

Nomor Urut: 053 A/UN7.F3.6.8.TL/DL/IX/2025
054 A/UN7.F3.6.8.TL/DL/IX/2025

Laporan Tugas Akhir

**PERANCANGAN INSINERATOR DENGAN ALAT
PENGENDALI EMISI UNTUK MENGELOLA SAMPAH
HASIL *LANDFILL MINING* DI TPA JATIBARANG, KOTA
SEMARANG**



Disusun Oleh:

Istikomah	21080122120008
Namira Fawzia Putri	21080122120014

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

2026

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

NAMA : Istikomah
 NIM : 21080122120008
 Jurusan/Departemen : Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Undip
 Judul Skripsi : Perancangan Insinerator dengan Alat Pengendali Emisi untuk
 Mengelola Sampah Hasil Landfill Mining di TPA Jatibarang,
 Kota Semarang

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

Pembimbing I:

Dr. Ir. Ika Bagus Priyambada, S.T., M.Eng.
 197103011998031001



Pembimbing II:

Dr. Ir. Haryono Setiyo Huboyo, S.T., M.T., IPU., ASEAN Eng.
 197402141999031002



Ketua Penguji:

Prof. Dr. Ir. Syafrudin, CES, M.T., IPU., ASEAN Eng.
 195811071988031001



Anggota Penguji:

Dr. Eng. Bimastyaji Surya Ramadan, S.T., M.T., IPM
 199203242019031016



Semarang, 18 Februari 2026
 Program Studi Teknik Lingkungan
 Fakultas Teknik Undip
 Ketua



Prof. Dr. Ir. Badrus Zaman, S.T., M.T., IPU., ASEAN Eng.
 NIP. 197208302000031001

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

NAMA : Namira Fawzia Putri
 NIM : 21080122120014
 Jurusan/Departemen : Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Undip
 Judul Skripsi : Perancangan Insinerator dengan Alat Pengendali Emisi untuk
 Mengelola Sampah Hasil Landfill Mining di TPA Jatibarang,
 Kota Semarang

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

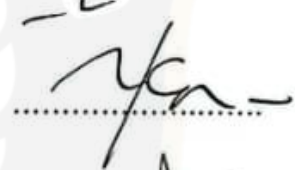
Pembimbing I:

Dr. Ir. Haryono Setiyo Huboyo, S.T., M.T., IPU., ASEAN Eng.
 197402141999031002



Pembimbing II:

Dr. Ir. Ika Bagus Priyambada, S.T., M.Eng.
 197103011998031001



Ketua Penguji:

Dr. Eng. Bimastyaji Surya Ramadan, S.T., M.T., IPM
 199203242019031016



Anggota Penguji:

Prof. Dr. Ir. Syafrudin, CES, M.T., IPU., ASEAN Eng.
 195811071988031001



Semarang, 18 Februari 2026
 Program Studi Teknik Lingkungan
 Fakultas Teknik Undip
 Ketua



Prof. Dr. Ir. Badrus Zaman, S.T., M.T., IPU., ASEAN Eng.
 NIP. 197208302000031001



ABSTRAK

TPA Jatibarang Kota Semarang telah mengalami *overload* untuk menampung sampah. Kondisi ini dapat menimbulkan dampak negatif pada segala aspek baik dampak ke masyarakat dari segi kesehatan maupun lingkungan. Dengan adanya kondisi tersebut dan mengacu pada Peraturan Presiden Nomor 109 Tahun 2025 tentang Penanganan Sampah Perkotaan Melalui Pengolahan Sampah Menjadi Energi Terbarukan Berbasis Teknologi Ramah Lingkungan, Kota Semarang akan melakukan pembangunan PSEL. Berdasarkan peraturan tersebut maka sampah segar di Kota Semarang telah teratasi dengan adanya PSEL, sedangkan di TPA memiliki dua zona pasif yang juga memiliki timbunan sampah lama dalam jumlah yang besar. Sampah lama tersebut membutuhkan teknologi termal untuk mengelola secara efektif dan efisien. Teknologi yang tepat digunakan yaitu insinerator yang dilengkapi dengan alat pengendali udara berupa *wet scrubber*. Pada perancangan ini akan dibuat dua rangkaian alat yang identik untuk mengantisipasi *input* sampah yang *dimining* kecil sehingga hanya perlu menggunakan satu rangkaian alat saja. Insinerator yang dirancang tipe *grate* yang memiliki kapasitas 280,87 ton/ hari dengan waktu operasional 24 jam dan 335 hari dalam setahun. Dari identifikasi emisi yang dihasilkan terdapat 4 parameter yang melebihi baku mutu yaitu SO₂, CO, NO₂, dan TSP. Baku mutu yang digunakan yaitu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 70 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Emisi Usaha dan/atau Kegiatan Pengolahan Sampah Termal. Berdasarkan emisi yang dihasilkan maka alat pengendali terpilih yaitu *wet scrubber* dengan tipe *packed tower* dan jenis *packing rischig rings* untuk dapat meremoval gas buang dan partikulat yang dihasilkan. Hasil emisi setelah adanya *wet scrubber* telah memenuhi baku mutu yaitu CO sebesar 317,88 mg/m³, SO₂ sebesar 12,74 mg/m³, NO₂ sebesar 440,22 mg/m³, dan TSP sebesar 101,42 mg/m³. Hasil ini menunjukkan bahwa perancangan alat yang dibuat telah menyelesaikan masalah terkait pengelolaan sampah teknologi termal secara efektif dan tetap ramah lingkungan dengan dilengkapi alat pengendali emisi. Pada rangkaian alat ini juga digunakan *economizer* untuk menurunkan suhu dari *outlet* insinerator sebesar 988,34°C menjadi 600°C.

