar awal logam berat sebelum pengolahan, pemadatan dengan metode solidifikasi untuk mengurangi mobilisasi air limbah, dan pengujian kuat tekan dan toksisitas (TCLP) *paving block*.

3.4 Pengambilan Sampel Air Lindi

Pengambilan sampel air lindi berada langsung di TPA Piyungan, Bantul. Pengambilan sampel dilakukan dengan cara mengambil air lindi menggunakan gayung pada bak inlet. Pewadahan sampel air limbah lindi yang diambil menggunakan jerigen volume maksimal sebanyak 5 liter serta diberikan pelabelan dan ditempatkan di tempat yang teduh. Tahapan pengambilan sampel air lindi adalah sebagaimana tertera pada Gambar 3.2 di bawah ini.



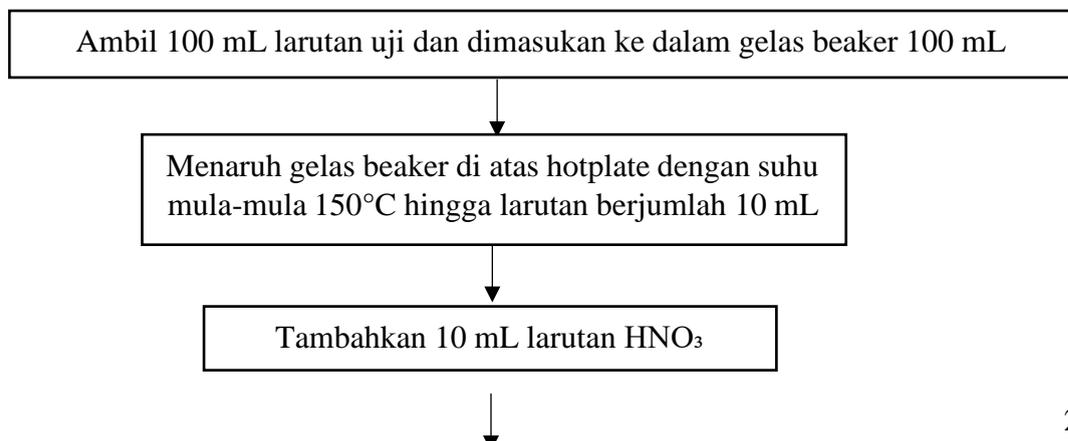
Gambar 3.2 Metode Pengambilan Sampel

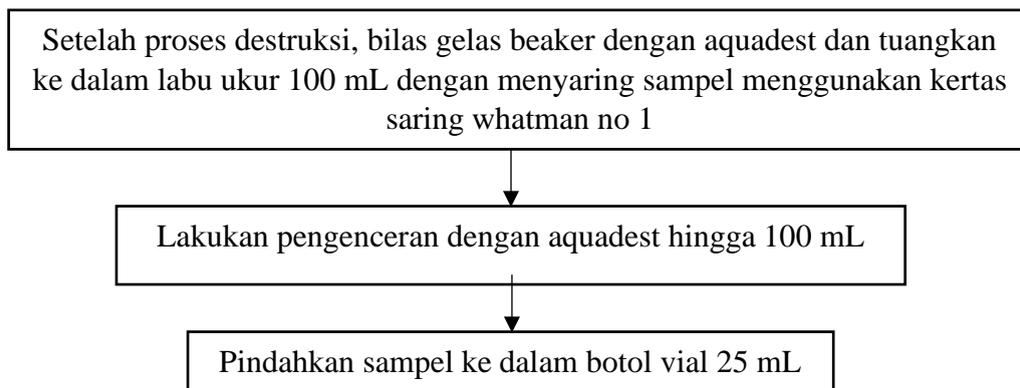
3.5 Uji Karakteristik Air Lindi

Karakteristik air lindi berdasarkan parameter kimia. Parameter kimia yang diuji adalah pH (SNI 6989.11-2019). Pengujian pH pada penelitian kali ini menggunakan pH Universal.

3.6 Uji Kadar Logam Berat Air Lindi

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 6989.84:2019), logam berat dalam sampel dapat dianalisis dengan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) sistem nyala. Ukuran logam berat Fe, Pb, dan Cd dilakukan sebelum pengujian, dan perhitungan kadar logam harus dilakukan sebelum proses destruksi.. Adapun langkah-langkahnya adalah seperti pada Gambar 3.3 sebagai berikut.





Gambar 3.3 Pengukuran Logam Berat

Setelah proses destruksi dan pemindahan sampel ke dalam botol vial sebanyak 25 mL, sampel dideteksi untuk dibaca kandungan logam beratnya menggunakan SSA.

3.7 Solidifikasi

Solidifikasi dapat terjadi sebagai hasil dari proses mekanis atau sebagai hasil dari reaksi kimia antara limbah pematat. Biasanya, perpindahan kontaminan dibatasi dengan mengurangi luas permukaan yang terkena pelindian atau melapisi limbah dengan material yang memiliki permeabilitas rendah (Trihadiningrum, 2016). Tujuan solidifikasi adalah mengubah limbah B3 menjadi massa fisik yang memiliki daya leaching rendah dan kekuatan mekanik yang cukup aman untuk dibuang ke landfill limbah B3 (Royyan, 2017).

Paving blok persegi panjang yang dibahas dalam penelitian ini berukuran 20 cm panjang, 10 cm lebar, dan 6 cm tebal. Untuk membuatnya, agregat variasi 1 pc: 7 ps digunakan (digunakan dalam bisnis), dan air lindi digunakan sebagai pengganti air bersih. SNI 03-0691-1996 mengacu pada pembuatan *paving block* manual.

Sedangkan persentase penambahan air lindi, jumlah benda uji dan macam pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.2 Komposisi *Paving Block*

Komposisi Pemakaian Semen : Pasir	Persentase Air Lindi (%)	Perbandigan Air Lindi dan Air Bersih (mL)		Jumlah Sampel
		Air Lindi	Air Bersih	
1 : 7	0	1000	-	4
1 : 7	25	250	750	4

1 :7	50	500	500	4
1 :7	75	750	250	4
1 :7	100	-	1000	4

3.7.1 Persiapan Bahan dan Peralatan

3.7.1.1 Bahan

Bahan yang digunakan untuk pembuatan *paving block* pada penelitian ini, adalah :

1. Air

Air yang digunakan adalah air yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak mengandung benda-benda asing yang dapat dilihat dengan kasat mata. Pada penelitian kali ini air yang digunakan berasal dari air PDAM.

2. Semen Portland

Semen yang digunakan pada penelitian ini adalah semen portland, semen gresik dalam kemasan eceran 1 kg.

3. Pasir

Pasir yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir Merapi. Pasir yang digunakan lolos saringan 5 mm.

4. Air Lindi

Air lindi yang dipakai pada penelitian ini adalah air lindi yang berasal dari bak inlet IPAL TPA Piyungan Bantul.

3.7.1.2 Peralatan

1. Cetakan paving block dengan ukuran 20 x 10 x 6 cm³

2. Ayakan pasir diameter 4,8 mm

3. Sekop

4. Timbangan

5. Peralatan pendukung (botol bekas, karung, kardus bekas, dan wadah 1 liter)

3.7.2 Proses Pencampuran

Pebandingan berat semen : pasir ialah 1 : 7 dengan variasi penambahan air lindi sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Dalam proses ini meliputi penimbangan dan pencampuran bahan. Masing-masing bahan ditakar menggunakan wadah dengan ukuran yang sesuai yaitu 1 liter untuk semen dan 7 kg untuk pasir. Kemudian penambahan variasi air lindi sesuai dengan

persentase yang ditetapkan lalu dicampur dengan menggunakan sekop diaduk sampai rata dan sampai dengan tekstur adonan yang diinginkan.

