

TA/TL/2023

TUGAS AKHIR

ANALISIS RISIKO LOGAM BERAT PADA AIR TANAH DAN KUALITAS AIR LINDI DI SEKITAR TPA BANYUROTO KABUPATEN KULONPROGO

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



**APRILIA VITRI KUSUMANINGRUM
19513209**

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

TUGAS AKHIR

ANALISIS RISIKO LOGAM BERAT PADA AIR TANAH DAN KUALITAS
AIR LINDI DI SEKITAR TPA BANYUROTO KABUPATEN
KULONPROGO

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Drajat Sarjana (SI) Teknik Lingkungan



APRILIA VITRI KUSUMANINGRUM
19513209

Disetujui,
Dosen Pembimbing:

Fajri Mulva Iresha, S.T., M.T., Ph.D

155130507

Tanggal: 20 Oktober 2023

Dr. Ir. Kasam, M.T.

925110102

Tanggal: 20 Oktober 2023

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII



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

095130401

Tanggal: 20 Oktober 2023

HALAMAN PENGESAHAN
ANALISIS RISIKO LOGAM BERAT PADA AIR TANAH DAN
KUALITAS AIR LINDI DI SEKITAR TPA BANYUROTO KABUPATEN
KULONPROGO

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Kamis
Tanggal : 19 Oktober 2023

Disusun Oleh:

APRILIA VITRI KUSUMANINGRUM
19513209

Tim Penguji :

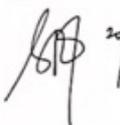
Fajri Mulva Iresha, S.T., M.T., Ph.D.

()

Dr. Ir. Kasam, M.T.

()

Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T.

( 20/10/23)

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, 20 Oktober 2023
Yang membuat pernyataan,



Aprilia Vitri Kusumaningrum
19513209

PRAKATA

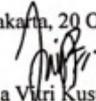
Assalamualaikum Wr. Wb

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga tugas akhir ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak 15 Maret 2023 ini ialah "Analisis kandungan logam berat dan risiko lingkungan pada TPA Banyuroto". Dalam pengerjaan Tugas akhir ini peneliti banyak sekali mengalami hambatan serta kesulitan, akan tetapi banyak orang-orang yang membantu, mendoakan, serta membimbing penulis hingga bisa menyelesaikan tugas akhir. Penulis mengucapkan terimakasih sebesar – besarnya kepada :

1. Kepada kedua orang tua, seluruh keluarga kakak, adik-adik dan keponakan penulis yang telah memberikan doa dan dukungan sehingga lancar dalam pengerjaan tugas akhir.
2. Terima kasih penulis ucapkan kepada Bapak Fajri Mulya Iresha, S.T., M.T., Ph.D Dr.Ir. dan Bapak Dr. Ir. Kasam, M.T. selaku pembimbing yang telah banyak memberi saran dan masukan terhadap penelitian ini.
3. Terima kasih penulis ucapkan kepada laboran mas Bagus, mas Ridwan, mbak Shinta, dan mbak, Tika yang sudah membimbing saya selama berada di Laboratorium.
4. Orang terdekat saya Fahri Ihza Firmanna yang telah bersedia mendengarkan keluh kesah, dan menemani dalam penulisan laporan
5. Rekan-rekan penulis dan sahabat saya Ina ,Pita, Faizah, Tika, yang berjuang bersama penulis selama perkuliahan.
6. Teman-teman tugas akhir TPA Banyuroto Lubna dan tegar yang telah membersamai dalam penelitian ini dalam suka maupun duka serta hendardi yang telah membantu dalam pengambilan sampel di TPA Banyuroto.
7. Semua pihak yang telah bersedia membantu penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

Pada tugas akhir ini masih banyak kekurangan atau kesalahan yang membuat laporan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca sekalian sehingga bisa bermanfaat bagi kita semua.

Yogyakarta, 20 Oktober 2023


Aprilia Vtri Kusumaningrum

ABSTRAK

APRILIA VITRI KUSUMANINGRUM. Analisis Risiko Logam Berat pada Air Tanah dan Kualitas Air Lindi di sekitar TPA Banyuroto Kabupaten Kulonprogo. oleh Fajri Mulya Iresha, S.T., M.T., Ph.D. dan Dr. Ir. Kasam, M.T.

TPA Banyuroto merupakan tempat pengelolaan akhir di Kabupaten Kulonprogo yang menggunakan metode control *landfill*. Tumpukan sampah seperti elektronik dan sampah B3 yang terdekomposisi oleh mikroorganisme yang tercampur dengan air hujan akan menghasilkan lindi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas air lindi yang mengandung logam berat dan keterkaitan antara logam berat yang ada pada lindi dengan air tanah. Penelitian ini dilakukan pada 3 titik lindi yaitu, Tumpukan sampah *landfill*, Inlet IPAL, dan Rembesan outlet yang mencemari lingkungan sekitar. Serta 4 titik sumur yang searah dengan rembesan lindi yaitu keselatan dan 1 titik sumur di utara sebagai perbandingan. Metode analisis logam berat menggunakan Atomic Absorbtion Spectrophotometri (AAS) dan ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-MS Spectrophotometri). Selanjutnya untuk penilaian potensi risiko lingkungan menggunakan metode *Risk Quotion* (RQ,tingkat risiko) nonkarsinogenik dan *Excess Cancer Risk* (ECR) karsinogenik. Berdasarkan hasil uji analisis logam berat yang didapatkan pada lindi adalah Pb = 0,185 mg/L, Cu mg/L = 0,101 mg/L, Cd = 0,1 mg/L, Mn = 0,091 mg/L, Cr = 0,040 mg/L, Zn = 0,636 mg/L, Fe = 0,807 mg/L, Hg = 0,018 mg/L. Sedangkan logam berat pada air tanah adalah Cr = 0,7 mg/L, Mn = 0,008 mg/L, Fe = 0,012 mg/L. Dari data tersebut kandungan Pb dan Cd pada lindi melebihi baku mutu Permen LHK No.59 Tahun 2016. Penilaian *Risk Quotion* pada air tanah yaitu RQ total dewasa 0,423 dan anak 0,475 nilai tersebut masih dibawah ambang batas < 1. Untuk *Excess Cancer Risk* (ECR) pada air tanah yang paling berpotensi Cancer yaitu kromium Cr didapatkan hasil dewasa 25×10^{-5} ; anak 5×10^{-5} nilai tersebut masih dibawah ambang batas < E-4 (10^{-4} sehingga perlu dilakukan pemeriksaan secara berkala.

Kata kunci : Air Tanah, Lindi, Logam berat, Potensi Risiko, TPA

ABSTRACT

APRILIA VITRI KUSUMANINGRUM. Analysis of the Risk of Heavy Metals in Groundwater and Leachate Water Quality around the Banyuroto Landfill, Kulonprogo Regency. by Fajri Mulya Iresha, S.T., M.T., Ph.D. and Dr. Ir. Kasam, M.T.

Banyuroto TPA is the final management site in Kulonprogo Regency using the control landfill method. Piles of waste such as electronics and B3 waste which are decomposed by microorganisms mixed with rainwater will produce leachate. This study aims to analyze the quality of leachate containing heavy metals and the relationship between heavy metals present in leachate and groundwater. This research was conducted at 3 leachate points, namely, landfill waste piles, WWTP inlets, and seepage outlets that pollute the surrounding environment. As well as 4 well points that are in the direction of leachate seepage, namely to the south and 1 well point to the north as a comparison. The analytical method for heavy metals uses Atomic Absorbtion Spectrophotometri (AAS) and ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry). Furthermore, for the assessment of potential environmental risks using the non-carcinogenic Risk Quotion (RQ, risk level) and carcinogenic Excess Cancer Risk (ECR) methods. Based on the test results, the average analysis of heavy metals found in leachate was Pb = 0.185 mg/L, Cu mg/L = 0.101 mg/L, Cd = 0.1 mg/L, Mn = 0.091 mg/L, Cr = 0.040 mg/L, Zn = 0.636 mg/L, Fe = 0.807 mg/L, Hg = 0.018 mg/L. Meanwhile, heavy metals in groundwater are Cr = 0.7 mg/L, Mn = 0.008 mg/L, 0.012 mg/L. From these data the Pb and Cd content in leachate exceeds the quality standard of Minister of Environment and Forestry Regulation No. 59 of 2016. The Risk Quotion assessment on groundwater, namely the total RQ for adults is 0.423 and for children is 0.475, this value is still below the threshold < 1. For Excess Cancer Risk (ECR) in groundwater that has the most potential for cancer, namely chromium Cr, the mature yield is 25×10^{-5} ; children 5×10^{-5} the value is still below the threshold $< E-4$ (10^{-4}) so it needs to be checked periodically.

Keywords: Groundwater, Leachate, Heavy Metals, Risk Potential, TPA

DAFTAR ISI

Table of Contents

PRAKATA	<i>i</i>
ABSTRAK	<i>ii</i>
ABSTRACT	<i>iii</i>
BAB I	<i>1</i>
PENDAHULIUAN	<i>1</i>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	<i>5</i>
2.1 Tempat Pembuangan Akhir TPA	5
2.1.2 Metode Pembuangan Sampah di TPA	6
2.2 Air Lindi (Leachate).....	9
2.2.1 Baku mutu air lindi.....	11
2.3 Pengaruh air lindi pada air tanah atau sumur	12
BAB III METODE PENELITIAN	<i>15</i>
3.1 Waktu dan Lokasi	15
3.2 Alat dan Bahan	16
3.3 Metode Penelitian.....	17
3.3.3 Pengambilan contoh untuk pengujian kualitas air	
3.3.4 Metode Pengujian Sampel.....	21
BAB IV	<i>30</i>
HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS DATA	<i>30</i>
4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian	30
4.2 Analisis Kandungan Zat Organik dalam Air Lindi	32
4.3 Analisis Kandungan Logam Berat dalam Air Lindi	37
4.4 Analisis Kandungan Logam Berat dalam Air Tanah	47
4.5 Analisis Risiko Logam Berat Pada Air Tanah	52
BAB V	<i>55</i>
KESIMPULAN DAN SARAN	<i>55</i>
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2 1 Baku Mutu Air lindi.....	12
Tabel 2 2 Penelitian Terdahulu.....	13
Tabel 3 1 Alat dan Bahan	16
Tabel 3 2 Metode dan Prinsip Pengujian Sampel	21
Tabel 4 1Konduktivitas Listrik, pH, TDS,TSS,COD dan BOD serta logam berat di TPA Banyuroto :.....	32
Tabel 4 2Konsentrasi BOD pada sampel air lindi.....	33
Tabel 4 3Konsentrasi COD pada sampel air lindi	34
Tabel 4 4 Konsentrasi TSS pada sampel air lindi	36
Tabel 4 5 Konsentrasi TDS pada sampel air lindi	37
Tabel 4 6 Konsentrasi Timbal (Pb) pada Air Lindi.....	39
Tabel 4 7 Konsentrasi Tembaga Cu pada Air Lindi.....	40
Tabel 4 8 Konsentrasi Kadmium (Cd) dalam Air Lindi	41
Tabel 4 9 Konsentrasi mangan (Mn) pada sampel air lindi.....	42
Tabel 4 10 Konsentrasi Kromium (Cr) dalam Air Lindi	43
Tabel 4 11 Konsentrasi seng (Zn) pada sampel air lindi	45
Tabel 4 12 Konsentrasi Besi (Fe) dalam Air Lindi.....	46
Tabel 4 13 Konsentrasi Merkuri (Hg) dalam Air Lindi.....	47
Tabel 4 14 Konduktivitas Listrik, pH, Suhu, dan logam berat pada air tanah:	48
Tabel 4 15 Konsentrasi Kromium (Cr) dalam Air Tanah.....	49
Tabel 4 16 Kandungan Mangan (Mn) dalam Air Sumur.....	50
Tabel 4 17 Kandungan Besi (Fe) dalam Air Tanah	52
Tabel 4 18 Dosis Potensial Intake dan Tingkat Risiko (RQ) pada anak-anak dan Deawasa	54
Tabel 4 19 dosis potensial intake dan Excess Cancer Risk (ECR) pada anak-anak dan dewasa	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3 1 Lokasi TPA Banyuroto.....	15
Gambar 3 2 Diagram Alir Penelitian	17
Gambar 3 3 Lokasi titik sampling air lindi dan air sumur	20
Gambar 3 4 Lokasi titik sampling air lindi dan air sumur menggunakan peta Satelit.....	20

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pengujian Sampel di Laboratorium.....	62
---	-----------

BAB I

PENDAHULIUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu penghasil sampah terbesar di dunia karena kurangnya kesadaran pengelolaan sampah perkotaan dan laju pertumbuhan penduduk yang semakin meningkat sehingga mengakibatkan jumlah sampah yang semakin banyak. Berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan pada tahun 2021, jumlah sampah di 154 kabupaten/kota di seluruh Indonesia mencapai 18,2 juta ton/tahun. Volume sampah yang dikelola dengan baik hanya 13,2 juta ton/tahun atau 72,95%. Sampah bukan lagi sekadar persoalan kebersihan dan lingkungan hidup, melainkan persoalan sosial yang berpotensi menimbulkan konflik [1]

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) merupakan tahap akhir pengolahan sampah dan biasanya sangat kotor karena tempat ini merupakan tahap akhir pengelolaan sampah. Mulai dari pembangkitan sumber, pengumpulan, pengangkutan, pengolahan hingga pembuangan akhir, semuanya dilakukan di kawasan TPA. Sampah yang disimpan di TPA terbuka selama lebih dari 24 jam akan diuraikan oleh mikroorganisme sehingga menghasilkan bahan organik berupa padatan terlarut atau tersuspensi yang tinggi zat pencemar dan beracun. Air lindi seringkali mengandung komponen berbahaya seperti logam berat. Air lindi yang mengikuti limpasan air hujan akan masuk ke tanah dan akan menurunkan kualitas air tanah.[2]

Logam berat adalah polutan yang tahan lama dan tidak terurai yang muncul di lingkungan sebagai akibat dari aktivitas alami dan antropogenik. Zat-zat beracun dan kontaminan dapat memasuki tubuh manusia melalui berbagai cara salah satunya melalui air. Logam berat yang paling dikenal adalah tembaga (Cu), nikel (Ni), kromium (Cr), timbal (Pb), kadmium (Cd), merkuri (Hg), seng (Zn), dan besi (Fe). Beberapa di antaranya sangat penting untuk kelangsungan hidup semua bentuk kehidupan pada konsentrasi rendah. Namun, timbal (Pb), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg) bersifat toksik bagi organisme hidup bahkan dalam konsentrasi

rendah, dan menyebabkan anomali dalam fungsi metabolisme organisme terutama ketika dalam jumlah tinggi. [3]

Pencemaran lingkungan hidup adalah fenomena masuk atau bercampurnya komponen hayati, material, energi, dan komponen lain akibat kegiatan manusia ke dalam lingkungan hidup, mengubah tatanan lingkungan hidup, menyebabkan mutu lingkungan hidup menurun sampai batas tertentu, dan mengakibatkan lingkungan hidup menjadi kurang baik. (Mukono, 2008). Oleh karena itu, risiko lingkungan perlu dianalisis. Analisis risiko adalah pendekatan sistematis untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan memahami potensi bahaya yang berkaitan dengan suatu kondisi, produk, atau kegiatan. Analisis risiko melibatkan langkah-langkah untuk mengumpulkan informasi, menganalisis data, dan menilai sejauh mana bahaya tersebut dapat mempengaruhi kesehatan manusia dan lingkungan. (US.EPA, 2005).

TPA Banyuroto berlokasi di Dusun Tawang, Desa Banyuroto, Kecamatan Nanggulan. TPA ini memiliki lokasi seluas 2,5 hektar dan berada pada ketinggian 100-120 meter di atas permukaan laut (mdpal) serta memiliki kemiringan lereng sekitar 15 hingga 25 persen. TPA Banyuroto juga memiliki jenis tanah lempung. TPA Banyuroto mulai beroperasi pada tahun 2010. Menurut Dinas Pekerjaan Umum (DPU), kapasitas TPA Banyuroto per 2015 lalu adalah 55.000 m³ atau 14.580 ton. TPA Banyuroto menggunakan metode "Control Landfill." Metode ini melibatkan penutupan sampah dengan menggunakan lapisan tanah secara berkala, dalam hal ini, sekali dalam seminggu. Tujuan utamanya adalah untuk mengurangi potensi gangguan dan pencemaran di lingkungan sekitar. TPA Banyuroto berada sangat dekat dengan pemukiman, dengan jarak sekitar 200 meter. Hal ini menunjukkan pentingnya memastikan bahwa pengelolaan dan operasi TPA dilakukan dengan baik untuk menghindari dampak negatif bagi masyarakat di sekitarnya.4]

Pada beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa air tanah di kawasan TPA memiliki kualitas yang buruk atau tercemar lindi. Dari uraian dan informasi di atas belum pernah ada penelitian tentang analisis logam berat dan kualitas air tanah pada TPA tersebut sehingga Penelitian ini bermaksud untuk

mengetahui kualitas air lindi dan kandungan logam berat pada air tanah disekitar TPA Banyuroto Kabupaten Kulonprogo terkait dengan keluhan masyarakat yang sering kali mencium aroma tidak sedap dari air sumur serta mengetahui apakah air yang digunakan sudah aman atau dapat menimbulkan penyakit.

1.2 Rumusan Masalah

- 1) Bagaimana keterkaitan antara logam berat pada lindi dengan logam berat pada sumur di sekitar TPA Banyuroto ?
- 2) Bagaimana potensi risiko lingkungan akibat logam berat pada warga yang menggunakan air sumur di sekitar TPA Banyuroto ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah:

- 1) Mengetahui keterkaitan antara logam berat pada lindi dengan logam berat pada sumur di sekitar TPA Banyuroto
- 2) Mengetahui *Risk Quotion* (RQ,tingkat risiko) nonkarsinogenik dan *Excess Cancer Risk* (ECR) karsinogenik pada warga yang menggunakan air sumur di sekitar TPA Banyuroto

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

- 1) Memberikan informasi kepada masyarakat tentang air sumur yang mereka gunakan apakah layak digunakan berdasarkan analisis risiko lingkungan.
- 2) Memberikan pengembangan IPTEK yaitu dapat dipakai sebagai pengetahuan tentang pengaruh Tempat Penampungan Akhir (TPA) terhadap kualitas air sumur.
- 3) Mengevaluasi aspek yang dapat ditingkatkan sehingga jadi bahan evaluasi bagi pengolahan IPAL Banyuroto dalam mengolah air lindi sehingga bisa menghasilkan effluent yang aman dibuang ke badan air

1.5 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup atau Batasan parameter dari penelitian ini adalah :

- 1) Wilayah penelitian dilakukan di TPA Banyuroto Kulonprogo Yogyakarta
- 2) Identifikasi ditinjau dari kualitas air lindi dan air sumur yang terdapat di sekitar TPA Banyuroto Kulonprogo Yogyakarta

- 3) Pengambilan sampel air lindi dan air sumur menggunakan metode pengambilan sampel sesaat atau *grab sampling* pada 3 titik air lindi dan 5 titik air sumur.
- 4) Metode pengukuran logam berat menggunakan alat Atomic Absorbtion Spectrophotometri (AAS) dan ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry)
- 5) Metode penilaian risiko lingkungan yang digunakan *Risk Quotion* (RQ,tingkat risiko) untuk nonkarsinogenik dan *Excess Cancer Risk* (ECR) untuk karsinogenik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tempat Pembuangan Akhir TPA

TPA adalah tahap terakhir dalam pengelolaan sampah. Ini adalah tempat di mana sampah yang tidak dapat diolah lebih lanjut atau didaur ulang akan dibuang secara aman. Pengelolaan sampah melibatkan serangkaian langkah yang dimulai dari munculnya sumber sampah hingga pembuangan akhir yaitu siklus (muncul sumber sampah, pengumpulan, pemindahan/pengangkutan, pengolah, TPA). TPA harus dirancang dan dioperasikan sedemikian rupa sehingga dampak negatif pada lingkungan dan kesehatan manusia diminimalkan. Beberapa jenis sampah terurai dengan cepat, bahkan ada beberapa jenis sampah tidak terurai selama beberapa decade. Hal ini menunjukkan bahwa setelah TPA digunakan, masih terdapat proses yang menghasilkan beberapa zat yang dapat mengganggu lingkungan. Oleh karena itu, untuk TPA tertutup masih diperlukan regulasi. [5]

2.1.1 Persyaratan Umum Lokasi TPA

Tingginya potensi gangguan TPA terhadap lingkungan sehingga pemilihan TPA harus hati-hati. Hal ini dapat ditentukan dengan persyaratan lokasi TPA yang diatur dalam SNI 03-3241-1994 dan ketentuan dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 (Tentang Tata Cara Pemilihan Tempat Pembuangan Akhir Bendungan). dan standar regional, termasuk:

- 1) Daerah non-geologi (daerah sesar, daerah rawan longsor, daerah rawan gempa, dan lain-lain)
- 2) Tidak termasuk daerah rawan hidrogeologi, yaitu daerah yang kedalaman air tanahnya kurang dari 3 meter, jenis tanahnya mudah menyerap air, dan dekat dengan sumber air (jika tidak terpenuhi, diperlukan teknologi tambahan)
- 3) Bukan merupakan daerah yang rawan (kemiringan lahan melebihi 20%)
- 4) Bukan kawasan bandara yang rawan aktivitas penerbangan (jarak minimal 1,5 – 3 meter) Bukan kawasan/kawasan lindung