Kata kunci: sampah, *landfill mining*, insinerator, *wet scrubber*

ABSTRACT

The Jatibarang Landfill in Semarang City has experienced overcapacity in accommodating municipal solid waste. This condition may lead to negative impacts across various aspects, including public health and environmental quality. In response to this situation and in accordance with Presidential Regulation Number 109 of 2025 concerning Urban Waste Management through the Conversion of Waste into Renewable Energy Based on Environmentally Friendly Technology, the City of Semarang plans to develop a Waste-to-Energy Facility (PSEL). Based on this regulation, fresh municipal waste in Semarang City will be managed through the implementation of the PSEL. However, the landfill still contains two passive zones with a large accumulation of legacy waste. This legacy waste requires thermal technology to be managed effectively and efficiently. The appropriate technology selected is an incinerator equipped with an air pollution control device in the form of a wet scrubber. In this design, two identical equipment trains are proposed to anticipate smaller waste input during mining operations, such that only one train needs to be operated under certain conditions. The designed incinerator is a grate-type incinerator with a capacity of 280.87 tons per day, operating continuously for 24 hours per day and 335 days per year. Based on the identification of emissions generated, four parameters exceed the applicable emission standards, namely SO₂, CO, NO₂, and TSP. The emission standards applied refer to the Regulation of the Minister of Environment and Forestry Number 70 of 2016 concerning Emission Standards for Thermal Waste Treatment Activities. Based on the emission characteristics, the selected air pollution control device is a wet scrubber of the packed tower type, utilizing Raschig ring packing, to effectively remove exhaust gases and particulate matter. The emission concentrations after the installation of the wet scrubber comply with the regulatory standards, with CO at 317.88 mg/m³, SO₂ at 12.74 mg/m³, NO₂ at 440.22 mg/m³, and TSP at 101.42 mg/m³. These results indicate that the proposed system design successfully addresses the challenges of thermal waste management in an effective and environmentally friendly manner through the implementation of appropriate emission control equipment. Additionally, an economizer is incorporated into the system to reduce the flue gas temperature from 988.34°C at the incinerator outlet to 600°C.

Keywords: waste, landfill mining, incinerator, wet scrubber

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan penduduk di Indonesia dari waktu ke waktu menunjukkan peningkatan. Berdasarkan data yang tersedia pada Laporan Kependudukan Indonesia Tahun 2024 milik Badan Pusat Statistik, pada tahun 2023, Indonesia diperkirakan memiliki jumlah penduduk sebanyak 278,696 juta jiwa. Apabila data ini dilihat dalam tiga tahun terakhir menunjukkan adanya pertambahan penduduk sebanyak 8,5 juta jiwa. Dari data tersebut, diperoleh bahwa rata-rata penduduk Indonesia setiap tahun bertambah sekitar 2,8 juta jiwa. Laju pertumbuhan ini akan terus meningkat seiring dengan waktu.

Pertumbuhan penduduk yang meningkat berkaitan erat dengan jumlah sampah yang dihasilkan. Kebutuhan untuk memenuhi kehidupan sehari-hari yang dikonsumsi juga akan meningkat. Apalagi penduduk yang memiliki gaya hidup yang tinggi pasti jumlah sampah yang dihasilkan akan semakin banyak. Peningkatan sampah ini dapat terjadi baik pada sampah rumah tangga, sampah pertokoan, maupun sampah pada industri. Permasalahan sampah di Indonesia menjadi permasalahan yang kompleks dikarenakan belum ada pengelolaan atau teknologi yang sudah diterapkan untuk dapat mengatasi timbulan sampah hingga saat ini. Peningkatan volume sampah pada suatu wilayah dipengaruhi oleh pertumbuhan penduduk dan gaya hidup masyarakat. Sampah yang dihasilkan tidak akan pernah berhenti selama manusia masih melakukan aktivitas dan jumlah penduduk terus meningkat tanpa ada pengelolaan yang tepat (Milenia & Iskarni, 2025).

Dengan meningkatnya sampah, maka kebutuhan lahan pada tempat pembuangan akhir juga akan meningkat, sedangkan tidak mungkin terus-menerus menambah kapasitas lahan. Di Indonesia banyak Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang sudah mengalami *overload*. Hal ini dapat menimbulkan berbagai masalah baik lingkungan, kesehatan, dan sosial. Sistem pengelolaan sampah di Indonesia masih banyak yang menggunakan sistem kumpul-angkut-buang sehingga yang menjadi

titik akhir yaitu TPA. Dengan sistem pembebanan di akhir, akan memunculkan berbagai macam masalah seperti teknologi dan pembiayaan yang cukup tinggi. Berdasarkan data Indonesia Solid Waste Association (InSWA) sebanyak 14% TPA tidak melakukan penutupan sama sekali selama masa operasional. Hal itu disebabkan oleh tidak tersedianya tanah penutup dan mahal biaya operasional. TPA yang sudah mengalami *overload* akan menimbulkan berbagai dampak negatif yaitu pertumbuhan vektor penyakit, pencemaran udara, pandangan dan bau tidak sedap, asap kebakaran, kebisingan, dan pencemaran kualitas air di sekitar (Nugroho et al., 2022).

TPA Jatibarang berlokasi di Kelurahan Kedungpane, Kecamatan Mijen, Kota Semarang. TPA Jatibarang ini telah beroperasi dari Tahun 1990 hingga sekarang yang memiliki luas area keseluruhan 46,18 Ha. TPA Jatibarang telah mengalami *overload*, hal ini dikarenakan sistem pengelolaan yang diterapkan yaitu sampah terus diterima, ditumpuk, dan dipadatkan untuk memperpanjang umur pengoperasian tempat tanpa ada pengelolaan yang tepat. Berdasarkan informasi pada Peraturan Wali Kota Semarang Nomor 4 Tahun 2024 tentang Rencana Induk Pengelolaan Sampah Tahun 2023-2042, penduduk Kota Semarang setiap tahunnya meningkat pesat. Peningkatan ini selain dari pertumbuhan penduduk juga berasal dari urbanisasi yang besar. Sampah dan pengelolaan saat ini menjadi masalah yang mendesak bagi Kota Semarang, oleh karena itu untuk mengatasi masalah sampah perlu adanya pengelolaan sampah dari hulu ke hilir secara terpadu. Pemerintah Kota Semarang terus didesak untuk dapat mengatasi permasalahan sampah yang sudah mengalami *overload* di TPA Jatibarang sesegera mungkin.