3.7.3 Pembuatan Benda Uji

Umumnya percetakan *paving block*, dapat dilakukan dengan cara mekanik, semi mekanik dan manual (cetak tangan). Percetakan secara manual benda uji dilakukan dengan cetakan tekan manual berbentuk persegi panjang dengan diameter $P = 20$ cm, $L = 10$ cm, dan $T = 6$ cm. Berikut ini adalah langkah-langkah percetakan atau proses pembuatan *paving block* dengan menggunakan alat press manual :

1. Pasang alas cetakan dengan benar pastikan sudah terpasang hingga ke dasar cetakan.
2. Tuang campuran pasir,semen, dan air/air lindi yang telah dicampur menggunakan sekop kedalam cetakan secara bertahap.
3. Tekan menggunakan ujung gagang sekop agar *paving block* yang dihasilkan padat dan tidak berongga.
4. Penuhi kembali isi cetakan hingga sedikit melebihi ukuran lalu tekan menggunakan alat berbahan besi gepeng menyesuaikan ukuran cetakan. Tekan dengan kuat hingga campuran memadati cetakan.
5. Selanjutnya permukaan disipat (diratakan) dengan sekop, pastikan tidak ada campuran yang belum masuk ke cetakan lalu angkat cetakan pindahkan ke lembaran kardus yang telah dialasi plastik cor sebagai alas untuk pengeringan.
6. Putar balikkan cetakan menghadap kebawah dan tekan alas cetakan melalui celah yang ada pada cetakan. Tekan hingga *paving block* keluar dari cetakan lurus keatas dan secara perlahan.
7. Angkat alas cetakan perlahan dan *paving block* telah dicetak.

3.7.4 Pengeringan Benda Uji

Setelah *paving block* dicetak, langkah selanjutnya yaitu pengeringan. Pengeringan dilakukan selama 28 hari di tempat teduh dan terlindungi dari terik matahari. Hal ini bertujuan agar proses pengeringan dan pengerasan pada *paving block* berjalan dengan optimal dan menghasilkan *paving block* yang memenuhi standar.

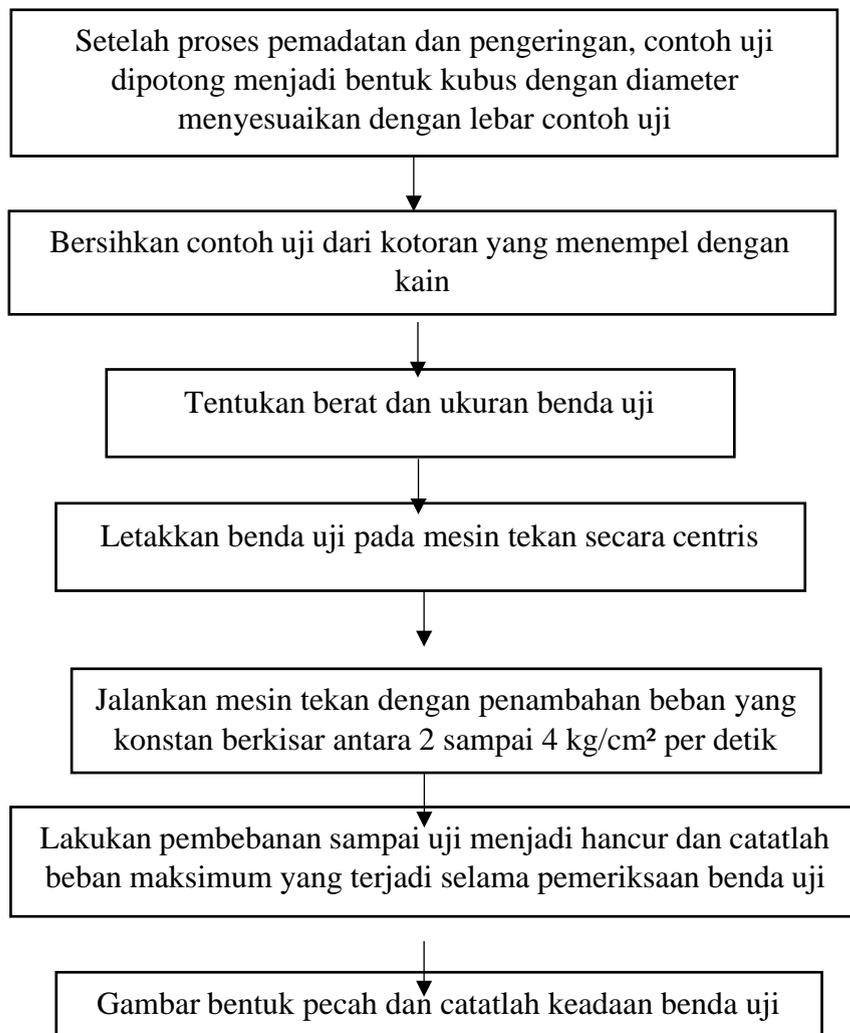
3.7.5 Pengujian *Paving Block*

Pengujian *paving block* dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik dan kualitas *paving block* yang dihasilkan. Pengujian dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari. Adapun pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah :

1. Pengujian Kuat Tekan

Kuat tekan benda uji dapat dihitung dengan menggunakan mesin kuat tekan, yang dapat mengontrol kecepatan penekanan dari awal pemberian beban sampai benda uji hancur dalam waktu tidak lebih dari satu menit dan tidak lebih dari dua menit. Ini dapat dilakukan dengan membandingkan beban mortar yang paling besar dengan luas bidang tekannya, yang diwakili dalam kilogram per sentimeter persegi.

Untuk melakukan uji kuat tekan dilakukan beberapa tahapan seperti yang tertera pada Gambar 3.4 dibawah ini.



Gambar 3.4 Pengujian Kuat Tekan

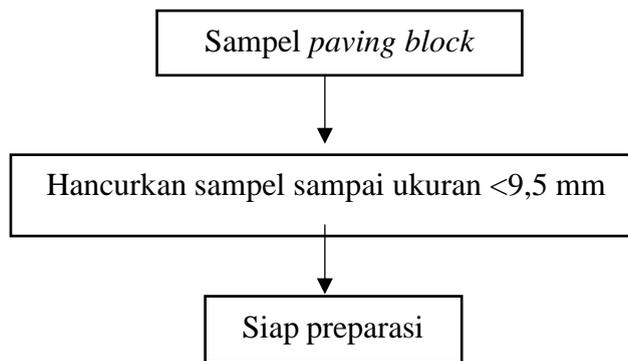
2. Pengujian TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*)

Pengujian TCLP digunakan untuk mengetahui apakah logam berat memenuhi ambang mutu atau di atas baku mutu. Uji TCLP dilakukan dengan metode uji 1311-United States Environmental Protection Agency (US-EPA).

Berikut tahapan uji TCLP :

a. Persiapan Sampel Uji

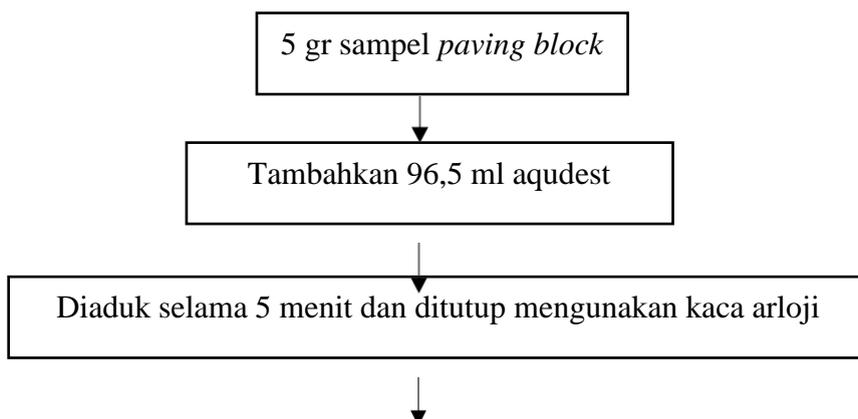
Persiapan sampel uji dilakukan dari mulai penghancuran *paving blocks* seperti pada Gambar 3.5 berikut ini.