2.1.2 Metode Pembuangan Sampah di TPA

Adapun menurut SNI 19-2452-2002 tentang Teknik Operasional atau macam-macam metode yang biasa digunakan di TPA untuk mengolah sampah meliputi :

a. Open dumping

Open dumping adalah suatu teknik operasi yang sangat sederhana yaitu menumpuk sampah disuatu lokasi yang luas tanpa pelindung apapun dan akan berhenti jika lokasi tersebut sudah penuh. Ini adalah metode yang sangat tidak diinginkan karena dapat menyebabkan sejumlah masalah lingkungan dan kesehatan. Berikut adalah ringkasan dari sisi negatif dan positif dari teknik open dumping:

- Sisi Negatif Open Dumping: Penyebaran Penyakit: Sampah yang terbuka dapat menjadi tempat berkembang biak bagi vektor penyakit seperti lalat, tikus, dan serangga lainnya. Ini bisa menyebabkan penyebaran penyakit dan kesehatan masyarakat yang buruk. Polusi Udara: Proses dekomposisi sampah yang terbuka dapat menghasilkan gas-gas berbahaya seperti metana, yang merupakan gas rumah kaca kuat yang berkontribusi terhadap perubahan iklim. Selain itu, bau dari tumpukan sampah juga dapat menyebabkan polusi udara yang tidak nyaman. Polusi Air: Cairan sampah yang bocor dari tumpukan sampah dapat mencemari tanah dan sumber air di sekitarnya, termasuk air tanah dan permukaan. Ini dapat menyebabkan pencemaran air dan dampak negatif pada lingkungan hidup. Estetika Lingkungan: Tumpukan sampah terbuka menghasilkan pemandangan yang sangat tidak enak dipandang. Ini dapat merusak estetika lingkungan dan citra area tersebut.
- Sisi Positif Open Dumping: Biaya Rendah: Metode open dumping mungkin terlihat murah dalam jangka pendek karena tidak memerlukan infrastruktur mahal atau pengelolaan yang rumit. Namun, biaya jangka panjang untuk mengatasi dampak negatifnya bisa jauh lebih besar. Kemudahan Implementasi: Metode ini bisa lebih mudah diimplementasikan terutama di daerah dengan sumber daya terbatas dan kurangnya infrastruktur pengelolaan sampah yang lebih baik. Namun

demikian, penting untuk diingat bahwa sisi positif yang mungkin terlihat dari metode open dumping sebenarnya seringkali hanya berlaku dalam jangka pendek. Dampak negatif yang dihasilkan dari metode ini jauh lebih besar dan dapat berlangsung dalam jangka panjang, termasuk dampak pada kesehatan manusia dan lingkungan secara keseluruhan. Pemerintah daerah harus bekerja untuk mencari solusi yang lebih berkelanjutan untuk mengelola sampah, seperti pengolahan limbah yang tepat, daur ulang, dan metode pembuangan yang lebih aman dan ramah lingkungan. Meskipun biaya dan sumber daya mungkin menjadi hambatan, investasi dalam manajemen sampah yang baik akan memberikan manfaat jangka panjang bagi lingkungan dan kesehatan masyarakat.

b. Controlled landfill

Controlled landfill adalah sebuah teknik pembuangan sampah yang melibatkan penanganan yang lebih terencana dan kontrol terhadap dampak lingkungan dan kesehatan manusia. Teknik ini melibatkan beberapa langkah untuk meminimalkan dampak negatif yang dihasilkan dari penimbunan sampah. Berikut adalah beberapa komponen utama dalam metode controlled landfill:

Penutupan Lapisan Tanah: Setiap kali sejumlah sampah ditumpuk di lokasi TPA, lapisan tanah ditempatkan di atasnya untuk menutupi dan mengisolasi sampah. Hal ini membantu mencegah penyebaran bau, mencegah hewan pengganggu masuk, dan mengurangi potensi pelepasan gas berbahaya seperti metana.

Pemadatan Sampah: Sampah yang ditimbun dapat dipadatkan secara periodik untuk mengurangi volume dan memaksimalkan penggunaan lahan di TPA. Pemadatan ini juga membantu dalam pengendalian gas dan menjaga stabilitas permukaan tanah.

Saluran Drainase: Saluran drainase dibangun untuk mengendalikan aliran air hujan. Ini adalah langkah penting untuk mencegah terjadinya genangan air dan potensi pencemaran air akibat lindi yang bocor dari sampah.

Pengumpulan Lindi: Lindi atau cairan sampah yang terbentuk dari dekomposisi sampah di dalam TPA harus dikumpulkan dan dikelola dengan benar. Ini dapat melibatkan pembangunan saluran pengumpul lindi dan kolam penampungan untuk mengurangi potensi pencemaran tanah dan air.

Pos Pengendalian Operasional: Fasilitas ini digunakan untuk mengawasi dan mengendalikan aktivitas di dalam TPA. Ini termasuk pemantauan proses, pemadatan, pengumpulan lindi, dan pengelolaan umum TPA. Pengendalian Gas Metana: Metana adalah gas yang dihasilkan oleh dekomposisi sampah organik di dalam TPA. Gas ini sangat berpotensi meledak dan merupakan kontributor kuat terhadap efek rumah kaca. Oleh karena itu, fasilitas pengendalian gas metana diperlukan untuk mengumpulkan dan mengolah gas tersebut. Penggunaan controlled landfill lebih baik dibandingkan open dumping karena membantu mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Namun, perlu diingat bahwa meskipun lebih baik, TPA terkendali tetap memiliki potensi dampak negatif, dan langkah-langkah seperti daur ulang, pengurangan sampah, dan teknologi pengolahan limbah lebih lanjut harus diupayakan untuk mengurangi volume sampah yang masuk ke TPA secara keseluruhan.

c. Sanitary Landfil

Sanitary Landfill merupakan metode standar atau paling banyak digunakan yang dipakai secara internasional dimana metode ini melakukan penutupan sampah dengan tanah setiap hari sehingga potensi ganggan sampah atau pencemaran dilingkungan sekitar dapat dicegah atau diminimisasi. Akan tetapi metode ini memerlukan biaya yang cukup mahal karena penutupan sampah dilakukan setiap hari dan banyak sarana dan prasarana lain yang membutuhkan biaya lebih, sehingga sangat dianjurkan untuk TPA di kota-kota besar yang sesuai dengan permasalahan sampahnya.

TPA banyuroto di Kulonprogo Yogyakarta saat ini sudah menggunakan metode Control landfill yang mana penimbunan sampah dengan tanah dilakukan seminggu sekali. TPA ini juga meraih penghargaan sebagai TPA terbaik se-Yogyakarta dengan beberapa spesifikasi yang

dimiliki. Dibangunnya TPA dengan metode terbaik merupakan solusi untuk permasalahan sampah akan tetapi tetap dapat menimbulkan beberapa permasalahan mengingat sampah memang sumber dari segala penyakit dan pencemaran lingkungan jika pengelolaannya tidak dilakukan dengan benar dan tidak sesuai standar nomor yang berlaku. TPA ini sangat dekat dengan pemukiman yang hanya berjarak sekitar 200 m. Oleh karena itu dampak atau resiko yang akan ditimbulkan oleh TPA ini kepada lingkungan sekitar masih sangat besar. TPA yang control berpotensi menimbulkan pencemaran, baik pencemaran air, tanah, maupun udara. Proses penguraian sampah di TPA menimbulkan bau tidak sedap yang mencemari udara. Pembusukan limbah ini juga menghasilkan lindi yang dapat mencemari air tanah. Pada cekungan limpasan TPA Banyuroto belum diketahui apakah air limpasan yang masuk ke badan air masih mengandung zat berbahaya atau tidak. Zat berbahaya yang terkandung dalam air limpasan ini dapat menyebabkan pencemaran air. Sehingga akan dilakukan observasi dengan wawancara terhadap warga sekitar terhadap keluhan air sumur yang dirasakan. [8]

2.2 Air Lindi (Leachate)

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 59 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Lindi bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir, Lindi adalah cairan yang timbul akibat masuknya air eksternal ke dalam timbunan sampah, melarutkan dan membilas materi-materi terlarut, termasuk materi organik hasil proses dekomposisi secara biologi. dengan demikian Lindi adalah setiap zat yang merembes dari limbah yang membusuk, bahan terlarut atau tersuspensi. Lindi TPA diproduksi di tempat pembuangan ketika banyak genangan air bercampur dengan tempat pembuangan sampah. Komposisi lindi bervariasi tetapi sebagian besar terdiri dari bahan organik xenobiotik (misalnya, senyawa organik terhalogenasi, PAH, obat-obatan, plasticizer, dll.), mikroorganisme yang sangat infeksius, kontaminan organik yang muncul, logam berat dan senyawa anorganik lainnya. Di tempat pembuangan tertentu, lindi terdiri dari cairan yang telah menembus TPA terbuka dari berbagai sumber eksternal,

termasuk erosi tanah, air tanah, curah hujan, dan air limbah yang dihasilkan dari dekomposisi sampah organik.

Kualitas air lindi disebabkan dari hal-hal berikut :

- 1) curah hujan alami dan limpasan di TPA;
- 2) kadar air asli dari sampah itu sendiri; dan
- 3) air yang dihasilkan oleh dekomposisi anaerob mikroorganisme setelah control landfill

Biodegradasi limbah padat menghasilkan lindi TPA, yang dapat mencemari air permukaan dan air bawah tanah. Zat yang berpotensi berbahaya seperti racun, polutan kimia, produk etiologi, pengganggu endokrin, dan kontaminan kimia yang muncul terkait dengan air limbah kota dan limbah padat dapat tersebar di lingkungan dari lindi TPA. Tumbuhan yang sangat beracun, hama, serangga, hewan pengerat, mikroorganisme, dan patogen endogen adalah biohazard yang dapat ditemukan di tempat pembuangan terbuka, [9]

Secara umum, lindi TPA memiliki karakteristik sebagai berikut: (kualitas air yang kompleks, risiko tinggi; kandungan organik tinggi; kandungan nitrogen amonia yang tinggi; kandungan logam berat yang tinggi dan kualitas air yang bervariasi). Studi terbaru menunjukkan bahwa karena kompleksitas dan perbedaan lokasi TPA, komposisi sampah, waktu TPA dan faktor lainnya, komposisi lindi di setiap TPA berbeda. Secara khusus, karena cara klasifikasi dan pengumpulan sampah yang berbeda di berbagai negara, kualitas lindi TPA di berbagai daerah sangat bervariasi. Faktor yang mempengaruhi komposisi Leachate:

1. Tipe material sampah
2. Kondisi TPA (pH, temperature, kelembaban usia TPA dan iklim)
3. Karakteristik presipitasi

Lindi dapat bocor melalui geomembran dan masuk ke dalam tanah dan lingkungan perairan melalui cacat manufaktur dan konstruksi, serta difusi uap melalui liner (Grugnaletti et al.2016; Pantini dkk.2014). Oleh karena itu, daerah yang dekat dengan TPA memiliki peluang pencemaran air yang lebih besar karena kemungkinan sumber pencemaran lindi yang berasal dari tempat pembuangan. Dengan demikian, kebocoran lindi dapat menyebabkan pencemaran air tanah dan

air permukaan di sekitarnya, pertanian, dan ekosistem alam, terutama ketika lindi dilepaskan tidak terkendali, dan karenanya, dapat menyebabkan masalah kesehatan lingkungan di banyak negara berkembang (Adamcová et al.2017; Oyeku dan Eludoyin2010; Samadder et al.2017). [10]

Logam berat sering terdeteksi di lindi TPA kota dari TPA limbah berbahaya serta tempat pembuangan limbah padat. Senyawa kimia beracun seperti logam berat dan senyawa organik yang persisten dilepaskan ke atmosfer dan lingkungan saat limbah padat kota dibakar atau dibuang di tempat terbuka. Lindi dari tempat pembuangan akhir kota telah dilaporkan melepaskan logam beracun ke lingkungan, menimbulkan ancaman serius bagi tanah dan air tanah di dekatnya, dan kemudian ke air permukaan. Meskipun dampak lindi yang dihasilkan berkurang sampai tingkat tertentu dari sumber pembangkitannya, namun masih dapat menimbulkan efek yang merugikan bagi lingkungan dan kesehatan masyarakat melalui akumulasi racun terhadap kontaminasi permukaan dan air tanah yang mendasarinya. Selain itu, keberadaan limbah karbon organik dapat mempengaruhi rasa dan bau air bawah tanah, sedangkan senyawa nitrogen dapat memicu eutrofikasi di perairan permukaan.

Ketika logam berat dilepaskan ke lindi TPA, mereka tidak dapat terurai oleh mikroba tanah, dan akan memperkaya organisme. Setelah lapisan tanah dan air terkontaminasi oleh logam berat, sulit untuk dihilangkan, sehingga menimbulkan ancaman besar bagi lingkungan sekitar. Memahami karakteristik pencemaran logam berat pada lindi TPA bermanfaat untuk pengendalian dan pencegahan risiko lingkungan TPA. [11]

2.2.1 Baku mutu air lindi

Kualitas air lindi diketahui dengan membandingkan konsentrasi parameter terukur dengan baku mutu yang berlaku. Di Indonesia sendiri baku mutu air lindi diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 59 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Lindi bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah seperti pada Tabel berikut ini.

Tabel 2 1 Baku Mutu Air lindi

Parameter	Kadar Paling Tinggi	
	Nilai	Satuan
pH	6-9	-
BOD	150	mg/L
COD	300	mg/L
TSS	100	mg/L
N Total	60	mg/L
Merkuri	0,005	mg/L
Kadmium	0,1	mg/L

2.3 Pengaruh air lindi pada air tanah atau sumur

Lindi dihasilkan ketika tumpukan sampah bertemu dengan air yang masuk ke lokasi TPA. Paparan konstituen lindi di atas batas baku mutu dapat dikaitkan dengan sejumlah besar gejala dan penyakit terkait keracunan biometal, misalnya asma, depresi, muntah dan kejang, ataksia, penyakit kardiovaskular dan ginjal, diare, penyakit saraf, kanker hipertensi, pneumonitis, kelainan bentuk tulang, anemia, dan gangguan pencernaan (Abarikwu et al.2013; Farombi dkk.2012).

Lindi dapat bocor melalui geomembran dan masuk ke dalam tanah dan lingkungan perairan melalui cacat manufaktur dan konstruksi, serta difusi uap melalui liner (Grugnaletti et al.2016; Pantini dkk.2014). Oleh karena itu, daerah yang dekat dengan TPA memiliki peluang pencemaran air yang lebih besar karena kemungkinan sumber pencemaran lindi yang berasal dari tempat pembuangan. Dengan demikian, kebocoran lindi dapat menyebabkan pencemaran air tanah dan air permukaan di sekitarnya, pertanian, dan ekosistem alam, terutama ketika lindi dilepaskan tidak terkendali, dan karenanya, dapat menyebabkan masalah kesehatan lingkungan di banyak negara berkembang (Adamcová et al.2017; Oyeku dan Eludoyin2010; Samadder et al.2017).

Kemampuan leachate mencemari air permukaan/air tanah dipengaruhi oleh **kondisi geologi**(Tipe tanah dan jenis batuan di sekitar TPA akan memengaruhi bagaimana leachate meresap dan bergerak melalui tanah. Tanah yang kurang porus atau permeabel dapat memungkinkan leachate mencemari air tanah lebih mudah),

Kondisi Hidrologi (Kedalaman dan Pergerakan Air Tanah: Kedalaman air tanah dan pergerakannya akan mempengaruhi sejauh mana leachate dapat mencapai air tanah dan Curah Hujan dan Aliran Permukaan: Curah hujan yang tinggi dapat menghasilkan volume leachate yang lebih besar, dan aliran permukaan dapat membawa leachate ke air permukaan seperti sungai dan danau). Konsentrasi bahan pencemar dalam leachate, seperti Chemical Oxygen Demand (COD) dan amonia, dapat mencapai tingkat yang jauh lebih tinggi daripada di dalam air tanah. Ini terutama disebabkan oleh proses dekomposisi material organik dan reaksi kimia dalam TPA. Konsentrasi yang tinggi dari zat-zat ini dapat memiliki dampak negatif pada lingkungan dan kesehatan manusia (Machdar, I, 2008).

TPA banyuroto hanya berjarak sekitar 200m dari pemukiman sekitar yang memiliki sumur sebagai pilihan kedua setelah PDAM, karena menurut warga sekitar air dari PDAM masih sangat terbatas dan sering mati. Oleh karena itu warga sekitar tetap memiliki sumur sebagai solusi ketika air PDAM mati. Menurut mereka ketika musim hujan terdapat perubahan bau dan warna pada sumur. Hal ini dapat disebabkan oleh rembesan air lindi yang bocor atau tidak tertampung. Sehingga perlu dilaksanakan uji kualitas air lindi dan air sumur untuk memastikan zat yang terkandung pada air sumur.

2.4 Analisis Logam Berat (*Inductively Coupled Plasma*)

2.4.1 Teori ICP-MS

Trace metals dapat ditemukan pada sampel di lingkungan melalui metode analisis Inductively Coupled Plasma (ICP). Prinsip utama ICP adalah penentuan elemen melalui pengatomisasi elemen untuk memancarkan cahaya panjang gelombang tertentu untuk pengukuran. Perkembangan metode analisis telah dibantu oleh teknik ICP sejak awal tahun 1960. Setelah itu, ICP terus dikembangkan dan digunakan bersama dengan metode preparasi sampel untuk berbagai matriks analisis kuantitatif (Vella, 1993).

Dengan menggunakan metode spektrofotometri emisi, instrumen Inductively Coupled Plasma (ICP) dapat digunakan untuk mengukur konsentrasi unsur logam dalam sampel. Alat ICP ini harus memastikan bahwa bahan yang dianalisis adalah larutan yang homogen. Alat ini dapat menganalisis sekitar delapan puluh unsur logam (Alcock, 1995).

Alat ICP-MS menggabungkan proses eksitasi ionisasi dalam ICP dengan kemampuan deteksi massa dalam MS-quadrupole. Sampel diberikan ke dalam plasma panas yang menghasilkan ionisasi atom-atom dalam sampel. Ion-ion yang dihasilkan kemudian dipisahkan berdasarkan massa muatan mereka oleh MS-quadrupole, dan sinyal detektor diterjemahkan menjadi spektrum massa yang mencerminkan komposisi unsur-unsur dalam sampel.

Prinsip kerja ICP-MS adalah bahwa plasma argon yang mengkabut dimasukkan ke dalam pusat tabung dan secara cepat terisolasi dan teruapkan. Proses ionisasi dan disosiasi terjadi selama transit inti plasma. Ion dikirim ke sebuah spektrometer massa setelah dikeluarkan dari tabung pusat plasma melalui pompa vakum antarfase. Massa ion dalam spektrofotometer dihitung berdasarkan massa mereka terhadap rasio muatan.

Cairan dalam instrumen tersebut diubah menjadi aerosol melalui proses nebulisasi. Sampel aerosol ini dimasukkan ke dalam plasma dan mengalami proses eksitasi, ionisasi, vaporisasi, solvasi, dan atomisasi. Untuk analisis semi-kuantitatif, atom dan ion yang tereksitasi memancarkan radiasi melalui panjang gelombang. Radiasi ini dideteksi, lalu diubah menjadi sinyal elektronik dan, dalam analisis kuantitatif, diubah menjadi informasi konsentrasi.

Selain introduksi larutan sampel normal ke dalam plasma, introduksi langsung berupa padatan dan gas juga dapat terjadi. Introduksi sampel dalam bentuk gas memiliki banyak kelebihan karena efisiensi transportasi mendekati 100% dibandingkan dengan cairan, di mana lebih dari 95% sampel dibuang dalam nebulizer. Ini juga meningkatkan sinyal terhadap suara dan meningkatkan batas deteksi (Liu H, 1996).

2.4.2 Teori AAS

Spektrofotometer Serapan Atom (SSA/AAS) adalah alat yang digunakan dalam metode analisis untuk menentukan unsur logam dan metaloid dengan mengukur penyerapan cahaya pada panjang gelombang tertentu oleh atom logam dalam keadaan bebas. Prinsip dasar metode ini adalah bahwa atom logam dalam keadaan dasar akan menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu yang memiliki energi cukup untuk mengubah tingkat energi elektronik atom tersebut.

Prinsip Analisis Serapan Atom (AAS): Metode AAS didasarkan pada absorpsi cahaya oleh atom-atom netral unsur logam dalam keadaan dasar. Ketika cahaya dengan panjang gelombang yang cocok dilewatkan melalui sampel, atom-atom logam ini menyerap cahaya pada panjang gelombang tersebut, dan intensitas penyerapan diukur. Ini memberikan informasi tentang konsentrasi unsur logam dalam sampel.