Metode pengelolaan sampah di Jatibarang yaitu dengan *controlled landfill* yaitu sampah dipadatkan, diratakan, dan secara periodik ditutup dengan lapisan tanah. Metode pengelolaan sampah yang diterapkan ini masih belum efektif dan efisien. Kenyataannya volume sampah di TPA Jatibarang masih mengalami *overload*. TPA Jatibarang ini diperkirakan mampu menampung sampah sebanyak 4,15 juta meter kubik sampah. Hal ini dapat membuat TPA Jatibarang terancam tidak dapat menampung sampah lagi di waktu mendatang (Pramesti et al., 2023).

TPA Jatibarang saat ini telah menerima sampah sebesar 900 ton dalam sehari. Pada tahun 2022 terdapat rencana untuk melakukan perluasan lahan untuk dapat meningkatkan daya tampung sampah, tetapi hingga tahun 2023 tidak direalisasikan rencana tersebut (Sholehatin & Lituhayu, 2025).

Berdasarkan Peraturan Presiden Nomor 109 Tahun 2025 tentang Penanganan Sampah Perkotaan Melalui Pengolahan Sampah Menjadi Energi Terbarukan Berbasis Teknologi Ramah Lingkungan, Kota Semarang akan melakukan pembangunan PSEL. Berdasarkan peraturan tersebut, akhirnya Pemerintah Kota Semarang untuk menyelesaikan timbulan sampah yang makin hari makin banyak dengan mengelola sampah yang baru masuk untuk dapat dijadikan energi listrik. Pengelolaan sampah menjadi energi listrik akan melalui proses termal. Proses termal merupakan salah satu alternatif yang menguntungkan karena dapat mengurangi volume sampah dalam jumlah yang besar dengan waktu yang singkat.

TPA Jatibarang memiliki empat zona yang hingga tahun 2026 telah menutup dua zona. Zona pasif tersebut yaitu pada zona 3 dan 4 sedangkan zona 1 dan 2 masih aktif digunakan untuk menampung sampah segar. Permasalahan timbulan sampah segar di Kota Semarang telah ditemukan solusi melalui teknologi PSEL (Pembangkit Sampah Energi Listrik), sedangkan pada TPA Jatibarang masih memiliki tumpukan sampah yang sudah pasif yaitu pada zona 3 dan 4 yang belum terselesaikan. Penanganan yang tepat untuk zona pasif di TPA Jatibarang yaitu dengan melakukan *landfill mining*.

Landfill mining adalah proses ekskavasi dan pemindahan material dari tempat pemrosesan akhir sampah (TPA) untuk mendaur ulang sampah lama yang dapat dimanfaatkan dan pengomposan untuk sampah yang sudah terdegradasi (Hogland, 2011). Tujuan adanya kegiatan *landfill mining* yaitu merehabilitasi lahan TPA sebagai upaya penanganan pencemaran pasca penutupan TPA (Prechthai et al., 2008). Operasi *landfill mining* tergantung dari parameter instrinsik dan ekstrinsik *landfill*. Parameter instrinsik adalah kondisi internal *landfill* seperti luas, lokasi, umur, tipe, dan komposisi sampahnya. Sementara itu, parameter ekstrinsik adalah

kondisi eksternal seperti ketersediaan teknologi yang cocok, batasan ekonomi, dan kondisi sosial. Kedua parameter tersebut saling memengaruhi dan sama pentingnya (Wahyono et al., 2019).

Karakteristik dari sampah hasil *landfill mining* yaitu semakin dalam penimbunan sampah maka berat jenis sampah juga akan semakin besar dan posisi sampah yang tertimbun terlalu dalam juga akan bewarna gelap dan semakin lembap. Karakteristik sampah ini meliputi kadar air, *volatile matter* (zat terbang), dan abu. Apabila karakteristik sampah memiliki kadar air lebih kecil dari 50%, kadar abu lebih kecil dari 40%, dan *volatile matter* lebih besar dari 25%, seperti yang tergambarkan dalam segitiga *tanner*, maka secara teoritis sampah berada pada posisi sebagai material yang dapat terbakar tanpa bahan bakar tambahan (Quicker, 2016). Pada penelitian yang sudah dilakukan terkait studi karakteristik sampah *landfill* diperoleh hasil bawah sampah galian TPA didominasi oleh material kompos sebesar 31-47% dan material *combustible* plastik 32-43% serta *combustible* nonplastik 32-43%. Material yang sudah berubah menjadi kompos ini memiliki potensi sebagai pengganti *soil cover* TPA dan sebagai material pembenah tanah atau *soil conditioner* (Wahyono et al., 2019).