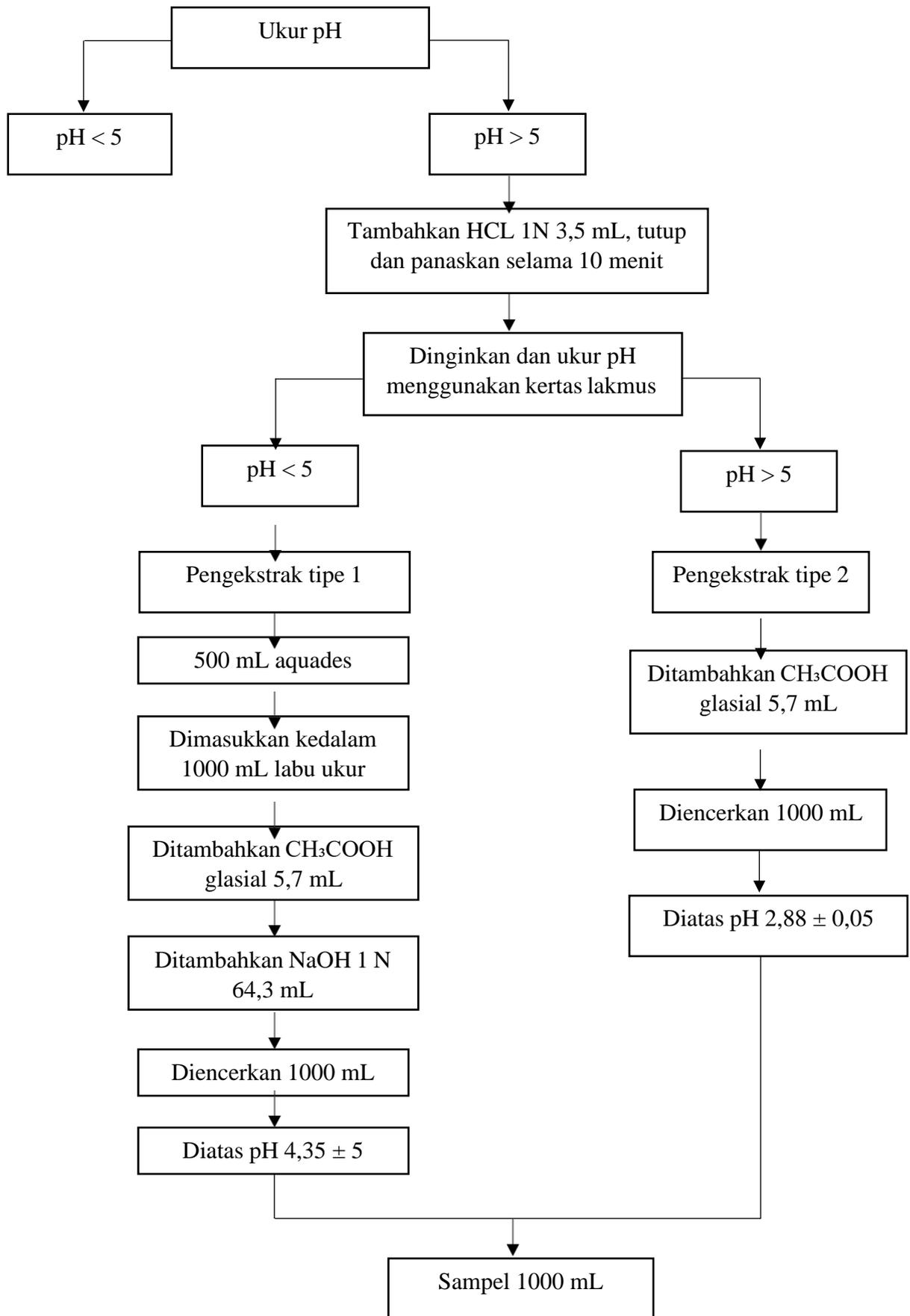


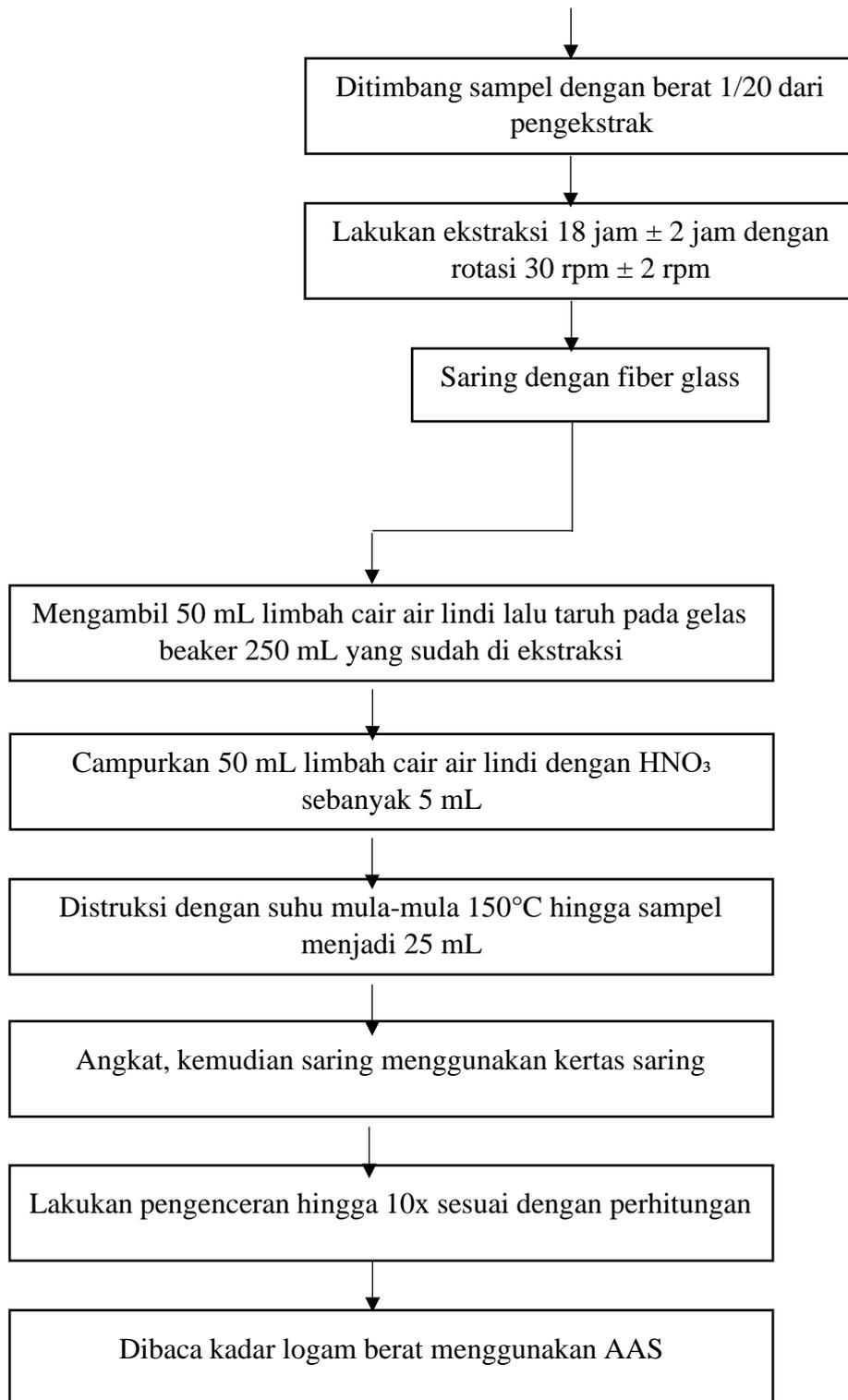
Gambar 3.5 Diagram Alir Persiapan Sampel Uji

b. Tahapan Uji TCLP

Berikut tahapan uji TCLP diantaranya adalah penentuan ekstraksi, tahapan ekstraksi, dan pembacaan kadar logam berat dapat dilihat pada Gambar 3.6 di bawah ini.