Dalam analisis AAS, cahaya dari sumber monokromatik melewati sampel, dan intensitas cahaya yang diteruskan diukur. Penyerapan cahaya oleh atom-atom logam dalam sampel memberikan informasi tentang konsentrasi unsur logam dalam sampel tersebut. Metode AAS sangat berguna dalam laboratorium kimia untuk analisis unsur logam dan metaloid dalam berbagai macam sampel, termasuk dalam bidang lingkungan, pangan, dan industri.

2.5 Analisis Risiko Kesehatan

Analisis risiko kesehatan mencakup identifikasi potensial setelah terpapar kontaminan untuk memperkirakan risiko paparan terhadap sasaran populasi atau organisme (WHO, 2004). Setelah tahap identifikasi dan penilaian risiko awal, langkah-langkah selanjutnya melibatkan perhitungan nilai paparan tertinggi dari kandungan logam berat pada orang dewasa dan anak-anak, yang akan menjadi dasar untuk analisis karakterisasi risiko.

Indeks Paparan Tertinggi: Pada tahap karakterisasi risiko, nilai paparan tertinggi dari logam berat dalam air sumur dihitung untuk populasi anak dan orang dewasa. Indeks Paparan Tertinggi (HQs) dihitung untuk setiap senyawa. Jika nilai HQ tidak melebihi 1, ini menunjukkan bahwa risiko yang diakibatkan oleh paparan logam berat dalam air sumur dapat diterima, dengan asumsi nilai-nilai yang tersedia. Efek Karsinogenik dan Non-Karsinogenik: Ada dua jenis efek yang dapat muncul dari paparan kontaminan: efek karsinogenik (kemampuan menyebabkan kanker) dan efek non-karsinogenik (efek lain selain kanker).

Interpretasi Hasil: Hasil dari analisis risiko, dalam hal ini HQs, digunakan untuk menentukan sejauh mana bahaya yang terkait dengan paparan logam berat

dalam air sumur. Jika hasil HQ lebih besar dari 1, ini mengindikasikan bahwa risiko melebihi ambang batas dan dapat menjadi masalah kesehatan.

2.5 Penelitian Terdahulu

Tabel 2 2 Penelitian Terdahulu

Judul Penelitian	Skenario dan Hasil	Keterkaitan Penelitian
Analisa Kualitas Air Lindi dan Potensi Penyebarannya ke Lingkungan Sekitar TPA Gunung Tugel Kabupaten Banyumas Fadlul, L. (2021)	<ul style="list-style-type: none"> • Pola Penyebaran: Penyebaran air lindi dari TPA Gunung Tugel yang mengikuti elevasi tanah dan menyebar hampir ke semua arah • Dampak yang ditimbulkan (Dampak pada tanah, pada air irigasi, dan dampak pada tanaman) 	<ul style="list-style-type: none"> • mengangkat tema yang sama yaitu pola penyebaran logam berat pada air sumur. • Penelitian terdahulu dilakukan pada TPA yang sudah tidak beroperasi sedangkan penelitian yang ingin dilakukan yaitu di TPA yang masih beroperasi. • Penelitian terdahulu menganalisis kandungan logam berat pada tanaman dan irigasi, sedangkan penelitian yang ingin dilakukan berfokus kepada analisis risiko lingkungan.
Analisa Paparan Logam Berat Pada Penduduk Sekitar Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Gunung Tugel Kabupaten Banyumas Dwita, S.N. (2022)	<ul style="list-style-type: none"> • Konsentrasi logam berat Zn dan Cr yang ada di rambut masyarakat sekitar TPA Gunung Tugel dinilai tidak ada yang melebihi apabila dibandingkan dengan jurnal (A. Sukumar, 2007). • Hasil obesrvasi dihubungkan dengan lama tinggal warga dekat TPA semakin dekat jarak pemukiman masyarakat dengan TPA maka akan sering berdampak. 	<ul style="list-style-type: none"> • Penelitian terdahulu menganalisis kandungan logam berat pada warga menggunakan sampel rambut, sedangkan penelitian yang ingin dilakukan yaitu dengan menguji sampel air dan menghitung menggunakan <i>Risk Quotion</i> dan <i>Excess Cancer Risk</i> (ECR) • Penelitian terdahulu menggunakan waktu lama tinggal warga untuk mengalisis risiko lingkungan.
Analisis Logam Berat Fe, Cr dan Cu pada aliran sungai serang	<ul style="list-style-type: none"> • Penelitian dilakukan pada sungai serang yang berada di Kota Semarang. Sungai serang menghasilkan cemaran akibat adanya kegiatan rumah tangga, limbah industri dan pertanian. Zat pencemar yang dihasilkan yaitu Cr, Cu, Fe. Untuk hasil 	<ul style="list-style-type: none"> • Pecemar logam berat pada penelitian terdahulu bersumber dari limbah industri yang dapat menghasilkan kandungan logam Cr cukup tinggi melebihi ambang batas yang ditetapkan. Sedangkan penelitian yang akan dilakukan yaitu logam berat

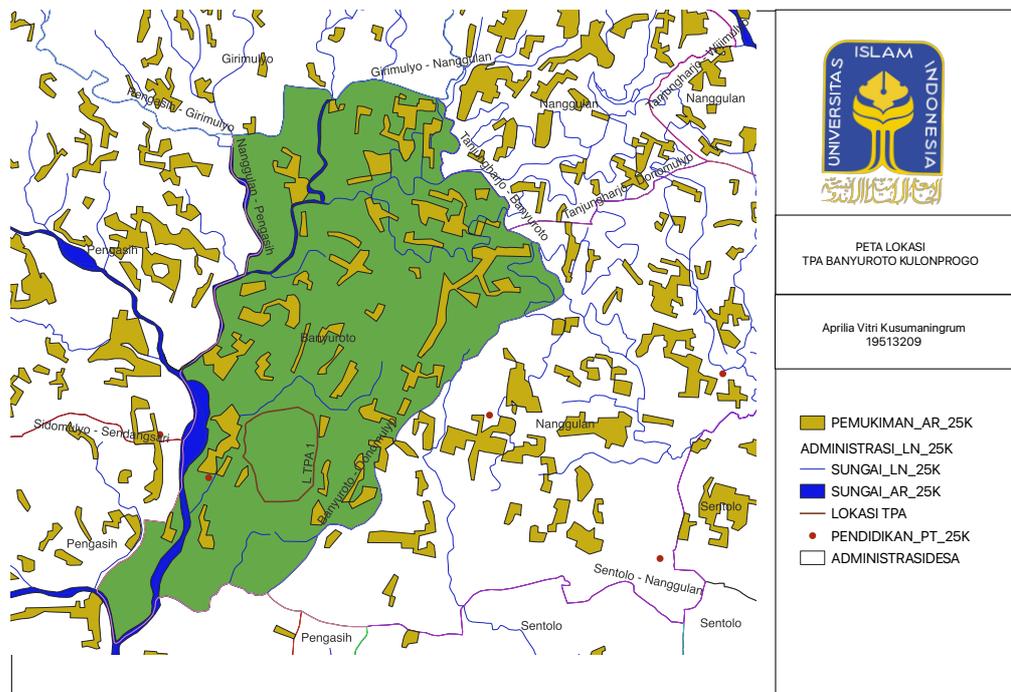
	<p>pengukuran menggunakan AAS dan perhitungan Risiko Lingkungan didapatkan hasil satu logam berat yang melebihi angka baku mutu > 1 yaitu Cr.</p>	<p>yang bersumber dari TPA yang mana karakteristik air limbahnya berbeda sehingga hasil akhir risiko lingkungan dapat berbeda.</p>
<p>Pengkajian dan Identifikasi Sumber Pencemaran Logam Berat Air Tanah Menggunakan Teknologi Geospasial di Lembah Sungai Gadilam, Tamil Nadu, India K.Muhammad Rizwan., V.Thirukumar., M. Suresh. (2021)</p>	<p>Peta distribusi spasial GIS menunjukkan bahwa di semua sampel konsentrasi kromium, timbal, kobalt, nikel tinggi (di atas batas yang diizinkan). Di 93,40% area, konsentrasi mangan lebih tinggi, berada di bawah batas yang tidak boleh digunakan oleh manusia sesuai dengan persyaratan WHO.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pada penelitian terdahulu, metode yang dilakukan yaitu dengan Peta distribusi spasial GIS. Metode tersebut dapat mengetahui letak titik sampel berdasarkan konsentrasi. Sedangkan penelitian yang akan dilakukan yaitu dengan metode analisis risiko persebaran logam berat berdasarkan titik sumur di sekitar TPA Banyuroto.
<p>Investigasi pencemaran logam berat lindi sampah kota dari Tromsølandfill, Norwegia Utara S.Fu., JM Lu., FQ Yuan. (2019)</p>	<p>Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan logam berat pada lindi TPA mengikuti urutan Mn>Zn>Ni>Cu>Cr>As>Pb>Cd>Hg, dan urutan resiko logam berat yang berbeda adalah: Mn>Ni>As>Zn>Cr>Pb>Cd>Hg>Cu. Konsentrasi Mn dan Ni pada lindi TPA melebihi baku mutu. Menurut evaluasi kualitas air yang komprehensif, lindi TPA tercemar sedang.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pada penelitian terdahulu berfokus kepada kualitas air lindi dan kandungan logam berat pada air lindi apakah air lindi tersebut sudah tercemar atau melebihi baku mutu, sedangkan pada penelitian yang dilakukan tidak hanya sekedar mengetahui logam berat yang terkandung pada air lindi, tapi juga risiko lingkungan pada air tanah disekitar TPA Banyuroto Kulonprogo.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi

Lokasi Penelitian ini dilakukan di TPA Banyuroto di Dusun Tawang Desa Banyuroto Kecamatan Nanggulan Kabupaten Kulonprogo Yogyakarta selama 3 bulan dimulai dari bulan maret 2023. Penelitian mencakup beberapa titik yang terdapat air lindi dan sumur warga disekitar TPA Banyuroto. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar berikut:



Gambar 3 1 Lokasi TPA Banyuroto

Sumber : Lapagis

3.2 Alat dan Bahan

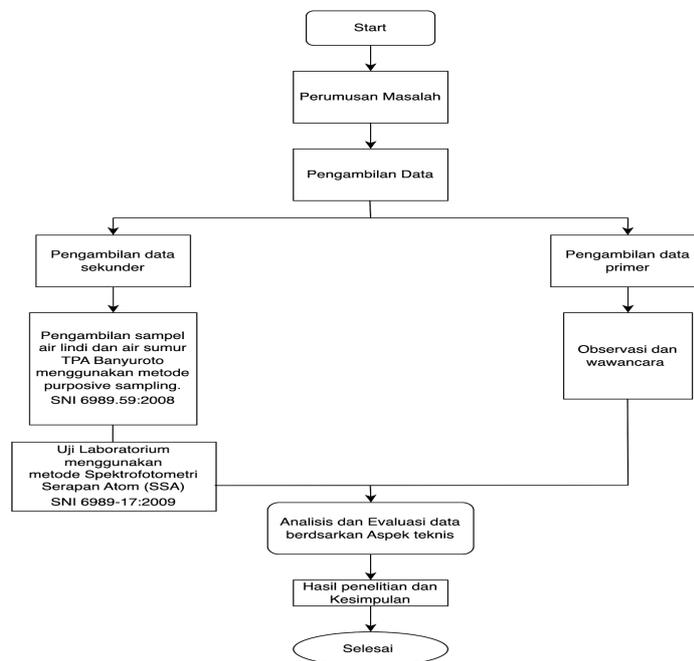
Adapun alat dan bahan yang dibutuhkan untuk pengujian sampel di laboratorium ditunjukkan pada tabel sebagai berikut:

Tabel 3 1 Alat dan Bahan

Parameter	Alat	Bahan
pH	pH meter	Sampel
BOD	<ul style="list-style-type: none"> ● Botolwinkler ● Pipet ukur ● Pipet tetes ● Buret ● Gelas beker ● Gelas ukur 	<ul style="list-style-type: none"> ● Sampel ● Larutan MnSO₄ ● H₂SO₄ pekat ● KOH-KI ● Aquades ● Larutan Na₂SO₃
COD	<ul style="list-style-type: none"> ● Refluks ● Thermoreaktor ● Pipet ukur ● Gelas beker ● Spektrofotometer UV-Vis 	<ul style="list-style-type: none"> ● Sampel ● H₂SO₄ pekat ● Larutan pencerna ● tinggi - Aquades
TSS	<ul style="list-style-type: none"> ● Kertas saring ● Oven ● Corong kaca ● Desikator ● Erlenmeyer ● Timbangan analitik 	<ul style="list-style-type: none"> ● Sampel ● Aquades
TDS	<ul style="list-style-type: none"> ● timbangan analitik ● oven ● desikator ● cawan porselen/platina/silika; ● penjepit cawan ● penjepit kertas saring; ● Alat penyaring yang dilengkapi dengan pompa penghisap; ● pengaduk magnetik; 	<ul style="list-style-type: none"> ● Sampel ● air suling, disarankan memiliki daya hantar listrik (DHL) < 1 mg/L.
Logam Berat	<ul style="list-style-type: none"> ● Kertas saring ● Erlenmeyer ● Corong kaca ● Komporlistrik ● Spektrofotometer AAS ● Labu ukur ● Gelas beker ● Pipet ukur 	<ul style="list-style-type: none"> ● Sampel ● Aquades ● HNO₃ pekat

3.3 Metode Penelitian Analisis Sampel

Penelitian ini menggunakan data Primer dan sekunder dengan pengamatan langsung dari hasil uji air tanah, lindi dan wawancara masyarakat yang tinggal disekitar TPA Banyuroto. Metode yang digunakan berupa purposive sampling untuk sampling air tanah dan air lindi berdasarkan SNI 6989.59:2008. Purposive sampling adalah teknik penentuan sampel dengan pertimbangan tertentu dalam Sugiyono, (2016: 85). Alasan meggunakan teknik purposive sampling ini karena sesuai untuk digunakan untuk penelitian kuantitatif, atau penelitian-penelitian yang tidak melakukan generalisasi menurut Sugiyono, (2016: 85) Metode pengujian logam berat menggunakan metode Atomic Absorbtion Spectrophotometri (AAS) dan ICP- MS (Indictively Coupled Plasma) berdasarkan SNI 8910:2021. Selanjutnya metode analisis risiko menggunakan metode *Risk Quotion* (RQ,tingkat risiko) nonkarsinogenik dan *Excess Cancer Risk* (ECR) karsinogenik. Adapun tahapan penelitian ditujukan dalam bentuk flowchart yang berisi langkah atau tahapan perjalanan penelitian dari awal hingga tahap akhir sebagai berikut :



Gambar 3 2 Diagram Alir Penelitian

3.3.1 Metode Analisis Data

Penelitian ini berdasarkan beberapa tahapan yaitu; Penentuan titik sampling, pengambilan sampel air lindi dan air tanah, analisis sampel berupa pengujian parameter logam berat di laboratorium dan analisa data hasil pengujian menggunakan metode analisis risiko *Risk Quotion* (RQ,tingkat risiko) nonkarsinogenik dan *Excess Cancer Risk* (ECR) karsinogenik. Pengambilan sampel air diawali dengan pengamatan secara langsung di lokasi dan wawancara kepada pengurus TPA serta penduduk sekitar untuk mencari informasi terkait kondisi TPA Banyuroto. Sampel yang diambil yaitu berupa sampel lindi dan air tanah. Kondisi lokasi yang diamati yaitu IPAL, Saluran Irigasi, Sumur warga. Data yang diambil dari wawancara yaitu keluhan yang dirasakan oleh warga sekitar akibat rembesan air lindi dari TPA Banyuroto. Selain itu, ada juga data pendukung yang didapatkan dari berbagai literasi berupa buku, jurnal, artikel ilmiah maupun literasi lainnya.

Pengambilan Sampel Air Tanah (sumur)

Metode pengambilan sampel dilakukan sesuai dengan SNI 6989.58: 2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air tanah dan Pengambilan Contoh Air Limbah :

Alat yang Digunakan:

1. Pengambilan sampel air tanah dan lindi menggunakan timba khusus atau ember.
2. Pembersihan Wadah Sampling: Sebelum pengambilan sampel, wadah sampling seperti botol harus dibersihkan dengan baik. Ini dilakukan dengan mencuci wadah menggunakan sabun cuci dan dibilas dengan air bersih. Setelah pencucian, botol dibilas dengan larutan asam nitrat (HNO₃) dalam perbandingan 1:1 sebanyak tiga kali. Langkah ini bertujuan untuk memastikan bahwa wadah tidak mengandung kontaminasi yang dapat mempengaruhi hasil analisis.
3. Pengambilan Sampel Air Tanah: Untuk pengambilan sampel air tanah, timba atau ember khusus digunakan. Sampel diambil dari air sumur gali. Timba yang

digunakan sebelumnya harus dibilas dengan air demineralisasi (aquades) sebelum digunakan.

4. Pindahkan Sampel: Setelah pengambilan sampel, air yang diambil dari sumur gali dimasukkan ke dalam botol plastik berukuran 100 ml yang telah dibilas dengan larutan asam nitrat (HNO_3). Tujuan penggunaan larutan HNO_3 adalah untuk menjaga kestabilan sampel dan mencegah perubahan kualitas sampel selama proses penyimpanan dan transportasi.
5. Pengambilan Sampel COD (Chemical Oxygen Demand), sampel diawetkan dengan menggunakan asam sulfat (H_2SO_4) agar parameter COD tetap mewakili kondisi saat pengambilan. Sampel yang diawetkan ini biasanya disimpan dalam vial khusus. alat yang digunakan untuk mengambil sampel dari air sumur gali dengan timba menggunakan ember khusus. Prinsip pengambilan sampel ini adalah dengan melakukan pencucian atau pembersihan wadah sampling berupa botol menggunakan sabun cuci dan dibilas dengan larutan asam nitrat (HNO_3) dengan perbandingan 1:1 sebanyak tiga kali. Selanjutnya sampel diambil dengan ember khusus yang telah dibilas aquades dan dipindahkan kedalam botol plastik berukuran 100 ml yang telah dibilas HNO_3 . Untuk sampel COD digunakan H_2SO_4 untuk mengawetkan sampel dan disimpan kedalam vial.

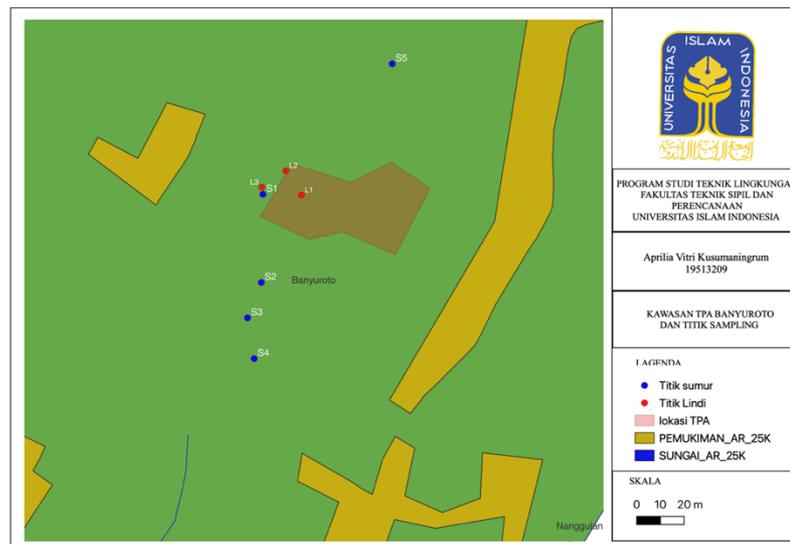
Pengambilan Sampel Air Limbah

Pengambilan sampel air limbah menggunakan ember plastik dan dilakukan di beberapa titik TPA. Lokasi pengambilan meliputi area gunung sampah, saluran air lindi dan rembesan air lindi yang mengenai badan air. Sampel air dimasukkan kedalam botol plastik yang diawetkan menggunakan HNO_3 1:1 hingga $\text{pH} < 2$ untuk logam berat dan sampel air dimasukkan kedalam vial dan diawetkan.