Zona pasif yang dimiliki oleh TPA Jatibarang memiliki potensi tumpukan sampah yang sangat besar karena melihat histori dari zona pasif 3 dan 4 telah menampung sampah dari awal pembangunan TPA hingga baru dilakukan penutupan di akhir tahun 2022. Melihat umur sampah yang sudah lama tidak dimungkinkan untuk melakukan pendaurulangan material sehingga untuk mengurangi timbunan sampah lama menggunakan teknologi dengan memanfaatkan proses termal. Proses termal merupakan salah satu alternatif yang menguntungkan karena dapat mengurangi volume sampah dalam jumlah yang besar dengan waktu yang singkat. Dalam Modul Teknologi Termal Wte Berbasis Proses Pembakaran (Insinerasi) yang disusun oleh BPSDM Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2018), mendefinisikan insinerasi merupakan salah satu teknologi pengolahan sampah dengan pembakaran langsung dan terus-menerus menggunakan udara yang mencukupi dan pada temperatur tinggi. Suhu pada ruang

bakar insinerator dapat mencapai 850°C sampai 1.200°C dan dari pembakaran tersebut menghasilkan gas buang dengan temperatur tinggi. Pembakaran sampah dengan temperatur tinggi akan membuat sampah mengalami oksidasi dan berubah fasa dari padatan atau cairan menjadi gas, utamanya dalam bentuk CO_2 (karbon dioksida) dan H_2O (air). Dengan terjadinya perubahan fasa ini mengakibatkan insinerator menjadi sangat efektif untuk mengurangi volume sampah sebesar 80% sampai 90% yang menghasilkan produk samping berupa abu dan partikulat.

Menurut Patil et al. (2014), insinerasi merupakan cara yang efisien untuk mengurangi volume sampah. Proses insinerasi dapat digunakan untuk mengurangi volume sampah yang mudah terbakar hingga sebesar 80-95% dan mengurangi berat sampah hingga 70%. Instalasi insinerasi dapat ditempatkan dekat dengan pusat fasilitas pengolahan sampah seperti TPA, sehingga mengurangi biaya pengangkutan sampah. Abu yang dihasilkan dari insinerator sampah kota juga dapat digunakan untuk konstruksi yang ramah lingkungan yang berbiaya rendah dan dapat mengurangi kebutuhan kapasitas TPA. Sementara itu, semua alternatif pembuangan sampah pada akhirnya menguraikan bahan organik menjadi molekul karbon yang lebih sederhana seperti CO_2 (karbon dioksida) dan CH_4 (metana). Insinerasi menyediakan cara terbaik untuk menghilangkan emisi gas metana dari proses pengelolaan sampah. Lebih lanjut, panas dari proses insinerasi dapat menyediakan alternatif energi pengganti bahan bakar fosil. Di samping memiliki kelebihan, teknologi insinerasi juga memiliki kekurangan. Proses pembakaran pada insinerator menghasilkan residu berupa gas buang yang dapat mencemari lingkungan jika tidak ditangani dengan tepat.

Hasil pembakaran dari sampah tersebut menghasilkan efluen emisi berupa asap yang dapat lepas ke atmosfer sehingga akan memengaruhi kualitas udara ambien. Apabila tidak ada upaya untuk menurunkan konsentrasi efluen yang keluar, nilai konsentrasinya dapat melampaui baku mutu udara ambien yang telah ditetapkan oleh pemerintah. Partikulat merupakan kandungan yang dihasilkan dari emisi yang keluar dari proses pembakaran. Ukuran partikulat yang kecil akan sangat membahayakan bagi manusia karena dapat masuk melalui sistem pernafasan

kemudian akan menginfeksi melalui alveolus. Selain partikulat juga masih terdapat kandungan CO, NO_x, SO₂, dan kandungan lainnya yang dapat membahayakan lingkungan dan kesehatan makhluk hidup (Saidal Siburian & Mar, 2020).

Adanya potensi pencemaran udara yang dihasilkan dari proses pembakaran mengakibatkan munculnya urgensi untuk melengkapi insinerator dengan alat pengendali pencemaran udara. Mekanisme kerjanya yaitu sampah *landfill mining* dimasukkan ke dalam insinerator, kemudian dibakar. Dari proses pembakaran tersebut, dihasilkan efluen yang akan melalui alat pengendali emisi untuk dapat menurunkan konsentrasi kandungan agar sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan sebelum dilepaskan ke atmosfer. Pertimbangan dalam memilih alat pengendali emisi yaitu kelebihan dan kekurangan dari masing – masing alat pengendali (Cooper & Alley, 1994).

Dengan demikian terkait segala urgensi yang sudah dipaparkan, hal inilah yang menjadi dasar dalam pengambilan judul tugas akhir yaitu “Perancangan Insinerator dengan Alat Pengendali Emisi untuk Mengelola Sampah Hasil *Landfill Mining* Di TPA Jatibarang, Kota Semarang”. Dari perencanaan tersebut diharapkan dapat menjadi referensi pemerintah Kota Semarang untuk dapat mengatasi permasalahan menumpuknya sampah lama di TPA Jatibarang dengan menggunakan teknologi termal tetapi tetap memperhatikan emisi gas buangnya melalui alat pengendali yang sudah dirancang. Oleh karena itu dapat disimpulkan teknologi ini dapat mengatasi tumpukan sampah *landfill mining* dan tidak mencemari lingkungan.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan permasalahan yang melatarbelakangi Tugas Akhir ini, dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut:

1. Kondisi TPA Jatibarang yang sudah mengalami *overload* dan belum adanya penanganan untuk sampah lama di zona pasif TPA Jatibarang ketika PSEL akan dioperasikan.

2. Pengelolaan timbunan sampah yang efektif dalam waktu yang singkat yaitu dengan teknologi termal, tetapi pengelolaan sampah dengan teknologi ini dapat menimbulkan emisi dengan kandungan polutan yang berpotensi besar mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan.
3. Perancangan pengelolaan sampah dengan metode termal ini perlu dilengkapi dengan alat pengendali pencemaran udara untuk dapat mereduksi emisi beserta kandungan berbahaya lainnya yang dapat menyebabkan kualitas udara menurun.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dari perencanaan ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa potensi volume sampah hasil *landfill mining* di TPA Jatibarang, Kota Semarang dan perkiraan *input* untuk insinerator yang dirancang?
2. Bagaimana tipe insinerator yang sesuai untuk mengolah sampah hasil *landfill mining* di TPA Jatibarang, Kota Semarang?
3. Bagaimana perancangan alat pengendali emisi untuk mereduksi konsentrasi gas buang yang dihasilkan oleh insinerator di TPA Jatibarang, Kota Semarang?

