



JURUSAN
TEKNIK LINGKUNGAN

TUGAS AKHIR

**Analisis Kandungan Klorin dan Logam Berat pada
Refuse Derived Fuel (RDF) dan Abu Insinerator di
TPST Modalan, Bantul, D.I. Yogyakarta**

Lubna Mutiara Adha

22513148

Dosen Pembimbing:

Ir. Fajri Mulya Iresha, S.T., M.T., Ph.D., I.P.M.

Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Universitas Islam Indonesia

2026



DEPARTMENT
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

BACHELOR THESIS

**Analysis of Chlorine and Heavy Metal Content in *Refuse
Derived Fuel* (RDF) and Incinerator Ash at TPST
Modalan, Bantul, D.I. Yogyakarta**

Lubna Mutiara Adha

22513148

Supervisor:

Ir. Fajri Mulya Iresha, S.T., M.T., Ph.D., I.P.M.

Environmental Engineering Bachelor Program

Faculty of Civil Engineering and Planning

Universitas Islam Indonesia

2026

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

Analisis Kandungan Klorin dan Logam Berat pada *Refuse Derived Fuel* (RDF) dan Abu Insinerator di TPST Modalan, Bantul, D.I. Yogyakarta

Tugas akhir ini disusun dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Lubna Mutiara Adha

22513148

Tugas akhir ini telah diuji pada tanggal 8 Juli 2026 dan disetujui oleh:

Ir. Fejri Mulva Iresha, S.T., M.T., Ph.D., I.P.M.

 22/7/2026

Supriyanto, S.T., M.Sc., M.Eng., Ph.D.

 23/7/2026

Ir. Niesha Hanum Mistoro, S.T., M.Eng., I.P.P.

 22/07/26

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Lingkungan Program Sarjana



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

PERNYATAAN

Saya, penyusun tugas akhir ini, 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 merupakan gagasan, rumusan, dan studi 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. Perangkat lunak atau program komputer yang digunakan dalam tugas akhir ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya. Bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Tidak ada penggunaan kecerdasan buatan (*artificial intelligence*, AI) dalam penyusunan karya tugas akhir ini kecuali:
 - a. untuk membantu dalam kadar yang wajar (seperti membantu mengoreksi, mencari ide, dan mencari referensi), dan
 - b. tercantum dan dijelaskan perihal penggunaannya secara eksplisit di dalam karya tugas akhir ini.Implikasi dari penggunaan AI tersebut menjadi tanggung jawab saya sepenuhnya.
6. Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya. Apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 22 Juli 2026

Yang membuat pernyataan,



Lubna Mutiara Adha
22513148

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas rahmat, karunia, dan izin-Nya, saya dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“Analisis Kandungan Klorin dan Logam Berat pada *Refuse Derived Fuel* (RDF) dan Abu Insinerator di TPST Modalan, Bantul, D.I. Yogyakarta”** dengan baik. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada junjungan Nabi Muhammad SAW yang telah membawa umat manusia menuju jalan yang penuh ilmu pengetahuan, iman, dan kebaikan.

Saya menyadari bahwa selama proses penyusunan tugas akhir ini banyak pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan, doa, serta semangat, baik secara moril maupun materiil. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Untuk orang tua ku tercinta, H. Ahmad Nawawi dan Hj. Mutmainnah, sebagai tanda bakti, hormat, dan rasa terima kasih yang tiada henti, saya persembahkan karya kecil ini untuk bapak dan mama yang selalu memberikan doa, kasih sayang, dukungan, dan pengorbanan terbaik untuk saya. Terimakasih karena selalu menjadi kekuatan terbesar dalam setiap langkah hidup saya. Semoga pencapaian ini menjadi awal untuk dapat membahagiakan bapak dan mama.
2. Bapak Ir. Fajri Mulya Iresha, S.T., M.T., Ph.D., I.P.M. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan arahan, masukan, serta bimbingan dengan penuh kesabaran selama penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Supriyanto, S.T., M.Sc., M.Eng., Ph.D. dan Ibu Ir. Niesa Hanum Mistoro, S.T., M.Eng., I.P.P. selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik, saran, serta masukan yang membangun sehingga tugas akhir ini dapat menjadi lebih baik.
4. Seluruh dosen Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmu, pengalaman, dan pembelajaran yang sangat berarti selama masa perkuliahan, serta seluruh staf laboratorium kualitas

lingkungan UII yang telah membantu penulis selama proses penelitian dan pengujian sampel.

5. Pihak TPST Modalan Bantul yang telah memberikan izin, bantuan, serta dukungan kepada penulis selama pelaksanaan penelitian.
6. Kakak tercinta saya, Daulatul Aspiyak, S.Pd, Zukiani,Amd. Keb, dan Salwa Aulia, S.I.P., M.Si serta kakak ipar saya, Ali Ziadi, S.H, Ismail, S.Pd, dan Giasurrahman, S.I.P. yang selalu memberikan kasih sayang, perhatian, doa, dan dukungan kepada adeknya. Terima kasih karena selalu menemani, menguatkan, dan menjadi tempat saya bersandar selama proses penyusunan tugas akhir ini.
7. Keponakanku tersayang, Fahri, Farhan, Rido, Kadafi, Nada, Arman, Qaireen dan Sadavir yang selalu menjadi penghibur dan penyemangat penulis. Antusias kalian untuk datang ke Jogja dan melihat ante wisuda menjadi salah satu alasan saya untuk terus semangat menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Sahabat penulis sejak semester satu, Riski Sri Utami dan Hassya Amaris Santi, yang selalu menemani, mendukung, serta memberikan semangat kepada penulis selama masa perkuliahan hingga penyusunan tugas akhir ini.
9. Teman-teman Teknik Lingkungan angkatan 2022, khususnya kelas D, yang telah memberikan banyak cerita, pengalaman, kebersamaan, dan dukungan selama menjalani perkuliahan.
10. Teman penulis, Lisan Risnawati, atas segala bantuan, dukungan, dan kebersamaan yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
11. Sahabat penulis sejak kecil, Riska Wahana dan almarhumah Khairunnisa, yang selalu memberikan warna, kenangan, dan arti dalam perjalanan hidup penulis hingga saat ini.
12. Terakhir, untuk diri saya sendiri, Lubna Mutiara Adha, terima kasih karena telah mampu bertahan, berjuang, dan tidak menyerah sampai berada di titik ini. Terima kasih karena tetap kuat melewati rasa lelah, takut, kecewa, dan berbagai proses yang tidak mudah selama penyusunan tugas akhir ini. Terima kasih sudah terus berusaha meskipun sering merasa ingin menyerah. Perjalanan ini menjadi bukti bahwa semua air mata, doa, dan usaha yang

dilakukan tidak pernah sia-sia. Semoga langkah kecil ini menjadi awal dari banyak hal baik yang akan datang di masa depan.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa mendatang. Penulis berharap tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, menambah wawasan, serta menjadi sumber informasi dan referensi bagi pembaca maupun penelitian selanjutnya, khususnya dalam bidang pengelolaan sampah dan lingkungan. Selain itu, penulis juga berharap ilmu dan pengalaman yang diperoleh selama proses penyusunan tugas akhir ini dapat menjadi pembelajaran berharga untuk terus berkembang dan memberikan manfaat bagi masyarakat serta lingkungan.

Sleman, 22 Juli 2026

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Lubna Mutiara Adha' with a stylized flourish at the end.

Lubna Mutiara Adha

**Analisis Kandungan Klorin dan Logam Berat pada *Refuse Derived Fuel* (RDF) dan Abu Insinerator di TPST Modalan,
Bantul, D.I. Yogyakarta**

Mahasiswa : Lubna Mutiara Adha
NIM : 22513148
Program Studi : Teknik Lingkungan - Program Sarjana
Pembimbing : Ir. Fajri Mulya Iresha, S.T., M.T., Ph.D., I.P.M.

Abstrak

Permasalahan sampah di Kabupaten Bantul terus meningkat sehingga diperlukan pengolahan sampah yang efektif dan berkelanjutan. Salah satu teknologi pengolahan sampah yang diterapkan yaitu *Refuse Derived Fuel* (RDF) sebagai bahan bakar alternatif hasil pengolahan sampah. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kandungan klorin (Cl) dan logam berat timbal (Pb), besi (Fe), seng (Zn), kadmium (Cd), dan kromium (Cr) pada RDF dan *bottom ash* hasil pembakaran di TPST Modalan Bantul. Pengujian logam berat dilakukan menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS), sedangkan pengujian klorin menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan logam berat pada *bottom ash* cenderung lebih tinggi dibandingkan RDF. Kandungan Pb sebesar 3,98 mg/L, Cd sebesar 0,303 mg/L, dan Cr sebesar 8,41 mg/L pada *bottom ash* melebihi baku mutu yang digunakan, sedangkan seluruh parameter pada RDF masih memenuhi baku mutu. Tingginya kandungan logam berat pada *bottom ash* dipengaruhi oleh komposisi sampah yang masuk ke insinerator seperti logam, kaca, residu, sampah elektronik, dan limbah lainnya sehingga logam berat cenderung terakumulasi pada residu abu hasil pembakaran.

Kata kunci: *Bottom Ash*, Klorin, Logam Berat, RDF, TPST Modalan Bantul

**Analysis of Chlorine and Heavy Metal Content in *Refuse*
Derived Fuel (RDF) and Incinerator Ash at TPST
Modalan, Bantul, D.I. Yogyakarta**

Student : Lubna Mutiara Adha
Student Number : 22513148
Study Program : Environmental Engineering – Bachelor Program
Supervisor : Ir. Fajri Mulya Iresha, S.T., M.T., Ph.D., I.P.M.

Abstract

The waste problem in Bantul Regency continues to increase, so effective and sustainable waste management is needed. One of the waste treatment technologies applied is Refuse Derived Fuel (RDF) as an alternative fuel made from processed waste. This study aims to identify the content of chlorine (Cl) and heavy metals lead (Pb), iron (Fe), zinc (Zn), cadmium (Cd), and chromium (Cr) in RDF and bottom ash from burning at the Modalan Bantul TPST. Heavy metal testing was carried out using the Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) method, while chlorine testing was done using a UV-Vis spectrophotometer. The results showed that the heavy metal content in bottom ash tends to be higher than in RDF. The Pb content was 3.98 mg/L, Cd 0.303 mg/L, and Cr 8.41 mg/L in bottom ash, exceeding the applicable quality standards, while all parameters in RDF still meet the quality standards. The high heavy metal content in bottom ash is influenced by the composition of waste entering the incinerator, such as metals, glass, residues, electronic waste, and other trash, so heavy metals tend to accumulate in the ash residue from combustion.

Key words: Bottom Ash, Chlorine, Heavy Metals, RDF, Bantul Capital TPST

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	i
Abstrak.....	ii
Abstract	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup.....	4
1.6 Kerangka Berpikir.....	5
BAB II	6
TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Modalan Bantul.....	6
2.2 Pengertian Sampah.....	7
2.3 Jenis Sampah.....	7
2.4 Karakteristik Sampah	8
2.5 <i>Refuse Derived Fuel</i> (RDF).....	9
2.6 Abu Insinerator	10
2.7 Logam Berat.....	10
2.7.1 Timbal (Pb)	10
2.7.2 Besi (Fe).....	11
2.7.3 Kadmium (Cd)	11
2.7.4 Kromium (Cr)	12
2.7.5 Seng (Zn)	12
2.8 Klorin	13
2.9 <i>Atomic Absorption Spectrophotometer</i> (AAS)	13
2.10 Spektrofotometri UV-Vis.....	14
2.11 Acuan Baku Mutu Penelitian	15
2.12 Penelitian Terdahulu	15
BAB III.....	18
METODE PENELITIAN.....	18
3.1 Kerangka Penelitian	18

3.2	Pengumpulan Data	19
3.2.1	Data	19
3.2.2	Waktu dan Lokasi	19
3.2.3	Alat dan Bahan.....	21
3.2.4	Teknik Pengambilan Sampel	22
3.2.5	Teknik Penyimpanan Sampel	23
3.3	Analisis Data	23
3.3.1	Analisis Kandungan Logam Berat	23
3.3.2	Pengukuran Logam Berat	24
3.3.3	Analisis Kadar Klorin	25
BAB IV		27
HASIL DAN PEMBAHASAN		27
4.1	Kondisi Eksisting Lokasi Penelitian	27
4.1.1	Profil TPST Modalan	27
4.1.2	Diagram Alir Pengolahan Sampah.....	35
4.1.3	Neraca Sampah	34
4.1.4	Komposisi Sampah	34
4.2	Persiapan dan Pengujian Sampel	35
4.2.1	Preparasi Sampel.....	35
4.2.2	Proses Pengabuan.....	36
4.2.3	Proses Destruksi Sampel.....	37
4.3	Hasil Pengujian Logam Berat	39
4.3.1	Timbal (Pb)	39
4.3.2	Kadmium (Cd)	41
4.3.3	Seng (Zn)	43
4.3.4	Kromium (Cr)	45
4.3.5	Besi (Fe).....	47
4.4	Hasil Pengujian Klorin (Cl)	49
4.5	Perbedaan Karakteristik pada RDF dan <i>Bottom Ash</i>	51
4.6	Rekomendasi Teknis Pengelolaan Residu Hasil Pembakaran di TPST Modalan	52
4.6.1	Optimalisasi pemilahan limbah B3 sebelum proses insinerasi	52
4.6.2	Tidak memasukkan limbah B3 ke dalam insinerator.....	52
4.6.3	Monitoring kandungan logam berat pada <i>Bottom ash</i> secara berkala	53
4.6.4	Memperluas kerja sama pemanfaatan <i>bottom ash</i>	53

BAB V PENUTUP	54
DAFTAR PUSTAKA	56
LAMPIRAN.....	60
RIWAYAT HIDUP.....	64

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Baku Mutu Parameter Pengujian	15
Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu	15
Tabel 3. 1 Daftar Sampel dan Parameter Uji	19
Tabel 4. 1 Komposisi Sampah	35
Tabel 4. 2 Data Larutan Standar Pb	39
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Parameter Pb	40
Tabel 4. 4 Perbandingan Pb dengan Baku Mutu	41
Tabel 4. 5 Data Larutan Standar Cd	41
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Parameter Cd	42
Tabel 4. 7 Perbandingan Cd dengan Baku Mutu	42
Tabel 4. 8 Data Larutan Standar Zn	43
Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Parameter Zn	44
Tabel 4. 10 Perbandingan Zn dengan Baku Mutu	45
Tabel 4. 11 Data Larutan Standar Cr	45
Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Parameter Cr	46
Tabel 4. 13 Perbandingan Cr dengan Baku Mutu	47
Tabel 4. 14 Data Larutan Standar Fe	47
Tabel 4. 15 Hasil Pengujian Parameter Fe	48
Tabel 4. 16 Data Larutan Standar Cl	49
Tabel 4. 17 Hasil Pengujian Parameter Cl	50
Tabel 4. 18 Perbandingan Cl dengan Baku Mutu	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Kerangka Berpikir.....	5
Gambar 2. 1 <i>Atomatic Absortion Spetrophotometer</i> (AAS)	14
Gambar 2. 2 Spektrofotometri UV-Vis.....	14
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian	18
Gambar 3. 2 Titik Lokasi Pengambilan Sampel	20
Gambar 3. 3 Contoh Proses Pengambilan Sampel.....	22
Gambar 3. 4 Penyimpanan Sampel Uji.....	23
Gambar 3. 5 Tahapan destruksi contoh Uji	24
Gambar 3. 6 Tahapan pengujian kadar klorin.....	26
Gambar 4. 1 Jumlah Timbulan Sampah D.I Yogyakarta Tahun 2025.....	28
Gambar 4. 2 Diagram Alir Pengelolaan sampah TPST Modalan	29
Gambar 4. 3 Timbangan Sampah di TPST Modalan.....	30
Gambar 4. 4 Pembongkaran Sampah pada Area Penerimaan.....	30
Gambar 4. 5 Proses Pemilahan Sampah di TPST Modalan.....	31
Gambar 4. 6 Alat Peisahan Sampah dengan Mesin Gibrig.....	32
Gambar 4. 7 Mesin Konveyor.....	32
Gambar 4. 8 RDF yang Dihasilkan di TPST Modalan	33
Gambar 4. 9 Alat Insinerator TPST Modalan.....	33
Gambar 4. 10 Neraca Massa TPST Modalan.....	34
Gambar 4. 11 Proses Penimbangan Sampel Bottom Ash	36
Gambar 4. 12 Proses Pengabuan Sampel Menggunakan <i>Furnace</i>	37
Gambar 4. 13 Proses Pemanasan Sampel	37
Gambar 4. 14 Pengujian Logam Berat Menggunakan AAS.....	38
Gambar 4. 15 Pengujian Klorin Menggunakan spektrofotometri UV-Vis.	38
Gambar 4. 16 Kurva Kalibrasi Pb.....	40
Gambar 4. 17 Kurva Kalibrasi Cd	42
Gambar 4. 18 Kurva Kalibrasi Zn	44
Gambar 4. 19 Kurva Kalibrasi Cr.....	46
Gambar 4.20 Kurva Kalibrasi Fe.....	48
Gambar 4. 21 Kurva Kalibrasi Cl	49

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Pengambilan Sampel.....	60
Lampiran 2 Dokumentasi Pengujian Sampel di Laboratorium.....	60
Lampiran 3 Hasil Pembacaan Logam Berat Menggunakan AAS	61

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sampah telah menjadi permasalahan lingkungan yang bersifat global karena dapat mempengaruhi kondisi lingkungan dan kualitas hidup manusia. Peningkatan jumlah penduduk, pertumbuhan ekonomi, dan perubahan gaya hidup menyebabkan volume sampah terus bertambah setiap tahunnya, termasuk di Indonesia. Kondisi ini menimbulkan tantangan besar dalam pengolahan sampah yang efektif dan berkelanjutan. Ketika pengolahan sampah tidak optimal, dampaknya dapat mencemari tanah, udara, dan air serta meningkatkan emisi gas rumah kaca seperti metana.

Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah menjadi dasar hukum penting dalam perubahan sistem pengolahan sampah di Indonesia. Regulasi ini menekankan pergeseran paradigma dari pola tradisional kumpul–angkut–buang menuju pengelolaan berkelanjutan dengan prinsip *reduce, reuse, dan recycle* (3R). Berdasarkan Pasal 19, pengelolaan sampah mencakup kegiatan pengurangan dan penanganan sampah. Pengurangan dilakukan melalui pembatasan timbulan, pendaurulangan, dan pemanfaatan kembali sampah, sedangkan penanganan meliputi pemilahan, pengumpulan, pengangkutan, pengolahan, dan pemrosesan akhir.

Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) menghadapi permasalahan sampah yang semakin kompleks akibat meningkatnya aktivitas penduduk, urbanisasi, dan sektor pariwisata. Kabupaten Bantul merupakan salah satu penyumbang timbulan sampah terbesar di DIY dengan total mencapai 153.853,22 ton per tahun pada tahun 2025, namun hanya sebagian yang berhasil dikurangi dan tertangani sehingga diperlukan teknologi pengolahan sampah yang lebih efektif dan berkelanjutan (SIPSN, 2025).

Komposisi sampah yang ada di Kabupaten Bantul lebih banyak pada sampah organik yang terdiri dari sisa makanan sebesar 43,74% dan kayu/ranting sebesar 14,54%. Selain itu, terdapat sampah anorganik seperti plastik sebesar 30,31%, kertas/karton sebesar 9,19%, serta komponen lainnya berupa logam, kain,

karet/kulit, kaca, dan residu lain dalam jumlah yang lebih kecil. (SIPSN 2025). Salah satu teknologi yang dapat diterapkan adalah *Refuse Derived Fuel* (RDF) yaitu bahan bakar padat hasil olah sampah yang memiliki nilai kalor tertentu dan dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif.

Kualitas RDF dipengaruhi oleh komposisi dan karakteristik fisiknya, seperti kadar air, kadar abu, serta nilai kalor yang menentukan efisiensi pembakaran dan potensi energinya (Aninuddin dan Rosariawari, 2021). Selain itu, kandungan klorin pada RDF perlu diperhatikan karena dapat menyebabkan korosi pada peralatan pembakaran serta berpotensi membentuk senyawa berbahaya seperti HCl dan dioksin selama proses pembakaran (Xie dkk., 2023). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh A. A. Aries dkk. , briket biomassa dari campuran janur sisa canang, kulit kacang tanah, dan ampas kopi memiliki kandungan klorin sebesar 4,737% yang belum memenuhi standar SNI No. 8675-2018. Tingginya kandungan klorin pada briket menunjukkan bahwa bahan baku biomassa yang digunakan masih mengandung unsur klorin cukup tinggi.

Selain kandungan klorin, logam berat pada RDF juga perlu diperhatikan karena dapat terdistribusi ke emisi gas dan residu abu selama proses insinerasi. Logam berat seperti Pb, Cd, Cr, Fe, dan Zn dipilih karena umum ditemukan pada sampah perkotaan dan berpotensi mencemari lingkungan. Pb, Cd, dan Cr bersifat toksik, sedangkan Fe dan Zn sering ditemukan dominan pada RDF maupun residu pembakaran sehingga dapat digunakan untuk mengevaluasi karakteristik abu hasil insinerasi. Penelitian oleh Yui dkk. (2021) menunjukkan bahwa logam berat dapat terakumulasi pada *bottom ash*, fly ash, maupun gas hasil pembakaran sehingga analisis karakteristik residu insinerasi perlu dilakukan.

Insinerasi merupakan proses utama dalam sistem insinator, yaitu teknologi pengolahan sampah yang bekerja melalui pembakaran senyawa-senyawa dalam material limbah pada suhu tinggi. Dalam proses ini, energi kimia yang terkandung di dalam sampah diubah menjadi energi panas melalui pembakaran dengan suplai udara berlebih pada kisaran suhu 850°C hingga 1200°C (Lisbona dkk., 2023). Insinator tidak hanya berfungsi untuk mengurangi volume dan massa sampah secara signifikan, tetapi juga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi termal dalam konsep *waste to energy* (WtE) yang mendukung pengolahan sampah

berkelanjutan.

Secara umum, RDF dan insinerator merupakan teknologi pengolahan sampah yang bertujuan mengurangi volume sampah sekaligus memanfaatkan potensi energi yang terkandung di dalamnya. RDF menghasilkan bahan bakar alternatif yang dapat dimanfaatkan di industri, sedangkan insinerator mengolah sampah melalui proses pembakaran dan menghasilkan residu berupa bottom ash. Oleh karena itu, pengujian kandungan klorin dan logam berat pada RDF dan bottom ash perlu dilakukan untuk mengetahui karakteristik kedua produk hasil pengolahan sampah.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dikaji pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana kandungan klorin (Cl) dan logam berat Timbal (Pb), besi (Fe), seng (Zn), Kadmium (Cd), kromium (Cr), pada *Refuse Derived Fuel* (RDF) yang di hasilkan oleh TPST Modalan Bantul serta kesesuaiannya terhadap baku mutu yang berlaku ?
2. Bagaimana kandungan klorin (Cl) dan logam berat Timbal (Pb), besi (Fe), seng (Zn), Kadmium (Cd), kromium (Cr), pada abu insinerator (*bottom ash*) hasil pembakaran di TPST Modalan Bantul serta kesesuaiannya terhadap baku mutu yang berlaku ?
3. Bagaimana perbedaan karakteristik Refuse Derived Fuel (RDF) dan bottom ash berdasarkan kandungan klorin dan logam berat serta rekomendasi teknis yang dapat diterapkan dalam pengelolaannya di TPST Modalan Bantul ?

1.3 Tujuan Penelitian

Untuk tujuan penelitian ini, disesuaikan dengan rumusan masalah yang telah dijelaskan, antara lain:

1. Menentukan kandungan klorin (Cl) dan logam berat Timbal (Pb), besi (Fe), seng (Zn), Kadmium (Cd), kromium (Cr), dari *Refuse Derived Fuel* (RDF) yang di hasilkan oleh TPST Modalan Bantul serta

membandingkannya dengan baku mutu yang berlaku.

2. Menentukan kandungan klorin (Cl) dan logam berat Timbal (Pb), besi (Fe), seng (Zn), Kadmium (Cd), kromium (Cr), pada abu insinerator (*bottom ash*) hasil pembakaran di TPST Modalan Bantul Serta membandingkannya dengan baku mutu yang berlaku.
3. Mengetahui karakteristik *Refuse Derived Fuel* (RDF) dan *bottom ash* berdasarkan kandungan klorin dan logam berat serta menyusun rekomendasi teknis pengelolaannya di TPST Modalan Bantul berdasarkan hasil penelitian.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber informasi ilmiah yang memperkaya kajian di bidang teknik lingkungan, khususnya mengenai pemanfaatan sampah untuk digunakan sebagai sumber energi alternatif melalui teknologi *Refuse Derived Fuel* (RDF) dan insinerator.
2. Hasil penelitian ini dapat di berikan ke pihak TPST Modalan sebagai sumber data untuk memastikan keamanan dari RDF dan abu insinerator yang di hasilkan.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup pada penelitian ini yaitu:

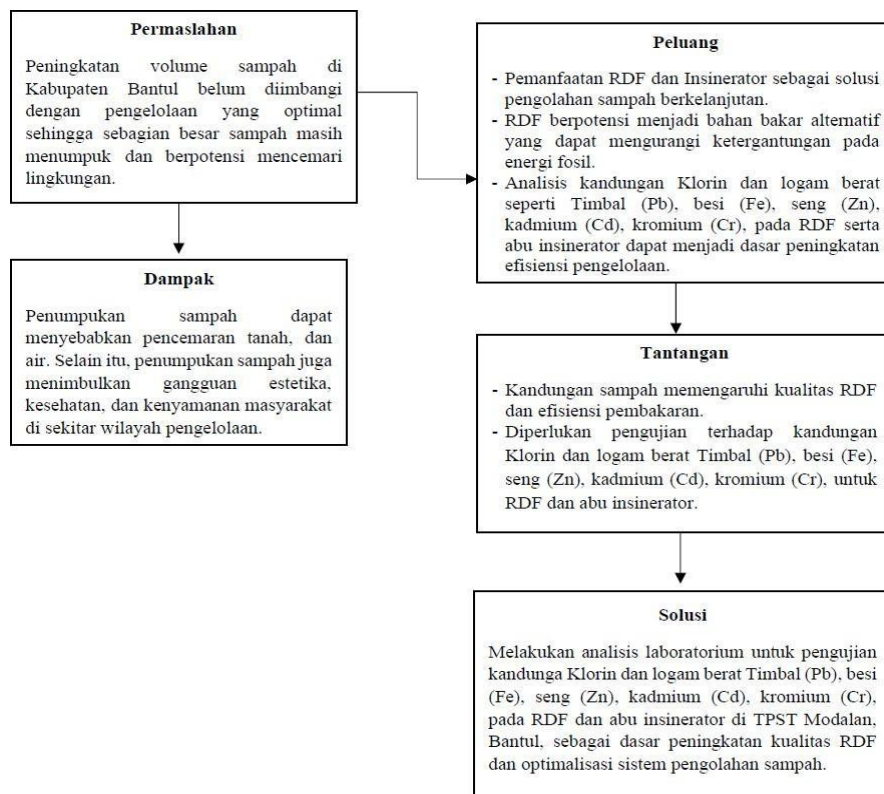
1. Sampel diambil pada TPST Modalan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta, yang merupakan salah satu fasilitas pengolahan untuk sampah dengan menggunakan sistem *Refuse Derived Fuel* (RDF) dan insinerator.
2. Penelitian dilakukan di Laboratorium Lingkungan, FTSP Kampus terpadu UII.
3. Data penelitian ini merupakan data primer yang diperoleh secara langsung melalui proses pengambilan sampel di lapangan dan pengujian di laboratorium.
4. Sampel *Refuse Derived Fuel* (RDF) diamati merupakan hasil campuran

sampah yang ada di TPST Modalan Bantul yang mudah terbakar, sedangkan untuk sampel abu yang di analisis meliputi abu hasil proses pembakaran sampah menggunakan insinerator.

5. Sampel *Refuse Derived Fuel* RDF yang dianalisis meliputi RDF yang diproduksi dari sampah yang baru selesai melalui proses pengolahan di TPST serta RDF yang diproduksi dari sampah yang telah tersimpan lama di TPST.
6. Parameter yang di uji pada *Refuse Derived Fuel* (RDF) dan abu insinerator yaitu kandungan klorin (Cl) dan logam berat seperti (Pb), besi (Fe), seng (Zn), Kadmium (Cd), kromium (Cr).
7. Pengujian logam berat dilakukan menggunakan alat Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS), sedangkan Pengujian Klorin dilakukan dengan Spektrofotometer UV-Vis.

1.6 Kerangka Berpikir

Berdasarkan uraian pendahuluan maka terbentuk kerangka berpikir yang dapat dilihat pada gambar 1.1 di bawah ini



Gambar 1. 1 Kerangka Berpikir

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Modalan Bantul

Kabupaten Bantul merupakan salah satu wilayah di Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) yang menghadapi peningkatan volume timbunan sampah seiring dengan pertumbuhan penduduk dan aktivitas ekonomi masyarakat. Untuk mengatasi hal tersebut, pemerintah daerah mengembangkan fasilitas pengolahan sampah berbasis teknologi, salah satunya melalui pembangunan Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Modalan yang berlokasi di Kecamatan Banguntapan. Fasilitas TPST Modalan dirancang untuk mengolah sampah menjadi produk yang bernilai guna, seperti kompos dan *Refuse Derived Fuel* (RDF), sehingga mampu menekan volume sampah yang dibuang ke TPA sekaligus mendukung implementasi konsep *Waste to Energy* (WtE) di tingkat lokal.

Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) yaitu fasilitas yang berfungsi guna mengelola sampah secara terpadu, meliputi kegiatan pengumpulan, pemilahan, pemanfaatan kembali, dan pengolahan akhir sampah dari sumbernya agar volume sampah yang dibuang ke tempat pembuangan akhir dapat berkurang. Menurut Hardianto et al. (2020), TPST menjadi bagian penting dalam penerapan konsep 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*) karena mampu mengoptimalkan pemanfaatan sampah sebagai sumber daya sekaligus meminimalkan dampak lingkungan. Dengan adanya TPST, sistem pengolahan sampah menjadi lebih efisien, berkelanjutan, dan berwawasan lingkungan.

Instalasi TPST Modalan Bantul dibangun untuk memperkuat sistem pengolahan sampah secara mandiri di tingkat kabupaten. Proyek ini diproyeksikan mampu mengolah sekitar 50 ton sampah per hari atau melayani hingga 27.000 keluarga di wilayah Banguntapan. Sebagai bagian dari strategi desentralisasi pengolahan sampah, TPST Modalan dikembangkan dengan pendekatan ramah lingkungan dan melibatkan masyarakat sekitar sebagai tenaga kerja dalam proses operasionalnya (Stefani Yulindriani & Sunartono, 2024).

2.2 Pengertian Sampah

Menurut SNI 19-2454-2002, sampah didefinisikan sebagai limbah padat yang terdiri dari unsur organik maupun anorganik, yang sudah tidak memiliki nilai guna dan perlu dikelola secara tepat agar tidak menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan maupun keberlanjutan pembangunan. Sementara itu, berdasarkan Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengolahan Sampah, sumber sampah berasal dari aktivitas manusia maupun proses alam yang menghasilkan timbulan sampah. Pengolahan timbulan tersebut dilakukan secara terencana, menyeluruh, dan berkesinambungan melalui tahapan pengurangan serta penanganan.

Salah satu implementasi dari prinsip tersebut di tingkat daerah dapat dilihat pada Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Modalan di Kabupaten Bantul. TPST ini dirancang sebagai fasilitas yang berfungsi untuk mengolah sampah dari masyarakat sekitar melalui berbagai tahapan seperti pemilahan, pengeringan, dan pengolahan menjadi *Refuse Derived Fuel* (RDF) sebagai bahan bakar alternatif. Kehadiran TPST Modalan menjadi bagian penting dari strategi pengolahan sampah terpadu di Daerah Istimewa Yogyakarta, karena mampu mengurangi ketergantungan terhadap TPA dan mendukung pengolahan sampah yang lebih efisien, ramah lingkungan, serta berorientasi pada konsep *waste to energy*.

2.3 Jenis Sampah

Sampah dapat dikategorikan menjadi beberapa jenis berdasarkan sifat dan kandungan bahannya. Pengelompokan ini bertujuan untuk memudahkan proses pengolahan serta menentukan metode penanganan yang sesuai. Menurut Ratnasari et al. (2019), secara umum sampah dibedakan menjadi tiga jenis utama, yaitu sampah organik, sampah anorganik, dan sampah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun).

a. Sampah Organik

Sampah organik merupakan jenis sampah yang berasal dari makhluk hidup seperti tumbuhan dan hewan yang dapat terurai secara alami. Sampah ini dibagi menjadi dua jenis, yaitu organik basah dan

organik kering. Sampah organik basah memiliki kandungan air yang tinggi, misalnya sisa sayuran, kulit buah, dan sisa makanan, sedangkan sampah organik kering memiliki kadar air rendah seperti kertas, daun kering, dan ranting pohon.

b. Sampah Anorganik

Sampah anorganik adalah sampah yang sulit terurai secara alami dan membutuhkan waktu lama untuk terdegradasi. Contohnya meliputi plastik, logam, kaca, kain, dan kaleng bekas. Meskipun tidak mudah terurai, jenis sampah ini masih bisa dimanfaatkan kembali melalui proses daur ulang menjadi barang-barang yang memiliki nilai guna baru.

c. Sampah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun)

Sampah B3 merupakan jenis sampah yang mengandung bahan berbahaya dan beracun yang dapat menimbulkan risiko bagi kesehatan manusia maupun lingkungan. Contohnya antara lain baterai bekas, lampu neon, obat-obatan kedaluwarsa, cat, dan bahan kimia rumah tangga. Pengolahan sampah B3 harus dilakukan secara hati-hati dan sesuai dengan prosedur agar tidak mencemari lingkungan.

2.4 Karakteristik Sampah

Karakteristik sampah merupakan sifat atau ciri khas dari sampah yang meliputi aspek fisik, kimia, dan biologis, yang digunakan untuk memahami komposisi, perilaku, serta potensi pengolahannya. Karakterisasi sampah sangat penting karena menentukan strategi pemilahan, pengumpulan, dan metode pengolahan yang efisien sesuai kondisi lokal (Johari et al., 2012). Menurut Damanhuri dan Tri Padmi (2019), menyebutkan bahwa karakteristik sampah di golongan menjadi 3 katagori yaitu:

1. Karakteristik fisika: Faktor utama yang diperhatikan mencakup densitas (kepadatannya), kadar air, kadar zat yang mudah menguap (volatile matter), karbon tetap (fixed carbon), serta nilai kalor. Dalam beberapa analisis, ukuran partikel juga diperhitungkan karena berpengaruh terhadap proses pengolahan dan transportasi sampah.

2. Karakteristik kimia: Parameter yang umumnya dianalisis meliputi kandungan unsur karbon organik (C-organik), nitrogen organik (N-organik), serta total fosfor. Data ini dibutuhkan untuk memahami potensi nutrisi maupun dampak lingkungan dari sampah tersebut.
3. Karakteristik kimia unsur penyusun: Analisis ini menggambarkan komposisi kimia sampah berdasarkan unsur-unsur utama seperti C, H, O, N, S, dan P. Dalam kondisi tertentu, analisis dapat diperluas dengan menambahkan unsur halogen (misalnya Cl) atau logam berat untuk menilai potensi pencemarannya secara lebih mendalam.

2.5 Refuse Derived Fuel (RDF)

Bahan bakar yang diperoleh dari pengolahan limbah padat biasanya dikenal dengan istilah *Refuse Derived Fuel* (RDF). RDF merupakan inovasi produk yang mengalami perkembangan pesat. Bahan ini dapat ditemukan dalam berbagai ukuran, baik berukuran besar maupun kecil, serta tersedia dalam bentuk serbuk maupun padatan (Maulana et al., 2021). RDF juga dapat didefinisikan sebagai hasil akhir dari proses pemilahan sampah padat, di mana bahan yang mudah terbakar dipisahkan dari komponen yang tidak mudah terbakar, seperti logam dan kaca (Andrianingsih et al., 2018).

Sebagai salah satu bahan bakar alternatif pada sistem *Waste to Energy* (WtE), kualitas RDF sangat dipengaruhi oleh proses pemilahan sampah. Pemilahan yang baik menghasilkan bahan baku yang lebih seragam sehingga dapat mendukung efektivitas proses pengolahan. Sejalan dengan hal tersebut, Iresha et al. (2026) menyatakan bahwa keberhasilan penerapan teknologi *Waste to Energy* (WtE) tidak hanya ditentukan oleh kapasitas teknologi, tetapi juga dipengaruhi oleh konsistensi pasokan bahan baku, tata kelola, dan dukungan sosial. Oleh karena itu, proses pemilahan sampah menjadi tahapan penting untuk menghasilkan bahan baku RDF yang sesuai dengan kebutuhan pengolahan.