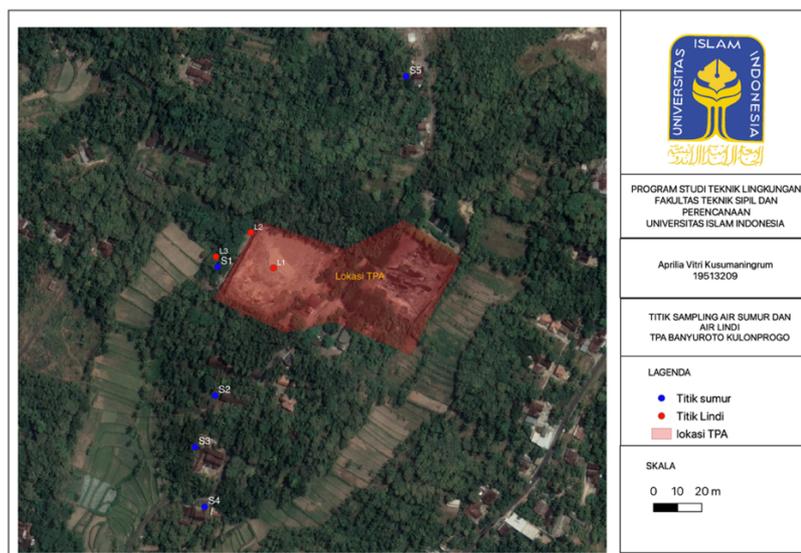
Titik sampling

Lokasi pengambilan sampel air sumur dan air limbah terbagi menjadi beberapa titik di sekitar TPA Banyuroto. Pengambilan sampel air tanah terdapat lima titik berdasarkan beberapa pertimbangan meliputi lokasi pemukiman terdekat, arah saluran lindi dibuang, dan area rembesan lindi, seperti 4 rumah warga terdekat

yang mengarah ke selatan sesuai aliran saluran lindi, 1 sumur perbandingan yang berjarak 1 km dari TPA yaitu mengarah ke utara, dan sumur control yang terdapat di belakang TPA dan didekat rembesan lindi. Sedangkan untuk titik pengambilan air lindi terdapat tiga titik yaitu di gunung sampah atau pada genangan lindi, disaluran inlet, dan di rembesan air lindi dekat badan air. Berikut peta titik pengambilan sampel air lindi dan air tanah :



Gambar 3 3 Lokasi titik sampling air lindi dan air sumur



Gambar 3 4 Lokasi titik sampling air lindi dan air sumur menggunakan peta Satelit

3.3.2 Metode Pengujian atau Analisis Sampel

Dalam penelitian ini parameter yang akan diuji adalah zat organik dan logam berat. Zat organik yang akan dianalisa antara lain pH, total kebutuhan oksigen biologi dan kimiawi (BOD dan COD) dan jumlah Padatan Tersuspend (TSS) serta jumlah padatan terlarut TDS. Sedangkan logam berat yang diuji adalah Cd, Cr, Cu, Mn, Fe, Pb, Hg dan Zn.

Tabel 3 2 Metode dan Prinsip Pengujian Sampel

Parameter	Acuan	Metode	Prinsip
BOD	SNI 6989.72:2009	Titration Iodometri dengan menggunakan indikator amilum	Prosedur Uji Biochemical Oxygen Demand (BOD): Persiapan Sampel: Sampel air limbah atau efluen diambil dan disimpan dalam botol. Sampel harus diambil dengan hati-hati untuk menghindari kontaminasi dari udara atau bahan-bahan lain. Pengukuran Oksigen Terlarut Awal (DO awal): Sebelum pengujian dimulai, oksigen terlarut awal dalam sampel diukur menggunakan metode DO meter. Inkubasi: Sampel ditempatkan dalam botol khusus (botol BOD) yang dirancang untuk menjaga kondisi anaerobik (tanpa oksigen). Botol-botol BOD kemudian ditempatkan dalam inkubator pada suhu 20°C dengan toleransi ±6 jam. Pengukuran Oksigen Terlarut Akhir (DO akhir): Setelah 5 hari inkubasi (±6 jam), oksigen terlarut akhir diukur kembali menggunakan DO meter. Perbedaan antara DO awal dan DO

			akhir mengindikasikan jumlah oksigen yang telah dikonsumsi oleh mikroba selama proses oksidasi. Perhitungan BOD: BOD dihitung sebagai selisih antara DO awal dan DO akhir, dalam satuan mg/L (milligram per liter). BOD biasanya dilaporkan sebagai BOD5, yaitu nilai BOD yang diukur setelah 5 hari inkubasi.
COD	SNI 6989.2:2009	Refluks tertutup secara spektrofotometri	Senyawa organik dan anorganik, terutama organik dalam contoh uji dioksidasi oleh $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ dalam refluks tertutup menghasilkan Cr^{3+} . Jumlah oksidan yang dibutuhkan dinyatakan dalam ekuivalen oksigen (O_2 mg/L) diukur secara spektrofotometri sinar tampak. $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ kuat mengabsorpsi pada panjang gelombang 420 nm dan Cr^{3+} kuat mengabsorpsi pada panjang gelombang 600 nm. Untuk nilai COD 100 mg/L sampai dengan 900 mg/L kenaikan Cr^{3+} ditentukan pada panjang gelombang 600 nm. Pada contoh uji dengan nilai COD yang lebih tinggi, dilakukan pengenceran terlebih dahulu sebelum pengujian. Untuk nilai COD lebih kecil atau sama dengan 90 mg/L penurunan konsentrasi $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ditentukan pada panjang gelombang 420 nm.

TSS	SNI 6989.3:2004	Gravimetri	Contoh uji yang telah homogen disaring dengan kertas saring yang telah ditimbang. Residu yang tertahan pada saringan dikeringkan sampai mencapai berat konstan pada suhu 103°C sampai dengan 105°C. Kenaikan berat saringan mewakili padatan tersuspensi total (TSS). Jika padatan tersuspensi menghambat saringan dan memperlama penyaringan, diameter pori-pori saringan perlu diperbesar atau mengurangi volume contoh uji. Untuk memperoleh estimasi TSS, dihitung perbedaan antara padatan terlarut total dan padatan total.
TDS	SNI 6989.27:2004	Gravimetri	Penguapan contoh uji yang sudah disaring dengan kertas saring berpori 2 µm pada suhu 180°C kemudian ditimbang sampai berat tetap.
Logam Berat	SNI 06-6989. 16-2004 SNI 6898-78:2019 SNI 6989-4:2009 SNI 6989-5:2009 SNI 698-6:2009 SNI 6989-7:2009	<ul style="list-style-type: none"> • Atomic Absorbtion Spectrophotometri (AAS) • ICP-MS 	Alat utama yang digunakan dalam pengujian konsentrasi logam berat adalah Atomic Absorbtion Spectrophotometri (AAS) Nyala dan lemari asam yang digunakan dalam proses destruksi sampel. Beberapa alat lainnya yang digunakan dalam pengujian kandungan logam berat antara lain erlenmeyer 250 ml, pipet tetes, labu ukur 25 ml, pipet ukur 5 ml, kompor listrik, corong, kertas saring dengan ukuran pori 0,42 µm, dan botol vial 25 ml.

	SNI 6989-8:2009 SNI 6989-16:2009 SNI 6989-17:2009		ICP-MS bekerja dengan memasukkan sampel cair ke dalam plasma induktif yang sangat panas. Suhu tinggi dari plasma ini menyebabkan atom-atom dalam sampel terionisasi dan diatomisasi. Atom-ion ini kemudian dipecah menjadi ion-ion yang berbeda berdasarkan massa-nya dan diukur oleh spektrometri massa. Dari data ini, konsentrasi elemen dalam sampel dapat ditentukan.
--	---	--	--

3.3.3 Metode Analisis Sampel

A. Analisis Konsentrasi Logam Berat

Tahapan pengujian sampel ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi logam berat yang ada di sampel air Limbah dan air tanah yang telah di ambil. Pada pengujian ini menggunakan instrumen yaitu Atomic Absorbion Spektrophotometri (AAS) dan ICP-MS (Indictively Coupled Plasma). Analisa dilakukan di Laboratorium Kualitas lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia dengan bantuan dari laboratorian setempat. AAS yang digunakan pada pengujian ini adalah merk AAS Berca. Data yang didapatkan pada uji sampel akan dibandingkan dengan baku mutu yang berlaku.

B. Preparasi Analisis Konsentrasi Logam Berat

Sampel air tanah dan air lindi dari masing-masing titik sampel diambil sebanyak 50 ml. Lalu sampel tersebut kemudian dimasukkan kepada erlenmeyer dan ditambahkan 5 ml (HNO₃). Sampel yang telah disiapkan lalu dipanaskan hingga menjadi 5 ml menggunakan kompor listrik dengan suhu 120°C di lemari asam, sampel dipanaskan kurang lebih selama 350-420 menit. Sampel yang sudah di panaskan lalu dipindahkan pada tabung reaksi dan ditambahkan aquades hingga 20 ml dan disaring menggunakan kertas saring no 42. Sampel yang sudah dipindahkan lalu di pindahkan kembali ke labu ukur 50ml dan ditambahkan aquades hingga 50ml dan dimampatkan hingga tanda batas. Contoh uji kemudian diaspirasikan ke dalam AAS untuk diukur konsentrasi logam berat nya.

3.3.4 Metode Analisis Data

Risiko Kesehatan dan Lingkungan

Berdasarkan EPA (Environmental Protection Agency). Berikut adalah penjelasan lebih lanjut mengenai setiap tahap:

- 1) Hazard Identification (Identifikasi Bahaya):** Tahap ini melibatkan identifikasi dan karakterisasi zat kimia berbahaya di sumber yang dapat menyebabkan risiko terhadap manusia, hewan, atau lingkungan.
- 2) Exposure Assessment (Penilaian Paparan):** Pada tahap ini, dianalisis bagaimana zat kimia berbahaya berpindah dari sumber ke reseptor (manusia,

hewan, lingkungan) dan berapa banyak zat yang mungkin diambil atau terpapar oleh reseptor melalui berbagai jalur paparan.

3) Toxicity Assessment (Penilaian Toksisitas): Tahap ini melibatkan penilaian terhadap tingkat toksisitas zat kimia berbahaya yang diidentifikasi pada tahap pertama.

4) Risk Characterization (Karakterisasi Risiko): Pada tahap ini, semua informasi yang dikumpulkan dalam tahap sebelumnya digunakan untuk menghitung dan mengkarakterisasi risiko. Ini mencakup menggabungkan hasil analisis bahaya, paparan, dan toksisitas untuk menentukan besarnya risiko numerik.

A. Perhitungan Analisis Risiko Lingkungan Reference Dose (RfD) yang ditetapkan oleh IRIS dari US –EPA

Dosis Potensial (*Intake*)

Dosis potensial (*intake*) adalah kadar agen/hazard (mg) yang masuk ke dalam tubuh manusia dengan berat badan tertentu (kg) setiap harinya (mg/kg/hari) (Maksuk 2021). Perhitungan dosis potensi (*intake*), menggunakan perhitungan *intake* non karsinogenik (I_{nk}) yang merupakan perhitungan *intake* atau dosis potensial untuk zat/senyawa kimia non karisonegenik atau disimbolkan dengan I_{nk} sesuai jalur masuknya zat/senyawa ke dalam tubuh manusia. Adapun cara perhitungan sebagai berikut : *intake* jalur paparan ingesti (*ingestion*)

$$I = \frac{C \cdot R \cdot F_e \cdot D_t}{W_b \cdot T_{evg}}$$

$$W_b \cdot T_{evg}$$

Keterangan :

- **Ink** (Intake): Jumlah konsentrasi agen atau bahaya yang masuk ke dalam tubuh manusia setiap hari, dihitung sebagai jumlah mg agen per kg berat badan per hari.
- **C** (Concentration): Konsentrasi agen resiko dalam media air (dalam hal ini, air minum).

- **R (Rate):** Laju konsumsi air atau makanan yang masuk setiap jamnya, diukur dalam liter atau gram per jam.

Air Minum :

- Dewasa (pemukiman) : 2 liter/hari
 - Anak- anak (pemukiman) : 1 liter/hari
 - Dewasa (lingkungan Kerja) : 1 liter/hari
- **Fe (Frequency of Exposure):** Lamanya atau jumlah hari dalam setahun di mana paparan terjadi. Dalam kasus ini, paparan pada pemukiman terjadi selama 350 hari dalam setahun.
 - **Dt (Duration Time):** Lamanya atau jumlah tahun di mana paparan terjadi. Dalam kasus ini, umumnya menggunakan proyeksi waktu yang relevan, misalnya 30 tahun untuk nilai default residensial.
 - **Wb (Weight of Body):** Berat badan manusia atau kelompok populasi yang terpapar, diukur dalam kilogram.
Dewasa asia/indonesia : 55 kg, anak-anak : 15 kg
 - **avg (Time Average):** Periode waktu rata-rata yang digunakan untuk menghitung efek non-karsinogenik. Dalam contoh Anda, rata-rata waktu adalah 30 tahun x 365 hari/tahun = 10.950 hari

1. Tingkat Risiko

Tingkat Risiko (Risk Quotient) - Definisi dan Perhitungan:

Tingkat Risiko, atau Risk Quotient (RQ), adalah parameter yang digunakan untuk mengevaluasi apakah risiko suatu zat atau senyawa tertentu yang terpapar melalui berbagai jalur (misalnya air, makanan, udara) dapat diterima atau tidak (Maksuk, 2021).

RQ dihitung dengan membagi intake paparan non-karsinogenik (I_{nk}) dengan Nilai Referensi Bahaya (Reference Dose, RfD, atau Reference Concentration, RfC), yang merepresentasikan batas aman konsumsi suatu zat.

$$RQ = \frac{I_{nk}}{RfD \text{ atau } RfC}$$

Interpretasi Tingkat Risiko:

Tingkat risiko non karsinogenik. (ATDSR, 2005; EPA, 1986; IPCS, 2004; Kolluru 1996; Louvar and Louvar 1998) dan *Excess Cancer Risk* (ECR) untuk efek karsinogenik (EPA,2005).

Jika $RQ < 1$: Risiko dinyatakan dapat diterima (Acceptable), artinya paparan pada tingkat yang diukur dianggap aman atau tidak memberikan risiko signifikan terhadap kesehatan manusia.

Jika $RQ > 1$: Risiko dinyatakan tidak dapat diterima (Unacceptable), artinya paparan pada tingkat yang diukur dianggap tidak aman dan memberikan risiko yang signifikan terhadap kesehatan manusia

2. *Excess Cancer Risk* (ECR)

Karakteristik risiko kesehatan untuk efek karsinogenik dinyatakan dengan ECR (Excess Cancer Risk). ECR dihitung dengan mengalikan Cancer Slope Factor (CSF) dengan intake karsinogenik risk agent(Ik). Baik CSF maupun Ik harus spesifik untuk bentuk spesifik kimia risk agent dan jalur pajanannya. Interpretasi tingkat risiko logam karsinogen dinyatakan dalam bilangan eksponen tanpa satuan. Tingkat risiko dikatakan aman jika nilai $ECR \leq E-4$ (10^{-4}). Tingkat risiko dikatakan tidak aman jika nilai $ECR > E-4$ (10^{-4}) (Direktorat Jendral PP dan PL Kemenkes, 2012).

Risiko Karsinogenik dan Ambang Batas:

Secara teoritis, efek karsinogenik (kemampuan suatu zat menyebabkan kanker) tidak memiliki ambang batas atau threshold level, artinya setiap paparan bahaya karsinogenik memiliki potensi untuk meningkatkan risiko kanker. Oleh karena itu, risiko kesehatan dikaitkan dengan karsinogenisitas sering dinilai dalam konteks proporsi risiko ekstra kanker yang terkait dengan paparan tersebut. (US EPA, 2001). Persamaan yang digunakan untuk menghitung RQ adalah:

$$RQ = \text{Ink}/Rf$$

Keterangan:

Ink = asupan (intake) non karsinogenik (mg/kg bb /hari)

RfD = dosis acuan (reference dose) (mg/kg bb/hari)

Ekses Resiko Kanker (ECR): Ekses Resiko Kanker (Excess Cancer Risk, ECR) merupakan parameter yang digunakan untuk menilai risiko kesehatan terkait dengan potensi karsinogenik dari paparan suatu zat. ECR dihitung dengan mengalikan Cancer Slope Factor (CSF), yang mencerminkan potensi karsinogenik suatu zat, dengan asupan karsinogenik risk agent (I_k), yang mencerminkan paparan terhadap zat tersebut. Persamaan sebagai berikut :

$$ECR = CSF \times I_k$$

Interpretasi ECR:

- Jika $10^{-6} < ECR < 10^{-4}$: Risiko kesehatan tidak dapat diterima (Unacceptable), artinya terdapat potensi risiko kanker yang signifikan dan perlu dilakukan langkah-langkah pengendalian untuk mengurangi paparan zat karsinogenik.
- Jika $ECR < 10^{-6}$ atau $ECR > 10^{-4}$: Risiko kesehatan mungkin dapat diterima atau tidak diterima, tergantung pada besarnya nilai ECR. Di dalam kisaran ini, interpretasi risiko mungkin lebih kompleks dan mempertimbangkan konteks paparan dan potensi risiko lainnya. (ATSDR, 2005):

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS DATA

4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di area TPA Banyuroto yang berlokasi di Dusun Tawang, Desa Banyuroto, Kecamatan Nanggulan. TPA ini memiliki lokasi seluas 2,5 hektar dan berada pada ketinggian 100-120 meter di atas permukaan laut (mdpal) serta memiliki kemiringan lereng sekitar 15 hingga 25 persen. TPA Banyuroto juga memiliki jenis tanah lempung. TPA Banyuroto mulai beroperasi pada tahun 2010. Menurut Dinas Pekerjaan Umum (DPU), kapasitas TPA Banyuroto per 2015 lalu adalah 55.000 m³ atau 14.580 ton.



Gambar 4 1 Kondisi Tumpukan Sampah pada TPA Banyuroto yang terdiri dari sampah organik, plastic hingga residu yang menghasilkan air lindi. TPA memiliki saluran pipa lindi yang menuju ke sungai serang dan rawan mengalami rembesan kelingkungan sekitar seperti persawahan dan sumur warga.

(Sumber: Dokumentasi pribadi, 2023)

Pada TPA Banyuroto penanganan sampah dilakukan dengan menggunakan metode Control landfill. Metode Control landfill dimana metode ini melakukan penutupan sampah dengan tanah setiap hari sehingga potensi gangguan sampah atau pencemaran dilingkungan sekitar dapat dicegah atau diminimisasi . Diperlukan

persediaan tanah yang cukup sebagai lapisan tanah penutup. Penimbunan di TPA Banyuroto dilakukan setiap ketinggian timbunan sampah mencapai 0,5 meter dengan menggunakan alat berat excavator. Akan tetapi air lindi yang terdapat pada TPA Banyuroto masih sering menghasilkan rembesan yang mengalir keselatan atau sekitar area persawahan warga. Oleh karena itu pengambilan sampel dilakukan pada area yang terdapat genangan atau aliran air lindi yang keluar atau merembes dari TPA tersebut. Pada penelitian ini diambil 3 titik lokasi air lindi, yaitu pada tumpukan sampah/genangan lindi, inlet, serta rembesan didekat sumur control atau didekat area persawahan warga. Selain menganalisis air rembesan lindi pada TPA Banyuroto peneliti juga mengambil 5 sampel pada air sumur untuk menganalisis kandungan logam berat yang terdapat pada air sumur tersebut.

Dari setiap sampel yang diperoleh, ada beberapa sampel yang parameternya langsung diukur dilapangan. Parameter yang diperoleh yaitu DHL, pH dan suhu. Untuk DHL sekitar 3,49 – 9,08, PH berkisar antara 6-8 dan suhu yaitu 27°C – 28 °C. Dapat dilihat berbagai macam warna air lindi ada yang coklat pekat, kuning kehijaun dan kuning terang. Selain itu kondisi sumur yang dekat dengan area TPA yaitu berada di kebun dan di area sanitasi warga. Berikut tabel Konduktivitas Listrik, pH, TDS, TSS, COD dan BOD serta logam berat pada air lindi di TPA Banyuroto:

Tabel 4 *Konduktivitas Listrik, pH, TDS, TSS, COD dan BOD serta logam berat di TPA Banyuroto :*

Parameter (Satuan)	Sampel			Baku Mutu Air Lindi	Perda DIY No. 7 Tahun 2016
	L1	L2	L3		
Suhu (°C)	32	28	28	38*	38
Ec (Uc/Cm)	9,08	6,22	3,49	-	-
TDS	25,63	7,27	6,92	2000**	2000
TSS	15,615	0,295	0,285	100*	100
pH	6	7	8	6-9*	6-9
COD (mg/L)	34,835	30,500	18.000	300*	300
BOD (mg/L)	29.000	28,760	8,750	150*	100
Pb (mg/L)	0,506	0,031	0,019	0,1*****	0,1
Cu (mg/L)	0,176	0,071	0,055	2,0***	0,5
Cd (mg/L)	0,175	0,046	0,044	0,1*	-
Cr (mg/L)	0,092	0,020	0,008	0,1*****	0,5
Mn (mg/L)	0,189	0,062	0,023	0,2****	-
Zn (mg/L)	0,977	0,476	0,456	2***	5
Hg (ppm)	0,033	0,010	0,012	0,005*	0,5
Fe (mg/L)	1,235	0,801	0,384	5*****	2

Baku Mutu Permen LHK No.59 Tahun 2016*
 Baku Mutu permen LHK No.5 Tahun 2014**
 Food and Agriculture Organization: Water
 Quality for Agriculture Irrigation and Drainage
 Paper 29 rev. 1, 1985****
 PP No. 22 Tahun 2001 Air Kelas IV*****

4.2 Analisis Kandungan Zat Organik dalam Air Lindi

4.2.1 Konsentrasi BOD dalam Air Lindi

Kebutuhan oksigen biologis (Biological Oxygen Demand) merupakan parameter kimia yang berfungsi untuk mengetahui kualitas perairan dengan pengukuran jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk mengurai zat organik yang terlarut dan tersuspensi dalam air buangan pada keadaan aerobik yang diinkubasi pada suhu 20°C selama 5 hari, sehingga sering disebut BOD₅. Nilai BOD merupakan indikator kualitas air yang sangat penting di sekitar TPA Banyuroto. Jika badan air tercemar bahan organik, mikroorganisme di dalamnya menggunakan oksigen terlarut dalam air dalam proses dekomposisi biologis. Oksigen yang dikonsumsi akhirnya habis dan menyebabkan matinya biota perairan

sehingga menyebabkan keadaan badan air menjadi anaerob yang ditandai dengan munculnya bau busuk atau bau tidak sedap.