Gambar 3.6 Diagram Alir Penentuan TCLP Logam Berat

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS DATA

4.1 Kondisi Eksisting Lokasi Penelitian

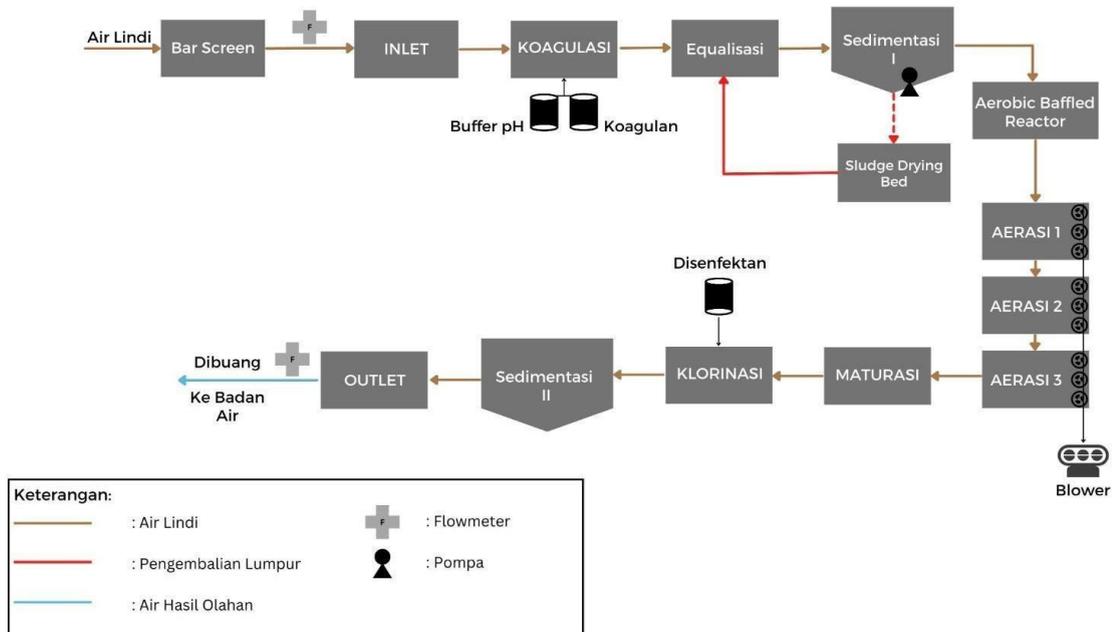
TPA Piyungan adalah TPA regional yang melayani sampah perkotaan dari tiga daerah: Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta, dan Kabupaten Bantul. Lokasinya berjarak 13,5 km atau 26 menit dari Kota Yogyakarta. Menurut data di lapangan yang disampaikan oleh Ari Budi Nugroho, Kepala Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Bantul, pada awal tahun 2023, volume sampah yang dikirim ke TPA Regional Piyungan rata-rata sebanyak 734 ton per bulan. Menurut Kuncoro Cahyo, Kepala Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan (DLHK) DIY, pada 12 September 2023, ada penambahan kuota karena penataan zona transisi 1.

Jumlah sampah yang masuk ke TPA Piyungan menurut data SIPSN (Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional) tahun 2022 sebanyak 97,086 ton/tahun dan yang masuk landfill sebanyak 92,134 ton/tahun. Untuk jumlah timbulan sampah di Provinsi DIY berdasarkan data SIPSN sebanyak 858,21 ton/hari atau 313,245 ton/tahun. Sedangkan untuk komposisi sampah berdasarkan jenisnya Provinsi DIY di dominasi oleh sampah sisa makanan sebanyak 56,13%, sampah plastik sebanyak 23,84%, sampah kertas/karton sebanyak 14,82%, sampah logam sebanyak 1,1%, sampah kaca sebanyak 1,07%, sampah sampah karet/kulit sebanyak 0,59%, sampah kain sebanyak 0,62%, sampah kayu/ranting 0,25%, dan sampah lainnya sebanyak 1,58%. Sedangkan untuk komposisi sampah berdasarkan sumbernya sampah di Provinsi DIY di dominasi dari rumah tangga sebanyak 50,17%, sampah perniagaan sebanyak 28,78%, sampah pasar sebanyak 7,2%, sampah fasilitas public sebanyak 4,35%, sampah perkantoran sebanyak 0,49%, dan sampah lainnya sebanyak 9,01%.

Seringkali, pengolahan ini dilakukan bersamaan dengan pengolahan kimia dan biologis. Pengolahan kimia bertujuan untuk mengurangi kandungan ion pada lindi, sedangkan pengolahan biologis menggunakan aerob dan anaerob untuk mengurangi kandungan bahan organik dalam lindi (Muljadi dan Hari, 2011). IPAL TPA Piyungan Yogyakarta memiliki kapasitas IPAL sebesar 300 m³ per hari dengan suhu air rata-rata 31°C. Berikut proses pengolahan air lindi di TPA Piyungan sebagaimana tertera pada Gambar 4.1 di bawah ini.



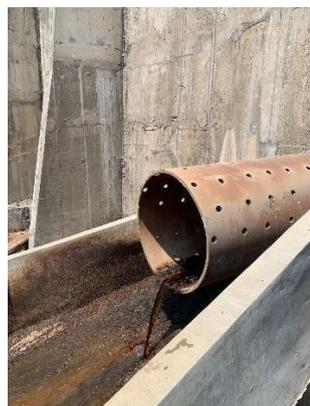
BAGAN ALIR IPL TPA REGIONAL PIYUNGAN



Gambar 4.1 Bagan Alir IPAL TPA Regional Piyungan

Sumber : Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan DIY

Pada penelitian kali ini, pengambilan sampel air lindi dilakukan di satu titik yaitu pada bak inlet IPAL TPA Piyungan. Hal ini dikarenakan agar pada saat pengujian kandungan yang ada dalam air lindi belum melalui proses manapun yakni masih dalam kondisi murni dari proses pembentukan air lindi melalui timbunan sampah. Berikut adalah kondisi eksisting bak inlet IPAL TPA Piyungan seperti yang tertera pada Gambar 4.2 di bawah ini :



Gambar 4.2 Kondisi Eksisting Bak Inlet IPAL TPA Piyungan

Sumber : Dokumentasi Lapangan

4.2 Analisis Karakteristik pada Air Lindi

Karakteristik air lindi yang dilakukan pengujian pada penelitian kali ini adalah uji pH dan uji kadar logam berat.

4.2.1 Uji pH

Setelah pengambilan sampel air lindi dilakukan analisis pH menyesuaikan dengan SNI 6989.11-2019 menggunakan pH Universal. Data uji pH air lindi yang didapatkan yaitu sebesar 8. Hal ini menunjukkan bahwa air lindi yang masuk ke IPAL TPA Piyungan cenderung bersifat basa. Pengujian yang dilakukan berkala setiap harinya juga cenderung bersifat basa. Sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, pH air lindi sesuai dengan atau tidak melebihi atau kurang dari BML yang ditetapkan, yaitu 6,0–9,0. Menurut Mutiara (2018), pH menunjukkan keasaman atau basa cairan, konsentrasi ion hidrogen, dan parameter analisis kualitas air karena mempengaruhi proses di dalamnya.

4.2.2 Uji Logam Berat

Sebelum dilakukan pengolahan pada air lindi perlu dilakukan pengujian kadar logam berat terlebih dahulu agar diketahui besaran kadar logam berat yang terdapat dalam air limbah secara pasti. Kadar awal diperlukan sebagai pembandingan untuk kadar logam berat setelah dilakukan pengolahan. Logam Berat yang dianalisis pada penelitian air lindi ini diantaranya, Besi (Fe), Timbal (Pb), dan Kadmium (Cd). Pada analisis logam berat menggunakan dua metode pengambilan data yaitu primer dan sekunder. Untuk pengambilan data secara primer adalah melalui observasi secara langsung dan pengujian di Laboratorium Kualitas Lingkungan Teknik Lingkungan UII. Sedangkan untuk pengambilan data secara sekunder diperoleh melalui data yang diambil dari Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan DIY.

Pada pengambilan data primer dilakukan pengujian logam berat dengan mendestruksi terlebih dahulu sampel menggunakan HNO_3 kemudian dilakukan pengenceran sebanyak 4 kali dan dilanjutkan dengan pembacaan kadar logam berat menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Berikut merupakan hasil yang didapatkan dengan pembacaan SSA logam Besi (Fe), Timbal (Pb), dan Kadmium (Cd) seperti yang tertera pada Tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4.1 Hasil Uji Pembacaan AAS Logam Berat

Parameter	Konsentrasi (mg/L)	BML (mg/L)	Acuan
Besi (Fe)	4,73	2	Perda DIY No.7 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah
Timbal (Pb)	1,70	0,1	Perda DIY No.7 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah
Kadmium (Cd)	2,1	0,1	Permen LHK Nomor 59 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah

Berdasarkan data pengujian kadar logam yang tertera pada Tabel 4.1 dapat disimpulkan bahwa air lindi TPA Piyungan mengandung kadar logam berat sebesar Fe = 4,43 ; Pb = 1,70 ; dan Cd = 2,1. Ketiga parameter tersebut melebihi baku mutu yang telah ditetapkan pada peraturan terkait. Pencemaran timbal dapat disebabkan oleh berbagai item di TPA Piyungan, termasuk batu baterai, bekas kaleng cat, dan lainnya (Sari dan Afdal, 2017).