Pada penelitian ini, RDF yang digunakan terdiri atas dua jenis, yaitu RDF baru (*Fresh RDF*) dan RDF tersimpan. RDF baru (*Fresh RDF*) merupakan RDF yang baru selesai diproduksi melalui proses pemilahan dan pencacahan di TPST Modalan, sehingga belum mengalami penyimpanan. Sementara itu, RDF

tersimpan merupakan RDF yang telah disimpan dalam jangka waktu tertentu di area penyimpanan TPST Modalan sebelum dilakukan pengambilan sampel.

2.6 Abu Insinerator

Insinerator merupakan teknologi pengolahan sampah yang bekerja dengan cara membakar bahan organik yang terkandung di dalam sampah pada lapisan bed material. Melalui proses ini, sampah diubah menjadi energi panas, gas buang, serta abu yang kemudian dilepaskan ke atmosfer (Wisprantoko, Winaya, & Lokantara, 2025). Secara umum, insinerator adalah tungku pembakaran yang mengolah limbah menjadi gas dan sisa abu. Proses insinerasi sendiri dilakukan pada suhu lebih dari 800°C dengan tujuan untuk mengurangi volume sampah secara signifikan.

Bottom ash adalah residu padat utama yang dihasilkan dari proses pembakaran termal limbah padat, khususnya dari pembakaran di tungku insinerasi. Residu ini terbentuk di dasar tungku karena material yang tidak terbakar sepenuhnya mengendap setelah proses pembakaran selesai. Sebagai contoh, dalam studi oleh Franz Huber dkk. (2020), *bottom ash* digambarkan sebagai sisa massa terbesar dari limbah yang diproses secara termal. Material ini umumnya memiliki karakteristik fisik yang beragam, terdiri dari campuran mineral, logam, dan senyawa anorganik lainnya yang bergantung pada komposisi limbah yang dibakar.

2.7 Logam Berat

Logam berat adalah unsur logam yang memiliki massa jenis relatif tinggi dan bersifat toksik atau berbahaya bagi lingkungan serta makhluk hidup apabila berada dalam konsentrasi tertentu. Logam berat dapat berasal dari aktivitas alami maupun aktivitas manusia, seperti limbah industri, pembakaran sampah, penggunaan bahan kimia, baterai, plastik, dan limbah rumah tangga lainnya. Beberapa logam berat yang umum mencemari lingkungan antara lain kadmium (Cd), timbal (Pb), tembaga (Cu), kromium (Cr), dan logam berat lainnya (Ali et al., 2019).

2.7.1 Timbal (Pb)

Timbal (Pb) merupakan logam berat berwarna abu-abu kebiruan, bersifat lunak, mudah ditempa, dan memiliki densitas yang tinggi. Logam ini memiliki titik leleh sekitar 327°C dan titik didih mencapai 1.725°C

(Simatupang et al, 2024). Penggunaan timbal yang luas dalam berbagai sektor industri telah menyebabkan kontaminasi lingkungan yang berkepanjangan serta meningkatkan risiko paparan terhadap manusia. Timbal dapat mencemari udara, air, dan tanah, serta berpotensi masuk ke dalam tubuh melalui inhalasi maupun konsumsi bahan pangan yang terkontaminasi.

Paparan timbal (Pb) yang melampaui ambang batas aman dapat menimbulkan dampak serius bagi kesehatan. Logam ini berpotensi mengganggu fungsi sistem saraf, menurunkan kemampuan intelektual, serta menghambat proses pertumbuhan pada anak-anak. Gangguan pertumbuhan tersebut terjadi karena timbal mampu menggantikan peran kalsium dalam tulang, yang pada akhirnya menyebabkan kelumpuhan (Warsinah, Suheryanto, & Windusari, 2015). Selain itu, dalam konteks pengolahan sampah dan proses insinerasi, kandungan timbal pada abu sisa pembakaran dapat menjadi sumber pencemar berbahaya apabila tidak dikelola dengan benar. Timbal dari residu ini berpotensi terlarut dan mencemari lingkungan, termasuk tanah dan air tanah di sekitar fasilitas pengolahan sampah, sehingga menimbulkan risiko kesehatan bagi masyarakat di sekitarnya.

2.7.2 Besi (Fe)

Besi (Fe) merupakan salah satu logam yang secara alami banyak dijumpai di lingkungan, terutama dalam bentuk senyawa yang terdapat pada batuan, tanah, dan perairan. Logam besi juga dapat bersumber dari aktivitas antropogenik, seperti pencemaran yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar, pembuangan limbah industri, limbah domestik, limbah peternakan, serta kegiatan pertanian dan perkebunan. (Hasanuddin & Leonard, 2023). Keberadaan Fe di lingkungan tersebut memungkinkan unsur ini turut terakumulasi dalam limbah padat hasil pengolahan sampah, seperti *Refuse Derived Fuel* (RDF) maupun abu insinerator.

2.7.3 Kadmium (Cd)

Kadmium (Cd) merupakan salah satu logam berat berbahaya yang memiliki tingkat toksisitas tinggi serta dapat terakumulasi dalam tubuh

manusia, terutama pada organ hati dan ginjal. Paparan kadmium dalam jangka panjang dapat menimbulkan berbagai gangguan kesehatan, seperti kerusakan pembuluh darah, penyakit paru-paru, gangguan fungsi hati, peningkatan tekanan darah, kerusakan sistem ginjal, hingga risiko kanker. Dalam konteks pengelolaan sampah, kadmium dapat berasal dari limbah industri, baterai, dan sampah elektronik, serta berpotensi terdistribusi pada residu hasil pengolahan seperti *bottom ash* sehingga perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui potensi pencemarannya (Widyaningrum et al., 2025).

2.7.4 Kromium (Cr)

Kromium (Cr) merupakan logam berat yang banyak ditemukan di lingkungan perairan akibat aktivitas antropogenik, terutama dari limbah industri. Logam ini memiliki beberapa bentuk oksidasi, dimana Cr(VI) dikenal lebih toksik dibandingkan Cr(III) karena mudah larut dan lebih reaktif. Dalam konteks pengelolaan sampah, kromium dapat terkandung dalam material RDF serta berpotensi mengalami perubahan selama proses pengolahan termal seperti insinerasi, sehingga dapat terdistribusi baik pada RDF maupun residu hasil pembakaran seperti *bottom ash*. Keberadaan kromium perlu diperhatikan karena dapat mencemari lingkungan serta menimbulkan dampak kesehatan seperti gangguan sistem pernapasan, iritasi, hingga bersifat karsinogenik (Aminatun et al., 2024).

2.7.5 Seng (Zn)

Seng atau *Zinc* merupakan unsur kimia yang memiliki nomor atom 30 dalam tabel periodik dan termasuk ke dalam golongan logam transisi. Unsur ini termasuk logam yang cukup stabil pada suhu ruang, namun dapat bereaksi dengan asam dan basa tertentu membentuk berbagai senyawa seng. Dalam bidang kimia dan lingkungan, seng dikenal sebagai unsur yang secara alami terdapat di kerak bumi dan dapat ditemukan di tanah, air, maupun batuan. Seng dibutuhkan dalam jumlah kecil oleh makhluk hidup untuk mendukung proses fisiologis, tetapi apabila kadarnya berlebihan di lingkungan dapat bersifat mencemari dan berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan

(Widyastuti et al., 2023).

2.8 Klorin

Klorin merupakan unsur kimia golongan halogen yang bersifat sangat reaktif dan umumnya digunakan sebagai desinfektan dalam pengolahan air. Di lingkungan, klorin dapat berasal dari aktivitas industri, penggunaan bahan kimia, serta proses pembakaran sampah yang mengandung senyawa klorin seperti plastik PVC. Dalam pengelolaan sampah, keberadaan klorin menjadi penting karena dapat berperan dalam pembentukan senyawa berbahaya seperti dioksin dan furan selama proses insinerasi, serta memengaruhi perilaku logam berat dalam residu seperti RDF dan *bottom ash*. Paparan klorin dalam jumlah berlebih dapat menimbulkan dampak kesehatan, terutama iritasi pada sistem pernapasan, mata, dan kulit, serta berpotensi menyebabkan gangguan paru-paru jika terpapar dalam konsentrasi tinggi (Putri & Purnamasari, 2022).

2.9 *Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)*

Maharani et al. (2024) menjelaskan bahwa Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) atau *Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)* yaitu teknik analisis kuantitatif yang bekerja berdasarkan kemampuan atom-atom bebas untuk menyerap energi cahaya pada panjang gelombang tertentu. Pada metode ini, unsur logam dalam sampel diubah terlebih dahulu menjadi atom bebas dalam fase gas melalui proses atomisasi. Ketika cahaya dengan panjang gelombang khas suatu unsur diarahkan ke atom-atom tersebut, sebagian energinya akan diserap, dan besar serapan inilah yang menjadi dasar penentuan konsentrasi unsur dalam sampel. SSA memanfaatkan prinsip Hukum Lambert–Beer, yaitu intensitas cahaya yang diteruskan akan menurun sebanding dengan konsentrasi atom penyerap dalam media. Karena itu, besarnya sinyal serapan yang terbaca oleh instrumen akan meningkat mengikuti naiknya jumlah atom logam yang ada di dalam jalur optik. Alat Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) yang digunakan untuk pengujian logam berat dalam penelitian ini ditampilkan pada Gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2. 1 *Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)*

2.10 Spektrofotometri UV-Vis

Spektrofotometri UV-Vis merupakan metode analisis yang digunakan untuk menentukan konsentrasi suatu senyawa berdasarkan interaksi antara radiasi ultraviolet dan cahaya tampak dengan materi pada panjang gelombang tertentu. Metode ini digunakan untuk analisis senyawa organik maupun anorganik yang mampu menyerap cahaya pada rentang panjang gelombang 190–800 nm. Prinsip kerja spektrofotometri UV-Vis didasarkan pada pengukuran jumlah cahaya yang diserap oleh larutan sampel sehingga elektron mengalami transisi dari tingkat energi rendah (*ground state*) ke tingkat energi lebih tinggi (*excited state*). Nilai absorbansi yang dihasilkan digunakan untuk menentukan konsentrasi analit berdasarkan hukum Lambert-Beer (Pratiwi dan Nandiyanto, 2021). Alat spektrofotometri UV-Vis yang digunakan untuk pengujian parameter klorin dalam penelitian ini ditampilkan pada Gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2. 2 *Spektrofotometri UV-Vis*

2.11 Acuan Baku Mutu Penelitian

Baku mutu dan standar pembandingan digunakan sebagai acuan dalam mengevaluasi karakteristik hasil pengujian terhadap ketentuan yang berlaku. Dalam penelitian ini, hasil pengujian dibandingkan dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.26/MENLHK/SETJEN/KUM.1/12/2020 tentang Penanganan Abu Dasar dan Abu Terbang Hasil Pengolahan Sampah Secara Termal. Penggunaan baku mutu dan standar pembandingan bertujuan untuk mengetahui kesesuaian karakteristik sampel terhadap ketentuan yang berlaku serta mengevaluasi potensi dampaknya terhadap lingkungan. Adapun parameter baku mutu yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Baku Mutu Parameter Pengujian

Parameter	Satuan	Batas Maksimum
Kadmium (Cd)	Mg/L	0,15
Klorin (Cl)	Mg/L	12.500
Krom Valensi Enam (Cr ⁶⁺)	Mg/L	2,5
Timbal (Pb)	Mg/L	0,5
Seng (Zn)	Mg/L	50

Sumber: Permen LHK No. P.26/MENLHK/SETJEN/KUM.1/12/2020

2.12 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini dirangkum dan disajikan secara sistematis pada Tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul	Publikasi	Metode	Hasil
1	Ida Ayu Rai Widhiawati, Anak Agung Intan Praniti, Ngakan Gede Agung Khrisna Wiryananda, dan Ida Bagus	Karakterisasi Abu Hasil Pembakaran Sampah di Pusat Daur Ulang (PDU) Mengwitani Kabupaten Badung	Prosiding KoNTekS Ke-19, 2025, halaman 742–751	Penelitian dilakukan dengan pengambilan sampel abu hasil pembakaran sampah dari 6 tungku insinerator aktif di PDU Mengwitani. Pengujian kimia	Hasil penelitian menunjukkan bahwa abu hasil pembakaran sampah didominasi oleh fraksi halus dengan kadar air rendah sebesar 1,181% dan berat jenis rata-rata 1,272

	Made Baskara Andika			dilakukan menggunakan metode <i>Atomic Absorption Spectrophotometry</i> (AAS) untuk menganalisis kandungan logam Ca, Si, Fe, Al, dan Cr.	g/cm ³ . Kandungan logam yang diperoleh yaitu Ca sebesar 45.625 ppm, Fe sebesar 14.366,78 ppm, Al sebesar 8.157,89 ppm, Si sebesar 1.968,75 ppm, dan Cr sebesar 2,53 ppm.
2	Viesca Fredilla Hanif dan Ahmad Fauzi Pohan	Suseptibilitas Magnetik pada Tanah di Sekitar Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (TPAS) Regional Payakumbuh Sebagai Indikator Polusi Logam Berat	Jurnal Fisika Unand (JFU), Vol. 13 No. 2, 2024, halaman 303–309	Penelitian dilakukan dengan pengambilan sampel tanah pada beberapa zona di sekitar TPAS, kemudian dilakukan pengujian suseptibilitas magnetik dan analisis kandungan logam berat menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF).	Hasil penelitian menunjukkan bahwa daerah sekitar TPAS telah mengalami pencemaran logam berat dari kategori rendah hingga sangat tinggi. Kandungan logam berat yang ditemukan meliputi Fe, Pb, Zn, Cu, dan As yang telah melebihi ambang batas pada seluruh sampel uji. Zona permukiman memiliki rata-rata nilai suseptibilitas magnetik tertinggi sehingga diperkirakan paling tercemar logam berat dibandingkan zona lainnya.
3	Siti Rachmawati, Hashfi Hawali Abdul Matin, Mini Ambarwati Kusuma Dewi (2025)	Analisis Logam Timbal (Pb) pada Genteng Beton Berbahan Campuran Abu Dasar Insinerator dari Limbah Sakit Kategori Infeksius (2025)	Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL), Vol.7 No.2, 2025	Uji Pb dengan AAS metode TCLP	Kandungan timbal pada abu dasar menunjukkan nilai sebesar 0,69 mg/L, yang berarti melebihi baku mutu timbal berdasarkan PP Nomor 22 Tahun 2021, yaitu maksimum 0,5 mg/L. Kondisi ini mengindikasikan bahwa residu pembakaran limbah medis masih tergolong limbah B3 karena potensi pelindian logam beratnya cukup tinggi, sehingga diperlukan proses pengolahan atau pemanfaatan lebih lanjut agar kontaminannya dapat

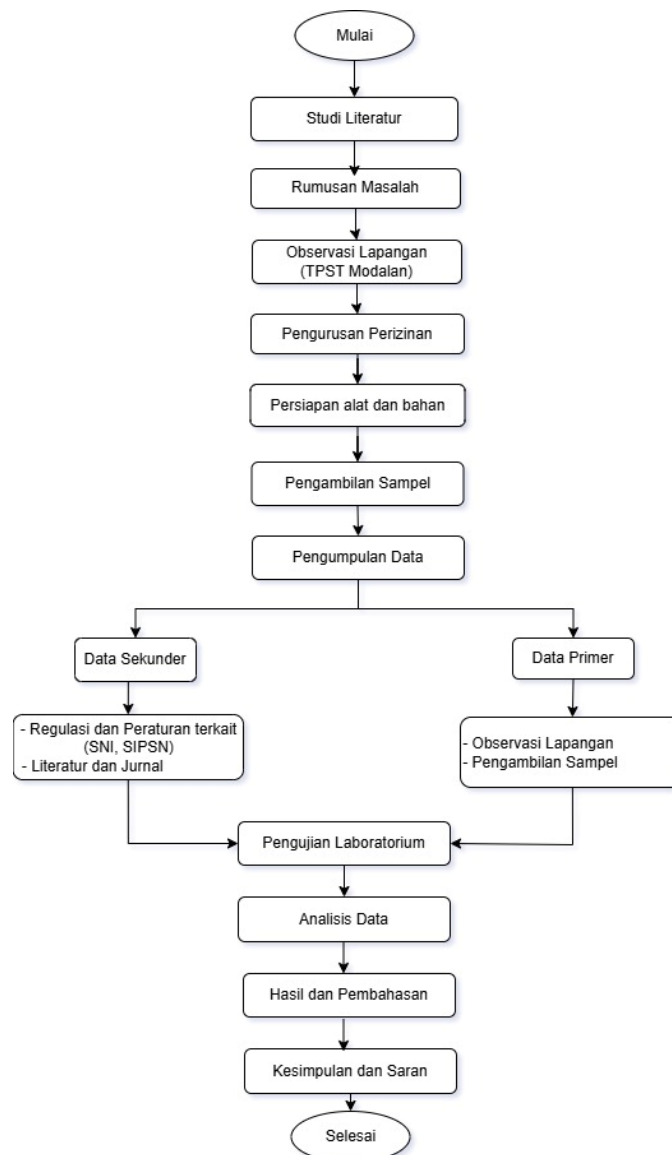
					diminimalkan.
4	A. A. Aries, I W. B. Suyasa, dan I. B. P. Manuaba	Pembuatan dan Uji Kualitas Produk Briket Arang dari Campuran Janur Sisa Canang, Kulit Kacang Tanah, dan Ampas Kopi	Jurnal Kimia (Journal of Chemistry), Vol. 20 No. 1, Januari 2026, halaman 73–79	Penelitian dilakukan dengan pembuatan briket biomassa dan pengujian karakteristik briket meliputi nilai kalor, kadar air, kadar abu, volatile matter, karbon tetap, serta kandungan klorin menggunakan XRF.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa briket memiliki nilai kalor sebesar 4.793,04 kal/g, kadar air 3%, kadar abu 3,9996%, dan kadar karbon tetap 27,7898% sehingga memenuhi standar SNI. Namun kandungan klorin pada briket sebesar 4,737% masih melebihi batas SNI sebesar 0,1%, sehingga berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan apabila tidak dikendalikan.
5	Luqman Cahyono, Agung Prasetyo Utomo, M. Rizal Fahmi, Novi Eka Mayangsari, dan Ghea Abbyah Nur	Studi Kelayakan Material Paving Berbahan Limbah Insinerator Rumah Sakit	JITU (Jurnal Ilmiah Teknik Unida), Vol. 5 No. 1, Juni 2024, halaman 52–56	Penelitian dilakukan secara eksperimen dengan memanfaatkan abu insinerator rumah sakit sebagai campuran paving blok, kemudian dilakukan pengujian XRF dan TCLP untuk mengetahui kandungan serta toksisitas logam berat.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa abu insinerator rumah sakit mengandung logam berat berupa kromium (Cr), tembaga (Cu), dan seng (Zn) yang tergolong limbah B3. Namun berdasarkan hasil uji TCLP, kandungan logam berat tersebut masih memenuhi baku mutu TCLP A, TCLP B, dan TCLP C sehingga aman dimanfaatkan sebagai bahan campuran paving. Selain itu, paving yang dihasilkan memenuhi mutu kelas B berdasarkan SNI 03- 0691-1996.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian

Dalam penelitian ini, pengujian karakteristik *Refuse Derived Fuel* (RDF) dan abu insinerator yang dihasilkan oleh TPST Modalan dilakukan melalui beberapa tahapan yang sistematis. Rangkaian tahapan penelitian tersebut disajikan secara rinci dalam bentuk diagram alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.2 Pengumpulan Data

3.2.1 Data

Dalam penelitian ini, data yang digunakan merupakan data primer yang diperoleh secara langsung melalui kegiatan pengambilan sampel dan pengujian laboratorium. Sampel yang diambil dalam penelitian ini meliputi abu insinerator berupa bottom ash serta *Refuse Derived Fuel* (RDF) yang terdiri atas dua kondisi, yaitu RDF yang baru selesai diproduksi dan RDF yang telah disimpan dalam jangka waktu tertentu di TPST Modalan. Pengambilan sampel dilakukan secara langsung pada TPST Modalan. Setiap sampel kemudian diuji di laboratorium untuk mengetahui kandungan Klorin (Cl) dan logam berat seperti Timbal (Pb), besi (Fe), dan seng (Zn), Kadmium (Cd), kromium (Cr). Untuk sampel yang akan diuji dalam penelitian ini meliputi beberapa jenis material yang disajikan secara rinci pada Tabel 3.1 di bawah ini.