Pada titik lindi 1 kandungan BOD relatif tinggi. Hal ini dapat disebabkan karena titik 1 merupakan awal genangan air lindi pada tumpukan sampah *landfill* tanpa adanya perlakuan menuju bak stabilisasi atau treatment melalui IPAL. Selanjutnya pada lindi titik 2 yaitu pada rembesan TPA yang mengalir ke inlet kandungan BOD menurun tapi tidak signifikan. Pada titik lindi 3 yang terdapat di rembesan setelah IPAL yaitu rembesan didekat area persawahan kandungan BOD turun signifikan.

Berikut ini merupakan hasil Analisa kandungan BOD pada sampel air lindi TPA Banyuroto .:

Tabel 4.2 Konsentrasi BOD pada sampel air lindi

No	Titik Lokasi	Konsentrasi BOD (mg/L)	Baku Mutu permen LHK No.59 Tahun 2016
1	L1	29.000	150 mg/L
2	L2	28.760	
3	L3	8.750	
Rata-rata		22170	150

Dari table 4.2 diatas, diketahui bahwa konsentrasi BOD dari setiap sampel lindi relatif tinggi, bahkan jauh melewati ambang batas baku mutu yang telah ditetapkan pemerintah pada Permen LHK No. 59 tahun 2016 tentang Baku Mutu Lindi bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah sebesar 150 mg/L. Dari tiga sampel yang diuji, sampel L1 mempunyai konsentarsi BOD yang paling besar dari yang lainnya yakni sebesar 29000 mg/L. Sedangkan sampel yang paling rendah yaitu pada L3 mempunyai konsentrasi sebesar 8750 mg/L.

Tingginya konsentrasi pada BOD ini mengindikasikan bahwa air lindi mengandung bahan organik hasil dari dekomposisi sampah yakni pada L1 karena berada di area tumpukan *landfill*.

4.2.2 Konsentrasi COD dalam Air Lindi

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah ukuran kuantitatif untuk jumlah oksigen yang diperlukan dalam suatu sampel limbah cair atau air untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada di dalamnya. Angka COD merupakan indikator penting dalam menilai tingkat pencemaran air oleh zat-zat organik yang dapat dioksidasi secara kimiawi.

Jika suatu sampel limbah memiliki COD yang tinggi, ini mengindikasikan bahwa limbah tersebut mengandung banyak senyawa organik yang dapat menghasilkan permintaan oksigen dalam jumlah besar saat teroksidasi. Proses oksidasi ini dapat terjadi baik secara alami maupun melalui proses penguraian biologis. Tingginya COD dalam limbah cair atau air dapat menyebabkan berkurangnya oksigen terlarut dalam lingkungan perairan. Ketika air yang mengandung zat-zat organik yang mudah dioksidasi mencemari perairan, bakteri dan mikroorganisme dalam lingkungan akan mengonsumsi oksigen saat mereka mencerna senyawa-senyawa ini. Ini dapat menyebabkan penurunan konsentrasi oksigen terlarut di dalam air, yang pada gilirannya dapat merugikan ekosistem akuatik dan mengakibatkan kondisi perairan yang tidak sehat.

Tabel 4.3 berikut ini menunjukkan hasil Analisa kandungan COD dalam sampel air lindi yang diambil.

Tabel 4.3 Konsentrasi COD pada sampel air lindi

No	Titik Lokasi	Konsentrasi COD (mg/L)	Baku Mutu permen LHK No.59 Tahun 2016
1	L1	34.273	300 mg/L
2	L2	23.449	
3	L3	18.000	
Rata-rata		25.241	300

Berdasarkan tabel diatas, diketahui bahwa konsentrasi COD dari setiap sampel lindi relatif tinggi, bahkan jauh melewati ambang batas baku mutu yang telah ditetapkan pemerintah pada Permen LHK No. 59 tahun 2016 tentang Baku

Mutu Lindi bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah sebesar 300 mg/L. Dari tiga titik sampel air lindi diatas sama halnya pada parameter BOD, konsentrasi tertinggi terdapat pada L1 yaitu 34.372 mg/L sedangkan konsentrasi paling rendah yaitu pada L3 sebesar 18000 mg/L. Nilai COD selalu lebih tinggi dibandingkan BOD, hal ini karena banyak zat organik yang dioksidasi secara kimiawi tetapi tidak dapat dioksidasi secara biologis (Khan et al., 2011)

Semakin tinggi konsentrasi COD menandakan bahwa zat-zat yang terkandung tersebut masih dalam jumlah yang besar dan berbahaya jika dilepaskan dilingkungan. Konsentrasi COD yang baik untuk pertanian dan peternakan biasanya kurang dari 20 mg/L. Sehingga konsentrasi COD diatas sangat berbahaya jika terkena area persawahan warga.

4.2.3 Konsentrasi TSS dalam Air Lindi

Padatan Tersuspensi Total (TSS) merujuk pada bahan-bahan padat yang mengambang atau tersuspensi dalam air dan memiliki diameter lebih besar dari 1 mikrometer (μm). TSS biasanya terdiri dari berbagai jenis partikel, termasuk zat organik dan anorganik, seperti lumpur, pasir halus, fragmen tanaman, mikroorganisme, dan lainnya. Partikel-partikel ini melayang dalam air dan memberikan karakteristik kekeruhan pada air. Dampak TSS pada Kualitas Air dan lingkungan perairan, antara lain:

Kekeruhan, Air yang keruh dapat menghalangi penetrasi sinar matahari ke dalam air, mengganggu fotosintesis oleh alga dan tanaman air, serta mengurangi habitat bagi makhluk hidup di dalam air.

Pendangkalan: Ketika partikel-partikel TSS mengendap di dasar perairan, mereka dapat menyebabkan pendangkalan dasar dan mengurangi kedalaman perairan.

Transport Nutrien dan Polutan: Partikel-partikel TSS dapat membawa nutrien dan polutan terlarut seperti logam berat dan pestisida. Ini dapat berdampak buruk pada ekosistem perairan dan kualitas air.

Sirkulasi dan Oksigen: TSS juga dapat mempengaruhi sirkulasi air dan oksigen terlarut di dalam air, yang berdampak pada organisme yang hidup di dalamnya.

Tabel 4.4 berikut ini menunjukkan hasil pemeriksaan kandungan TSS pada sampel air lindi TPA Banyuroto:

Tabel 4 4 Konsentrasi TSS pada sampel air lindi

No	Titik Lokasi	Konsentrasi TSS (mg/L)	Baku Mutu permen LHK No.59 Tahun 2016
1	L1	15.615	100 mg/L
2	L2	0,295	
3	L3	0,285	
Rata-rata		5.205	100

Dari tabel diatas konsentrasi padatan tersuspensi yaitu antara 0,285-15.615 mg/L dengan Rata-rata konsentrasinya yaitu 5.205 mg/L. Berdasarkan baku mutu Permen LHK No. 59 Tahun 2016 konsentrasi Padatan Tersuspensi di TPA Banyuroto masih memenuhi standar baku mutu.

4.2.4 Konsentrasi TDS dalam Air Lindi

TDS merujuk pada jumlah total zat-zat yang terlarut dalam air, termasuk bahan organik dan anorganik. Kandungan TDS dalam air dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk air lindi dari Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (TPA). Kandungan TDS dalam air lindi TPA Banyuroto cukup tinggi karena mengandung banyak bahan organik, anorganik, padatan, dan mikroorganisme. Pengaruh dari berbagai komponen ini menyebabkan konsentrasi TDS yang signifikan.

Tingkat TDS dalam air memiliki dampak pada kualitas air dan pengalaman konsumen. Air dengan kandungan TDS yang tinggi dapat memiliki rasa yang tidak enak, dan jika melebihi ambang tertentu (misalnya 2000 mg/L), air tersebut mungkin tidak cocok untuk diminum sebagai air minum. Kandungan TDS dalam air juga dapat mempengaruhi konduktivitas air, yaitu kemampuan air untuk menghantarkan arus listrik. Semakin tinggi kandungan ion bermuatan dalam air, semakin tinggi konduktivitasnya.

Resirkulasi air lindi kembali ke timbunan sampah dapat menyebabkan penumpukan ion klorida dan amonium dalam air. Ini terjadi karena ion-ion

tersebut tidak digunakan kembali dalam proses degradasi sampah dan akhirnya berakumulasi. Penumpukan ion-ion klorida dan amonium ini dapat meningkatkan kandungan TDS dalam air dan memiliki dampak pada konduktivitas, kekeruhan, dan salinitas air. Berikut tabel konsentrasi TDS pada TPA Banyuroto:

Tabel 4 5 Konsentrasi TDS pada sampel air lindi

No	Titik Lokasi	Konsentrasi TDS (mg/L)	Baku Mutu permen LHK No.5 Tahun 2014
1	L1	25.63	2000 mg/L
2	L2	7.270	
3	L3	6.920	
Rata-rata		7095	2000

1.2.5. Konsentrasi Daya Hantar Listrik (DHL)

Konduktivitas listrik (DHL) adalah ukuran kemampuan suatu larutan, dalam hal ini air, untuk menghantarkan arus listrik. Kemampuan ini dipengaruhi oleh adanya ion-ion bermuatan dalam larutan. Ketika senyawa terlarut dalam air terionisasi (memecah menjadi ion positif dan negatif), ion-ion ini memungkinkan aliran arus listrik melalui larutan. Jika larutan memiliki lebih banyak ion-ion yang terionisasi, konduktivitasnya akan lebih tinggi.

Dalam konteks pengolahan limbah, seperti lindi (cairan sampah), konduktivitas dapat digunakan sebagai indikator adanya senyawa organik. Senyawa organik cenderung tidak mengionisasi dengan mudah seperti garam-garam anorganik, tetapi senyawa-senyawa ini mungkin terlibat dalam reaksi kimia yang menghasilkan ion-ion yang dapat meningkatkan konduktivitas. Misalnya, senyawa organik tertentu dapat terdekomposisi menjadi produk-produk yang mengandung ion-ion bermuatan, yang pada akhirnya akan meningkatkan konduktivitas lindi. Oleh karena itu, perubahan konduktivitas dalam lindi dapat memberikan petunjuk tentang adanya senyawa organik tertentu atau perubahan dalam komposisi lindi tersebut.

Berikut tabel konsentrasi DHL yang diukur pada TPA Banyuroto

Tabel 4 6 Konsentrasi DHL pada sampel air lindi

Sampel	Ec (Uc/Cm)
L1	9,08
L2	6,22
L3	3,49

Berdasarkan tabel diatas yang memiliki konsentrasi DHL paling tinggi yaitu Lindi 1 yang berada di tumpukan sampah dan paling rendah L3 berada di rembesan air lindi menuju persawahan. Semakin besar konduktivitas listriknya menunjukkan semakin banyak ion ion atau kandungan logam yang terlarut dalam air tersebut.

4.3 Analisis Kandungan Logam Berat dalam Air Lindi

Logam berat adalah bahan beracun bagi tanaman dan lingkungan. Ketika air lindi yang mengandung logam berat disiramkan ke tanah, logam-logam berat tersebut dapat terakumulasi dalam tanah dan mempengaruhi kesehatan tanaman. Kontaminasi logam berat dalam tanaman yang kemudian dikonsumsi oleh manusia dapat membawa risiko kesehatan. Logam berat seperti kadmium (Cd), timbal (Pb), dan merkuri (Hg) adalah zat beracun yang dapat menyebabkan masalah kesehatan pada manusia jika terakumulasi dalam tubuh dalam jumlah yang tinggi.

Parameter logam berat yang diuji dalam penelitian tersebut mencakup beberapa elemen seperti Cd, Cr, Cu, Mn, Fe, Pb, Hg dan Zn . Ini adalah logam-logam berat yang umumnya diidentifikasi dan diukur dalam analisis lingkungan. Dalam penelitian ini, sampel air lindi diolah dengan menggunakan metode destruksi menggunakan asam nitrat pekat (HNO₃) untuk mempersiapkan sampel sebelum pengukuran. Pengukuran konsentrasi logam berat dilakukan dengan menggunakan dua alat yaitu Atomic Absorption Spectrophotometri (AAS) dengan metode nyala dan Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS).

4.3.1 Konsentrasi Timbal (Pb) dalam Air Lindi

Timbal (Pb) merupakan logam berat yang memiliki berbagai aplikasi dalam industri, seperti pembuatan baterai, amunisi, produk cat, keramik, dan lain-lain. Penggunaan timbal ini dapat ditemukan dalam berbagai produk sehari-hari. Sumber

timbal dalam lingkungan dapat berasal dari alam secara alami, tetapi juga dari aktivitas manusia seperti penggunaan bahan bakar berbasis timbal pada kendaraan.

Tingkat konsentrasi timbal yang tinggi dalam tubuh manusia dapat memiliki dampak negatif pada kesehatan. Salah satu dampaknya adalah penghambatan sintesis hemoglobin, yang dapat mengakibatkan anemia. Selain itu, timbal juga dapat mempengaruhi sistem saraf dan menyebabkan gangguan pada sistem syaraf, termasuk hipertensi atau tekanan darah tinggi. Logam berat seperti timbal yang terlarut dalam badan perairan pada konsentrasi tertentu dapat menjadi racun bagi organisme perairan. Keberadaan timbal dalam air dapat mengganggu kehidupan perairan dan berdampak pada ekosistem. Peningkatan konsentrasi timbal dalam perairan dapat mengganggu berbagai organisme, menghambat pertumbuhan, dan mengganggu keseimbangan ekosistem. Penggunaan timbal dalam kehidupan sehari-hari seperti pembuatan gelas, penstabil PVC, bensin, bahan bakar, cat bahkan sebagai pestisida (Irianti et al., 2017). Berikut adalah tabel kandungan logam berat pb yang terdapat pada TPA Banyuroto :

Tabel 4 7 Konsentrasi Timbal (Pb) pada Air Lindi

No	Titik Lokasi	Pb (mg/L)	Baku Mutu (mg/L)	
			PP No. 22 Tahun 2001 Air Kelas IV	FAO
1	L1	0,506	1	5
2	L2	0,031		
3	L3	0,019		
Rata-rata		0,185		

Berdasarkan hasil analisis laboratorium, konsentrasi Pb pada sampel lindi TPA Banyuroto masih memenuhi standar baku mutu untuk air kelas IV menurut PP No. 22 tahun 2001 yaitu sebesar 1 mg/L dan menurut Food and Agriculture Organization: Water Quality for Agriculture Irrigation and Drainage Paper 29 rev. 1, 1985 sebesar 5 mg/L .

Menurut pengelola TPA Banyuroto juga terdapat beberapa benda atau bahan yang dapat menyebabkan adanya kandungan logam berat Pb seperti bekas kaleng cat, batu baterai dan lain sebagainya. Selain itu TPA Banyuroto juga menampung beberapa industri di Kulonprogo salah satunya yaitu industri Traktor yang menjadi salah satu akibat dari adanya kandungan Timbal (Pb) di kawasan TPA Banyuroto Kulonprogo.

4.3.2 Konsentrasi Tembaga (Cu) dalam Air Lindi

Konsentrasi tembaga (Cu) dalam lindi memasuki lingkungan secara alami melalui erosi, erosi batuan dan air hujan. Tembaga juga dapat berasal dari kegiatan industri, kegiatan rumah tangga, serta pembakaran dan pergerakan bahan bakar. Tembaga adalah logam berat yang penting. Meski beracun, manusia tetap membutuhkannya dalam jumlah kecil (Palar, 1994).

Tembaga adalah salah satu mikronutrien esensial yang dibutuhkan oleh tubuh manusia dalam jumlah yang sangat kecil. Meskipun dibutuhkan dalam jumlah kecil, tembaga berperan penting dalam berbagai fungsi tubuh, termasuk pembentukan hemoglobin, fungsi saraf, dan dukungan sistem kekebalan tubuh. Tubuh manusia memerlukan tembaga untuk pertumbuhan dan perkembangan normal, serta proses metabolisme yang tepat. Namun, konsumsi tembaga yang berlebihan juga dapat berdampak negatif pada kesehatan.

Berikut adalah tabel konsentrasi Cu pada Lindi di TPA Banyuroto:

Tabel 4 8 Konsentrasi Tembaga Cu pada Air Lindi

No	Titik Lokasi	Cu (mg/L)	PP No. 82 Tahun 2001	Perda DIY No. 7 Tahun 2016
1	L1	0,176	0,2	0,5
2	L2	0,071		
3	L3	0,055		
Rata-rata		0,101	0,2	0,5

Pada tabel diatas diketahui nilai Cu berada pada rentan 0,055-0,176 masih di bawah 2 mg/L, sehingga masih memenuhi baku mutu berdasarkan Permen LHK No 5 Tahun 2014 dan Perda DIY No. 7 Tahun 2016. Akan tetapi pemerintah dan pengelola setempat harus tetap mengontrol kandungan logam tersebut karena

sudah mendekati baku mutu sehingga untuk pencegahan kedepannya agar tidak melebihi baku mutu. Jika air lindi yang memiliki kandungan lebih dari 2 mg/L dan merembes ke area persawahan warga maka akan sangat berbahaya. Orang yang keracunan Cu atau tembaga ini dapat mengalami gangguan fungsi ginjal serta terhambatnya pertumbuhan manusia..

4.3.3 Konsentrasi Kadmium (Cd) dalam Air Lindi

kadmium (Cd) adalah salah satu logam berat yang dapat ditemui dalam lingkungan dan dapat memiliki dampak negatif pada kesehatan manusia. Kadmium adalah bahan beracun yang dapat mencemari lingkungan, terutama jika bahan-bahan yang mengandung kadmium seperti plastik bekas, baterai, dan sisa cat tidak dikelola dengan baik dan dibuang ke tempat pembuangan akhir seperti TPA tanpa pengolahan yang memadai. Kadmium memiliki sifat toksik dan berpotensi menyebabkan kerusakan pada organ dan sistem dalam tubuh manusia jika terpapar dalam jumlah yang cukup besar. Beberapa efek negatif kesehatan akibat paparan kadmium antara lain : Gangguan pencernaan, gangguan otak dan saraf, gangguan ginjal, gangguan pada hati, gangguan pada sistem kardiovaskular, gangguan pada paru-paru, pengaruh terhadap pertumbuhan dan reproduksi. (Sudarmaji et al., 2006).

Berikut adalah tabel konsentrasi Cu pada lindi di TPA Banyuroto :

Tabel 4 9 Konsentrasi Kadmium (Cd) dalam Air Lindi

No	Titik Lokasi	Cd (mg/L)	Baku Mutu Permen LHK No. 59 Tahun 2016
1	L1	0,175	0,1
2	L2	0,046	
3	L3	0,044	
Rata-rata		0,088	0,1

Berdasarkan Analisa laboratorium kandungan Cd pada lindi didapatkan hasil angka 0,088-0,175 yang mana konsentrasi tertinggi berada pada pada titik lindi 1. Lindi 1 tersebut berada di area *landfill* atau area tumpukan sampah yang belum di olah melalui IPAL, berbeda halnya pada titik 3 yaitu pada rembesan

didekat sawah kandungan Cd sudah menurun. Sehingga kandungan yang melebihi baku mutu hanya pada titik lindi 1.

4.3.4 Konsentrasi Mangan (Mn) dalam Air Lindi

Mangan adalah unsur yang memang diperlukan oleh tanaman dan manusia dalam jumlah tertentu untuk menjalankan berbagai fungsi penting dalam metabolisme dan pertumbuhan. Namun, kelebihan konsentrasi mangan dalam lingkungan, terutama dalam air lindi atau air lainnya, dapat menjadi toksik dan berdampak negatif terhadap tanaman dan lingkungan. Toksisitas mangan terhadap tanaman terutama terkait dengan gangguan dalam penyerapan dan penggunaan nutrisi lainnya, seperti fosfor (P), (Palar, 1994).

Kelebihan mangan dapat mengganggu keseimbangan nutrisi dan merusak proses metabolisme, termasuk fotosintesis, yang penting untuk pertumbuhan tanaman. Gejala kelebihan mangan pada tanaman meliputi perubahan warna dan kerusakan pada daun, pertumbuhan terhambat, dan penurunan hasil. Proses fotosintesis yang terganggu juga dapat mempengaruhi kemampuan tanaman untuk menghasilkan energi dan nutrisi yang diperlukan untuk pertumbuhan dan perkembangan yang optimal (Dobermann dan Fairhurst, 2000). Oleh karena itu, penting untuk mengelola limbah yang mengandung mangan dan logam berat lainnya dengan baik, terutama dalam tempat pembuangan akhir seperti TPA.