Sedangkan untuk pengambilan data sekunder diperoleh melalui data Laboratorium Lingkungan Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan DIY. Berikut adalah data uji hasil pengujian air lindi pada bak inlet dari Balai Laboratorium Lingkungan DLHK DIY yang tertera pada Tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Laboratorium Lingkungan

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji	Baku Mutu
	Fisika				

1	Suhu Air	°C	31	SNI 06-6989.23-2005	± 3 terhadap suhu udara
2	Suhu Udara	°C	28	SNI 06-6989.23-2005	-
3	TDS	mg/L	10.000	IKP 7.2.2	2.000
4	TSS	mg/L	1	SNI 6989.3:2019	100
	Kimia				
1	BOD	mg/L	731	SNI 6989.72:2009	100
2	COD	mg/L	1.531	SNI 6989.2.2019	300
3	pH		8,3	SNI 6989.11:2019	6,9-9,0
	Logam				
1	Besi Total	mg/L	7	SNI 6989-84:2019	2
2	Krom Total*	mg/L	0,04	SNI 6989-84:2019	0,5
3	Seng Total	mg/L	0,31	SNI 6989-84:2019	5
4	Tembaga Total	mg/L	<0,02	SNI 6989-84:2019	0,5
5	Timbal Total*	mg/L	<0,08	SNI 6989-84:2019	0,1

Keterangan :

1. * : Parameter di luar lingkup akreditasi
2. Baku Mutu berdasar Peraturan Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah untuk Kegiatan TPA Sampah
3. (-) : tanda menyatakan bahwa untuk kelas dimaksud, parameter tersebut tidak dipersyaratkan

Sumber : Balai Laboratorium Lingkungan DLHK DIY Bulan Agustus 2023

4.3 Analisis Hasil Pengujian *Paving Block*

Setelah melalui beberapa tahapan proses pembuatan *paving block* seperti persiapan komposisi bahan, pencampuran, percetakan, hingga pengeringan, setelah itu dilakukan pengujian bahan uji.

4.3.1 Pengujian Densitas/Massa Jenis *Paving Block*

Pengujian massa jenis *paving block* dilakukan pada umur 28 hari dengan jumlah benda uji 4 buah untuk setiap penambahan air lindi 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Data hasil

pengujian massa jenis dapat dilihat pada Tabel 4.3, Tabel 4.4, Tabel 4.5, Tabel 4.6, dan Tabel 4.7 di bawah ini.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Densitas Variasi 0%

Kode Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Densitas (kg/m ³)
A	19,50	9,60	5,70	2,33	2183,61
B	19,50	9,80	5,90	2,17	1924,63
C	19,70	9,50	5,80	2,29	2109,69

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Densitas Variasi 25%

Kode Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Densitas (kg/m ³)
A	19,80	9,50	5,80	2,22	2034,87
B	19,70	9,40	5,60	2,38	2295,06
C	19,60	9,70	5,70	2,18	2011,66

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Densitas Variasi 50%

Kode Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Densitas (kg/m ³)
A	19,60	9,30	5,70	2,12	2040,43
B	19,60	9,50	5,70	2,25	2119,96
C	19,50	9,40	5,80	2,25	2116,37

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Densitas Variasi 75%

Kode Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Densitas (kg/m ³)
A	19,70	9,70	5,70	2,17	1992,26
B	19,50	9,40	5,80	2,26	2125,78
C	19,80	9,50	5,60	2,19	2079,06

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Densitas Variasi 100%

Kode Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Densitas (kg/m ³)
A	19,80	9,50	5,80	2,16	1979,87
B	19,70	9,60	5,70	2,31	2142,89
C	19,70	9,50	5,80	2,23	2054,41

Dalam hasil pengujian densitas/massa jenis diatas dengan penambahan air lindi setiap variasi tidak berpengaruh secara signifikan. Disini dapat dilihat bahwa angka yang dihasilkan bisa bervariasi setiap persentase tergantung dengan berat dan pemadatan yang maksimal dari setiap *paving block*. Dilihat pada tabel, densitas terbesar ada pada variasi 25%, kode sampel B sejumlah 2295,06 kg/m³ dengan berat 2,38 kg. densitas terbesar kedua ada pada variasi 0% kode sampel A sejumlah 2183,61 kg/m³ dengan berat 2,33 kg. sedangkan untuk densitas terkecil ada pada variasi 0% kode sampel B sejumlah 1924,63 kg/m³ dengan berat 2,17 kg.

Berdasarkan analisa diatas, persentase pemberian air lindi tidak berpengaruh pada hasil akhir dari nilai densitas melainkan yang memengaruhi hasil akhir densitas ialah nilai dari massa atau berat suatu benda uji. Semakin besar berat benda uji, maka nilai densitas nya juga akan semakin besar. Sebaliknya, apabila nilai berat atau massa suatu benda uji kecil, maka densitas nya pun akan mengikuti. Hal ini dikarenakan adanya perlakuan yang berbeda dari setiap benda uji pada saat pemadatan campuran mengakibatkan kurang meratanya massa atau berat setiap *paving block* yang dihasilkan .

4.3.2 Pengujian Kuat Tekan *Paving Block*

Setelah 28 hari, pengujian kekuatan tekan menunjukkan hasil yang berbeda untuk setiap variasinya. Hasil kuat tekan rata-rata dari setiap variasi penambahan air lindi dibandingkan dalam diskusi ini. Hasil pengujian menunjukkan pembebanan terbaik. Contoh perhitungan :

Sebagai contoh diambil hasil pengujian pada variasi penambahan air lindi 100% kode sampel A.

$$\text{Panjang (P)} = 19,80 \text{ cm} = 198,0 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar (L)} = 9,50 \text{ cm} = 95,0 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi (T)} = 5,80 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas (L)} &= P \times L \\ &= 198, \times 95 \\ &= 18810 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Beban Maksimum (P)} = 1370 \text{ kgf} = 13426 \text{ N}$$

$$\text{Kuat Tekan } (\sigma) = \frac{P}{L} = \frac{13426}{18810} = 0,71 \text{ N/mm}^2 = 0,71 \text{ Mpa}$$

Berdasarkan pengujian kuat tekan setelah proses pengeringan didapatkan hasil kuat tekan yang berbeda setiap variasinya. Berikut adalah hasil dari pengujian kuat tekan untuk mengetahui beban maksimum pada setiap variasi *paving block* seperti yang tertera pada Tabel 4.8 di bawah ini.

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Kuat Tekan Rata-Rata

Variasi (%)	Kode Sampel	Luas (mm ²)	Beban maksimum (N)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa)
0	A	18720	20286	1,08	0,99
	B	19110	17052	0,89	
	C	18715	18816	1,01	
25	A	18810	5782	0,31	0,28
	B	18518	4785	0,26	
	C	19012	5390	0,28	
50	A	18228	9408	0,52	0,87
	B	18620	14896	0,80	
	C	18330	23912	1,30	
75	A	19109	12838	0,67	0,70
	B	18330	16758	0,91	
	C	18810	9898	0,53	
100	A	18810	13426	0,71	0,96
	B	18912	26068	1,38	
	C	18715	14994	0,80	

Berdasarkan pada hasil uji dan perhitungan diatas hasil kuat tekan masih belum memenuhi mutu yang telah ditetapkan pada SNI 03-0691-1996. Nilai kuat tekan yang sangat kecil dapat terjadi karena beban maksimum dari *paving block* yang terlalu kecil. Hal ini dapat terjadi karena kurang efektif nya dari proses pemadatan hingga pengeringan berlangsung dan perawatan benda uji yang tidak maksimal sehingga, benda uji memungkinkan adanya retakan atau pemadatan yang kurang sempurna.

Menurut Tjokrodimuljo (1992), ada beberapa factor yang dapat mempengaruhi kuat tekan *paving block* salah satu yang utamanya ialah faktor air semen (Fas). Faktor air semen (Fas) yaitu perbandingan berat antara semen dan air dalam satu campuran beton. Apabila dalam pencampuran nilai fas nya terlalu sedikit dapat berakibat pada kurang sempurnanya reaksi semen sehingga daya ikatnya menjadi berkurang. Hal ini yang mengakibatkan beton menjadi lemah dan relatif berongga sehingga kekuatan beton menjadi berkurang. Begitu hal nya juga

apabila nilai fas yang berlebihan dapat berakibat pada sulitnya proses mencetak *paving block*. Nilai Fas yang umum digunakan ialah sebesar 0,35 dari berat semen.

Faktor lain yang dapat menjadi pengaruh dari kuat tekan ialah jumlah dan jenis semen yang digunakan. Semakin banyaknya semen yang dicampur dengan air dalam adonan beton dapat mengakibatkan banyaknya rongga antar agregat sehingga daya ikatnya berkurang. Semen Portland dalam pembuatan *paving block* ini memiliki sifat-sifat tertentu seperti mudah mengeras dan sebagainya, sehingga berpengaruh pula terhadap nilai kuat tekan beton yang dihasilkan. Faktor agregat juga dapat menjadi pengaruh kekuatan suatu beton. Seperti permukaan agregat yang kasar bahkan lebih membuat rekatan antara agregat dengan pasta semen menjadi lebih kuat dibandingkan agregat yang halus.