1.4 Rumusan Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dirumuskan, tujuan perencanaan ini diuraikan sebagai berikut:

1. Mengetahui potensi volume sampah hasil *landfill mining* di TPA Jatibarang, Kota Semarang dan memperkirakan *input* untuk insinerator yang dirancang.
2. Menentukan tipe insinerator yang sesuai untuk mengolah sampah hasil *landfill mining* di TPA Jatibarang, Kota Semarang.

3. Merancang alat pengendali emisi untuk mereduksi konsentrasi gas buang yang dihasilkan oleh insinerator di TPA Jatibarang, Kota Semarang.

1.5 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah bertujuan agar poin yang akan dibahas dalam tugas akhir ini menjadi jelas dan tidak melebar. Rumusan masalah dari perencanaan yang didasari dari identifikasi masalah adalah sebagai berikut:

1. Sampah yang akan dianalisis adalah sampah hasil *landfill mining* yang ada di TPA Jatibarang Kota Semarang.
2. Insinerator yang dirancang hanya diperuntukan di TPA Jatibarang Kota Semarang yang akan disesuaikan dengan timbulan dan karakteristik sampah eksisting.
3. Sumber emisi yang akan ditelaah adalah kegiatan pembakaran sampah menggunakan insinerator dengan alat pengendali pencemaran udara terpilih yang didesain untuk mempertimbangkan kualitas udara keluaran produksi.
4. Hanya akan dihitung potensi *fly ash* dan *bottom ash* yang dihasilkan tanpa merancang pemanfaatannya.

1.6 Rumusan Manfaat

Perancangan yang dilakukan diharapkan dapat membawa manfaat bagi berbagai pihak, baik pihak eksternal maupun internal.

1. Bagi Penulis

Melalui perencanaan ini, penulis dapat memperdalam dan menerapkan ilmu yang telah dipelajari terkait perencanaan pengendalian pencemaran udara, khususnya yang dibutuhkan untuk insinerator. Perencanaan ini juga dibuat untuk memenuhi tahap penyelesaian tugas akhir sebagai syarat kelulusan untuk mendapatkan gelar sarjana.

2. Bagi Pembaca

Dengan membaca perencanaan ini, pembaca diharapkan bisa mendapatkan referensi dan sumber pembelajaran terkait pengaplikasian alat pengendali pencemaran udara, khususnya pada insinerator skala TPA.

3. Bagi IPTEK

Perencanaan ini dapat digunakan sebagai referensi dalam kajian ilmiah terkait pengaplikasian alat pengendali pencemaran udara, khususnya pada insinerator skala TPA. Selain itu, perencanaan ini juga dapat memberikan gambaran terkait pengaruh pencemaran udara akibat kegiatan pengolahan sampah hasil *landfill mining* di TPA Jatibarang, Kota Semarang.

4. Bagi Pihak TPA

Hasil perencanaan ini diharapkan dapat dijadikan opsi dan rujukan dalam mempertimbangkan alat pengendali pencemaran udara, khususnya pada insinerator skala TPA, sebagai salah satu metode penanganan sampah hasil *landfill mining* di TPA Jatibarang, Kota Semarang.

5. Bagi Masyarakat

Perencanaan ini dapat mengurangi tingkat pencemaran udara akibat pembakaran sampah di TPA yang dapat membahayakan kesehatan masyarakat di sekitar TPA.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulwahid, A., Situ, R., Brown, R., & Lin, W. (2020). Thermodynamic Analysis of a Diesel Exhaust Wet Scrubber. *22nd Australasian Fluid Mechanics Conference, AFMC 2020, December*, 7–10. <https://doi.org/10.14264/9b3f9c0>
- Abidin, N., Wahdaniar, Febrianti, N., & Syarifah, S. M. (2023). Pengurai Sampah Plastik Ramah Lingkungan. *Bincang Sains Dan Teknologi*, 2(02), 63–71. <https://doi.org/10.56741/bst.v2i02.339>
- Adu, R. O., Gyasi, S. F., Essumang, D. K., & Adu-Gyamfi, S. (2022). Design and Construction of a Gas Filter System for Hospital Incinerators. *Environmental Challenges*, 9, 100651. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100651>
- Alibaba.com. (n.d.). *Hoover Industrial Worm Type Dust AC centrifugal Blower Stainless Steel Blade Multi-Port Woodworking Machinery Fan*. https://www.alibaba.com/product-detail/Hoover-Industrial-Worm-Type-Dust-AC_1601380748075.html?spm=a2700.find_similar.normal_offer.d_title.e39c5f93WnMuLh
- Amaral, S. S., Andrade, J., Jr, D. C., Angélica, M., Costa, M., & Pinheiro, C. (2016). *Particulate Matter Emission Factors for Biomass Combustion*. 1–25. <https://doi.org/10.3390/atmos7110141>
- Asif, M., Haq, R. A. U. L., Gulfreen, E., Arshad, S., Tasleem, M. W., Rajpoot, S. R., Munir, S., Waseem, M., Yar, M. A., Sohail, M., Abbas, M., Fatima, K., & Maqbool, M. (2022). Particulate Matter Emission Sources and Their Control Technologies. *Pollution Research*, 696–706. <https://doi.org/10.53550/pr.2022.v41i02.043>
- Badan Pengendalian Dampak Lingkungan. (1996). *Keputusan Kepala Bapedal No. 205 Tahun 1996 Tentang : Pedoman Teknis Pengendalian Pencemaran Udara Sumber Tidak Bergerak*.
- Badan Pusat Statistik Kota Semarang. (2025). *Kota Semarang Dalam Angka 2025*.
- Badan Standarisasi Nasional. (1994). *SNI 19-3964-1994 Metode Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan dan Komposisi Sampah Perkotaan*.
- Badan Standarisasi Nasional. (1995). *SNI 19-3983-1995 Spesifikasi Timbulan Sampah untuk Kota Kecil dan Kota Sedang di Indonesia. Badan Standardisasi Nasional*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *SNI 19-2454-2002 Tata Cara Teknik Operasional Pengelolaan Sampah Perkotaan*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2005). *SNI 19-17117.2-2005 tentang Emisi Gas Buang pada Sumber Tidak Bergerak*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2023). *SNI 8423:2023 Insinerator*.