Berikut ini merupakan tabel konsentrasi konsentrasi logam mangan (Mn) pada lindi di TPA Banyuroto:

Tabel 4 10 Konsentrasi mangan (Mn) pada sampel air lindi

No	Titik Lokasi	Mn (mg/L)	Baku Mutu*
1	L1	0,189	0,2
2	L2	0,062	
3	L3	0,023	
Rata-rata		0,091	0,2

Sumber:

Food and Agriculture Organization: Water Quality for Agriculture. Irrigation and Drainage Paper 29 rev. 1, 1985

Berdasarkan hasil analisis laboratorium, konsentrasi Mn dalam sampel air lindi TPA Banyuroto menunjukkan hasil antara 0,023– 0,189 mg/L. Konsentrasi tersebut masih aman di bawah garis baku mutu menurut FAO yaitu 0,2 mg/L.

4.3.5 Konsentrasi Kromium (Cr) dalam Air Lindi

Kromium adalah unsur yang memiliki sifat kimia yang kompleks dan dapat hadir dalam berbagai bentuk dan senyawa. Kromium hadir dalam berbagai jenis tanah dan lingkungan alami dalam jumlah yang bervariasi. Penting untuk diingat bahwa beberapa bentuk kromium, terutama kromium heksavalen (Cr(VI)), memiliki toksisitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan bentuk lainnya. Kromium dalam bentuk Cr(VI) dikenal sebagai salah satu bentuk yang lebih beracun dan berpotensi merugikan bagi manusia dan lingkungan. Paparan kronis terhadap Cr(VI) dapat memiliki dampak negatif pada kesehatan manusia, seperti iritasi kulit, gangguan pernapasan, serta berpotensi menjadi karsinogenik.

Sumber-sumber kromium dalam lingkungan seperti TPA, termasuk limbah elektronik, limbah pertanian, dan limbah makanan, dapat memberikan kontribusi pada peningkatan konsentrasi kromium di lingkungan. Pengelolaan limbah yang baik dan pencegahan pencemaran kromium menjadi penting untuk menjaga keseimbangan ekosistem dan mencegah risiko kesehatan bagi manusia.

Berikut ini merupakan tabel konsentrasi kromium (Cr) pada lindi di TPA Banyuroto:

Tabel 4 11 Konsentrasi Kromium (Cr) dalam Air Lindi

No	Titik Lokasi	Cr (mg/L)	Baku Mutu (mg/L)		
			PP No. 22 Tahun 2001 Air Kelas IV	FAO	Perda DIY No. 7 Tahun 2016
1	L1	0,092	1	0,1	0,5
2	L2	0,020			
3	L3	0,008			
Rata-rata		0,040	1	0,1	0,5

Berdasarkan hasil penelitian dilaboratorium, konsentrasi kromium dalam sampel air lindi TPA Banyuroto yang ditunjukkan dalam tabel 4.10 menunjukkan hasil antara 0,008-0,092 mg/L. Pada kualitas air lindi berikut masih memenuhi baku

mutu standar PermenkesPP No. 22 Tahun 2001 Air Kelas IV yaitu sebesar 1 mg/L, menurut Food and Agriculture Organization: Water Quality for Agriculture. Irrigation and Drainage Paper 29 rev. 1, tahun 1985 sebesar 0,1 mg/L dan menurut Perda DIY No. 7 Tahun 2016 sebesar 0,5 mg/L.

4.3.6 Konsentrasi Seng (Zn) dalam Air Lindi

Logam seng adalah nutrisi penting bagi tanaman, tetapi dapat menjadi racun pada konsentrasi tinggi di dalam tanah. Di tanah normal kandungan Zn bervariasi antara 10 dan 300 mg/kg berat kering, di Belanda kandungan Zn bervariasi antara 10 dan 100 mg/kg. Logam seng bersumber dari produk elektronik, baterai hingga pupuk yang digunakan petani (ASTDR, 2006).

Seng adalah salah satu unsur penting yang memiliki peran esensial dalam berbagai proses biologis, termasuk dalam metabolisme manusia dan organisme lainnya. Kandungan seng dalam air bervariasi tergantung pada berbagai faktor lingkungan, termasuk pH air dan aktivitas manusia di sekitarnya. Meskipun seng diperlukan dalam jumlah kecil oleh organisme, namun kandungan yang berlebihan dalam air dapat menyebabkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Kandungan seng yang melebihi ambang batas yang ditentukan dapat mencemari air dan merusak ekosistem perairan. Dampaknya dapat dirasakan oleh organisme di lingkungan air, termasuk ikan, makhluk air lainnya, dan tanaman air (Moore, 1991 dan McNeely et al., 1979).

Kegiatan industri atau pabrik yang menghasilkan limbah cair dengan kandungan seng tinggi memang dapat menjadi sumber pencemaran lingkungan air. Oleh karena itu, pengelolaan limbah industri yang baik dan pengurangan emisi seng menjadi penting untuk mencegah dampak negatif terhadap lingkungan. Pengujian dan pemantauan terhadap kandungan seng dalam air perlu dilakukan secara rutin untuk memastikan bahwa batas yang aman tidak terlampaui (Ningsih et al., 2014, hlm.15).

Berikut adalah tabel konsentrasi Zn pada lindi di TPA Banyuroto :

Tabel 4 12 Konsentrasi seng (Zn) pada sampel air lindi

No	Titik Lokasi	Zn (mg/L)	PP No 82 Tahun 2001	Perda DIY No. 7 Tahun 2016
1	L1	0,977	2	5
2	L2	0,476		
3	L3	0,456		
Rata-rata		0,636	2	5

Berdasarkan hasil penelitian dilaboratorium, konsentrasi kromium dalam sampel air lindi TPA Banyuroto mendapatkan hasil 0,008-0,092 mg/L. Pada kualitas air lindi berikut masih memenuhi baku mutu standar Permen LHK no 5 Tahun 2014 Air Kelas I yaitu sebesar 5 mg/L dan Perda DIY No. 7 Tahun 2016 yaitu 5 mg/L.

Seng juga dimanfaatkan bagi industri dalam tahapan oksidasi peralatan elektronik, kosmetik, pembuatan zat warna dan cat, industri karet dan industri obat salep Calebrese dan Kenyon (1991). Menurut pengelola TPA Banyuroto juga menerima limbah dari industri Traktor, Rokok, Gula, PVC, rambut palsu *week* dan pewarna seperti cat. Sehingga kandungan seng (zn) dapat diperoleh dari kegiatan industry tersebut.

4.3.7 Konsentrasi Besi (Fe) dalam Air Lindi

Besi adalah salah satu mineral esensial yang memiliki peran penting dalam berbagai fungsi tubuh manusia, termasuk pembentukan hemoglobin dalam sel darah merah dan berpartisipasi dalam proses metabolisme energi. Kandungan besi dalam berbagai lingkungan juga memainkan peran penting. Kandungan besi di kerak bumi, laut, dan air tanah memiliki variasi tertentu. Dalam air tanah, kandungan besi dapat meningkat karena proses alami, seperti pelarutan mineral besi dari tanah. Selain itu, aktivitas manusia, seperti limbah industri atau pengolahan bijih besi, dapat menyebabkan peningkatan kandungan besi dalam air. Sementara besi esensial bagi tanaman, konsentrasi besi yang terlalu tinggi dalam lingkungan air juga dapat memiliki efek negatif pada ekosistem perairan. Peningkatan kandungan besi dalam air dapat menyebabkan perubahan kualitas air, termasuk

warna air yang lebih keruh dan perubahan pH. Selain itu, besi yang terlarut dalam air dapat menyebabkan pembentukan endapan besi pada permukaan air dan substrat perairan.

Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan konsentrasi Fe pada lindi di TPA Banyuroto :

Tabel 4 13 Konsentrasi Besi (Fe) dalam Air Lindi

No	Titik Lokasi	Fe (mg/L)	FAO	Perda DIY No. 7 Tahun 2016
1	L1	1,235	5	2
2	L2	0,801		
3	L3	0,384		
Rata-rata		0,807	5	2

Food and Agriculture Organization: Water Quality for Agriculture. Irrigation and Drainage Paper 29 rev. 1, 1985

Berdasarkan hasil penelitian dilaboratorium, konsentrasi kromium dalam sampel air lindi TPA Banyuroto mendapatkan hasil 0,384-1,235 mg/L. Menurut Food and Agriculture Organization: Water Quality for Agriculture. Irrigation and Drainage Paper 29 rev. 1, tahun 1985 yaitu 5 mg/L dan Perda DIY yaitu 2 Sehingga kandungan besi (fe) pada TPA Banyuroto masih memenuhi standar baku mutu.

4.3.8 Konsentrasi Merkuri (Hg) dalam Air Lindi

Merkuri adalah salah satu logam berat yang memiliki efek toksik yang signifikan pada tubuh manusia dan lingkungan. Keracunan merkuri dapat terjadi melalui paparan langsung atau melalui konsumsi makanan yang terkontaminasi merkuri. Efek toksik merkuri terutama mengenai sistem saraf pusat, pencernaan, dan ginjal. Pada sistem saraf pusat, merkuri dapat menyebabkan gejala seperti gangguan koordinasi motorik, gangguan penglihatan, gangguan pendengaran, tremor, dan gangguan perilaku. Pada sistem pencernaan, paparan merkuri dapat menyebabkan mual, muntah, diare, dan gangguan saluran cerna. Salah satu kelompok yang rentan terhadap dampak merkuri adalah wanita hamil dan janin dalam kandungan. Beberapa sumber paparan merkuri termasuk konsumsi ikan tertentu yang terkontaminasi merkuri, penggunaan produk yang mengandung

merkuri seperti termometer raksa, serta aktivitas industri tertentu yang mengeluarkan merkuri ke lingkungan. (Suhendrayatna, 2013).

Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan konsentrasi Hg pada lindi di TPA Banyuroto :

Tabel 4 14 Konsentrasi Merkuri (Hg) dalam Air Lindi

No	Titik Lokasi	Hg (ppm)	Baku Mutu Permen LHK No. 59 Tahun 2016	Perda DIY No. 7 Tahun 2016
1	L1	0,033	0,005 mg/L	0,5 mg/L
2	L2	0,010		
3	L3	0,012		
Rata-rata		0,018	0,005	0,5

Berdasarkan hasil penelitian dilaboratorium, konsentrasi Hg dalam sampel air lindi TPA Banyuroto didapatkan hasil 0,010-0,033 ppm. Menurut Baku Mutu Permen LHK No. 59 Tahun 2016 kandungan merkuri pada air lindi yaitu 0,005 ppm dan Perda DIY No. 7 Tahun 2016 yaitu sebesar 0,5 ppm. Sehingga kandungan merkuri pada TPA Banyuroto menurut Permen LHK No. 59 melewati baku mutu dan menurut Perda DIY masih memenuhi standar baku mutu.

4.4 Analisis Kandungan Logam Berat dalam Air Tanah

Penelitian ini dilakukan pengambilan air sample di 5 titik sumur warga paling terdekat dengan TPA Banyuroto. yaitu titik S1 merupakan sumur control yang berlokasi di belakang TPA, titik S2-S4 yaitu sumur warga yang berlokasi dari paling terdekat TPA hingga keselatan sesuai dengan pola persebaran pembuangan akhir air lindi yaitu pada sungai serang yang berlokasi di selatan TPA Banyuroto. Selanjutnya yaitu pada titik S5 yaitu sumur warga yang berada di utara TPA, sehingga dapat jadi perbandingan kualitas air sumur. Berdasarkan observasi peneliti kepada warga sekitar TPA tantang sasaran penggunaan air sumur yaitu untuk keperluan hygiene sanitasi khususnya untuk mandi dan mencuci, sedangkan untuk konsumsi warga setempat sudah menggunakan air PDAM. Oleh karena itu peneliti menggunakan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 Tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan.

Pada penelitian ini juga menguji nilai pH, suhu, dan DHL pada sumur warga. Data yang didapatkan pada saat pengujian dilapangan yaitu pH berkisar 6-7, suhu berkisar 27°C – 28 °C, Daya Hantar Listrik (DHL) yaitu berkisar (0,345-0,777). Parameter logam berat yang diuji dalam penelitian ini adalah Cr, Mn dan Fe. Sampel air sumur didestruksi menggunakan HNO₃ pekat, kemudian dibaca konsentrasinya dengan menggunakan alat Atomic Absorbtion Spectrophotometri (AAS-flame). Berikut Konduktivitas Listrik, pH, Suhu, dan logam berat pada air tanah di TPA Banyuroto :

Tabel 4 15 Konduktivitas Listrik, pH, Suhu, dan logam berat pada air tanah:

Parameter (Satuan)	Sampel					Baku Mutu Air Tanah
	S1	S2	S3	S4	S5	
Suhu (°C)	27	27	29	28	28	27-30
Ec (Uc/Cm)	0,777	0,456	0,748	0,345	0,375	-
pH	7	6	6	6	6	6,5-7,5
Cr (mg/L)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0,01
Mn (mg/L)	0,008	0,004	0,013	0,003	0,009	0,5
Fe (mg/L)	0,011	0,020	0,017	0,005	0,007	1

Peraturan Menteri Kesehatan No. 2 Tahun 2023

4.4.1 Kandungan Kromium (Cr) dalam Air Tanah

Kromium adalah salah satu logam putih keras yang relatif tidak stabil dan mudah teroksidasi, dapat di poles menjadi mengkilap. Perpaduan kromium dengan besi dan nikel menghasilkan baja tahan karat. Kromium (Cr) merupakan logam berat dengan berat atom 51,996 g/mol; tahan terhadap oksidasi meskipun pada suhu tinggi; memiliki titik cair 1.857°C dan titik didih 2.6722°C bersifat paramagnetik. Kromium bisa membentuk berbagai macam ion kompleks yang berfungsi sebagai katalisator (Widowati, W. 2008). Kromium (Cr) merupakan salah satu kontaminan yang sering ditemukan dalam limbah industri (He dan Paul, 2014). Kromium banyak digunakan secara luas dalam penyepuhan, penyamakan kulit, pelapis kromat dan pelapis logam (Malkoc, 2007).

Adapun beberapa sifat toksik kromium terhadap pencernaan dapat menyebabkan sakit lambung, muntah dan pendarahan, luka pada lambung, konvulasi, kerusakan ginjal, dan hepar. Bahkan bisa menyebabkan kematian. Selain

itu kromium juga bersifat toksik terhadap alat pernapasan, Meghirup udara yang mengandung Cr tinggi bisa menyebabkan iritasi hidung. Hidung berlendir, pendarahan hidung, dan timbul lubang pada nasal septum. Selanjutnya kromium juga bersifat toksik terhadap kulit dan mata Kulit yang alergi terhadap Cr akan cepat bereaksi dengan adanya paparan Cr meskipun dalam dosis rendah. Kromium (Cr) bisa menyebabkan kulit gatal dan luka yang tidak lekas sembuh. Paparan Cr melalui kulit bisa berasal dari berbagai produk yang mengandung Cr, seperti kayu yang diawetkan menggunakan

Kromit sulfat, Serta bahan bangunan, antara lain semen dan tekstil.paparan Cr melalui kulit bisa menyebabkan kemerahan dan pembengkakan pada kulit. Sehingga warga yang memiliki sumur di sekitar TPA Banyuroto rentan terkena logam berat Kromium jika air sumur tersebut digunakan untuk keperluan hygiene sanitasi seperti mandi, mencuci dan lainnya.

Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan kandungan Kromium didalam air Tanah :

Tabel 4 16 Konsentrasi Kromium (Cr) dalam Air Tanah

No	Titik Lokasi	Cr (mg/L)	Baku Mutu (mg/L)
			Permenkes No 2 Tahun 2023
1	S1	<LOD	0,01
2	S2	<LOD	
3	S3	<LOD	
4	S4	<LOD	
5	S5	<LOD	

Berdasarkan hasil penelitian dilaboratorium, konsentrasi Kromium (Cr) dalam sampel air tanah TPA Banyuroto, dianalisis bahwa kandungan logam Cr di dalam sampel air tidak terdeteksi oleh alat yang disebabkan oleh nilai LOD alat ukur lebih tinggi dari kandungan logam Cr di dalam sampel. Jika dibandingkan nilai LOD dengan nilai baku mutu, tidak bisa disimpulkan air tersebut layak dikatakan sebagai air bersih karena nilai LOD alat jauh lebih tinggi dari nilai baku mutu yang

telah ditetapkan yaitu 0,05 mg/L. Jika dianalisis dari nilai LOD alat ukur yang digunakan dapat dikatakan logam Cr ada di dalam sampel air tanah yang dianalisis tetapi kandungannya masih sangat kecil sehingga tidak terdeteksi oleh alat yang digunakan. Hal ini harus diwaspadai kedepannya karena jika terjadi akumulasi kandungan logam Cr di dalam air tanah maka akan terjadi peningkatan kandungan dari logam tersebut. Penyebaran Cr pada air tanah tergantung kepada karakteristik sorpsi dari tanah termasuk kandungan tanah liat, oksida besi dan jumlah zat organik yang ada (Puti, S.k, Budhi, P dan Fitri, R, 2008).

4.4.2 Kandungan Mangan (Mn) dalam Air Tanah

Mangan adalah logam berat yang memiliki peran esensial dalam tubuh manusia. Fungsi utamanya termasuk kontribusi dalam pembentukan struktur tulang yang sehat, metabolisme tulang, dan dukungan terhadap aktivitas enzim. Karena pentingnya mangan bagi tubuh, kekurangan mangan atau konsumsi yang tidak mencukupi juga dapat berdampak pada kesehatan manusia. Namun, seperti banyak logam berat lainnya, mangan juga memiliki potensi toksisitas pada tingkat paparan yang berlebihan. Konsentrasi mangan yang terlalu tinggi dalam air minum atau sumber air dapat mengakibatkan pencemaran air dan dampak negatif pada kesehatan manusia. Efek toksik mangan terutama dapat terjadi pada paparan jangka panjang dan berulang.

Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan kandungan Mangan (Mn) didalam air Tanah:

Tabel 4 17 Kandungan Mangan (Mn) dalam Air Sumur

No	Titik Lokasi	Mn (mg/L)	Permenkes No. 2 Tahun 2023
1	S1	0,008	0,1 mg/L
2	S2	0,004	
3	S3	0,013	
4	S4	0,003	
5	S5	0,009	
Rata-rata		0,008	0,1

Berdasarkan hasil penelitian dilaboratorium, konsentrasi mangan dalam sampel air tanah TPA Banyuroto yang ditunjukkan dalam tabel 4.16 menunjukkan hasil antara 0,003-0,013 mg/L. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 Tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolom Renang, Solus Per Aqua, dan Pemandian Umum yaitu 0,1 mg/L sehingga dari data tersebut konsentrasi Mn masih memenuhi atau di bawah standar baku mutu.

4.4.3 Kandungan Besi (Fe) dalam Air Tanah

Zat besi merupakan elemen esensial yang diperlukan dalam tubuh manusia untuk berbagai fungsi biologis, termasuk pembentukan hemoglobin dalam sel darah merah yang berperan dalam transportasi oksigen ke seluruh tubuh. Kekurangan zat besi dapat menyebabkan anemia dan dampak negatif lainnya pada kesehatan manusia.

Zat besi juga memiliki potensi toksisitas jika terjadi paparan yang berlebihan. Paparan tingkat tinggi zat besi, baik melalui air minum atau lingkungan lainnya, dapat berkontribusi pada berbagai risiko kesehatan yang serius seperti penyakit Parkinson, Alzheimer, gangguan kardiovaskular, dan lain-lain. Oleh karena itu, penting untuk menjaga konsentrasi zat besi dalam air dan lingkungan agar tetap berada dalam batas yang aman bagi kesehatan manusia dan ekosistem. Efek dari paparan zat besi pada kulit, mata, dan bahkan penciuman (bau menyengat seperti telur busuk) juga menunjukkan pentingnya pemantauan dan pengendalian terhadap konsentrasi zat besi dalam lingkungan. Upaya untuk mengendalikan konsentrasi zat besi dalam air minum dan lingkungan adalah bagian penting dari pengelolaan kualitas air dan perlindungan kesehatan manusia serta lingkungan.

Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan kandungan Besi (Fe) didalam air Tanah:

Tabel 4 18 Kandungan Besi (Fe) dalam Air Tanah

No	Titik Lokasi	Fe (mg/L)	Permenkes No. 2 Tahun 2023
1	S1	0,011	0,2 mg/L
2	S2	0,020	
3	S3	0,017	
4	S4	0,005	
5	S5	0,007	
Rata-rata		0,012	0,2

Berdasarkan hasil penelitian dilaboratorium, konsentrasi mangan dalam sampel air tanah TPA Banyuroto yang ditunjukkan dalam tabel 4.17 menunjukan hasil antara 0,005-0,020 mg/L. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 Tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolom Renang, Solus Per Aqua, dan Pemandian Umum yaitu 1 mg/L sehingga dari data tersebut konsentrasi Mn masih memenuhi atau di bawah standar baku mutu.

4.5 Analisis Risiko Logam Berat Pada Air Tanah

4.5.1 Identifikasi Bahaya (*Hazard Identification*)

Pada analisis risiko Langkah pertama yaitu identifikasi bahaya, yang membahas identifikasi sumber bahaya yang terdapat pada lokasi penelitian. Penelitian dilakukan di Area TPA Banyuroto Kulonprogo. Penentuan titik sampling (air sumur) ini berdasarkan jarak terdekat dari lokasi TPA tersebut. Terdapat beberapa sumur warga yang masih aktif digunakan untuk kegiatan sanitasi. Kegiatan tersebut dapat menimbulkan beberapa masalah terkait dengan kesehatan warga setempat. Letak sumur yang sangat dekat dengan TPA dapat menyebabkan persebaran kandungan yang ada pada air lindi, seperti kandungan logam, zat organik, kimia dan lainnya. Aktivitas TPA yang beroperasi hampir setiap hari dan menampung berbagai sampah dari Kawasan kulonprogo ini menyebabkan adanya gangguan terhadap lingkungan sekitar. Gangguan lingkungan sekitar berupa,

kualitas air sumur warga, kualitas tanah di area persawahan yang tepat dibelakang TPA, kualitas hasil dari pertanian dan perkebunan.