Tabel 3. 1 Daftar Sampel dan Parameter Uji

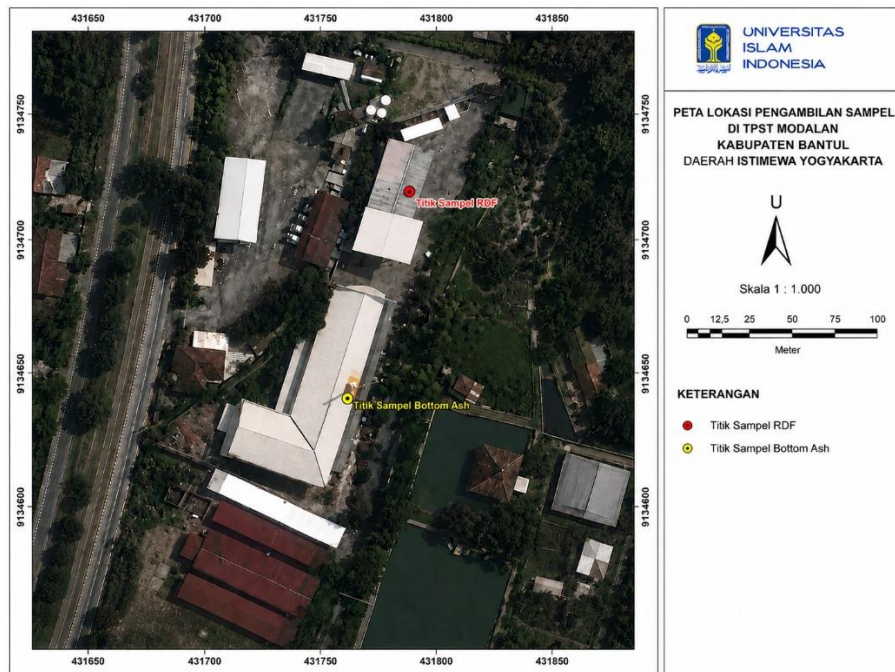
No	Sampel Uji	Parameter Uji
1.	<i>Refuse Derived Fuel (RDF)</i>	
	RDF baru (<i>Fresh RDF</i>)	<ul style="list-style-type: none">- Logam berat seperti Timbal (Pb), besi (Fe), seng (Zn), Kadmium (Cd), kromium (Cr),- Klorin (Cl)
	(RDF Tersimpan)	
2.	Abu Insinerator	<ul style="list-style-type: none">- Logam berat Timbal (Pb), besi (Fe), seng (Zn), Kadmium (Cd), kromium (Cr),- Klorin (Cl)
	<i>Bottom Ash</i>	

Pengujian kandungan klorin (Cl), dan logam berat (Pb, Fe, Zn, Cd, dan Cr) dilakukan pada sampel RDF serta abu insinerator untuk mengevaluasi potensi pencemaran lingkungan dan memastikan kesesuaiannya dengan baku mutu yang berlaku.

3.2.2 Waktu dan Lokasi

Penelitian ini berlokasi di Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Modalan, yang terletak di Kalurahan Banguntapan, Kapanewon Banguntapan,

Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Lokasi ini dipilih karena merupakan salah satu fasilitas pengolahan sampah yang aktif dalam kegiatan pemilahan, pengolahan, serta pemanfaatan sampah menjadi bahan bakar alternatif *Refuse Derived Fuel* (RDF). TPST Modalan menjadi lokasi yang strategis untuk penelitian ini karena berperan dalam mendukung penerapan konsep *waste to energy* (WtE) di wilayah Bantul melalui pengembangan RDF dan penerapan teknologi insinerator. Titik pengambilan sampel pada penelitian ini disajikan pada gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Titik Lokasi Pengambilan Sampel

pengambilan sampel dilakukan pada dua titik, yaitu titik pengambilan sampel RDF dan titik pengambilan sampel abu hasil pembakaran (*bottom ash*). Titik pengambilan sampel RDF berada pada area pengolahan RDF, sedangkan titik pengambilan sampel bottom ash berada pada area keluaran insinerator. Pemilihan kedua titik tersebut disesuaikan dengan tujuan penelitian untuk menganalisis kandungan logam berat dan kadar klorin pada RDF serta abu hasil pembakaran yang dihasilkan dari proses pengelolaan sampah di TPST Modalan.

Pengambilan sampel dilakukan secara langsung di TPST Modalan pada bulan Desember 2025. Sampel yang dikumpulkan meliputi RDF dari sampah baru masuk dan yang sudah lama di TPST Modalan, serta abu hasil pembakaran dari insinerator. Pengambilan sampel dilakukan dengan memperhatikan kondisi operasional TPST dan mengikuti prosedur yang sesuai agar hasil yang diperoleh dapat mewakili kondisi aktual di lapangan. Selanjutnya, seluruh sampel RDF dan abu insinerator yang telah diambil dilakukan pengujian laboratorium pada bulan Mei 2026 di Laboratorium Lingkungan Universitas Islam Indonesia (UII).

3.2.3 Alat dan Bahan

A. Alat Pengujian Sampel

1. *Furnace*
2. Cawan Krus
3. Timbangan Digital
4. Kaca Arloji
5. Spatula Laboratorium
6. Gelas Beaker 100 ml
7. Corong Kaca
8. Kertas Saring
9. Labu Ukur 50 dan 10 ml
10. Pipet Ukur 5 dan 10 ml
11. Ball Pipet
12. Botol Vial 10 ml
13. Gelas Ukur
14. Erlenmeyer
15. *Hotplate*
16. *Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)*
17. Spektrofotometri UV-Vis

B. Bahan

1. Sampel RDF Basah

2. Sampel RDF Kering
3. Sampel Abu Dasar (*Bottom Ash*)
4. HNO_3
5. HCl
6. H_2O_2 30%
7. Eschka
8. Aquades

3.2.4 Teknik Pengambilan Sampel

Teknik pengambilan sampel pada penelitian ini menggunakan metode *grab sampling* dengan pengambilan sampel secara langsung satu kali selama kegiatan penelitian berlangsung. Sampel RDF yang digunakan terdiri atas RDF dari sampah baru masuk (RDF baru (*Fresh RDF*)) dan yang sudah lama (RDF Tersimpan) di TPST Modalan dengan jumlah masing-masing sekitar $\pm 1\text{--}2$ kg, sedangkan sampel abu insinerator diambil sebanyak $\pm 3\text{--}4$ kg. Pengambilan sampel dilakukan pada siang hari setelah sampah masuk ke TPST dan proses pembakaran berlangsung sehingga telah dihasilkan residu berupa abu insinerator. Pengambilan sampel dilakukan pada saat operasional berlangsung agar sampel yang diperoleh dapat merepresentasikan kondisi material pada waktu penelitian. RDF yang diproduksi dari sampah baru dan sampah yang telah mengalami penyimpanan digunakan untuk mengetahui pengaruh kondisi bahan baku terhadap karakteristik RDF serta kandungan logam berat pada sampel penelitian.



Gambar 3. 3 Contoh Proses Pengambilan Sampel

3.2.5 Teknik Penyimpanan Sampel

Cara penyimpanan sampel dilakukan dengan memasukkan sampel ke dalam plastik klip kemudian diberi label dan ditutup kembali. Label berisikan nama sampel dan nama TPST agar tidak tertukar dengan sampel milik teman satu kelompok. Sampel kemudian disusun di dalam box kontainer selama proses pengambilan dan pengangkutan untuk menjaga kondisi sampel agar tetap aman dan tidak mengalami perubahan. Selama pengangkutan, sampel dijaga agar tidak bercampur satu sama lain.



Gambar 3. 4 Penyimpanan Sampel Uji

3.3 Analisis Data

3.3.1 Analisis Kandungan Logam Berat

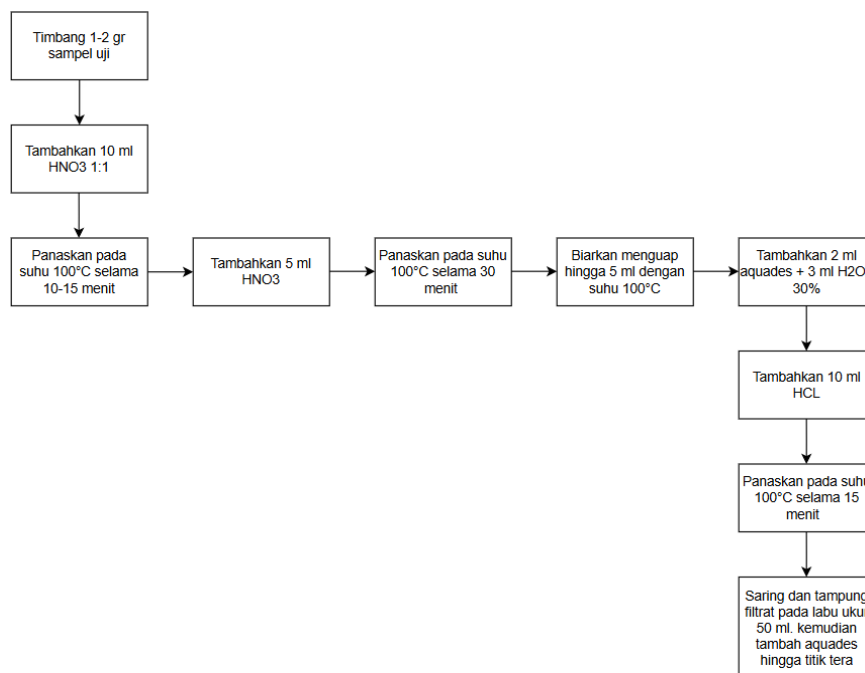
Kandungan logam berat Fe, Zn, Pb, Cd, dan Cr pada sampel *Refuse Derived Fuel* (RDF) serta abu insinerator dianalisis mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI 13-8910-2021) yang berlaku dengan menggunakan instrumen Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Sebelum dilakukan pengujian, seluruh sampel padatan terlebih dahulu melalui tahap preparasi berupa proses destruksi basah hingga diperoleh larutan yang homogen agar dapat dianalisis menggunakan SSA-Nyala. Tahap preparasi ini bertujuan untuk melarutkan unsur logam yang terkandung dalam sampel sehingga konsentrasi Fe, Zn, Pb Cd, dan Cr dapat diukur secara kuantitatif berdasarkan nilai absorbansi yang dihasilkan oleh instrumen.

3.3.2 Pengukuran Logam Berat

Analisa logam berat dilakukan dengan cara destruksi. Untuk mengetahui kandungan ion logam dalam sampel, dilakukan preparasi sampel menggunakan metode destruksi sebelum dianalisis menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Destruksi merupakan proses penghancuran matriks sampel secara oksidatif yang bertujuan untuk menguraikan senyawa organik dan membebaskan unsur logam ke dalam bentuk yang dapat diukur atau dianalisis secara kuantitatif (Asmorowati dkk., 2020).

Persiapan Contoh Uji

Proses destruksi asam terhadap sampel dilakukan di dalam lemari asam yang dilengkapi dengan sistem *scrubber* uap asam, dengan tahapan prosedur sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3.5 sebagai berikut.



Gambar 3. 5 Tahapan destruksi contoh Uji

Perhitungan Kadar Logam

Perhitungan kadar logam pada contoh uji limbah padat, sedimen, dan tanah dilakukan setelah diperoleh nilai konsentrasi dari hasil analisis. Selanjutnya, hasil tersebut dikonversi ke dalam satuan mg/kg menggunakan

rumus yang sesuai.

- Kadar logam berdasarkan berat aktual contoh uji

Jika kadar logam dilaporkan berdasarkan berat aktual contoh uji, rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$\text{Kadar logam (} \frac{mg}{kg} \text{)} = \frac{C \times V}{W} \times fp$$

Keterangan:

C = Konsentrasi contoh uji yang diperoleh dari SSA -Nyala atau ICP-OES (Mg/L)

V = Volume akhir setelah proses destruksi (ML)

W = Berat Contoh Uji (g)

fp = Faktor Pengenceran

- Kadar Logam berdasarkan berat kering contoh uji

Jika kadar logam dilaporkan berdasarkan berat kering contoh uji, hitung kadar logam menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar logam (} \frac{mg}{kg} \text{)} = \frac{C \times V}{W \times p} \times fp$$

Keterangan:

C = Konsentrasi contoh uji yang diperoleh dari SSA -Nyala atau ICP-OES (Mg/L)

V = Volume akhir setelah proses destruksi (ML)

W = Berat Contoh Uji (g)

fp = Faktor Pengenceran

p = Fraksi padat

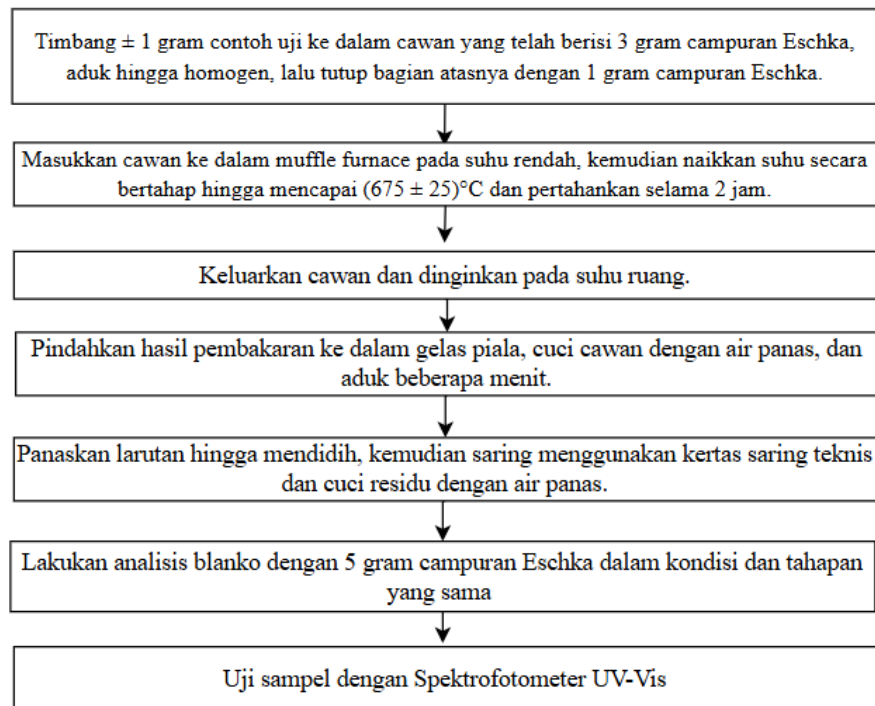
3.3.3 Analisis Kadar Klorin

Pengukuran kadar klorin pada sampel *Refuse Derived Fuel* (RDF) dilakukan sesuai SNI 8966:2021 tentang Bahan Bakar Jumputan Padat. Sebelum pengujian, sampel RDF terlebih dahulu melalui tahap preparasi berupa pengeringan, penghalusan, dan pembakaran menggunakan campuran Eschka hingga diperoleh residu yang siap diuji. Hasil pembakaran kemudian dilarutkan sebagai larutan sampel untuk penentuan kadar klorin. Tahap preparasi ini dilakukan agar kandungan klorin dalam sampel dapat terikat dan

terukur dengan baik.

Perisapan Contoh Uji

Penentuan kadar kalor pada contoh uji dilakukan melalui metode pembakaran dengan campuran Eschka yang dilanjutkan dengan pengujian Spektrofotometri UV-Vis. Tahapan pengujian disajikan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Tahapan pengujian kadar klorin

*Eschka adalah Campuran MgO dan Na₂CO₃ dengan perbandingan 2 : 1

Perhitungan Kadar Klorin

Kadar Klorin dalam contoh uji dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Kadar Klorin (} \frac{mg}{kg} \text{)} = \frac{C \times V}{W} \times fp$$

Keterangan:

C = Konsentrasi contoh uji yang diperoleh dari SSA -Nyala atau ICP-OES (Mg/L)

V = Volume akhir setelah proses destruksi (ML)

W = Berat Contoh Uji (g)

fp = Faktor Pengenceran

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Eksisting Lokasi Penelitian

4.1.1 Profil TPST Modalan

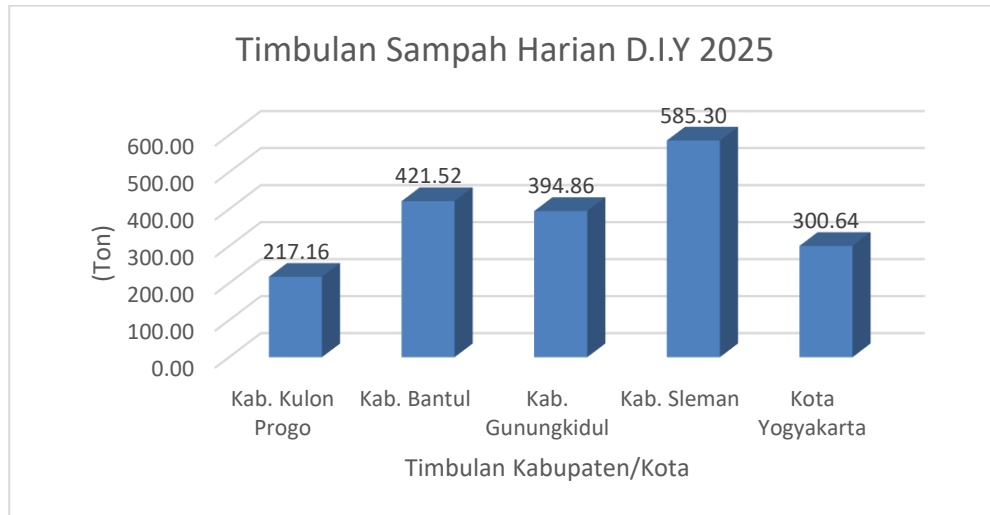
Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Modalan merupakan fasilitas pengelolaan sampah yang berlokasi di Padukuhan Modalan, Kalurahan Banguntapan, Kapanewon Banguntapan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. TPST Modalan dibangun oleh Balai Prasarana Permukiman Wilayah (BPPW) DIY melalui program Project Management Support Pariwisata Borobudur Yogyakarta Prambanan (PMS-BYP) tahun 2023–2024 dan mulai beroperasi pada tanggal 14 November 2024. Fasilitas ini dibangun di atas lahan seluas sekitar 3.100 m² dengan tujuan mendukung pengurangan timbulan sampah yang dibuang ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA).