Gambar 4.3 Pengujian Kuat Tekan Paving Block

4.4 Analisis Hasil Pengujian TCLP

Tahapan akhir untuk memastikan kadar Besi (Fe), Timbal (Pb), dan Kadmium (Cd) dalam air lindi adalah dengan melakukan uji Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP). Pengujian TCLP dimaksudkan untuk pengecekan kembali konsentrasi logam berat dalam air lindi yang sudah dilakukan pengolahan. Uji TCLP mengekstraksi logam berat atau kontaminan dari air lindi.

Sebelum dilakukan pengujian TCLP, perlu dilakukan uji pH untuk menentukan dalam pembuatan larutan ekstraksi yang nantinya akan dijadikan sebagai campuran untuk melakukan ekstraksi. Berikut hasil pengujian pH setelah proses solidifikasi seperti yang tertera pada Tabel 4.9 di bawah ini.

Tabel 4.9 Hasil Pengukuran pH

No	Variasi (%)	pH
1	0	11
2	25	11
3	50	11
4	75	12
5	100	12

Dari hasil uji pH menggunakan indikator universal didapatkan hasil pH >5 untuk itu dilakukan penambahan HCL 1 N sebanyak 3,5 mL lalu dipanaskan selama 10 menit dan dilakukan pengukuran pH kembali. Setelah dilakukan pengukuran pH didapatkan hasil pH >5 dengan ini pembuatan larutan ekstrak menggunakan pengeksrak tipe 2. Setelah ditambahkan CH₃COOH glasial sebanyak 5,7 mL lalu diencerkan sebanyak 1000 mL maka diukur pH seperti yang tertera pada Tabel 4.10 di bawah ini.

Tabel 4.10 Tipe Ekstraksi

No	Variasi (%)	pH	Pengekstrak
1	0	2	Tipe 2
2	25	3	Tipe 2
3	50	3	Tipe 2
4	75	4	Tipe 2
5	100	4	Tipe 2

Setelah diukur pH maka sampel yang telah di haluskan ditimbang sebanyak 1 : 20 masing-masing variasi dan dimasukkan ke dalam botol ekstraksi lalu dicampurkan dengan larutan pengeksrak tipe 2. Setelah itu, dilakukan ekstraksi menggunakan instrument *Rotary Agigator Test* (RAT) selama kurang lebih 18 jam dengan kecepatan 30 rpm. Proses ekstraksi yang memakan waktu lama bertujuan agar partikel di dalam sampel dapat larut dan bercampur dengan larutan ekstraksi. Berikut adalah proses ekstraksi sampel seperti yang tertera pada Gambar 4.4 di bawah ini.



Gambar 4.4 Proses Ekstraksi

Setelah dilakukan pengadukan didapatkan sampel homogen sehingga dilakukan penyaringan dengan alat vakum *Methylen Blue* 1000 ppm menggunakan kapas *micro fiber*. Selanjutnya baru dilakukan uji logam berat menggunakan AAS yang sebelumnya sampel yang telah di lakukan penyaringan di destruksi terlebih dahulu. Hasil pengujian dapat yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel 4.11 berikut.

Tabel 4.11 Hasil Pengujian AAS setelah TCLP

No	Sampel	Kadar Fe (mg/L)	Kadar Pb (mg/L)	Kadar Cd (mg/L)
		BML= 2	BML = 0,1	BML = 0,1
1	Variasi 0%	0	0	0
2	Variasi 25%	0,11	0,87	<0,004
3	Variasi 50%	<0,007	1,45	<0,004
4	Variasi 75%	0,04	0,79	<0,004
5	Variasi 100%	0,16	3,49	<0,004

Tabel 4.12 di bawah ini menunjukkan efesiensi immobilitas besi (Fe) di *paving block*.

Tabel 4.12 Efisiensi Immobilisasi Logam Berat (Fe)

No	Sampel	Kadar Fe (mg/L)		Efisiensi (%)
		Sebelum TCLP	Setelah TCLP	
1	Variasi 0%	0	0	0
2	Variasi 25%	1,18	0,11	91

3	Variasi 50%	2,37	<0,007	100
4	Variasi 75%	3,55	0,04	99
5	Variasi 100%	4,73	0,16	97

Dalam perhitungan imobilitas logam Fe dalam paving blocks, didapatkan hasil efisiensi pengolahan yang cukup tinggi. Terjadinya pengikatan pada saat dilakukan pengeringan sehingga memperkuat *paving blocks* dan kandungan Fe dalam *paving blocks* terjebak dalam ikatan dan sukar untuk keluar dari *paving blocks* tersebut. Sehingga jika dilihat dari hasil pengujian TCLP tersebut mengindikasikan bahwa *paving blocks* dengan komposisi penambahan air lindi dinyatakan stabil atau immobile sehingga aman terhadap lingkungan.

Tabel 4.13 di bawah ini menunjukkan efisiensi imobilitas logam berat Timbal (Pb) di dalam *paving block*.

Tabel 4.13 Efisiensi Immobilisasi Logam Berat (Pb)

No	Sampel	Kadar Pb (mg/L)		Efisiensi (%)
		Sebelum TCLP	Setelah TCLP	
1	Variasi 0%	0	0	0
2	Variasi 25%	0,43	0,87	-
3	Variasi 50%	0,85	1,45	-
4	Variasi 75%	1,28	0,79	61
5	Variasi 100%	1,70	3,49	-

Sedangkan dalam perhitungan imobilitas logam Pb dalam *paving block*, didapatkan hasil efisiensi pengolahan yang sangat rendah. Hal ini terjadi karena kurangnya logam Pb mengikat di dalam campuran proses solidifikasi dengan *paving block*. Hal lain yang dapat memicu adalah campuran *paving block* yang kurang maksimal atau terjadi kandungan Pb yang tinggi di dalam material campuran *paving block* itu sendiri.

Tabel 4.14 di bawah ini menunjukkan efisiensi imobilitas logam berat Kadmium (Cd) di dalam *paving block*.

Tabel 4.14 Efisiensi Immobilisasi Logam Berat (Cd)

No	Sampel	Kadar Cd (mg/L)		Efisiensi (%)
		Sebelum TCLP	Setelah TCLP	
1	Variasi 0%	0	0	0
2	Variasi 25%	0,53	<0,004	100

3	Variasi 50%	1,05	<0,004	100
4	Variasi 75%	1,58	<0,004	100
5	Variasi 100%	2,10	<0,004	100

Dalam perhitungan imobilitas logam Cd dalam *paving blocks*, didapatkan hasil efisiensi pengolahan yang sangat tinggi. Terjadinya pengikatan pada saat dilakukan pengeringan sehingga memperkuat *paving blocks* dan kandungan Cd dalam *paving blocks* terjebak dalam ikatan dan sukar untuk keluar dari *paving blocks* tersebut. Sehingga jika dilihat dari hasil pengujian TCLP tersebut mengindikasikan bahwa *paving blocks* dengan komposisi penambahan air lindi dinyatakan stabil atau immobile sehingga aman terhadap lingkungan.

Contoh perhitungan efisiensi immobilisasi air lindi :

$$E = \frac{(C1 - C2)}{C1} \times 100\% = \frac{(1,18 - 0,11)}{1,18} \times 100\% = 91\%$$

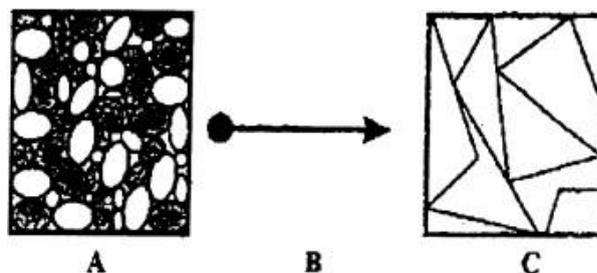
Dalam perhitungan imobilitas logam berat dalam *paving blocks*, di dapatkan hasil efisiensi pengolahan yang cukup tinggi seperti pada tabel 4.12 dan 4.14. *Paving blok* menjadi lebih kuat karena logam berat Fe dan Cd terikat selama pengeringan. Mekanisme immobilisasi logam berat yang ada di dalam air lindi oleh paving block diperkirakan berasal dari tertutupnya mikro pori dalam katalis dan terjadinya pembungkusan butiran semen dan agregat yang bersifat lebih padat (*impermiabel*). Secara fisik di dalam proses immobilisasi terjadi suatu perubahan struktur, bahan, dan bentuk antar partikel menjadi suatu bentuk yang homogenitas dengan bentuk kristal, hal ini terjadi karena adanya suatu proses pemanasan sehingga ikatan yang terjadi antara partikel dengan air lindi akan semakin kuat.