4.5.2 Penilaian Pemaparan (*Exposure Assessment*)

Langkah kedua pada analisis risiko adalah yaitu melakukan perkiraan penyebaran. Perkiraan penyebaran dilakukan untuk mengetahui populasi potensial yang terpapar, kemudian dapat dilakukan identifikasi jalur penyebarannya dan memperkirakan konsentrasi logam berat, Cr, Mn, dan Fe pada jalur penyebaran tersebut dan dosis *intake* logam berat Cr, Mn, dan Fe yang bisa diterima oleh reseptor potensial. Dalam studi kasus ini populasi yang terpapar adalah masyarakat sekitar TPA Banyuroto Kulonprogo.

4.5.3 Perhitungan Dosis Potensial Intake Cr, Mn, dan Fe (Non Karsinogenik)

Untuk melakukan perhitungan dosis potensial Kromium (Cr) melalui rute ingesti digunakan beberapa variabel yaitu hasil pemeriksaan konsentrasi kromium dalam air sumur (C), laju konsumsi (R): 2 liter, frekuensi paparan (*fE*): 365 hari, durasi paparan (*Dt*): digunakan nilai default EPA yaitu 30 tahun, berat badan (*Wb*) dewasa asia: 55 kg, Periode waktu rata-rata/asumsi pemaparan air sehingga diasumsikan untuk air PDAM mati 30 hari alam satu tahun (*T_{avg}*): 335 hari, Untuk perhitungan dosis potensial menggunakan rumus persamaan matematis dari louve and louvar, 1998.

$$I = \frac{C \cdot R \cdot fE \cdot Dt}{Dt \cdot T_{avg}}$$

4.5.3 Perhitungan Tingkat Risiko Cr, Mn, dan Fe (Non Karsinogenik)

Untuk melakukan perhitungan tingkat risiko kromium digunakan variabel nilai Reference Dose (*RfD*) mg/kg/hari. Perhitungan tingkat risiko menggunakan rumus persamaan Louvar and Louvar (1998).

$$RQ = I/RfD$$

Berikut hasil perhitungan Dosis Potensial Intake dan Tingkat Risiko (RQ) dari parameter Cr, Mn dan Fe :

Tabel 4 19 Dosis Potensial Intake dan Tingkat Risiko (RQ) pada anak-anak dan Deawasa

No	Logam Berat	Konsentrasi Logam Berat	Dosis Potensial (intake) (mg/L)	RQ Dewasa	RQ Anak-anak	Batas Aman
1	Cr	0,003	0,0001	0,33	0,33	
2	Mn	0,013	0,0004	0,003	0,005	<1
3	Fe	0,020	0,0006	0,09	0,14	
Total				0,423	0,475	

Pembahasan

Berdasarkan perhitungan tingkat risiko konsentrasi Cr, Mn, dan Fe non karsinogenik pada air sumur di sekitar TPA Banyuroto didapatkan hasil kurang dari 1, ini berarti bahwa konsentrasi logam berat melalui rute ingesi masih aman bagi masyarakat yang tinggal disekitar TPA Banyuroto.

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa dari pajanan Cr, Mn dan Fe didapatkan hasil RQ < 1 yaitu pada orang dewasa 0,423 dan anak-anak 0,475 sehingga tingkat risiko masih termasuk dalam kategori aman atau *Acceptable*.

4.5.4 Excess Cancer Risk (ECR) Karsinogenik

Untuk analisis *Excess Cancer Risk*, yaitu analisis efek karsinogenik (ECR) dihitung dengan mengalikan CSF dengan intake karsinogenik risk agent (Ik). Sehingga pada penelitian ini yang memiliki nilai ECR yaitu pada logam kromium (Cr) karena logam tersebut terindikasi menyebabkan kanker dan memiliki nilai CSF. Berdasarkan persamaan dosis potensial *intake* dan *Excess Cancer Risk* (ECR) didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4 20 dosis potensial intake dan Excess Cancer Risk (ECR) pada anak-anak dan dewasa

No	Logam Berat	Konsentrasi Logam Berat (mg/L)	Dosis Potensial (intake) (mg/L)	ECR Dewasa	ECR Anak-anak	Batas Aman
1	Cr	0,003	0,00005	25×10^{-5}	5×10^{-5}	E-4 (10-4)

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa dari pajanan logam berat kromium Cr didapatkan hasil ECR < E-4 (10^{-4}) yaitu pada orang dewasa 25×10^{-5} dan anak-anak 5×10^{-5} , Sehingga tingkat risiko masih termasuk dalam kategori aman dan perlu dilakukan pemantauan secara berkala .

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut :

- 1) Air lindi pada TPA Banyuroto Kabupaten Kulonprogo mengandung logam berat Cd, Cr, Cu, Mn, Fe, Pb, Hg dan Zn. Kandungan logam berat tersebut masih dibawah angka baku mutu Permen LHK No. 59 Tahun 2016 kecuali pada 2 parameter Pb dan Cd.
- 2) Pada air tanah, semua titik ditemukan adanya logam berat Cr, Mn, dan Fe. Hal ini berkaitan dengan adanya logam tersebut didalam air lindi. Aliran air tanah tidak sesuai dengan gaya gravitasi karena semua air tanah di selatan maupun di utara mengandung logam berat.
- 3) Berdasarkan *Risk Quotion* (RQ,tingkat risiko) untuk nonkarsinogenik angka pada setiap logam berat pada air tanah masih di bawah nilai *RfD* yaitu tidak melebihi < 1 sehingga masih aman untuk lingkungan. Selanjutnya *Excess Cancer Risk* (ECR) untuk karsinogenik nilai yang didapatkan masih dibawah ambang batas E-4 (10^{-4}) sehingga belum berisiko *Cancer* tapi perlu dilakukan pemantauan secara berkala.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat bermanfaat untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Dibutuhkan penelitian yang lebih lanjut dan lebih akurat untuk mengetahui seberapa besar air lindi mencemari lingkungan sekitar TPA Banyuroto terutama diarea persawahan.
2. Dibutuhkan penelitian yang lebih lanjut terkait dampak air sumur yang mengandung logam berat dan perlu diberlakukan peringatan terhadap bahayanya cemaran logam berat dan cemaran lainnya yang memengaruhi kualitas air sumur agar masyarakat terhindar dari risiko pencemaran yang mengakibatkan masalah Kesehatan disekitar TPA Banyuroto.

3. Dibutuhkan metode kuisioner untuk memperjelas pemakaian air tanah selain kebutuhan sanitasi seperti masak, makan, dan minum.
4. Pengolahan sampah dan lindi di TPA Banyuroto harus selalu memperbaiki sistem IPAL sehingga rembesan air lindi ke wilayah persawahan dapat diminimalisir.
5. Perlu adanya pemantauan kualitas air secara berkala dari pihak pengelola TPA ataupun Dinas Lingkungan Hidup yang bertujuan untuk memberikan informasi terkini kondisi kualitas air pada masa sekarang dan prediksi perubahan lingkungan di masa yang akan datang.

DAFTAR PUSTAKA

- Agency for Toxic Substances and Disease Register (ATSDR). 2006. Case Study in Environment Medicine. Atlanta. [Online]. <http://www.atsdr.cdc.gov/csem/lead/docs/lead.pdf>
- Air dan air limbah-Bagian 2: Cara uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (Chemical Oxygen Demand/COD) dengan refluks tertutup secara spektrofotometri.* (n.d.).
- Air dan air limbah-Bagian 72: Cara uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (Biochemical Oxygen Demand/ BOD).* (n.d.).
- Amerh A, Adjei R, Anokye J dan Banunle A 2020 Tempat pembuangan sampah perkotaan: Dampak pada tanah sifat dan konsentrasi logam berat, Sunyani, Ghana Sains. Afrika 8e00390
- Boateng, T. K., Opoku, F., & Akoto, O. (2019). Heavy metal contamination assessment of groundwater quality: a case study of Oti landfill site, Kumasi. *Applied Water Science*, 9(2). <https://doi.org/10.1007/s13201-019-0915-y>
- Calabrese, E.J dan Kenyon, E.M. 1991. Air Toxics and Risk Assessment. Chelsea, Michigan: Lewis Publishers Inc
- Djuhariningrum T., 2005, Penentuan Total Zat Padat Terlarut dalam Memprediksi Kualitas Air Tanah dari berbagai Contoh Air, Pusat Pengembangan Geologi NuklirBatan, Jakarta
- Dobermann, A. dan T. Fairhurst. 2000. Rice : Nutrient Disorders & Nutrient Management. Potash & Potash Institute/Potash & Potash Institute of Canada. Canada
- Erni M. 2013. Pengaruh Lindi (Leachate) Sampah Terhadap Air Sumur Penduduk Sekitar Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Air Dingin. *Jurnal Kesehatan Masyarakat, Padang*. Vol. 7 (No.2): 56-58.
- Fu, S., Lu, J. M., & Yuan, F. Q. (2019). Investigation on heavy metals pollution of municipal refuse leachate from Tromsø landfill, Northern Norway. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 344(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/344/1/012142>
- Ganiyu, S. A., Oyadeyi, A. T., & Adeyemi, A. A. (2021). Assessment of heavy metals contamination and associated risks in shallow groundwater sources from three different residential areas within Ibadan metropolis, southwest Nigeria. *Applied Water Science*, 11(5). <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01414-4>
- Hak, ", Badan, C., & Nasional, S. (n.d.). *Standar Nasional Indonesia Badan Standardisasi Nasional Tata cara teknik operasional pengelolaan sampah perkotaan.*
- Irianti, T. T. Et Al. (2017). Logam Berat Dan Kesehatan. In Grafika Indah Isbn: 979820492-1 (Issue January 2017).

- Khan, A.M., Ataulloh., Shaheen, A., Ahmad, I., Malik, F and Shahid, H.A. (2011). Correlation of COD and BOD of Domestic Wastewater with the power output of bioreactor. *Journal Chemical Society Pakistan*, 33(2): 269-274
- Logam Berat. Jakarta: Autho. Malkoc, E., Hazard, J., dan Mater. 2007. Removal of Cromium (Cr) from Wastewater. pp142-219. *Arabian Journal*.
- Luaylik, N. F. (n.d.). *EVALUASI DAMPAK TPA METODE OPEN DUMPING DI KABUPATEN BANGKALAN*.
- Mukono, J. 2008. Pencemaran Udara dan Pengaruhnya Terhadap Gangguan Saluran Pernafasan. Airlangga University Press. Surabaya.
- Nur, F. (n.d.). *ANALISIS KUALITAS AIR TANAH DI SEKITAR TPA TAMANGAPA DENGAN PARAMETER BIOLOGI*.
- Nyiramigisha, P., Komariah, & Sajidan. (2021). The concentration of heavy metals zinc and lead in the soil around the Putri Cempo landfill, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 824(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/824/1/012050>
- Palar, H. 1994. Pencemaran Dan Toksikologi Logam Berat. Jakarta: P.T. Rineka Cipta
- PERDA NO. 7 TAHUN 2016 TTG PENGELOLAAN PERSAMPAHAN*. (n.d.).
- Permen LHK 59 tahun 2016 Baku Mutu Air Lindi TPA*. (n.d.).
- Permen LHK 59 tahun 2016 Baku Mutu Air Lindi TPA (1)*. (n.d.).
- Pratiwi, W. H., Putri, G. L., Pratama, M. A., Zulkarnain, F., & Priadi, C. R. (2021). Health risk analysis of nitrite, nitrate, and heavy metal pollution in groundwater near landfill area: A case study of the Sumur Batu village in Bekasi, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 633(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/633/1/012015>
- Puti S. Komala, Budhi Primasari, Fitri Rivai (2008). Pengaruh Sistem Open Dumping Di Lokasi Pembuangan Akhir (TPA) Terhadap Kandungan Logam Berat Pada Air Tanah Dangkal Di Sekitarnya (Studi Kasus LPA Air Dingin , Padang). 1(29), 1–8.
- Rahbari, M., Rahlfs, S., Jortzik, E., Bogeski, I., & Becker, K. (2017). H2O2 dynamics in the malaria parasite Plasmodium falciparum. *PLoS ONE*, 12(4). <https://doi.org/10.1371/journal>
- Rizwan, K. M., Thirukumaran, V., & Suresh, M. (2021). Assessment and source identification of heavy metal contamination of groundwater using geospatial technology in Gadilam River basin, Tamil Nadu, India. *Applied Water Science*, 11(6). <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01436-y>
- Rezagama, Arya., Notodarmojo, S. 2012. Studi Ozonisasi Senyawa Organik Air Lindi Tempat Pemrosesan Akhir Sarimukti. ITB. Teknik-Vol.34 No.2 Tahun 2013, ISSN 0852-1697.
- SNI-698959-2008-metoda-pengambilan-contoh-air-limbah copy*. (n.d.).

- Standar Nasional Indonesia Air dan air limbah-Bagian 5: Cara uji mangan (Mn) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-nyala.* (n.d.).
- Suhendrayatna. (2013). Merkuri: Bahaya, Sumber Pencemar, Dan Pengelolaannya di Lingkungan. Kampanye dan sosialisasi Dampak Merkuri Terhadap Lingkungan. Meulaboh, 9 Desember 2013.
- Suryaningsih, Irwan Said, Nurdin Rahman. "Analisis Konsentrasi Kalsium (Ca) dan Besi (Fe) dalam Kangkung Air (*Ipomeae Aquatica* Forsk) dan Kangkung Darat (*Ipomeae Reptan* Forsk) Asal Palu." *Jurnal Akademika Kimia* 7, no. 3 (2018): 130.
- Widowati, W., Astiana S. Dan Raymond J.R., 2008, Efek Toksik Logam, Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Vongdala, N., Tran, H. D., Xuan, T. D., Teschke, R., & Khanh, T. D. (2019). Heavy metal accumulation in water, soil, and plants of municipal solid waste landfill in Vientiane, Laos. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(1). <https://doi.org/10.3390/ijerph16010022>
- Xu, M., Zhang, K., Wang, Y., Zhang, B., Mao, K., & Zhang, H. (2023). Health Risk Assessments and Microbial Community Analyses of Groundwater from a Heavy Metal-Contaminated Site in Hezhou City, Southwest China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(1). <https://doi.org/10.3390/ijerph20010604>
- Zhai, Y., Zheng, F., Li, D., Cao, X., & Teng, Y. (2022). Distribution, Genesis, and Human Health Risks of Groundwater Heavy Metals Impacted by the Typical Setting of Songnen Plain of NE China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(6). <https://doi.org/10.3390/ijerph19063571>
- Zhou, P., Zeng, D., Wang, X., Tai, L., Zhou, W., Zhuoma, Q., & Lin, F. (2022). Pollution Levels and Risk Assessment of Heavy Metals in the Soil of a Landfill Site: A Case Study in Lhasa, Tibet. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(17). <https://doi.org/10.3390/ijerph191710704>

LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Penelitian



TPA Banyuroto Kulonprogo



IPAL TPA Banyuroto



Titik pengambilan sampel lindi 1 dan pengawetan di TPA Banyuroto



Titik pengambilan sampel lindi 2 Saluran Inlet



Titik pengambilan sampel lindi 3 rembesan kearea perr sawahan





Titik pengambilan sampel sumur warga disekitar TPA Banyuroto

Lampiran 1 Pengujian Sampel di Laboratorium

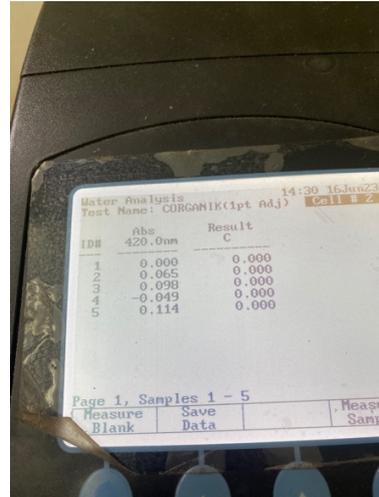
6. Proses Pengujian BOD

Air sampel lindi dan air tanah diuji yang pertama yaitu (DO) dengan cara pengenceran air lindi lalu memasukan $MnSO_4$ dan alkali iodida hingga mengendap, selanjutnya masukan H_2SO_4 pekat lalu homogenkan hingga berubah warna kuning kejernihan. Selanjutnya dititrasi dengan larutan standar natrium tiosulfat dan indikator kanji yang menghasilkan air tidak berwarna. Selanjutnya untuk (DO5) di inkubasi selama 5 hari, dan dititrasi dengan cara yang sama.



7. Proses Pengujian COD

Air sampel lindi dan air tanah diuji yaitu untuk air lindi perlu diencerkan terlebih dahulu. Selanjutnya masukan digestion rendah dan H_2SO_4 pereaksi kedalam sampel lalu masukan pada refluks tertutup. Panaskan dengan suhu $150^{\circ}C$ selama 120 menit menggunakan thermoreactor. Lalu dilakukan pembacaan menggunakan spektrofotometer.



8. Proses pengujian TSS dan TDS

TSS, Kertas saring dioven lalu ditimbang untuk mendapatkan bobot kosong. Lalu saring air lindi sehingga terdapat residu di kertas saring. Selanjutnya oven kertas saring yang terdapat residu n lalu ditimbang untuk mendapatkan bobot akhir. Hitung dengan cara bobot akhir dikurang bobot awal di kali 1000 di bagi dengan volume air.

TDS, Cawan porselin dioven lalu ditimbang untuk mendapatkan bobot kosong. Lalu tuangkan air lindi ke cawan lalu di panaskan menggunakan Waterbath hingga mengering. Lalu timbang untuk mendapatkan bobot akhir. Hitung dengan cara bobot akhir dikurang bobot awal di kali 1000 di bagi dengan volume air.



- Destruksi Logam Berat untuk pembacaan AAS dan ICP

Air limbah dan air lindi diencerkan, lalu didestruksi menggunakan larutan HNO_3 . Setelah larutan didestruksi selanjutnya ditambahkan aquades. Lalu disaring menggunakan kertas saring. Larutan dipindahkan ke vial untuk pembacaan AAS. Untuk pembacaan ICP Langkah destruksi hampir sama akan tetapi aquades yang digunakan menggunakan aquades ultra dan disaring dua kali.