TPST Modalan memiliki kapasitas pengolahan sampah sekitar 50 ton per hari dan dirancang untuk melayani wilayah Kapanewon Banguntapan dan Kapanewon Sewon, yang merupakan salah satu kawasan dengan timbulan sampah tinggi di Kabupaten Bantul. Keberadaan TPST Modalan diharapkan dapat mendukung sistem pengelolaan sampah Kabupaten Bantul melalui pengurangan volume sampah yang harus ditangani pada tahap akhir pengelolaan.

Dalam operasionalnya, TPST Modalan dilengkapi dengan fasilitas penerimaan sampah, area pemilahan, *conveyor*, mesin pencacah, unit pengolahan organik, serta unit pembakaran/pirolisis untuk mengolah residu yang tidak dapat dimanfaatkan kembali. Hasil pengolahan sampah di TPST Modalan meliputi material yang masih memiliki nilai guna, serta residu hasil pembakaran berupa bottom ash. Selain itu, fraksi sampah tertentu juga dimanfaatkan sebagai bahan baku *Refuse Derived Fuel* (RDF) yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif.

Kabupaten Bantul merupakan salah satu wilayah dengan timbulan sampah yang relatif tinggi di Daerah Istimewa Yogyakarta. Tingginya timbulan sampah tersebut menjadi salah satu alasan dibangunnya fasilitas pengelolaan sampah seperti

TPST Modalan untuk mengurangi jumlah sampah yang harus ditangani pada tahap akhir pengelolaan. Data timbulan sampah di Daerah Istimewa Yogyakarta tahun 2025 disajikan pada Gambar 4.1.



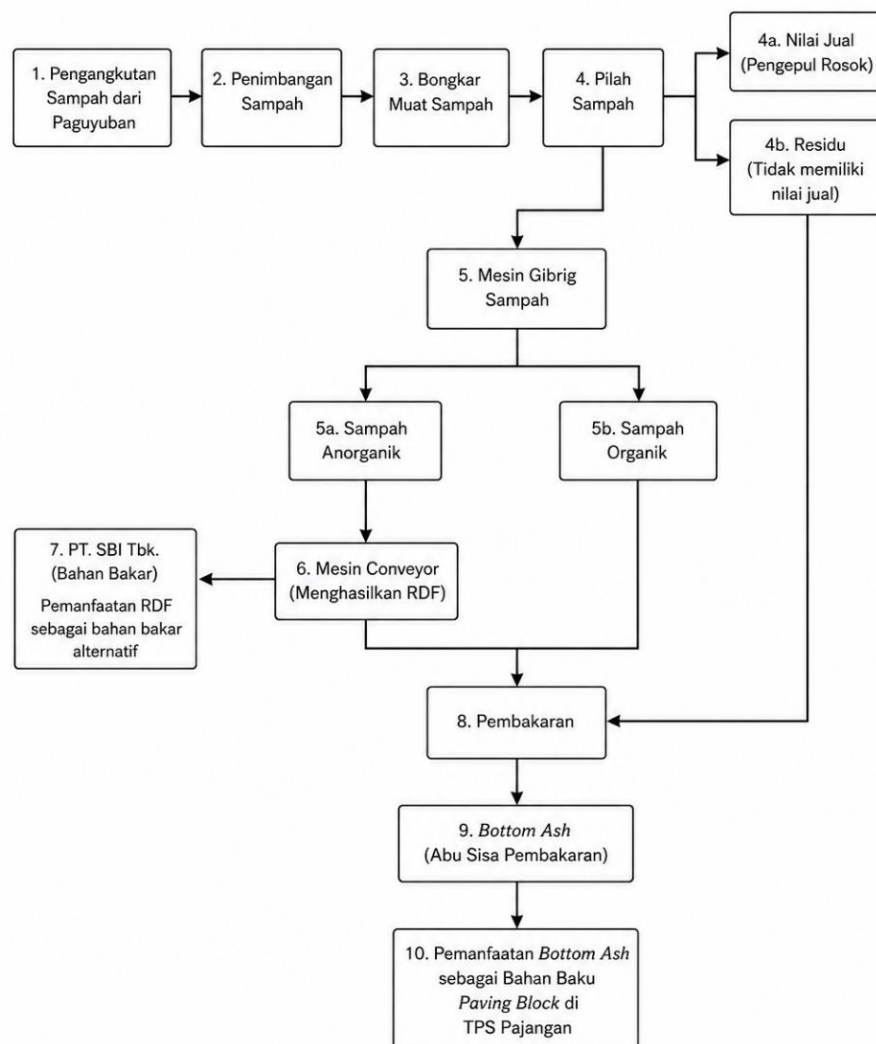
Gambar 4. 1 Jumlah Timbulan Sampah D.I Yogyakarta Tahun 2025

Sumber: Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN), 2025.

Berdasarkan Gambar 4.1, Kabupaten Bantul memiliki timbulan sampah yang cukup tinggi dibandingkan beberapa kabupaten/kota lainnya di Daerah Istimewa Yogyakarta. Kondisi tersebut menunjukkan pentingnya keberadaan TPST Modalan dalam mendukung pengelolaan sampah melalui kegiatan pemilahan dan pengolahan sampah sehingga jumlah sampah yang dibuang ke TPA dapat dikurangi.

4.1.2 Diagram Alir Pengolahan Sampah

Untuk memahami proses pengelolaan sampah yang diterapkan di TPST Modalan, perlu diketahui alur pengolahan sampah mulai dari tahap penerimaan hingga pemanfaatan hasil pengolahan. Alur tersebut menunjukkan tahapan pengelolaan sampah yang menghasilkan produk berupa *Refuse Derived Fuel* (RDF) serta residu hasil pembakaran (*bottom ash*). Diagram alir pengelolaan sampah di TPST Modalan disajikan pada Gambar 4.2.



Keterangan:

- RDF : *Refuse Derived Fuel* (bahan bakar alternatif yang dihasilkan dari sampah anorganik)
Bottom Ash : Abu sisa pembakaran pada tungku insinerator
 Residu : Sisa pemilahan yang tidak memiliki nilai guna dan tidak dapat dimanfaatkan

Gambar 4. 2 Diagram Alir Pengelolaan sampah TPST Modalan

Gambar diatas menunjukkan alur pengelolaan sampah yang diterapkan di TPST Modalan Kabupaten Bantul. Sistem pengelolaan sampah di TPST Modalan dilakukan melalui beberapa tahapan mulai dari penerimaan sampah, pemilahan, pengolahan menjadi *Refuse Derived Fuel* (RDF), hingga pemanfaatan residu hasil pembakaran.

1. Proses awal

Proses pengelolaan sampah diawali dengan pengangkutan sampah dari paguyuban atau wilayah pelayanan menuju TPST Modalan. Sampah yang masuk kemudian ditimbang untuk mengetahui jumlah timbulan sampah yang diterima. Data penimbangan digunakan sebagai dasar pencatatan dan pemantauan kapasitas pengolahan sampah. Setelah dilakukan penimbangan, sampah dibongkar pada area penerimaan untuk selanjutnya memasuki proses pemilahan.



Gambar 4 .3 Timbangan Sampah di TPST Modalan



Gambar 4 .4 Pembongkaran Sampah pada Area Penerimaan

2. Pemilahan Sampah

Tahap pemilahan dilakukan untuk memisahkan sampah berdasarkan karakteristik dan potensi pemanfaatannya. Sampah yang

masih memiliki nilai ekonomis, seperti botol plastik, kardus, logam, dan material daur ulang lainnya, dipisahkan dan disalurkan kepada pengepul rosok. Sementara itu, sampah yang tidak memiliki nilai jual atau tidak dapat dimanfaatkan secara langsung dikategorikan sebagai residu. Residu ini selanjutnya diarahkan menuju proses pengolahan atau pembakaran untuk mengurangi volumenya.



Gambar 4 .5 Proses Pemilahan Sampah di TPST Modalan

3. Pemisahan Sampah Menggunakan Mesin Gibrig

Sampah yang telah dipilah kemudian diolah menggunakan mesin gibrig. Pada tahap ini dilakukan pemisahan antara fraksi organik dan fraksi anorganik. Pemisahan tersebut bertujuan untuk memudahkan proses pengolahan lanjutan sesuai dengan karakteristik masing-masing fraksi sampah. Fraksi organik umumnya terdiri atas sisa makanan, dedaunan, dan bahan organik lainnya yang memiliki kandungan air relatif tinggi. Sedangkan fraksi anorganik didominasi oleh plastik, kertas, tekstil, dan material lain yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif.



Gambar 4. 6 Alat Pemisahan Sampah dengan Mesin Gibrig

4. Produksi *Refuse Derived Fuel* (RDF)

Fraksi anorganik hasil pemisahan selanjutnya diproses melalui mesin *conveyor* untuk menghasilkan *Refuse Derived Fuel* (RDF). RDF merupakan bahan bakar alternatif yang berasal dari sampah yang telah melalui proses pengolahan sehingga memiliki karakteristik yang lebih seragam dibandingkan sampah campuran. RDF yang dihasilkan di TPST Modalan dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif oleh PT Solusi Bangun Indonesia (SBI) Tbk untuk mendukung kebutuhan energi dalam proses produksinya.



Gambar 4. 7 Mesin Konveyor



Gambar 4. 8 RDF yang Dihasilkan di TPST Modalan

5. Proses Pembakaran

Sampah Selain pemanfaatan sebagai RDF, sebagian fraksi sampah organik dan residu yang tidak dapat dimanfaatkan lebih lanjut diarahkan ke proses pembakaran. Proses pembakaran bertujuan untuk mengurangi volume sampah sekaligus meminimalkan jumlah residu yang harus ditangani pada tahap akhir pengelolaan.

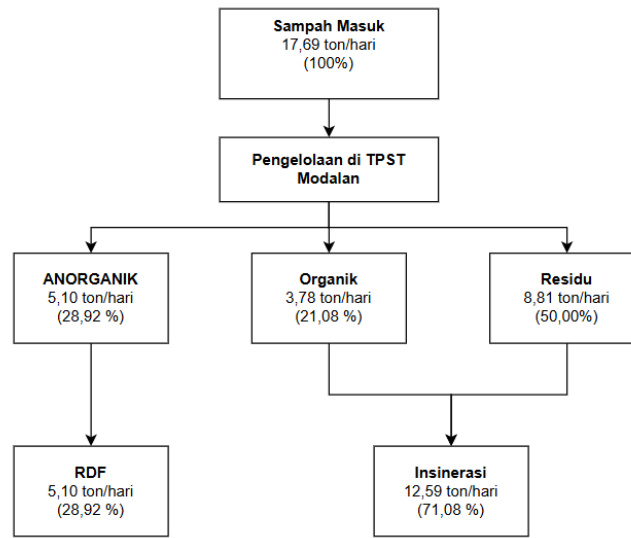
Proses pembakaran menghasilkan residu padat berupa bottom ash atau abu dasar pembakaran. Bottom ash merupakan material yang tertinggal pada dasar ruang bakar setelah proses pembakaran selesai berlangsung. Di TPST Modalan, bottom ash yang dihasilkan dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan paving block di TPS Pajangan.



Gambar 4. 9 Alat Insinerator TPST Modalan

4.1.3 Neraca Sampah

Neraca sampah digunakan untuk menggambarkan aliran material pada setiap tahapan pengelolaan sampah di TPST Modalan. neraca sampah disusun untuk menunjukkan distribusi sampah masuk ke TPST. Neraca sampah disajikan pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Neraca Massa TPST Modalan

Berdasarkan neraca sampah pada gambar, jumlah sampah yang masuk ke TPST Modalan sebesar 17,63 ton/hari (100%). Setelah melalui proses pengelolaan dan pemilahan, sampah tersebut terbagi menjadi tiga fraksi utama, yaitu sampah organik sebesar 3,78 ton/hari (21,08%), sampah anorganik sebesar 5,10 ton/hari (28,92%), dan residu sebesar 8,81 ton/hari (50,00%). Hasil ini menunjukkan bahwa fraksi residu merupakan komponen terbesar yang dihasilkan dari proses pengelolaan sampah di TPST Modalan, mencapai setengah dari total sampah masuk, sedangkan fraksi organik memiliki proporsi paling kecil dibandingkan dengan fraksi lainnya.

4.1.4 Komposisi Sampah

Untuk mengetahui karakteristik sampah yang dikelola di TPST Modalan, dilakukan analisis terhadap komposisi sampah berdasarkan hasil

pemilahan. Komposisi sampah tersebut dikelompokkan menjadi tiga fraksi utama, yaitu sampah anorganik, sampah organik, dan sampah residu. Hasil komposisi sampah di TPST Modalan disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Komposisi Sampah

Komposisi Sampah TPST Modalan		
Anorganik (%)	Organik (%)	Residu (%)
28,92	21,08	50,00

Komposisi sampah di TPST Modalan dikelompokkan menjadi tiga fraksi, yaitu anorganik, organik, dan residu. Pengelompokan ini dilakukan untuk memudahkan proses pengelolaan sesuai dengan karakteristik masing-masing jenis sampah. Pada TPST Modalan, fraksi anorganik hanya mengkategorikan sampah plastik, yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai bahan baku *Refuse Derived Fuel* (RDF). Fraksi organik terdiri atas sisa makanan, sayuran, buah-buahan, daun, ranting, dan material organik lainnya. Sementara itu, fraksi residu merupakan fraksi yang terdiri atas sampah anorganik selain plastik serta sampah lain yang tidak termasuk dalam fraksi organik, seperti logam, kaca, keramik, popok sekali pakai, pembalut, kain, baterai bekas, limbah B3 rumah tangga, dan material campuran lainnya.

4.2 Persiapan dan Pengujian Sampel

4.2.1 Preparasi Sampel

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas RDF baru (Fresh RDF), RDF Tersimpan, dan abu hasil pembakaran (*bottom ash*) yang diperoleh dari TPST Modalan, Kabupaten Bantul. RDF baru (Fresh RDF) merupakan RDF yang baru selesai diproduksi sehingga masih memiliki kadar air yang relatif tinggi. Sementara itu, RDF Tersimpan merupakan RDF yang telah disimpan dalam jangka waktu tertentu sehingga mengalami proses pengeringan dan memiliki kadar air yang lebih rendah dibandingkan RDF basah. Sementara itu, *bottom ash* merupakan residu padat hasil pembakaran sampah pada proses insinerasi.

Sebelum dilakukan pengujian laboratorium, sampel RDF pada kondisi basah terlebih dahulu dikeringkan untuk menurunkan kadar air. Setelah proses

pengeringan, sampel kemudian dihomogenkan dan diperkecil ukurannya agar diperoleh sampel yang lebih seragam dan representatif.

Selanjutnya, sampel RDF yang telah dikeringkan ditimbang menggunakan neraca analitik sebanyak 1 gram sebelum RDF dimasukkan ke *Furnace*, sedangkan sampel abu (*bottom ash*) ditimbang sebanyak 2 gram sesuai dengan kebutuhan analisis. Tahap penimbangan ini dilakukan untuk memperoleh jumlah sampel yang sesuai dan representatif sebelum dilakukan analisis lebih lanjut.



Gambar 4. 11 Proses Penimbangan Sampel *Bottom Ash*

4.2.2 Proses Pengabuan

Sampel RDF yang telah dipreparasi kemudian dilakukan proses pengabuan menggunakan *furnace* untuk keperluan analisis logam berat. Sampel RDF dimasukkan ke dalam cawan porselen, kemudian dipanaskan dalam *furnace* pada suhu 800°C selama 3 jam hingga seluruh kandungan organik terdekomposisi menjadi residu anorganik. Proses pengabuan ini bertujuan untuk menghilangkan komponen organik dalam sampel sehingga diperoleh residu abu yang stabil dan dapat digunakan untuk analisis logam berat.

Sementara itu, untuk analisis klorin, preparasi sampel dilakukan berdasarkan metode yang mengacu pada SNI 8966:2021 dengan penambahan reagen Eschka. Sampel RDF dicampurkan dengan reagen Eschka sebanyak 4 gr sesuai ketentuan metode, kemudian dihomogenkan secara merata untuk memastikan kontak yang baik antara sampel dan reagen. Penambahan Eschka berfungsi untuk mengikat unsur klorin selama proses pemanasan sehingga dapat

mengurangi kehilangan klorin akibat volatilitas dan meningkatkan akurasi hasil analisis.

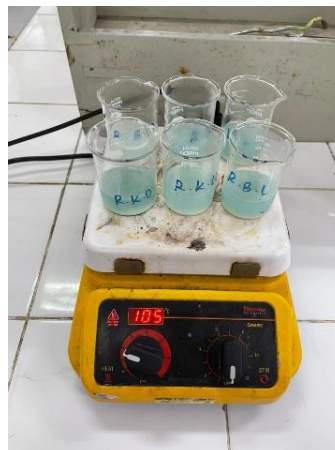


Gambar 4. 12 Proses Pengabuan Sampel Menggunakan *Furnace*

4.2.3 Proses Destruksi Sampel

Sampel hasil pengabuan selanjutnya dilakukan proses destruksi untuk melarutkan kandungan logam yang terdapat dalam sampel sehingga dapat dianalisis menggunakan instrumen laboratorium. Proses destruksi dilakukan menggunakan campuran larutan HNO_3 , HCl , dan H_2O_2 30% yang berfungsi untuk menghancurkan matriks sampel serta melarutkan unsur logam yang terkandung di dalamnya.