Menurut Ichinose (1987), ikatan kimia yang terjadi antara partikel tersebut merupakan ikatan kovalen dan ikatan ionic. Dengan demikian secara kimia ikatan yang terbentuk dalam benda hasil pengeringan merupakan suatu ikatan kimia yang kuat. Semen Portland dan air setelah bertemu akan bereaksi, butir-butir semen Portland bereaksi dengan air menjadi gel yang dalam beberapa hari menjadi keras dan saling melekat. Reaksi-reaksi ini menghasilkan bermacam-macam senyawa kimia yang menyebabkan ikatan dan pengerasan.

Dari hasil penelitian diketahui adanya logam Pb yang masih terlindi, terutama pada konsentrasi penambahan air lindi yang tinggi, hal ini dikarenakan semakin tinggi

pada konsentrasi penambahan limbah yang tinggi maka kebutuhan rongga dalam partikel mineral lokal akan semakin besar dan pada akhirnya akan mencapai kejenuhan. Pada keadaan tersebut partikel limbah tidak dapat terikat dengan sempurna baik secara fisik maupun secara kimia. Kandungan logam berat dalam *paving blok* terjebak dalam ikatan dan sulit untuk keluar. Jadi, berdasarkan hasil pengujian TCLP, *paving blocks* yang memiliki komposisi penambahan air lindi dan endapan air lindi tampak stabil atau tidak bergerak, sehingga aman terhadap lingkungan. Berbeda dengan logam berat Pb justru tidak terjadi removal untuk penurunan kadar logam berat kecuali pada variasi 75% yaitu sebesar 60% kemampuan *removal* logam berat pada air lindi di dalam *paving block*. Faktor yang mempengaruhi dapat disebabkan oleh *trial and error*, faktor lingkungan, maupun kajian lebih lanjut terkait logam Pb. Mengonversi limbah beracun menjadi massa yang secara fisik inert dengan daya leaching yang rendah adalah tujuan dari proses solidifikasi (Royyan, 2017).

Setelah melalui proses solidifikasi (monolit) akan mengeras dan strukturnya telah berubah menjadi struktur padat. Dalam sketsa dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 4.5 Perubahan Susunan Partikel dalam Immobilisasi (Ichinose, 1987)

Keterangan :

A = Susunan Partikel sebelum Immobilisasi

B = Proses Immobilisasi

C = Susunan Partikel setelah Immobilisasi

Dari sketsa terlihat jelas perbedaan partikel dalam bahan sebelum dan sesudah immobilisasi. Dengan terjadinya leburan, maka struktur partikel berubah dalam bentuk yang hanya menempel menjadi bentuk yang telah menyatu dan terjadi proses pemadatan sehingga sulit dipisahkan lagi. Dari uji TCLP yang dilakukan dapat dilihat bahwa logam yang terkandung dalam paving blocks menjadi lebih stabil pada logam Fe dan Cd. Hal ini menunjukkan bahwa proses solidifikasi yang terjadi pada paving block cukup berhasil dengan ditandai oleh rendahnya logam berat yang terlepas setelah

dilakukan uji TCLP terhadap sampel *paving blocks*.

Hasil uji TCLP yang cukup variatif disebabkan oleh salah satunya adalah pencampuran bahan yang tidak merata. Hal ini dikarenakan pencampuran dan pengadukan bahan dilakukan secara manual. Bahkan hingga percetakan paving block juga dilakukan secara manual. Hal ini menyebabkan campuran bahan paving block menjadi tidak homogen dan pada saat percetakan kekuatannya menjadi tidak merata. Keadaan ini yang menyebabkan Ketika dilakukan uji TCLP menjadikan logam yang terlepas memiliki konsentrasi yang ereda-beda.

4.5 Penentuan Kriteria Penetapan Limbah Bahan Berbahaya dan Bercaun (Kategori 1 atau Kategori 2)

Berdasarkan Peraturan Pemerintah nomor 22 tahun 2021, Limbah dikategorikan menjadi 2 kategori yaitu :

1. Kategori

Limbah dikategorikan sebagai limbah B3 kategori 1 jika limbah memiliki konsentrasi zat pencemar lebih besar dari TCLP A sebagaimana yang tercantum pada lampiran XI PP Nomor 22 tahun 2021.

2. Kategori 2

Limbah dikategorikan sebagai limbah B3 kategori 2 jika limbah memiliki konsentrasi zat pencemar sama dengan atau lebih kecil dari TCLP-A dan lebih besar dari TCLP-B sebagaimana yang tercantum pada lampiran XI PP Nomor 22 tahun 2021.

Berikut adalah hasil penetapan kategori limbah bahan berbahaya beracun berdasarkan perolehan uji TCLP seperti yang tertera pada Tabel 4.15 di bawah ini.

Tabel 4.15 Penentuan Kategori Limbah B3

Sampel	Hasil Uji Pb (mg/L)	Penentuan Kategori		Hasil Uji Cd (mg/L)	Penentuan Kategori	
		TCLP-A	TCLP-B		TCLP-A	TCLP-B
		BM = 3	BML = 0,5		BML = 0,9	BML = 0,15
Variasi 0%	0	-		0	-	
Variasi 25%	0,87	Kategori 2		<0,004	Kategori 2	
Variasi 50%	1,45	Kategori 2		<0,004	Kategori 2	
Variasi 75%	0,79	Kategori 2		<0,004	Kategori 2	

Variasi 100%	3,49	Kategori 1	<0,004	Kategori 2
-----------------	------	------------	--------	------------

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai Pengolahan Limbah Cair TPA Piyungan Yogyakarta sebagai *Paving Block* dalam Menurunkan Kadar Logam Berat Menggunakan Metode Stabilisasi/Solidifikasi dapat disimpulkan bahwa

1. Karakteristik air lindi di TPA Piyungan memiliki nilai pH basa dengan rata-rata sebesar 9. Dari hasil tersebut disimpulkan bahwa nilai semua karakteristik limbah B3 cair sebelum dilakukan pengolahan berada sesuai dengan baku mutu sesuai dengan Perda DIY No.7 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah. Kadar Logam berat Besi (Fe), Timbal (Pb), dan Kadmium (Cd) dalam air lindi TPA Piyungan sebelum dilakukan pengolahan sebesar Fe = 4,73 ; Pb = 1,70 ; dan Cd = 2,1 dimana dari hasil tersebut tidak memenuhi dan melebihi baku mutu.
2. Setelah pengolahan dengan metode stabilisasi/solidifikasi dilakukan di dapatkan hasil kadar Logam berat Besi (Fe), Timbal (Pb), dan Kadmium (Cd) dalam air lindi berada di bawah baku mutu yaitu kurang dari 2 mg/L untuk logam Fe dan 0,1 mg/L untuk logam Cd. Hal tersebut juga dibuktikan dengan hasil dari TCLP dengan hasil yang rendah dibawah baku mutu. Meskipun demikian tetap terdapat logam berat yang belum memenuhi baku mutu seperti Pb. Hal ini menunjukkan bahwa solidifikasi efektif dalam mengikat logam berat dalam air lindi.
3. Setelah dilakukan pengolahan solidifikasi lewat pembuatan *paving block* dilakukan uji kuat tekan dan didapatkan hasil dari setiap variasi masih belum memenuhi mutu yang ada sesuai persyaratan yang ada di Indonesia.

5.2 Saran

Berdasarkan dengan penelitian yang telah dilakukan, di dapatkan saran untuk bisa dilakukan pada penelitian selanjutnya khususnya pada ruang lingkup TPA Piyungan Yogyakarta :

1. Bagi Praktikan yang berada di Laboratorium Kualitas Lingkungan diharapkan dapat berhati-hati dalam melakukan penelitian dan bersinggungan langsung dengan senyawa serta air limbah tertentu. Selain itu juga saat melakukan pengambilan cairan asam diharapkan dapat menggunakan lemari asam sebagaimana semestinya agar bau asam tidak menyebar ke seluruh ruangan sehingga dapat membahayakan

diri sendiri dan orang lain. Selain itu diharapkan juga untuk melakukan pencucian terhadap alat yang digunakan agar tidak merusak alat tersebut dan tidak merugikan orang lain (karena zat yang berbahaya).