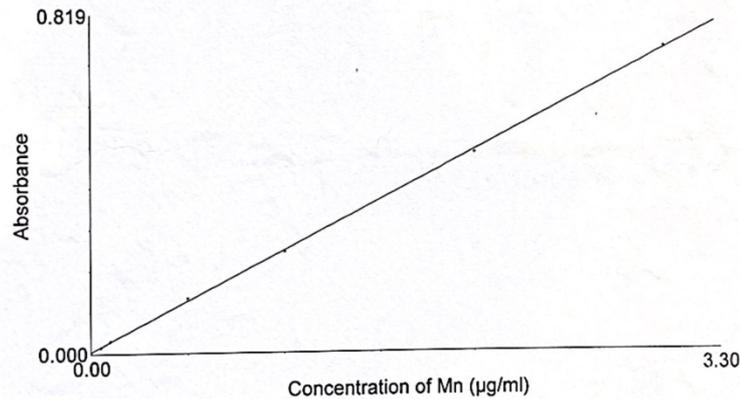
- Gambar AAS ICP



- Hasil Uji Logam berat menggunakan AAS dan ICP

Results File D:\GBC AAS\2023\Mahasiswa\Mn_30 Mei 2023.res
 Analysis
 Filename C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.anl
 Element Mn,
 Date Tue May 30 14:30:20 2023
 Full Calibration
 Calibration Mode Linear Least Squares Max Error : 0.0288 R² : 0.9997
 Conc = -0.0121 + 4.0717 * Abs

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	----	----	0.0000	
Standard 1	0.050	----	0.0143	
Standard 2	0.100	----	0.0290	
Standard 3	0.500	----	0.1316	
Standard 4	1.000	----	0.2440	
Standard 5	2.000	----	0.4871	
Standard 6	3.000	----	0.7450	



Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Sample Blank	----	1.66	0.0066	0.0065 0.0066 0.0067
Air Lindi 1	0.189	1.87	0.0494	0.0490 0.0487 0.0504
Air Lindi 2	0.061	3.68	0.0181	0.0176 0.0188 0.0178
Air Lindi 3	0.023	12.27	0.0086	0.0075 0.0087 0.0096
Air Sumur 1	0.022	2.83	0.0084	0.0087 0.0082 0.0083
Air Sumur 2	0.005	5.77	0.0041	0.0043 0.0041 0.0039
Air Sumur 3	0.041	8.48	0.0131	0.0118 0.0140 0.0135
Air Sumur 4	0.001	HIGH	0.0032	0.0021 0.0036 0.0040
Air Sumur 5	0.025	6.75	0.0092	0.0085 0.0093 0.0097
Air Sungai 1	0.018	14.81	0.0075	0.0078 0.0083 0.0062
Air Sungai 2	0.067	4.13	0.0195	0.0203 0.0195 0.0186
Air Sungai 3	0.068	3.71	0.0197	0.0189 0.0204 0.0199
Air Sungai 4	0.062	3.59	0.0182	0.0186 0.0187 0.0175

CS Scanned with CamScanner

Results File

D:\GBC AAS\2023\Mahasiswa\Cu_30 Mei 2023.res

Analysis

C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.anl

Filename

Cu,

Element

Tue Jun 06 14:28:40 2023

Date

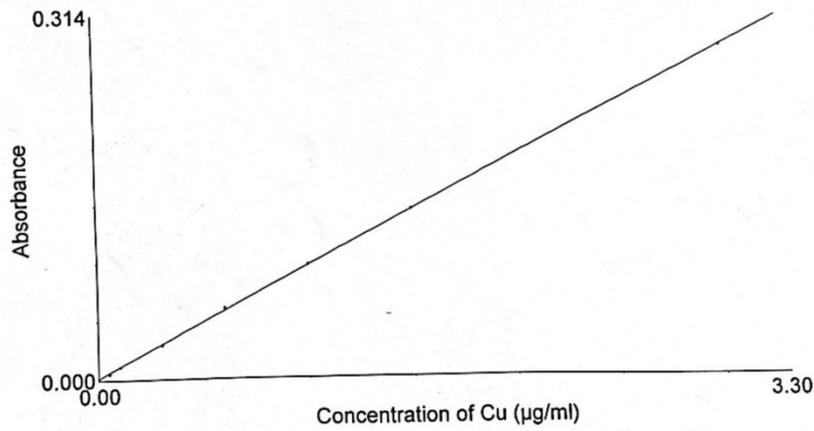
Full Calibration

Linear Least Squares Max Error : 0.0200 R² : 0.9999

Calibration Mode

Conc = -0.0145 + 10.5173 * Abs

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	----	----	0.0000	
Standard 1	0.050	----	0.0050	
Standard 2	0.100	----	0.0110	
Standard 3	0.300	----	0.0287	
Standard 4	0.600	----	0.0603	
Standard 5	1.000	----	0.0970	
Standard 6	1.500	----	0.1444	
Standard 7	3.000	----	0.2860	



Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Sample Blank	----	HIGH	0.0016	0.0013 0.0025 0.0009
Sample 1	0.176	9.92	0.0181	0.0201 0.0174 0.0167
Sample 2	0.071	5.36	0.0081	0.0084 0.0083 0.0076
Sample 3	0.055	HIGH	0.0066	0.0082 0.0059 0.0055
Sample 4	0.009	HIGH	0.0023	0.0014 0.0033 0.0020
Sample 5	0.010	12.55	0.0023	0.0021 0.0021 0.0026
Sample 6	0.001	HIGH	0.0015	0.0005 0.0022 0.0016
Sample 7	0.001	HIGH	0.0015	0.0018 0.0018 0.0007
Sample 8	0.002	HIGH	0.0016	0.0012 0.0020 0.0014
Sample 9	0.011	HIGH	0.0025	0.0031 0.0020 0.0022
Sample 10	-0.019	HIGH	-0.0004	0.0001 -0.0003 -0.0011
Sample 11	-0.009	HIGH	0.0005	0.0003 0.0005 0.0006

CS Scanned with CamScanner

Results File

D:\GBC AAS\2023\Mahasiswa\Cr_6 Juni 2023.res

Analysis

C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.anl

Filename

Cr,

Element

Tue Jun 06 14:10:44 2023

Date

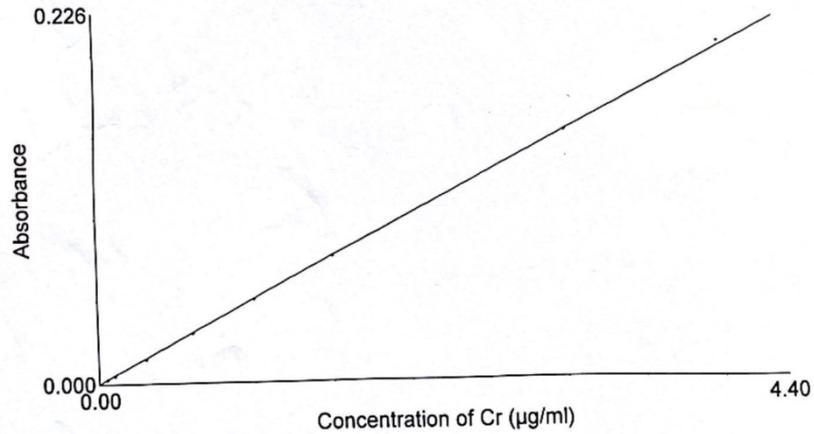
Full Calibration

Linear LS Through Zero Max Error : 0.0643 R² : 0.999

Calibration Mode

Conc = 19.8260 * Abs

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	----	----	0.0000	
Standard 1	0.050	----	0.0020	
Standard 2	0.100	----	0.0045	
Standard 3	0.300	----	0.0145	
Standard 4	0.600	----	0.0298	
Standard 5	1.000	----	0.0500	
Standard 6	1.500	----	0.0753	
Standard 7	3.000	----	0.1510	
Standard 8	4.000	----	0.2050	



Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Sample Blank	----	HIGH	-0.0005	-0.0002 -0.0008
Sample 1	0.119	14.47	0.0060	0.0066 0.0054
Sample 2	0.047	5.25	0.0024	0.0024 0.0023
Sample 3	0.035	1.74	0.0018	0.0018 0.0018
Sample 4	0.007	HIGH	0.0003	0.0001 0.0006
Sample 5	-0.019	HIGH	-0.0010	-0.0011 -0.0008
Sample 6	-0.006	HIGH	-0.0003	-0.0008 0.0002
Sample 7	-0.009	HIGH	-0.0005	-0.0007 -0.0002
Sample 8	-0.010	HIGH	-0.0005	-0.0007 -0.0003
Sample 9	0.008	HIGH	0.0004	0.0002 0.0006
Sample 10	0.014	HIGH	0.0007	0.0009 0.0005

CS Scanned with CamScanner

Results File

D:\GBC AAS\2023\Mahasiswa\Fe_30 Mei 2023.res

Analysis

C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.anl

Filename

Fe,

Element

Date

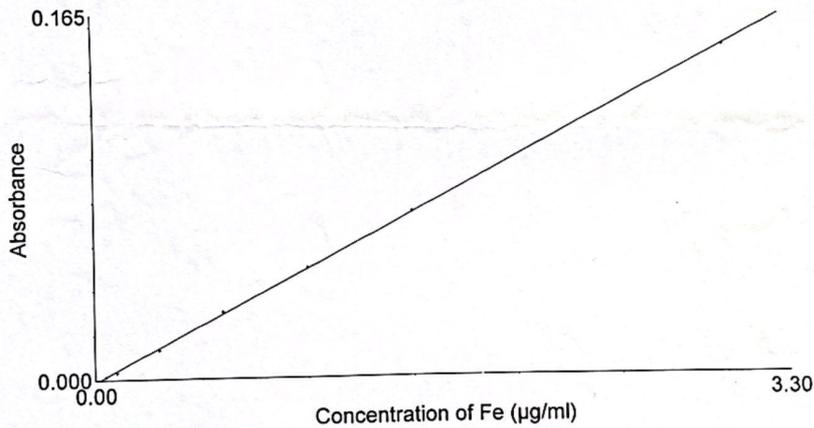
Tue May 30 10:38:00 2023

Full Calibration

Calibration Mode

Linear Least Squares Max Error : 0.0200 R² : 0.9998
Conc = 0.0291 + 19.7306 * Abs

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	----	----	0.0000	
Standard 1	0.050	----	0.0012	
Standard 2	0.100	----	0.0029	
Standard 3	0.300	----	0.0127	
Standard 4	0.600	----	0.0299	
Standard 5	1.000	----	0.0496	
Standard 6	1.500	----	0.0753	
Standard 7	3.000	----	0.1500	



Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Sample Blank	----	HIGH	-0.0011	-0.0010 -0.0017 -0.0007
Air Lindi 1	1.235	1.98	0.0611	0.0613 0.0623 0.0599
Air Lindi 2	0.800	3.80	0.0391	0.0408 0.0383 0.0382
Air Lindi 3	0.385	6.11	0.0180	0.0190 0.0182 0.0168
Air Sumur 1	0.254	15.07	0.0114	0.0114 0.0131 0.0097
Air Sumur 2	0.432	1.67	0.0204	0.0202 0.0203 0.0208
Air Sumur 3	0.361	4.09	0.0168	0.0160 0.0171 0.0174
Air Sumur 4	0.133	5.21	0.0053	0.0050 0.0053 0.0055
Air Sumur 5	0.159	14.14	0.0066	0.0075 0.0057 0.0065
Air Sungai	0.459	5.00	0.0218	0.0229 0.0217 0.0207
Air Sungai 2	0.647	3.18	0.0313	0.0324 0.0306 0.0309
Air Sungai 3	0.790	4.09	0.0385	0.0367 0.0394 0.0395

Scanned with CamScanner

Results File

D:\GBC AAS\2023\Mahasiswa\Cd_30 Mei 2023.res

Analysis

Filename

C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.anl

Element

Cd,

Date

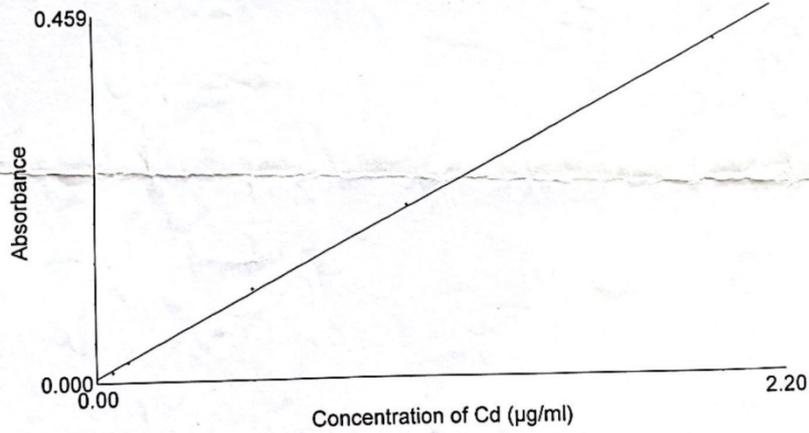
Tue May 30 14:42:50 2023

Full Calibration

Calibration Mode

Linear Least Squares Max Error : 0.0223 R² : 0.9995
Conc = -0.0233 + 4.8170 * Abs

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	----	----	0.0000	
Standard 1	0.050	----	0.0117	
Standard 2	0.100	----	0.0238	
Standard 3	0.500	----	0.1133	
Standard 4	1.000	----	0.2158	
Standard 5	2.000	----	0.4174	



Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Sample Blank	----	HIGH	-0.0018	-0.0015 -0.0021
Air Lindi 1	0.175	0.08	0.0411	0.0411 0.0412
Air Lindi 2	0.046	6.92	0.0145	0.0152 0.0138
Air Lindi 3	0.044	2.97	0.0140	0.0142 0.0137
Air Sungai 1	-0.001	6.97	0.0046	0.0043 0.0048
Air Sungai 2	-0.003	HIGH	0.0042	0.0048 0.0035
Air Sungai 3	-0.012	2.28	0.0024	0.0024 0.0025
Air Sungai 4	-0.008	14.74	0.0032	0.0035 0.0028
Air Sungai 5	-0.006	1.35	0.0035	0.0035 0.0035
Air Sungai 6	-0.000	8.19	0.0048	0.0051 0.0045
Air Sungai 7	0.000	3.01	0.0049	0.0047 0.0050
Air Sungai 8	-0.005	12.26	0.0038	0.0041 0.0035
Tanah 1	0.188	0.16	0.0438	0.0438 0.0439
Tanah 2	0.169	0.25	0.0400	0.0401 0.0399

CS Scanned with CamScanner

Results File

D:\GBC AAS\2023\Mahasiswa\Pb_30 Mei 2023.res

Analysis

C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.anl

Filename

Pb,

Element

Tue May 30 15:01:21 2023

Date

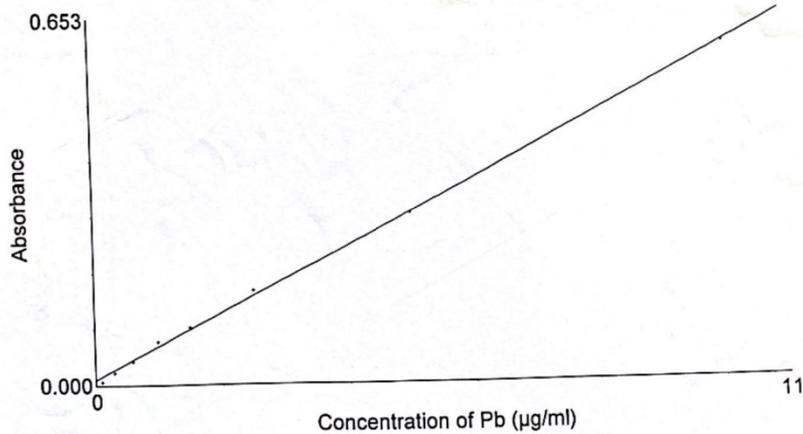
Full Calibration

Linear Least Squares Max Error : 0.1714 R² : 0.9988

Calibration Mode

Conc = -0.1593 + 17.0110 * Abs

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	-----	-----	0.0000	
Standard 1	0.1000	-----	0.0057	
Standard 2	0.3000	-----	0.0220	
Standard 3	0.6000	-----	0.0415	
Standard 4	1.0000	-----	0.0766	
Standard 5	1.5000	-----	0.1011	
Standard 6	2.5000	-----	0.1664	
Standard 7	5.0000	-----	0.3014	
Standard 8	10.0000	-----	0.5947	



Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Sample Blank	-----	2.64	0.0107	0.0109 0.0105
Air Lindi 1	0.5067	4.52	0.0391	0.0404 0.0379
Air Lindi 2	0.0313	5.05	0.0112	0.0116 0.0108
Air Lindi 3	0.0202	14.08	0.0105	0.0116 0.0095
Air Sungai 1	-0.0946	HIGH	0.0038	0.0020 0.0056
Air Sungai 2	-0.0997	HIGH	0.0035	0.0045 0.0025
Air Sungai 3	-0.1065	13.69	0.0031	0.0028 0.0034
Air Sungai 4	-0.1287	HIGH	0.0018	0.0031 0.0005
Air Sungai 5	-0.1397	HIGH	0.0011	0.0002 0.0021
Air Sungai 6	-0.1193	HIGH	0.0023	0.0031 0.0016
Air Sungai 7	-0.0453	HIGH	0.0067	0.0081 0.0053

CS Scanned with CamScanner

Results File

D:\GBC AAS\2023\Mahasiswa\Zn_30 Mei 2023.res

Analysis

C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.anl

Filename

Zn,

Element

Tue May 30 15:22:50 2023

Date

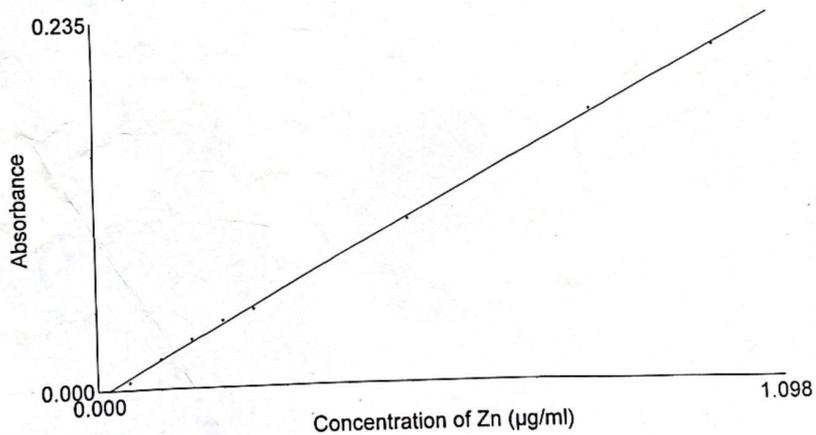
Full Calibration

Linear Least Squares Max Error : 0.0117 R² : 0.9992

Calibration Mode

Conc = 0.0195 + 4.5527 * Abs

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	-----	-----	0.0000	
Standard 4	0.050	-----	0.0042	
Standard 5	0.100	-----	0.0185	
Standard 6	0.150	-----	0.0306	
Standard 7	0.200	-----	0.0420	
Standard 8	0.250	-----	0.0486	
Standard 6	0.500	-----	0.1038	
Standard 7	0.800	-----	0.1740	
Standard 8	1.000	-----	0.2140	



Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Sample Blank	-----	17.42	-0.0067	-0.0061 -0.0080 -0.0060
Lindi 1	0.977	1.32	0.2103	0.2092 0.2134 0.2082
Lindi 2	0.476	0.89	0.1003	0.0997 0.1000 0.1013
Lindi 3	0.456	0.57	0.0958	0.0964 0.0953 0.0957

Batch Summary Report

Analyte Table

Sample Name	197 Au [No Gas]		197 Au [He]		201 Hg [No Gas]		201 Hg [He]	
	Conc. (ppbl)	CPS	Conc. (ppbl)	CPS	Conc. (ppbl)	CPS	Conc. (ppbl)	CPS
1 wash		130.01		0.00	Ver	(#)	1520.14	0.00
2 wash		126.67		0.00			1816.86	3.33
3 blank	0.000	23378.00	0.000	3.33	0.000	2727.07	0.000	3.33
4 stdr 1 ppb	0.422	426037.73	0.057	33.33	2.951	17002.11	0.000	3.33
5 stdr 5 ppb	18.801	17981315.98	4.362	2313.63	10.772	54831.34	2.683	36.67
6 stdr 10 ppb	33.486	32007650.36	10.021	5311.34	19.326	96202.38	6.440	83.33
7 stdr 20 ppb	52.582	50248125.92	22.962	12166.28	36.158	177616.95	21.468	270.01
8 stdr 40 ppb	77.853	74385693.89	45.991	24364.64	52.408	256217.37	36.227	453.36
9 stdr 100 ppb	101.753	97214351.89	80.840	42824.18	95.077	462600.44	78.628	980.08
10 stdr 500 ppb	494.711	4.72555E+08	503.242	266571.49	499.097	2416780.33	504.614	6271.75
11 wash	0.441	444622.31	0.887	473.36	9.873	50482.82	14.491	183.34
12 wash	0.085	104671.66	0.535	286.68	5.793	30748.55	14.223	180.01
13 stdr 3	37.329	35678630.30	192.176	101799.44	22.153	109877.34	79.702	993.42
14 SP1 1	0.608	604460.32	3.348	1776.86	7.489	38948.27	28.445	356.69
15 SP1 2	0.191	205654.52	1.624	863.40	60.603	295855.74	213.895	2660.40
16 SP1 3	0.111	129357.38	1.007	536.70	2.851	16514.88	8.587	110.00
17 C1	0.097	115961.31	0.812	433.36	3.194	18173.96	14.222	180.01
18 C2	0.322	330656.61	2.020	1073.43	4.947	26655.89	16.506	213.34
19 C3	0.082	101543.72	0.636	340.02	4.522	24598.24	17.980	226.68
20 C4	0.023	45065.23	0.258	140.01	1450.050	7016383.85	4855.492	60319.67
21 C5	0.031	52876.36	0.321	173.34	5469.545	26458027.11	17963.519	223151.41
22 PA 065	1.135	1107309.20	4.601	2440.33	1061.731	5138146.17	3034.409	37697.65
23 PA 066	3.815	3667574.53	13.635	7225.72	3437.525	16629479.33	9462.313	117546.95
24 IC 1	0.410	414585.23	1.831	973.41	33.437	164456.20	88.289	1100.09
25 IC 2	0.063	83521.57	0.441	236.68	10.250	52306.83	29.250	366.69
26 IC 3	0.051	72319.58	0.334	180.01	11.535	58521.06	33.812	423.36

Scanned with CamScanner



RIWAYAT HIDUP

Aprilia Vitri Kusumaningrum, akrab disapa April, lahir di Bantul 04 April 2001. Penulis merupakan anak ke-dua dari Bapak Arif dan Ibu Sunartini. Menempuh Pendidikan di SMPN 06 Sampit, SMAN 01 Sampit dan melanjutkan pendidikannya di Universitas Islam Indonesia Prodi Teknik Lingkungan (2019-2023).

Selain kuliah peneliti juga mengikuti organisasi seperti Himpunan Mahasiswa Jurusan (HMJ) sejarah sebagai divisi pengabdian masyarakat, Organisasi Kepanitian Teknologi Nasional (Envirolympics) sebagai koordinator PDD, Organisasi Marketing Comunication (Marcom) jurusan, dan Kegiatan UKM Nari Universitas dan Fakultas.

Demikian daftar Riwayat Hidup ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat keterangan yang tidak benar maka saya bersedia dituntut di muka pengadilan serta bersedia, menerima segala tindakan yang diambil oleh pemerintah.