Campuran sampel dan larutan asam kemudian dipanaskan pada suhu 100°C selama 30 menit. Pemanasan dilakukan untuk mempercepat proses pelarutan unsur logam dalam sampel serta memastikan reaksi destruksi berlangsung secara optimal tanpa menyebabkan kehilangan analit yang akan dianalisis.



Gambar 4. 13 Proses Pemanasan Sampel

Setelah proses pemanasan selesai, larutan hasil destruksi didinginkan pada suhu ruang. Selanjutnya, larutan disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan residu yang tidak larut sehingga diperoleh filtrat yang lebih homogen. Filtrat hasil destruksi kemudian siap untuk dianalisis lebih lanjut menggunakan instrumen laboratorium. Analisis logam berat dilakukan menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) atau *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS), sedangkan analisis klorin dilakukan menggunakan metode *spektrofotometri UV-Vis*.



Gambar 4. 14 Pengujian Logam Berat Menggunakan AAS



Gambar 4. 15 Pengujian Klorin Menggunakan spektrofotometri UV-Vis.

4.3 Hasil Pengujian Logam Berat

Pengujian logam berat dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur logam berat pada RDF baru (Fresh RDF), RDF Tersimpan, dan *bottom ash* hasil pembakaran. Analisis ini bertujuan untuk menentukan konsentrasi logam berat pada masing-masing sampel serta membandingkan hasil pengujian dengan baku mutu yang berlaku. Parameter Cd, Cr, Pb, dan Zn mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.26/MENLHK/SETJEN/KUM.1/12/2020 tentang Penanganan Abu Dasar dan Abu Terbang Hasil Pengolahan Sampah Secara Termal.

4.3.1 Timbal (Pb)

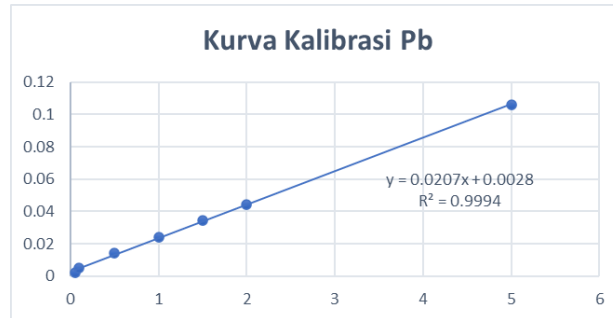
Paparan timbal (Pb) yang melampaui ambang batas aman dapat menimbulkan dampak serius bagi kesehatan. Logam ini berpotensi mengganggu fungsi sistem saraf, menurunkan kemampuan intelektual, serta menghambat proses pertumbuhan pada anak-anak. Oleh karena itu, pengujian kandungan Pb dilakukan untuk mengetahui konsentrasi timbal pada sampel RDF dan *bottom ash* hasil pembakaran.

Pembuatan kurva kalibrasi Pb dilakukan menggunakan beberapa larutan standar untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi larutan dengan nilai absorbansi yang dihasilkan. Data larutan standar Pb disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Data Larutan Standar Pb

Larutan Standar Pb	
cons (mg/l)	Abs
0.05	0.002
0.1	0.0049
0.5	0.014
1	0.0242
1.5	0.0342
2	0.0444
5	0.106
slope (a)	0.020726328
intercept (b)	0.0028

Berdasarkan data larutan standar diperoleh kurva kalibrasi Pb seperti pada Gambar 4.16.



Gambar 4. 16 Kurva Kalibrasi Pb

Hasil kurva kalibrasi Pb menunjukkan persamaan regresi linear yaitu $y=0,0207x-0,0028$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9994. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kurva kalibrasi memiliki hubungan yang sangat baik antara konsentrasi dan absorbansi sehingga dapat digunakan dalam perhitungan konsentrasi Pb pada sampel penelitian.

Persamaan regresi yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk menghitung konsentrasi Pb pada sampel RDF baru (Fresh RDF), RDF Tersimpan, dan *bottom ash*. Selanjutnya dilakukan pengujian kandungan Pb pada sampel RDF dan *bottom ash*. Hasil pengujian Pb dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Parameter Pb

Parameter	bobot (g)	volume akhir	Nama Sampel	Abs	faktor pengencer	cons akhir mg/l
Pb			Blanko	0.0024	1	-0.02
	2.0002	50	Bottom ash	0.0849	1	3.98
	0.4065	50	Rdf Baru	0.0059	1	0.17
	0.502	50	RDF Tersimpan	0.007	1	0.22

Berdasarkan hasil pengujian diketahui bahwa kandungan Pb tertinggi terdapat pada sampel *bottom ash* sebesar 3,98 mg/L, sedangkan kandungan Pb terendah terdapat pada RDF baru (Fresh RDF) sebesar 0,17 mg/L. Sementara itu, kandungan Pb pada RDF Tersimpan sebesar 0,22 mg/L. Tingginya kandungan Pb pada *bottom ash* menunjukkan bahwa logam timbal cenderung terakumulasi pada residu abu hasil pembakaran. Hasil pengujian Pb kemudian dibandingkan dengan baku mutu yang digunakan dalam penelitian untuk mengetahui kesesuaian kandungan logam berat terhadap standar yang berlaku.

Tabel 4. 4 Perbandingan Pb dengan Baku Mutu

Parameter Pengujian	Sampel	Hasil	Baku Mutu	Satuan
Pb	Bottom ash	3.98	0,5	Mg/L
	RDF Baru	0.17		
	RDF Tersimpan	0.22		

Berdasarkan hasil perbandingan dengan baku mutu, kandungan Pb pada sampel RDF baru (*Fresh RDF*) dan RDF Tersimpan masih berada di bawah ambang batas yang ditetapkan yaitu sebesar 0,5 mg/L sehingga memenuhi standar baku mutu yang digunakan. Namun, kandungan Pb pada sampel *bottom ash* berada di atas baku mutu karena memiliki nilai konsentrasi sebesar 3,98 mg/L. Tingginya kandungan Pb pada *bottom ash* diduga dipengaruhi oleh keberadaan baterai bekas, limbah elektronik, kabel, logam, serta limbah B3 rumah tangga yang tercampur dalam fraksi residu. Selama proses pembakaran, logam Pb cenderung terakumulasi pada residu abu hasil pembakaran sehingga konsentrasinya menjadi lebih tinggi.

4.3.2 Kadmium (Cd)

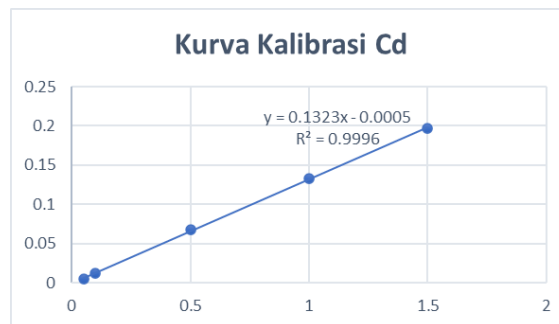
Kadmium (Cd) merupakan salah satu logam berat yang bersifat toksik dan berbahaya bagi lingkungan apabila berada dalam konsentrasi tinggi. Kandungan Cd pada RDF dapat berasal dari berbagai jenis limbah seperti baterai, plastik, cat, logam, serta sampah elektronik yang tercampur dalam sampah domestik. Oleh karena itu, pengujian kandungan Cd dilakukan untuk mengetahui konsentrasi kadmium pada sampel RDF dan *bottom ash* hasil pembakaran.

Larutan standar Cd digunakan untuk membuat kurva kalibrasi yang bertujuan mengetahui hubungan antara konsentrasi dan nilai absorbansi. Data larutan standar Cd dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Data Larutan Standar Cd

Larutan Standar Cd	
cons (mg/l)	Abs
0.05	0.0049
0.1	0.0118
0.5	0.0682
1	0.1328
1.5	0.1965
slope (a)	0.132283377
intercept (b)	-0.000498527

Berdasarkan data larutan standar diperoleh kurva kalibrasi Cd seperti pada Gambar 4.17.



Gambar 4. 17 Kurva Kalibrasi Cd

Berdasarkan kurva kalibrasi Cd diperoleh persamaan regresi linear yaitu $y = 0,1323x - 0,0005$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9996. Nilai tersebut menunjukkan bahwa hubungan antara konsentrasi dan absorbansi bersifat linear sehingga kurva kalibrasi dapat digunakan untuk menghitung konsentrasi Cd pada sampel penelitian.

Hasil pengujian kandungan Cd pada sampel RDF baru (Fresh RDF), RDF Tersimpan, dan *bottom ash* diperoleh berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan regresi dari kurva kalibrasi Cd. Hasil pengujian kandungan Cd dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Parameter Cd

Parameter	bobot (g)	volume akhir	Nama Sampel	Abs	faktor pengencer	cons akhir mg/l
Cd			Blanko	-0.0013	1	-0.01
	2.0002	50	Bottom ash	0.0388	1	0.30
	0.4065	50	Rdf Baru	0.0004	1	0.01
	0.502	50	RDF Tersimpan	0.0042	1	0.04

Berdasarkan hasil pengujian diketahui bahwa kandungan Cd tertinggi terdapat pada sampel *bottom ash* sebesar 0.30 mg/L. Sementara itu, kandungan Zn pada RDF baru (Fresh RDF) sebesar 0.01 mg/L dan RDF Tersimpan sebesar 0.04 mg/L. Hasil pengujian Cd kemudian dibandingkan dengan baku mutu yang digunakan dalam penelitian untuk mengetahui kesesuaian kandungan logam berat terhadap standar yang berlaku.

Tabel 4. 7 Perbandingan Cd dengan Baku Mutu

Parameter Pengujian	Sampel	Hasil	Baku Mutu	Satuan
Cd	Bottom ash	0.30	0,15	Mg/L
	RDF Baru	0.01		
	RDF Tersimpan	0.04		

Berdasarkan hasil perbandingan dengan baku mutu, kandungan Cd pada sampel RDF baru (*Fresh RDF*) dan RDF Tersimpan masih berada di bawah ambang batas yang ditetapkan yaitu sebesar 0,15 mg/L sehingga memenuhi standar baku mutu yang digunakan. Namun, kandungan Cd pada sampel *bottom ash* berada di atas baku mutu karena memiliki nilai konsentrasi sebesar 0,30 mg/L. Tingginya kandungan Cd pada *bottom ash* diduga dipengaruhi oleh keberadaan baterai bekas, limbah elektronik, plastik berpigmen, kabel, serta limbah B3 rumah tangga yang terdapat pada fraksi residu. Selama proses pembakaran, logam Cd cenderung terakumulasi pada residu abu hasil pembakaran sehingga konsentrasinya melebihi ambang batas yang ditetapkan.

4.3.3 Seng (Zn)

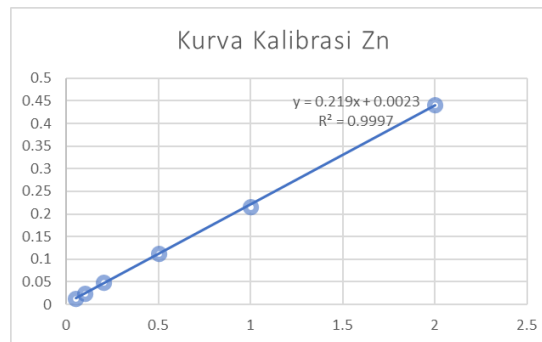
Seng (Zn) merupakan salah satu logam yang umum ditemukan pada sampah domestik maupun residu hasil pengolahan sampah. Kandungan seng pada RDF dapat berasal dari berbagai material seperti plastik, logam galvanis, baterai, kaleng, cat, maupun bahan pelapis logam lainnya yang tercampur dalam komposisi sampah. Keberadaan Zn dalam RDF dan *bottom ash* perlu diperhatikan karena logam berat dapat terakumulasi selama proses pengolahan dan pembakaran sehingga berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan apabila berada dalam konsentrasi tinggi.

Pengujian kandungan Zn dilakukan untuk mengetahui konsentrasi seng pada sampel RDF dan *bottom ash*. Sebelum pengujian sampel dilakukan, terlebih dahulu dibuat kurva kalibrasi Zn menggunakan larutan standar untuk memperoleh hubungan antara nilai absorbansi dan konsentrasi larutan.

Tabel 4. 8 Data Larutan Standar Zn

Larutan Standar Zn	
cons (mg/l)	Abs
0.05	0.0123
0.1	0.0239
0.2	0.0487
0.5	0.1134
1	0.2165
2	0.442
slope (a)	0.2189784
intercept (b)	0.0022889

Berdasarkan data larutan standar diperoleh kurva kalibrasi Zn seperti pada Gambar 4.18.



Gambar 4. 18 Kurva Kalibrasi Zn

Berdasarkan kurva kalibrasi Zn diperoleh persamaan regresi linear yaitu $y=0,219x+0,0023$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9997. Nilai tersebut menunjukkan bahwa hubungan antara konsentrasi dan absorbansi bersifat linear dan memiliki tingkat ketelitian yang baik. Kurva kalibrasi menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi larutan standar Zn, maka nilai absorbansi juga semakin meningkat. Persamaan regresi yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk menghitung konsentrasi Zn pada sampel RDF dan *bottom ash*. Selanjutnya dilakukan pengujian kandungan Zn pada sampel RDF baru (Fresh RDF), RDF Tersimpan, dan *bottom ash*. Hasil pengujian Zn dapat dilihat pada Tabel 4.9 berikut.

Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Parameter Zn

Parameter	bobot (g)	volume akhir	Nama Sampel	Abs	faktor pengencer	cons akhir mg/l
Zn			Blanko	0.1745	1	0.79
	2.0002	50	Bottom ash	0.2533	20	22.14
	0.4065	50	RdF Baru	0.123	10	4.73
	0.502	50	RdF Tersimpan	0.2828	5	5.62

Berdasarkan hasil pengujian diketahui bahwa kandungan Zn tertinggi terdapat pada sampel *bottom ash* sebesar 22,14 mg/L. Sementara itu, kandungan Zn pada RDF Tersimpan sebesar 5,62 mg/L dan RDF baru (Fresh RDF) sebesar 4,73 mg/L. Hasil pengujian Zn kemudian dibandingkan dengan baku mutu yang digunakan dalam penelitian untuk mengetahui kesesuaian kandungan logam berat Zn terhadap standar yang berlaku.

Tabel 4. 10 Perbandingan Zn dengan Baku Mutu

Parameter Pengujian	Sampel	Hasil	Baku Mutu	Satuan
Zn	Bottom ash	22.14	50	Mg/L
	RDF Baru	4.73		
	RDF Tersimpan	5.62		

Berdasarkan hasil perbandingan dengan baku mutu, kandungan Zn pada sampel RDF baru (Fresh RDF), RDF Tersimpan, dan *bottom ash* menunjukkan bahwa nilai konsentrasi berada di bawah ambang batas yang ditetapkan. Hal tersebut menunjukkan bahwa sampel memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan.

4.3.4 Kromium (Cr)

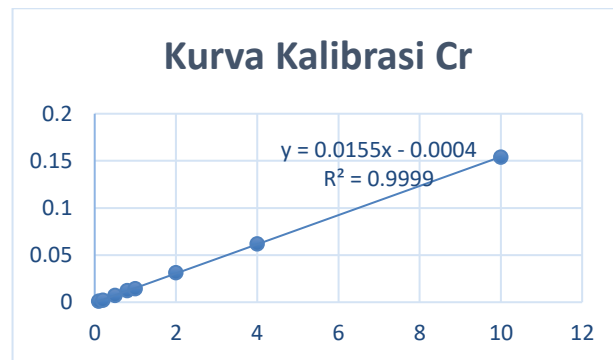
Kromium (Cr) merupakan salah satu logam berat yang dapat ditemukan pada sampah domestik maupun residu hasil pembakaran. Keberadaan Cr pada RDF umumnya berasal dari material logam, cat, plastik, pelapis logam, serta limbah elektronik yang tercampur dalam sampah. Pengujian kandungan Cr dilakukan untuk mengetahui kadar kromium pada RDF dan *bottom ash* hasil pembakaran. Keberadaan kromium perlu diperhatikan karena dapat mencemari lingkungan serta menimbulkan dampak kesehatan seperti gangguan sistem pernapasan, iritasi, hingga bersifat karsinogenik.

Untuk menentukan konsentrasi Cr pada sampel, terlebih dahulu dilakukan pembuatan kurva kalibrasi menggunakan larutan standar Cr. Kurva kalibrasi digunakan sebagai acuan dalam menghitung konsentrasi berdasarkan nilai absorbansi hasil pengujian. Data larutan standar Cr disajikan pada Tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Data Larutan Standar Cr

Larutan Standar Cr	
cons (mg/l)	Abs
0.1	0.001
0.2	0.0022
0.5	0.0073
0.8	0.0124
1	0.0144
2	0.0311
4	0.062
10	0.154
slope (a)	0.015470869
intercept (b)	-0.00042

Berdasarkan data larutan standar diperoleh kurva kalibrasi Cr seperti pada Gambar 4.18.



Gambar 4. 19 Kurva Kalibrasi Cr

Berdasarkan hasil kurva kalibrasi Cr diperoleh persamaan regresi linear yaitu $y = 0,0155x - 0,0004$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9999. Nilai tersebut menunjukkan bahwa hubungan antara konsentrasi dan absorbansi memiliki linearitas yang sangat baik sehingga kurva kalibrasi dapat digunakan untuk menghitung konsentrasi Cr pada sampel penelitian. Selanjutnya dilakukan pengujian kandungan Cr pada sampel RDF baru (Fresh RDF), RDF Tersimpan, dan *bottom ash*. Hasil pengujian Cr dapat dilihat pada Tabel 4.12 berikut.

Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Parameter Cr

Parameter	bobot (g)	volume akhir	Nama Sampel	Abs	faktor pengencer	cons akhir mg/l
Cr			Blanko	0.0011	1	0.10
	2.0002	50	Bottom ash	0.1312	1	8.41
	0.4065	50	RDF Baru	0.0126	1	0.74
	0.502	50	RDF Tersimpan	0.0135	1	0.80

Berdasarkan hasil pengujian diketahui bahwa kandungan Cr tertinggi terdapat pada sampel *bottom ash* sebesar 8,41 mg/L, sedangkan kandungan Cr terendah terdapat pada RDF baru (Fresh RDF) sebesar 0,74 mg/L. Sementara itu, kandungan Cr pada RDF Tersimpan sebesar 0,80 mg/L. Tingginya kandungan Cr pada *bottom ash* menunjukkan bahwa logam kromium cenderung terakumulasi pada residu abu hasil pembakaran. Hasil pengujian Cr kemudian dibandingkan dengan baku mutu yang digunakan dalam penelitian untuk mengetahui kesesuaian kandungan logam berat Cr terhadap standar yang berlaku.