- Bethea, & Robert. (1978). *Air Pollution Control Technology*. Litton Educational Publishing Incorporation.
- Bounicore. (1992). *Air Pollution Control : A Design Approach (Second Edition)*. Waveland Press Incorporation.
- Bourtsalas, A. C., Huang, Q., Zhang, H., & Themelis, N. J. (2020). Energy Recovery in China from Solid Wastes by the Moving Grate and Circulating Fluidized Bed Technologies. *Waste Disposal & Sustainable Energy*, 2(1), 27–36. <https://doi.org/10.1007/s42768-019-00026-8>
- BPSDM Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2018). *Modul 09 – Teknologi Termal WtE Berbasis Proses Pembakaran (Insinerasi)*.
- Chen, X., Li, J., Liu, Q., Luo, H., Li, B., & Cheng, J. (2022). Emission Characteristics and Impact Factors of Air Pollutants from Municipal Solid Waste Incineration in Shanghai, China. *Journal of Environmental Management*, 310(July 2021), 114732. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114732>
- Cheremisinof, N. P. (2002). *Handbook of Air Pollution: Prevention and Control*.
- Chiou, I.-J., & Chen, C.-H. (2021). Municipal Solid Waste, Landfill Age, and Refuse-Derived Fuel. *Waste Management & Research : The Journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA*, 39(4), 601–606. <https://doi.org/10.1177/0734242X20961832>
- Cooper, & Alley. (1994). *Air Pollution Control: A Design Approach*. Waveland press incorporation.
- Cooper, & Alley. (2011). *Air Pollution Control: A Design Approach*.
- Cornwell, & Davis. (1998). *Introduction to Environmental Engineering*. Mc. Graw-Hill Company Inc, Singapore.
- Damanhuri, E., & Padmi, T. (2010). *Diktat Pengelolaan Sampah TL-3104*.
- Darwati, S. (2009). *Potensi Rehabilitasi Tempat Pemrosesan Akhir Sampah melalui Penambahan Lahan Urug*.
- Environmental Protection Agency. (1984). *APTI Course Sl : 412C Wet Scrubber Plan Review Self-instructional Guidebook*. United States Environmental Protection Agency.
- Environmental Protection Agency. (1998). On-site Incineration. *United States Environmental Protection Agency*.
- European Environment Agency. (1999). *Waste Treatment and Disposal*.
- Farin, S. E. (2021). *Penumpukan Sampah Plastik yang Sulit Terurai Berpengaruh pada Lingkungan Hidup yang Akan Datang*.
- Fetene, Y. (2021). Characterization and Heating value Prediction of Municipal solid

- waste. *International Journal of Environmental & Agriculture Research*, 7(1), 14–23.
- Handoko, R., Kardiman, & Santoso, D. T. (2022). Analisis Efisiensi Blower Mesin Pengering Padi dengan Daya Penggerak 1000 RPM dan 818 RPM di CV Jasa Bhakti Karawang. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 8(8). <https://doi.org/10.5281/zenodo.6618707>
- Hariastuti, N. P. (2013). Pemodelan Sistem Normatif Pengelolaan Sampah Kota. *Jurnal IPTEK*, 17(1), 61–72.
- Hartenstein, H., & Licata, A. (n.d.). *Modern Technologies to Reduce Emissions of Dioxins and Furans from Waste Incineration*.
- Hasanuzzaman, M., Rahim, N. A., Hosenuzzaman, M., Saidur, R., Mahbubul, I. M., & Rashid, M. M. (2012). Energy Savings in the Combustion Based Process Heating in Industrial Sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 4527–4536.
- Hidayat, W. J., & Chalim, A. (2022). Evaluasi Perhitungan Neraca Massa Preneutralizer Tank-Granulator pada Unit Phonska 4 Pabrik II B PT Petrokimia Gresik. *DISTILAT Jurnal Teknologi Separasi*, 8(4), 791–796.
- Hilma A. A. N., Prajogo, S., K. A. S., & Kunci, K. (2022). Perancangan Wet Scrubber Kapasitas 0,72 m³/jam pada Proses Pemurnian Biogas dari Kotoran Sapi. *Prosiding The 13th Industrial Research Workshop and National Seminar*, 850–858.
- Hogland, W. (2011). Landfill Mining/Mining Pa Deponi. *Program for TemamÅ, Te Grunnforurensning-Spredning, Utlekking Og Opprydding. Miljoringen Nettverk for Forurensset Grunn Og Sedimenter*, 2.
- Hu, Y., Cheng, H., & Tao, S. (2018). *The Growing Importance of Waste-To-Energy (WTE) Incineration in China's Anthropogenic Mercury Emissions : Emission Inventories and Reduction Strategies*. 97(August), 119–137.
- Huang, W., Ding, H., & Qiao, J. (2023). Adaptive Multi-Objective Competitive Swarm Optimization Algorithm Based on Kinematic Analysis for Municipal Solid Waste Incineration. *Applied Soft Computing*, 149(PA), 110925. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110925>
- Ibrahim, N. M., Mohamed, S. A., Amat, R. C., Rahim, N. L., Zailani, W. W. A., Rahim, M. A., LASLO, L., & Ismail, K. N. (2023). Viability Study on Fly Ash and Bottom Ash from Combustion Waste Viability Study on Fly Ash and Bottom Ash from Combustion Waste. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 1216. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1216/1/012025>
- Janna, H., Abbas, M. D., Al-Khuzai, M. M., & Al-Ansari, N. (2021). Energy Content Estimation of Municipal Solid Waste by Physical Composition in Al-Diwaniyah City, Iraq. *Journal of Ecological Engineering*, 22(7), 11–19.