2. Bagi TPA Piyungan Yogyakarta diharapkan pihak DLHK DIY dapat memperhatikan mengenai alternatif pengolahan air lindi sebagai *paving block* mulai dari proses uji logam berat, solidifikasi, dan uji TCLP. Selain itu juga dapat dilakukan pemeriksaan secara rutin mengenai kapasitas
3. Bagi peneliti selanjutnya diharapkan dapat melakukan penelitian dengan mempertimbangkan semua parameter logam berat yang terkandung dalam air lindi agar kedepannya pengolahan yang dihasilkan dapat dijadikan alternatif pemanfaatan air lindi tersebut. Serta diharapkan setelah proses uji mutu produk tersebut dapat dilakukan perancangan untuk meningkatkan kualitas mutu agar produk menjadi barang yang memiliki nilai jual yang tinggi. Selain itu, diharapkan dapat dibuat rancangan anggaran biaya untuk produksi yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Kindi, G.Y., 2019. Evaluation the solidification/stabilization of heavy metals by Portland cement. *Journal of Ecological Engineering*, 20(3).
- Andhoko, N., (2007), Tingkat Penurunan Cromium Total (Cr) dari Limbah Cair TPA Piyungan Yogyakarta dengan Constructed Wetlands Menggunakan Tanaman Eceng Gondok, Universitas Islam Indonesia
- Anggraini, M. (2022). *GAMBARAN PENGELOLAAN SAMPAH DI PASAR TRADISIONAL TANGGULANGIN KECAMATAN PUNGGUR KABUPATEN LAMPUNG TENGAH TAHUN 2022* (Doctoral dissertation, Poltekkes Tanjungkarang).
- Amirah, M. N., Afiza, A. S., Faizal, W. I. W., Nurliyana, M. H., & Laili, S. (2013). Human health risk assessment of metal contamination through consumption of fish. *J Environ Pollut Hum Health*, 1(1), 1-5.
- AZZARA, A. K. (2022). Pengolahan Limbah B3 Logam Berat Cadmium (Cd) Di Laboratorium Kualitas Lingkungan Menggunakan Metode Stabilisasi/Solidifikasi.
- BASIR, N. (2019). *KUAT TEKAN DAN KARAKTERISTIK LEACHATE MORTAR BERBAHAN LIMBAH PLASTIK PP (POLYPROPYLENE) DAN ABU SEKAM PADI* (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Chen, Y.K., 1975, "Mechanism of Leachate Formation in Sanitary Landfill, Ann ArborScience", Michigan
- Effendi, 2003. Telaah kualitas Air "Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan", Kanisms Yoeyakarta.
- RAHEEM, F. A. (2022). Uji Kandungan Logam Berat Cu, Fe, Dan Pb Menggunakan Metode Atomic Absorption Spectrophotometry (Aas) Pada Air Lindi Tpa Piyungan, Bantul.
- Rhidany, F., 2005. Solidifikasi Limbah Kromium Industri Penyamakan Kulit dengan Teknologi Keramik. Tugas Akhir. Diterbitkan. Yogyakarta
- Gusnita, D., 2012. Pencemaran logam berat timbal (Pb) di udara dan upaya penghapusan bensin bertimbal. *Berita Dirgantara*, 13(3).

- Ichinose, W. (1987). The Cauchy problem for Schrödinger type equations with variable coefficients.
- IZZAH, A.N., 2022. Analisis Kandungan Logam Berat (Mn, Fe, Dan Cd) Pada Timbunan Sampah Perkotaan Berdasarkan Umur Timbunan Di Tpst Piyungan Yogyakarta.
- Kayhanian, M., & Tchobanoglous, G. (1993). Innovative two-stage process for the recovery of energy and compost from the organic fraction of municipal solid waste (MSW). *Water Science and Technology*, 27(2), 133-143.
- Kragulj, T. (2018). Lead Contamination of Fish and Water from Coastal Sea of Bar Region (Montenegro). *Journal of Agronomy, Technology and Engineering Management (JATEM)*, 124-129.
- Nugrahadi, Aria. 2014. Evaluasi Kebijakan dan Strategi Pengelolaan Sampah di Kawasan Perkotaan Yogyakarta. Yogyakarta : UGM.
- Makhfudin, M.Z., 2021. *STUDI PEMANFAATAN ABU TERBANG LIMBAH BATU BARA TERHADAP KUAT TEKAN PAVING STONE BERPORI* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Lamongan).
- Mindasari, E., 2022. *UJI KANDUNGAN LOGAM BERAT BESI (Fe) PADA AIR IRIGASI, TANAH DAN SAYURAN KANGKUNG DI KAWASAN INDUSTRI KECAMATAN MARGAASIH KABUPATEN BANDUNG* (Doctoral dissertation, FKIP UNPAS).
- Mizwar, A., Sari, G. L., Juliastuti, S. R., & Trihadiningrum, Y. (2016). Bioremediation of soil contaminated with native polycyclic aromatic hydrocarbons from unburnt coal using an in-vessel composting method. *Bioremediation Journal*, 20(2), 98-107.
- Moha, D.I., 2023. REVITALISASI TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR TALUMELITO REGIONAL PROVINSI GORONTALO. *Jurnal Teknik Sipil, Arsitek, Perencanaan Wilayah (J-TSIAP)*, 2(1), pp.37-41.
- Mulasari, S. A., Husodo, A. H., & Muhadjir, N. (2016). Analisis situasi permasalahan sampah kota Yogyakarta dan kebijakan penanggulangannya. *KEMAS: Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 11(2), 259-269.
- 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.
- Nasirudin, N., 2015. PENGOLAHAN LINDI SAMPAH MELALUI PROSES OKSIDASI

BIOLOGI. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 15(1).

- Palar, S., 1994. *The Effects of Non-condensable Gas and Salinity on Steam Adsorption* (Doctoral dissertation, STANFORD UNIVERSITY).
- Palar, H., 2008. Pollution and toxicology of heavy metals. *Rineka Cipta, Jakarta*.
- Pamuji, A. (2007). Modulus of rupture dan kuat tarik belah beton berserat bendrat dengan recycling aspal sebagai pengganti sebagian agregat halus.
- Pradipta, R., Labno, A., Lee, M. C., Burke, W. J., Sulzer, M. P., Cohen, J. A., ... & Rokusek, D. L. (2007). Electron precipitation from the inner radiation belt above Arecibo. *Geophysical research letters*, 34(8).
- Rosnawati, W.O., Bahtiar, B. and Ahmad, H., 2017. Pengelolaan Sampah Rumah Tangga Masyarakat Pemukiman Atas Laut Di Kecamatan Kota Ternate. *Techno Jurnal Penelitian*, 6(02), pp.48-56.
- Royyan, A., 2017. Kajian Teknologi dan Mekanisme Stabilisasi/Solidfikasi untuk Pengolahan Limbah B3. *Jurnal Teknik ITS*, Vol.6, No.2, Hal 456-461
- Sastrawijaya, A.T., 1991. *Pengembangan Program Pengajaran*. Rineka Cipta.
- Tchobanoglous, G., Hillary Thelsen dan Samuel Vigil., 1993. *Integrated Solid Waste Management (Engineering Principles and Management Issue)*. New York: Mc Graw-Hill Companies.
- Thao, H. T. B., George, T., Yamakawa, T., & Widowati, L. R. (2008). Effects of soil aggregate size on phosphorus extractability and uptake by rice (*Oryza sativa* L.) and corn (*Zea mays* L.) in two Ultisols from the Philippines. *Soil Science & Plant Nutrition*, 54(1), 148-158.
- Usman, M. S., Zowalaty, M. E. E., Shameli, K., Zainuddin, N., Salama, M., & Ibrahim, N. A. (2013). Synthesis, characterization, and antimicrobial properties of copper nanoparticles. *International journal of nanomedicine*, 4467-4479.
- Vaddoriya, K., 2016. Immobilization of heavy metals using solidification/stabilization treatment: a Review. *International Journal of Advanced Research and Innovative Ideas in Education*, 2(3), pp.49-53.
- Widowati, S., 2008. Karakteristik Beras Instan Fungsional dan Peranannya dalam Menghambat Kerusakan Pankreas. *Jurnal Pangan*, 17(3), pp.51-60.

Zhafirin, Z. (2012). Pengaruh Penambahan Abu Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan Mortar Sebagai Bahan Dasar Paving Block.