Tabel 4. 13 Perbandingan Cr dengan Baku Mutu

Parameter Pengujian	Sampel	Hasil	Baku Mutu	Satuan
Cr	Bottom ash	8.41	2,5	Mg/L
	RDF Baru	0.74		
	RDF Tersimpan	0.80		

Berdasarkan hasil perbandingan dengan baku mutu sebesar 2,5 mg/L, kandungan Cr pada sampel RDF baru (*Fresh RDF*) sebesar 0,74 mg/L dan RDF Tersimpan sebesar 0,80 mg/L masih berada di bawah ambang batas yang ditetapkan sehingga memenuhi standar baku mutu yang digunakan. Namun, kandungan Cr pada sampel *bottom ash* sebesar 8,41 mg/L berada jauh di atas baku mutu. Tingginya kandungan Cr pada *bottom ash* diduga dipengaruhi oleh keberadaan besi, baja tahan karat (*stainless steel*), peralatan logam, limbah elektronik, serta material logam lainnya yang termasuk dalam fraksi residu. Selama proses pembakaran, logam Cr cenderung terakumulasi pada residu abu hasil pembakaran sehingga menyebabkan konsentrasinya melebihi baku mutu.

4.3.5 Besi (Fe)

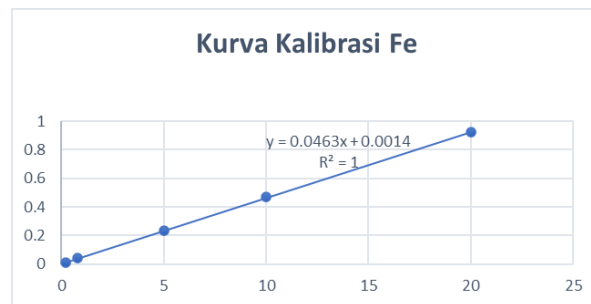
Besi (Fe) merupakan salah satu logam yang umum ditemukan pada sampah domestik maupun residu hasil pembakaran. Kandungan Fe pada RDF dapat berasal dari kaleng, logam, kawat, maupun material berbahan besi lainnya yang tercampur dalam sampah. Pengujian kandungan Fe dilakukan untuk mengetahui konsentrasi besi pada sampel RDF dan *bottom ash* hasil pembakaran.

Pembuatan kurva kalibrasi Fe dilakukan menggunakan larutan standar untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi dan nilai absorbansi. Data larutan standar Fe disajikan pada Tabel 4.14

Tabel 4. 14 Data Larutan Standar Fe

Larutan Standar Fe	
cons (mg/l)	Abs
0.2	0.008
0.8	0.039
5	0.233
10	0.468
20	0.925
slope (a)	0.04627814
intercept (b)	0.00139736

Berdasarkan data larutan standar diperoleh kurva kalibrasi Fe seperti pada Gambar 4.20.



Gambar 4. 20 Kurva Kalibrasi Fe

Berdasarkan hasil kurva kalibrasi Fe diperoleh persamaan regresi linear yaitu $y = 0,0463x + 0,0014$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 1. Nilai tersebut menunjukkan bahwa hubungan antara konsentrasi dan absorbansi memiliki tingkat linearitas yang sangat sempurna sehingga kurva kalibrasi dapat digunakan dengan baik dalam perhitungan konsentrasi Fe pada sampel penelitian. Selanjutnya dilakukan pengujian kandungan Fe pada sampel RDF dan *bottom ash*. Hasil pengujian Fe dapat dilihat pada Tabel 4.15 berikut.

Tabel 4. 15 Hasil Pengujian Parameter Fe

Parameter	bobot (g)	volume akhir	Nama Sampel	Abs	faktor pengencer	cons akhir mg/l
Fe			Blanko	0.0411	1	0.86
	2.0002	50	Bottom ash	0.3267	5	34.29
	0.4065	50	RDF Baru	0.34405	1	7.40
	0.502	50	RDF Tersimpan	0.34785	1	7.49

Berdasarkan hasil pengujian, kandungan Fe pada sampel *bottom ash* sebesar 34,29 mg/L, RDF dalam kondisi basah sebesar 7,40 mg/L, dan RDF Tersimpan sebesar 7,49 mg/L. Kandungan Fe tertinggi terdapat pada *bottom ash* yang menunjukkan bahwa logam besi cenderung terakumulasi pada residu abu hasil pembakaran. Hal ini sejalan dengan penelitian oleh Ida Ayu Rai Widhiawati dkk. (2025) mengenai karakterisasi abu hasil pembakaran sampah di Pusat Daur Ulang (PDU) Mengwitani Kabupaten Badung yang menunjukkan bahwa kandungan Fe pada abu hasil pembakaran mencapai 14.366,78 ppm. Tingginya kandungan Fe tersebut menunjukkan bahwa unsur logam dapat tertinggal dan terakumulasi pada residu abu selama proses pembakaran berlangsung.

4.4 Hasil Pengujian Klorin (Cl)

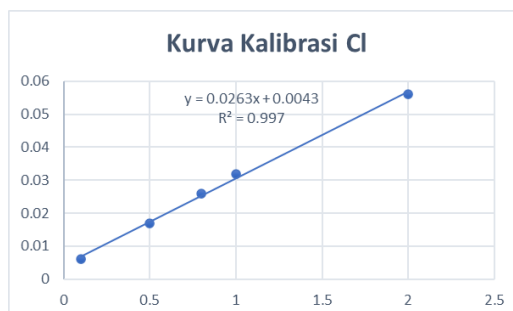
Pengujian klorin (Cl) dilakukan untuk mengetahui kandungan klorin pada sampel RDF dan *bottom ash* hasil pembakaran serta membandingkannya dengan baku mutu yang berlaku. Parameter klorin mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.26/MENLHK/SETJEN/KUM.1/12/2020 tentang Penanganan Abu Dasar dan Abu Terbang Hasil Pengolahan Sampah Secara Termal.

Klorin merupakan unsur kimia golongan halogen yang bersifat sangat reaktif dan umumnya digunakan sebagai desinfektan dalam pengolahan air. Di lingkungan, klorin dapat berasal dari aktivitas industri, penggunaan bahan kimia, serta proses pembakaran sampah yang mengandung senyawa klorin seperti plastik PVC. Pembuatan kurva kalibrasi Cl dilakukan menggunakan beberapa larutan standar untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi larutan dengan nilai absorbansi yang dihasilkan. Data larutan standar Cl disajikan pada Tabel 4.16.

Tabel 4. 16 Data Larutan Standar Cl

Larutan Standar Cl	
cons (mg/l)	Abs
0.1	0.006
0.5	0.017
0.8	0.026
1	0.032
2	0.056
slope (a)	0.02630
intercept (b)	0.00425

Berdasarkan data larutan standar diperoleh kurva kalibrasi Cl seperti pada Gambar 4.21.



Gambar 4. 21 Kurva Kalibrasi Cl

Berdasarkan hasil kurva kalibrasi Cl diperoleh persamaan regresi linear yaitu $y=0,0263x+0,0043$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,997. Nilai tersebut menunjukkan bahwa hubungan antara konsentrasi dan absorbansi memiliki linearitas yang baik sehingga kurva kalibrasi dapat digunakan untuk menghitung konsentrasi Cl pada sampel penelitian.

Hasil pengujian kandungan Cl pada sampel RDF baru (Fresh RDF), RDF Tersimpan, dan *bottom ash* diperoleh berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan regresi dari kurva kalibrasi Cl. Hasil pengujian kandungan Cl dapat dilihat pada Tabel 4.17.

Tabel 4. 17 Hasil Pengujian Parameter Cl

Parameter	bobot (g)	volume akhir	Nama Sampel	Abs	faktor pengencer	cons akhir mg/l
Cl			Blanko	0.004	1	-0.01
	1.0007	50	RDF Tersimpan	0.036	1	1.05
	1.0004	50	RDF Baru	0.036	1	1.05
	1.0028	50	Bottom ash	0.009	1	0.03

Berdasarkan hasil pengujian diketahui bahwa kandungan Cl pada sampel RDF baru (Fresh RDF) dan RDF Tersimpan memiliki nilai konsentrasi yang sama yaitu sebesar 1,05 mg/L, sedangkan kandungan Cl pada *bottom ash* sebesar 0,03 mg/L. Tingginya kandungan Cl pada RDF menunjukkan bahwa material penyusun RDF masih mengandung senyawa klorin yang berasal dari campuran sampah, terutama plastik dan bahan anorganik lainnya. Sementara itu, kandungan Cl pada bottom ash jauh lebih rendah.

Hasil pengujian Cl kemudian dibandingkan dengan baku mutu yang digunakan dalam penelitian untuk mengetahui kesesuaian kandungan Klorin terhadap standar yang berlaku.

Tabel 4. 18 Perbandingan Cl dengan Baku Mutu

Parameter Pengujian	Sampel	Hasil	Baku Mutu	Satuan
Cl	RDF Tersimpan	1.05	12.5	Mg/L
	RDF Baru	1.05		
	Bottom ash	0.03		

Berdasarkan hasil perbandingan dengan baku mutu yang mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.26/MENLHK/SETJEN/KUM.1/12/2020 tentang Penanganan Abu Dasar dan

Abu Terbang Hasil Pengolahan Sampah Secara Termal, kandungan Cl pada sampel RDF baru (Fresh RDF) sebesar 1,05 mg/L, RDF Tersimpan sebesar 1,05 mg/L, dan *bottom ash* sebesar 0,03 mg/L masih berada di bawah ambang batas yang ditetapkan yaitu sebesar 12,5 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa seluruh sampel masih memenuhi standar baku mutu yang digunakan.

4.5 Perbedaan Karakteristik pada RDF dan *Bottom Ash*

Berdasarkan hasil pengujian, kandungan logam berat pada RDF baru (Fresh RDF), RDF Tersimpan, dan *bottom ash* menunjukkan adanya perubahan konsentrasi pada setiap tahapan pengolahan sampah. Konsentrasi logam berat pada RDF Tersimpan cenderung lebih tinggi dibandingkan RDF baru (Fresh RDF) yang mengindikasikan adanya pengaruh proses pengeringan terhadap peningkatan konsentrasi logam berat akibat berkurangnya kadar air dalam sampel.

Selanjutnya, kandungan logam berat pada *bottom ash* cenderung lebih tinggi dibandingkan RDF baru (Fresh RDF) maupun RDF Tersimpan. Hal tersebut dipengaruhi oleh komposisi sampah yang masuk ke dalam insinerator yang terdiri dari sampah organik, residu seperti kain dan popok, logam, kaca, sampah B3 seperti baterai, serta sampah elektronik. Material tersebut mengandung berbagai unsur logam berat yang dapat tertinggal dan terakumulasi pada *bottom ash* setelah proses pembakaran. Sementara itu, material yang dijadikan RDF didominasi oleh sampah plastik sehingga kandungan logam berat pada RDF cenderung lebih rendah dibandingkan *bottom ash*.

Proses pembakaran menyebabkan material organik mengalami pengurangan massa, sedangkan unsur logam tidak terbakar dan tertinggal pada residu abu. Kondisi tersebut menyebabkan kandungan logam berat pada *bottom ash* menjadi lebih tinggi dibandingkan sampel RDF sebelum pembakaran. Dengan demikian, *bottom ash* hasil pembakaran memiliki potensi akumulasi logam berat yang lebih besar dibandingkan RDF.

Selain menunjukkan potensi akumulasi logam berat, keberadaan *bottom ash* hasil pembakaran juga perlu mendapat perhatian dalam aspek pengelolaan lingkungan. Berdasarkan hasil observasi di TPST Modalan, *bottom ash* hasil pembakaran ditampung dalam kontainer penyimpanan dan jumlahnya terus

bertambah seiring berlangsungnya proses insinerasi. Penumpukan *bottom ash* tersebut berpotensi menimbulkan permasalahan lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Kandungan logam berat yang terdapat pada *bottom ash* dapat berpotensi terlepas ke lingkungan melalui proses pelindian (*leaching*) akibat kontak dengan air hujan atau kondisi lingkungan lainnya. Oleh karena itu, diperlukan pengelolaan dan pemantauan *bottom ash* secara berkelanjutan untuk meminimalkan potensi dampak lingkungan yang dapat ditimbulkan.

4.6 Rekomendasi Teknis Pengelolaan Residu Hasil Pembakaran di TPST Modalan

Berdasarkan hasil penelitian, kandungan logam berat pada RDF baru (*Fresh RDF*) dan RDF tersimpan masih memenuhi baku mutu yang digunakan. Sebaliknya, pada *bottom ash* ditemukan bahwa kandungan Pb, Cd, dan Cr melebihi baku mutu yang berlaku. Temuan tersebut menunjukkan bahwa residu hasil pembakaran masih mengandung logam berat dalam konsentrasi yang berpotensi menimbulkan risiko terhadap lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Oleh karena itu, diperlukan beberapa upaya teknis untuk meminimalkan masuknya sumber logam berat ke dalam insinerator serta meningkatkan pengelolaan *bottom ash* yang dihasilkan.

4.6.1 Optimalisasi pemilahan limbah B3 sebelum proses insinerasi

TPST Modalan disarankan meningkatkan pemilahan limbah B3 rumah tangga, seperti baterai bekas, lampu, limbah elektronik, cat, dan material lain yang berpotensi mengandung logam berat. Pemisahan limbah tersebut sebelum residu masuk ke proses pembakaran dapat mengurangi masuknya logam berat ke dalam insinerator sehingga kandungan logam berat pada *bottom ash* dapat diminimalkan.

4.6.2 Tidak memasukkan limbah B3 ke dalam insinerator

Limbah B3 rumah tangga sebaiknya dipisahkan dari residu yang akan dibakar menggunakan insinerator. Limbah tersebut perlu dikelola melalui mekanisme pengelolaan limbah B3 sesuai ketentuan yang berlaku sehingga tidak menjadi sumber akumulasi logam berat pada *bottom ash*.

4.6.3 Monitoring kandungan logam berat pada *bottom ash* secara berkala

TPST Modalan disarankan melakukan pengujian kandungan logam berat pada *bottom ash* secara berkala sebagai bagian dari pengendalian kualitas residu hasil pembakaran. Monitoring ini dapat digunakan untuk mengevaluasi efektivitas proses pemilahan limbah B3 serta mengetahui perubahan kandungan logam berat selama operasional insinerator.

4.6.4 Memperluas kerja sama pemanfaatan *bottom ash*

Saat ini *bottom ash* hasil pembakaran di TPST Modalan telah dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan paving block melalui kerja sama dengan salah satu pihak. Namun, apabila kapasitas penerimaan pihak tersebut terbatas, terdapat potensi terjadinya penumpukan *bottom ash* di area TPST. Oleh karena itu, TPST Modalan disarankan memperluas kerja sama dengan pihak lain yang memiliki kemampuan dan memenuhi ketentuan dalam memanfaatkan *bottom ash*, seperti industri bahan bangunan atau pihak lain yang telah memiliki izin pemanfaatan residu hasil pembakaran. Upaya ini diharapkan dapat mengurangi penumpukan *bottom ash* serta mendukung pengelolaan residu yang lebih berkelanjutan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan mengenai kandungan logam berat dan klorin pada RDF dan *bottom ash* di TPST Modalan Bantul, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Kandungan klorin (Cl) dan logam berat timbal (Pb), besi (Fe), seng (Zn), kadmium (Cd), dan kromium (Cr) pada RDF yang dihasilkan di TPST Modalan Bantul menunjukkan nilai konsentrasi yang berbeda pada setiap parameter. Hasil pengujian pada RDF baru (*Fresh RDF*) menunjukkan kandungan Pb sebesar 0,17 mg/L, Fe sebesar 7,40 mg/L, Zn sebesar 4,73 mg/L, Cd sebesar 0,01 mg/L, Cr sebesar 0,74 mg/L, dan Cl sebesar 1,05 mg/L. Sementara itu, pada RDF Tersimpan diperoleh kandungan Pb sebesar 0,22 mg/L, Fe sebesar 7,49 mg/L, Zn sebesar 5,62 mg/L, Cd sebesar 0,04 mg/L, Cr sebesar 0,80 mg/L, dan Cl sebesar 1,05 mg/L. Seluruh parameter pada RDF baru (*Fresh RDF*) dan RDF Tersimpan masih berada di bawah baku mutu yang digunakan.
2. Kandungan klorin (Cl) pada logam berat timbal (Pb), besi (Fe), seng (Zn), kadmium (Cd), dan kromium (Cr) pada *bottom ash* hasil pembakaran di TPST Modalan Bantul menunjukkan konsentrasi yang lebih tinggi dibandingkan RDF pada beberapa parameter logam berat. Hasil pengujian pada *bottom ash* menunjukkan kandungan Pb sebesar 3,98 mg/L, Fe sebesar 34,29 mg/L, Zn sebesar 22,14 mg/L, Cd sebesar 0,30 mg/L, Cr sebesar 8,41 mg/L, dan Cl sebesar 0,03 mg/L. Parameter Pb, Cd, dan Cr pada *bottom ash* melebihi baku mutu yang digunakan, sedangkan parameter Zn dan Cl masih berada di bawah baku mutu. Tingginya kandungan logam berat pada *bottom ash* menunjukkan adanya akumulasi logam pada residu abu hasil pembakaran selama proses insinerasi berlangsung.
3. Terdapat perbedaan karakteristik antara RDF dan *bottom ash* berdasarkan kandungan klorin dan logam berat. *Bottom ash* memiliki kandungan logam berat yang lebih tinggi dibandingkan RDF ini di pengaruhi oleh komposisi

sampah yang masuk ke insinerator.. Sebaliknya, kandungan klorin pada *bottom ash* lebih rendah dibandingkan RDF baru (*Fresh RDF*) dan RDF Tersimpan. Berdasarkan hasil tersebut, diperlukan optimalisasi pemilahan limbah B3 sebelum proses insinerasi, monitoring kandungan logam berat pada *bottom ash* secara berkala, serta penguatan kerja sama dalam pemanfaatan *bottom ash* agar pengelolaan residu hasil pembakaran menjadi lebih optimal.