<https://doi.org/10.12911/22998993/137443>

- Jiskani, I. M. (2017). *Surface Mine Design*.
- Johnke, B. (2001). Emissions from Waste Incineration. *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*, 455–468.
- Joseph, G. T., Peterson, M. M., & Tusa, N. (n.d.). *Scrubber Systems Operation Review Self-Instructional Manual APTI Course SI:412C Second Edition Instructional Designer (First Edition) Instructional Designer (Second Edition)*.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2016). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 70 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Emisi Usaha dan/atau Kegiatan Pengolahan Sampah secara Termal*.
- Laila, L., & Alamsyah, S. (2020). *Kajian Pengaruh Tekanan Kerja Steam pada Mesin Steam Heater terhadap Kadar Air Kernel di Pabrik Kelapa Sawit Pendahuluan Tinjauan Pustaka*. 2(2).
- Lakshmipathy, M., Prasad, M. J. S., & Kodandaramaiah, G. N. (2023). Advanced Ambient Air Quality Prediction Through Weighted Feature Selection and Improved Reptile Search Ensemble Learning. *Knowledge and Information Systems*, 66(1), 267–305. <https://doi.org/10.1007/s10115-023-01947-x>
- Lapple. (1951). Processes Use Many Collector Typers. *Chem, Engng*.
- Leha, J. A. C. (2002). Analisis Daya Dukung Pondasi Footplate pada Gedung Rawat Inap RSUD Ba'a Kabupaten Rote Ndao. *Jurnal Ilmiah Unstar Rote*.
- Leksono Edy, D., Hendrik, E., Fikri, A. A., & Basuki, A. (2024). Hybrid Technology Incinerator For Solid Waste Processing Using an Evaporative Cooling System. *E3S Web of Conferences*, 473, 4009. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447304009>
- Londoño Echeverri, C. A. (2006). Diseño Óptimo De Ciclones. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 5(9), 123–139. www.mailxmail.com/curso/vida/ciclones/capitulo8.htm
- Marlina, L., Anisa, Z., Cengristitama, Wardati, M., Sugiawati, V. A., Azizah, Z., Yetti, R. D., Maghfiroh, A. M., Sari, I., Utami, W., Setyaningrum, D., Asrianti, & Efendi, M. R. S. (2024). *Kimia Fisika*. Gita Lentera.
- Medina, J., Monreal, C., Barea, J. M., Arriagada, C., Borie, F., & Cornejo, P. (2015). Crop Residue Stabilization and Application to Agricultural and Degraded Soils: A Review. *Waste Management*, 42, 373–386. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.04.002>
- Milenia, I., & Iskarni, P. (2025). *Proyeksi Pertumbuhan Penduduk terhadap Peningkatan Jumlah Sampah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Regional Kota Payakumbuh*. 4, 690–704.

- Monotaro.id. (n.d.-a). *Cheetah Sepatu Safety Ankle Boots Revolution Nitrile 2180H (Sepatu Proyek) Black 38 1pair*. Retrieved January 14, 2026, from https://www.monotaro.id/items/s000050603.html?utm_source=google&utm_medium=pla&utm_campaign=22635944613&utm_content=180585844557&utm_term=ready_stock_cat_group_1_pricebrand_group_1&gad_source=1&ad_campaignid=22635944613&gbraid=0AAAAADJU9-9QVtvZdaVARo9eH0-NPVnZ7&gclid=CjwKCAiA95fLBhBPEiwATXUsxAYkhdd9oGKYxNyQX6BqDYbfGk9HoH5Co3X5UAYocGd-DLPw3ENPYhoCc_QQAvD_BwE
- Monotaro.id. (n.d.-b). *Condor Clear Safety Goggles 1VT70 Anti-Fog, ANSI Dust/Splash Rating D3 resistant Splash/Impact Chemical 1pc*. Retrieved January 14, 2026, from https://www.monotaro.id/items/s040183046.html?utm_source=google&utm_medium=pla&utm_campaign=22635944613&utm_content=180585844557&utm_term=ready_stock_cat_group_1_pricebrand_group_1&gad_source=1&ad_campaignid=22635944613&gbraid=0AAAAADJU9-9QVtvZdaVARo9eH0-NPVnZ7&gclid=CjwKCAiA95fLBhBPEiwATXUsxLOY-E3CJC7iw0Zc3jK8Op4a1GCKGPe53K7Fk8qcAsadMb6xplw2YxoC__4QAvD_BwE
- Monotaro.id. (n.d.-c). *IMJ Wearpack Navy Blue XL 1pc*. Retrieved January 14, 2026, from https://www.monotaro.id/items/s012598588.html?utm_source=google&utm_medium=pla&utm_campaign=22635944613&utm_content=180585844557&utm_term=ready_stock_cat_group_1_pricebrand_group_1&gad_source=1&ad_campaignid=22635944613&gbraid=0AAAAADJU9-9QVtvZdaVARo9eH0-NPVnZ7&gclid=CjwKCAiA95fLBhBPEiwATXUsxKYjfKSHshK-75B_rJE75tDent2lcp6kKbrETd7-D9NY0vEZ6_xgzxoC8GUQAvD_BwE
- Muchlishiin, M., & Erivianto, D. (2023). Efficiency Analysis using Economizer Alternative Energy in Boilers. *Formosa Journal of Science and Technology (FJST)*, 2(8), 2225–2238.
- Mycock, J. C. (1995). *Air Pollution Control Engineering and Technology*. CRC Press Inc.
- Nainggolan, A. J. V., Siahaan, H. F. H., & Sebayang, S. (2022). Perancangan Economizer sebagai Pemanas Awal Air Umpan pada Ketel Type Fire Tube dalam Proses Pengolahan Getah Pinus di PT. Nasco Indopine. *Jurnal Teknologi Mesin UDA*, 3(2), 313–323.
- NASA. (2025). *NASA Power Data Access*. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/%0A>
- Neutrium. (2012). *Absolute Roughness of Pipe Material*.