5.2 Saran

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji karakteristik dan potensi pelindian (*leaching*) logam berat pada *bottom ash* hasil pembakaran sampah guna mengetahui potensi pelepasan logam berat ke lingkungan selama proses penyimpanan maupun pemanfaatannya.
2. Perlu dilakukan pemilahan sampah yang lebih optimal, terutama terhadap sampah yang berpotensi mengandung logam berat seperti baterai, sampah elektronik, logam, dan limbah B3 lainnya sebelum masuk ke proses pembakaran agar dapat mengurangi kandungan logam berat pada *bottom ash*.
3. Perlu dilakukan pengelolaan dan penanganan *bottom ash* secara tepat karena beberapa parameter logam berat seperti Pb, Cd, dan Cr menunjukkan nilai yang melebihi baku mutu yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. 2019. Enviromental Chemistry and Ecotoxicology of Hazardous Heavy Metals: Enviromental persistence, Toxicity, and Bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, 2019(4), 1-14.
- Aminatun, T., Rakhmawati, A., Budiasih, K. S., Marfuatun, B. S., Amin, A. N., Arifin, D. M. N., & Putri, A. S. (2024). Identifikasi logam berat kromium di tiga sungai yang melintasi Kota Yogyakarta dan potensi fitoremediasinya. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(3), 620–631.
- Andrianingsih, R. T., G. Samudro, M. A. Budiharjo, B. Lokahita, Syafrudin, M. Hadiwidodo, I. W. Wardhana. (2018). Potensi sampah combustible pada zona aktif 1TPA Jatibarang Semarang sebagai bahan baku RDF (*Refuse Derived Fuel*). *Jurnal Teknik Mesin*. 7 (1): 15-18.
- Aninuddin, M. Q. A. A. dan Rosariawari, F. (2021). Potensi pemanfaatan sampah TPS di Kabupaten Gresik sebagai bahan bakar *Refuse Derived Fuel* (studi kasus TPS Peganden). *Jurnal Teknik Lingkungan*. 2 (1), 67- 74.
- Annisa, M. N., & Gala, S. (2025). Perbandingan kadar klorida dalam sampel air limbah dengan metode titrasi argentometri: Mohr, Fajans, dan Volhard. *Journal of Scientch Research and Development*, 7(1).
- Aries, A. A., Suyasa, I. W. B., dan Manuaba, I. B. P. 2026. Pembuatan dan Uji Kualitas Produk Briket Arang dari Campuran Janur Sisa Canang, Kulit Kacang Tanah, dan Ampas Kopi. *Jurnal Kimia (Journal of Chemistry)*, 20(1), 73–79.
- Asmorowati, D.S., Sumarti, S.S. & Kristanti, I.I. (2020). Perbandingan metode destruksi basah dan destruksi kering untuk analisis timbal dalam tanah di sekitar laboratorium kimia FMIPA UNNES. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 9(3): 169-173.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). SNI 19-2454-2002: Tata cara teknik operasional pengolahan sampah perkotaan. *Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN)*.
- Damanhuri, E., & Padmi, T. (2019). Pengolahan sampah terpadu (Edisi ke-2). *Bandung: ITB Press*.

- Hardianto, H., Sudiasa, I. N., & Seran, M. V. (2020). Feasibility study on the development of integrated solid waste treatment facility (TPST) in Sitirejo Malang, Indonesia. *Journal of Community Based Environmental Engineering and Management*, 4(1), 9–14.
- Hasanuddin, H., & Leonard, F. (2023). Konsentrasi logam berat besi (Fe), mangan (Mn), tembaga (Cu) pada perairan Sungai Radda. Metta: *Jurnal Penelitian Multidisiplin Ilmu*, 2(4), 2167–2172.
- Huber, F., Blasenbauer, D., Aschenbrenner, P., & Fellner, J. (2020). Complete determination of the material composition of municipal solid waste incineration bottom ash. *Waste Management*, 102, 677–685.
- Iresha, F. M., Gutama, H., & Rizkianto, F. (2026). Pandangan era transisi pengelolaan sampah di Indonesia: Dari berbasis masyarakat menuju Waste to Energy. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 18(2), 247–260.
- Johari, A., Hashim, H., Mat, R., Alias, H., Hassim, M., & Rozzainee, M. (2012). Generalization, formulation and heat contents of simulated MSW with high moisture content. *Journal of Engineering Science and Technology*, 7(6), 701–710.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2024). Sistem Informasi Pengolahan Sampah Nasional (SIPSN): *Data Timbulan dan Pengolahan Sampah Kabupaten/Kota Tahun 2024*. Diakses dari <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/data/timbulan>
- Lisbona, P., Pascual, S., & Pérez, V. (2023). Waste to energy: Trends and perspectives. *Chemical Engineering Journal Advance*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.ceja.2023.100494>
- Maharani, E. P., Briliana, H., Putri, E. H., Faraditta, F. S., & Az-zhaffirah, A. R. (2024). A Comprehensive Review on Atomic Absorption Spectroscopy: Principles, Techniques, and Applications. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 10(15), 20–29.
- Maulana, E., Suwandi, A., Rahmalina, D., Firman, L. O. M., Suyitno, B. M., & Mahandika, D. (2021). Analisis kinerja refuse derived fuel (RDF) dari sampah organik dan non organik dengan pendekatan simulasi software. *Jurnal Teknologi*, 13(1), 109–114.

- Pratiwi, R. A., & Nandiyanto, A. B. D. (2022). How to Read and Interpret UV-VIS Spectrophotometric Results in Determining the Structure of Chemical Compounds. *Indonesian Journal of Educational Research and Technology*, 2(1), 1–20.
- Putri, V. D. H., & Purnamasari, A. P. (2022). Penetapan kadar Klorin dalam air danau Universitas Negeri Surabaya secara argentometri. *Indonesian Chemistry and Application Journal*, 5(1).
- Ratnasari, A., Asharhani, I. S., Sari, M. G., Hale, S. R., & Pratiwi, H. (2019). Edukasi pemilahan sampah sebagai upaya preventif mengatasi masalah sampah di lingkungan sekolah. *Prosiding Konferensi Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat Dan Corporate Social Responsibility (PKM-CSR)*, 2, 652-659.
- Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN). 2025. *Komposisi Sampah Kabupaten Bantul Tahun 2025*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia.
- Simatupang, M., Veronika, E., Irfandi, A., & Azteria, V. (2024). Potential Impacts of Lead on Health: A Review of Environmental Exposure, Population at Risk, and Toxic Effects. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 16(3), 277–288. <https://e-journal.unair.ac.id/JKL/article/view/55912/29406>
- Stefani Yulindriani Ria S., & Sunartono. (2024, 03 Juli). Beroprasi September 2024, TPST Modalan Akan Menampung Sampah 27 Ribu di Banguntapan. *Harian Jogja*.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengolahan Sampah. *Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2008 Nomor 69*. Jakarta: Sekretariat Negara.
- Warsinah, W., Suheryanto, S., & Windusari, Y. (2015). Kajian cemaran logam berat timbal (Pb) pada kompartemen di sekitar tempat pembuangan akhir (TPA) Sukawinatan Palembang. *Jurnal Penelitian Sains (JPS) MIPA UNSRI*, 17(2), 17213–17281.
- Widhiawati, I. A. R., Praniti, A. A. I., Wiryananda, N. G. A. K., & Andika, I. B. M. B. (2025). KARAKTERISASI ABU HASIL PEMBAKARAN SAMPAH DI PUSAT DAUR ULANG (PDU) MENGWITANI KABUPATEN BADUNG. *Konferensi Nasional Teknik Sipil*, 3(4), 742-751.

- Widyaningrum, S. R., Roza, F. N., Hanifah, W., & Assalami, A. (2025). Penyisihan cadmium dalam sintesis air limbah industri dengan proses adsorpsi batch menggunakan zeolit alam. *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, 5(5), 682–692.
- Widyastuti, D., Suprayitno, D., & Rahardjo, P. P. (2023). Potensi bambu air sebagai tanaman hiperakumulator logam berat Zn pada leachate menggunakan metode fitoremediasi. *Jurnal Green House*, 2(1), 32–37.
- Wisprantoko, F. A., Winaya, I. N. S., & Lokantara, I. P. (2025). Perbandingan Performansi Insinerator Tipe Fluidized Bed Dan Fixed Bed Terhadap Co-firing Batu Bara Dan Refuse Derived Fuel. *Tekni Desain Mekanika*, 14(2).
- Xie, Y., Zhang, H., Wang, Q., Li, J., & Chen, Z. (2023). Effect of granulation on chlorine-release behavior during municipal solid waste incineration. *RSC Advances*, 13, 24854–24864.
- Yui, S., Ito, K., Takahashi, F., & Zhang, Z. (2021). Behavior of heavy metals during RDF combustion and distribution in ash residues. *Waste Management*, 150, 373–384.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Pengambilan Sampel

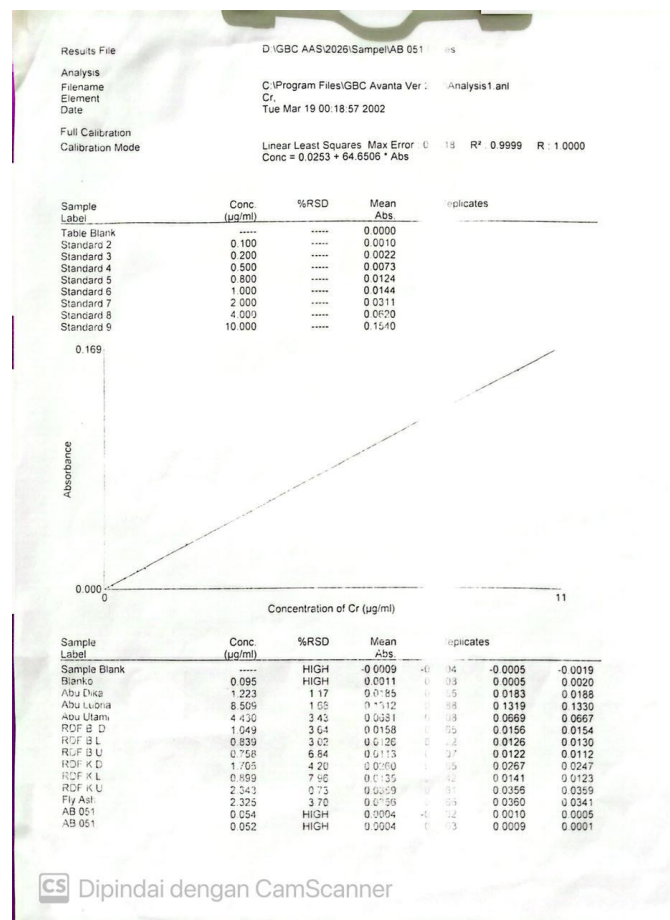


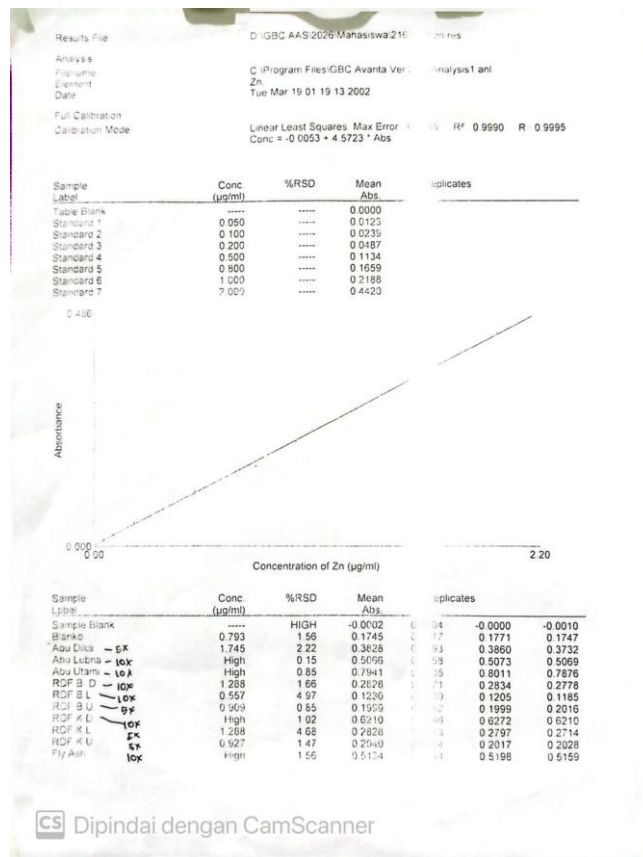
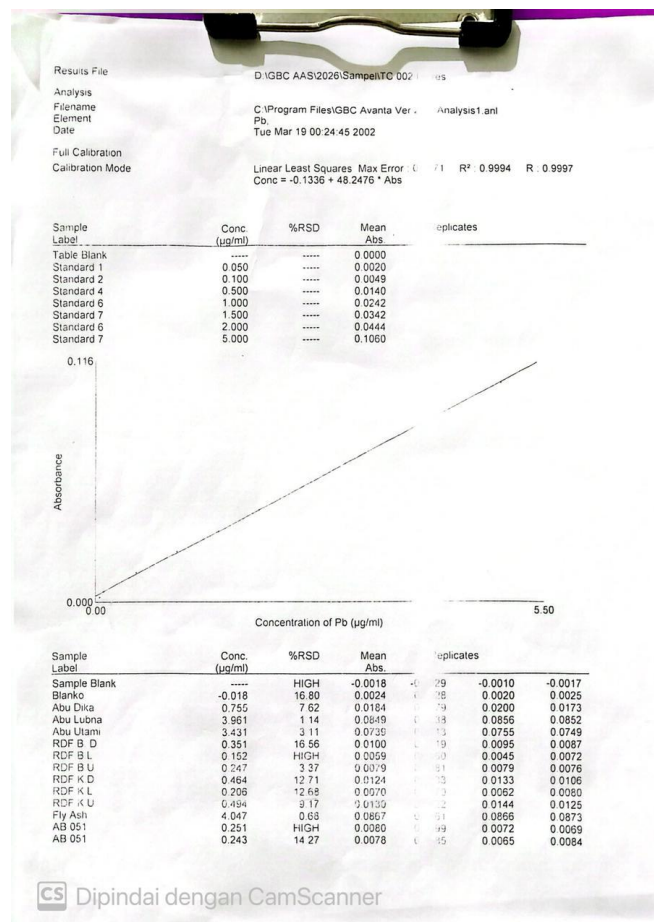
Lampiran 2 Dokumentasi Pengujian Sampel di Laboratorium

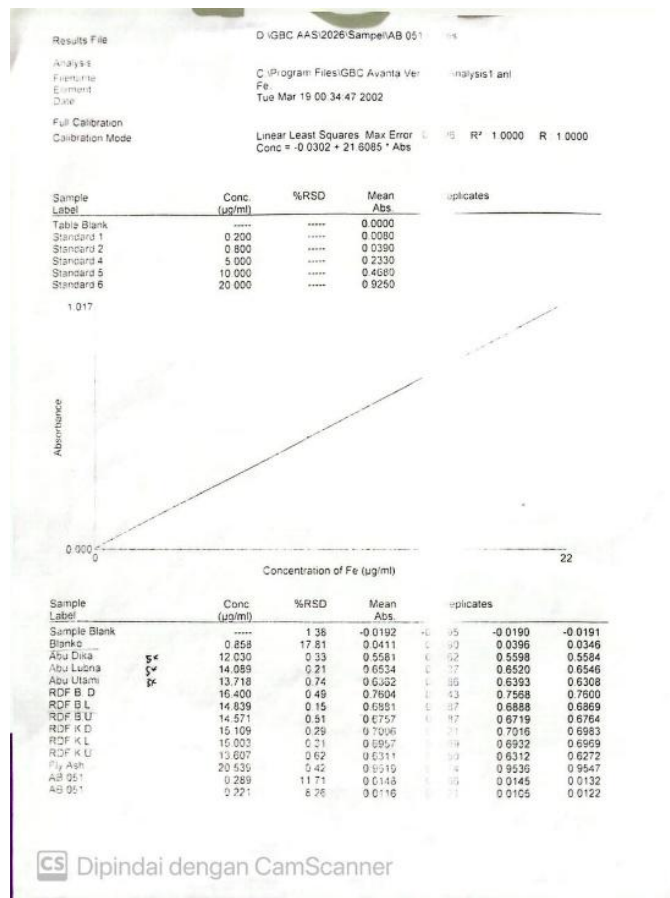
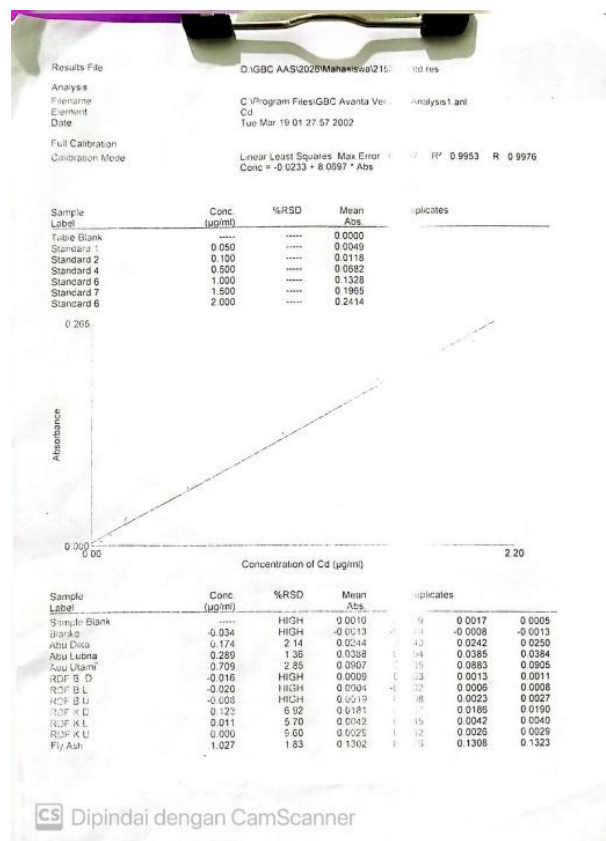




Lampiran 3 Hasil Pembacaan Logam Berat Menggunakan AAS







RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Lubna Mutiara Adha dan biasa dipanggil Lubna. Penulis merupakan anak keempat dari empat bersaudara dan lahir di Paok Lombok, Kecamatan Suralaga, Lombok Timur, Nusa Tenggara Barat pada tanggal 1 Februari 2004. Penulis merupakan putri dari pasangan H. Ahmad Nawawi dan Hj. Mutmainnah. Penulis memiliki tiga kakak perempuan yaitu Daulatul Aspiyak, S.Pd., Zukiyani, Amd.Keb., dan Salwa Aulia, S.I.P., M.Si.

Penulis menempuh pendidikan dasar di MI dan melanjutkan pendidikan MTs hingga MA di Pondok Pesantren Unwanul Falah NWDI Paok Lombok. Selama menempuh pendidikan MTs sampai MA, penulis juga menjalani pendidikan pesantren selama kurang lebih lima tahun. Saat ini penulis merupakan mahasiswa tingkat akhir Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia angkatan 2022.

Selama masa perkuliahan, penulis pernah mengikuti kegiatan kepanitiaan sebagai staff divisi kesekretariatan ENVIROLYMPIC of UII tahun 2022. Penulis juga aktif dalam organisasi LDF Al Mustanir FTSP pada departemen kewirausahaan tahun 2023. Pada semester 7, penulis melaksanakan kerja praktik di TPST Tamanmartani di bawah naungan UPTD Persampahan Sleman.