- Nevers. (2000). *Air Pollution Control Engineering (Second Edition)*. McGraw Hill Company Incorporation.
- Niamsuwan, S., Kittisupakorn, P., & Mujtaba, I. M. (2013). A Newly Designed Economizer to Improve Waste Heat Recovery : A Case Study in a Pasteurized Milk Plant. *Applied Thermal Engineering*, 60, 188–199.
- NSW Government. (2020). *Energy from Waste*.
- Nugroho, A. R., Asmara, A. A., Yulianto, A., Lathifah, A. N., Abidin, A. U., Wulandari, D., Wacano, D., Siswoyo, E., Iresha, F. M., Maziya, F. B., Putra, H. P., Fajri, J. A., Hakim, L., Ardhyanti, L. I., Marlina, N., Wantoputri, N. I., Rahmawati, S., & Yuriandala, Y. (2022). *Sebuah Pandangan Pengelolaan Lingkungan Indonesia 2045*.
- Nuryani, S., Sudaryanto, S., Windarso, H. S. E., & Sunarno, J. M. (2021). Modifikasi Cerobong Wet Scrubber untuk Menurunkan Kadar Debu dan Kepekatan Asap Pada Sumber Emisi Tidak Bergerak. *Scientific Journal of Medsains*, 7(02), 1–7.
- Oumarou, M. Ben, Bukar Abubakar, A., Abubakar, S., & Abubakar, A. B. (2018). Municipal Solid Waste Incinerator Design: Basic Principles. *Sustainable Energy*, 6(1), 11–19. <https://doi.org/10.12691/rse-6-1-2>
- Paraschiv, L. S., Serban, A., & Paraschiv, S. (2020). Calculation of Combustion Air Required for Burning Solid Fuels (Coal/Biomass/Solid Waste) and Analysis of Flue Gas Composition. *Energy Reports*, 6(September 2019), 36–45.
- Patil, A. A., Kulkarni, A. A., & Patil, B. B. (2014). Waste to Energy by Incineration. *Journal of Computing Technologies*, 3(6), 12–15. <https://www.researchgate.net/publication/278036539>
- Pemerintah Kota Semarang. (2024). *Peraturan Wali Kota Semarang Nomor 4 Tahun 2024 tentang Rencana Induk Pengelolaan Sampah Tahun 2023-2042*.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2008). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah*.
- Pramesti, P. Y., Larasati, E., & Yuniningsih, T. (2023). Perencanaan Pengelolaan Sampah Oleh Dinas Lingkungan Hidup Kota Semarang Pada TPA Jatibarang. *Jurnal Ilmu Pendidikan*, 7(2), 809–820.
- Prasad, S., Schweizer, C., Bagaria, P., Saini, A., Kulatilaka, W. D., & Mashuga, C. V. (2021). Investigation of Particle Density on Dust Cloud Dynamics in a Minimum Ignition Energy Apparatus Using Digital In-Line Holography. *Powder Technology*, 284, 297–303.
- Pratiwi, H. (2024). Analisis Gas Nitrogen Oksida (NO_x) di Ruas Jalan A.P. Pettarani Kota Makassar. *Repository Unhas*.
- Prechthai, T., Padmasri, M., & Visvanathan, C. (2008). Quality Assessment of Mined MSW from an Open Dumpsite for Recycling Potential. *Resources*,

- Conservation and Recycling*, 53(1–2), 70–78.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.09.002>
- Putri, R. (2024). Analisis Konsentrasi Gas Sulfur Dioksida (SO₂) di Udara Ambien dengan Metode Pararosanilin Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada Kawasan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Antang. *Repository Unhas*.
- Quicker, P. (2016). Landfill Mining: An Option to Trigger Resources? *8th CEWEP Waste to Energy Congress 2016, June*.
- Rahmawati, F., Prasetyo Samadikun, B., & Hadiwidodo, M. (2018). Evaluasi Efisiensi Kinerja Alat Pengendali Partikulat Cyclone dan Wet Scrubber Unit Paper Mill 7/8 PT. Pura Nusapersada Kudus. *Artikel Riset*, 1–10.
- Rimaityte, I., Denafas, G., Martuzevicius, D., & Kavaliauskas, A. (2010). Energy and Environmental Indicators of Municipal Solid Waste Incineration: Toward Selection of an Optimal Waste Management System. *Polish Journal of Environmental Studies*, 19(5), 989–998.
- Rosendal, R. M. (2009). *Landfill Mining - Process, Feasibility, Economy, Benefits and Limitations*. July, 58.
http://www.danskaffaldsforening.dk/documents/21355/45957/2009_deponering_landfillmining.pdf/e29469b7-4e47-4d25-a654-626d7a5ac728
- Roveda, L., Polvara, E., Invernizzi, M., Capelli, L., & Sironi, S. (2020). *Definition of an Emission Factor for VOC Emitted from Italian and European Refineries*.
- Saidal Siburian, M. M., & Mar, M. (2020). *Pencemaran Udara dan Emisi Gas Rumah Kaca*. Kreasi Cendekia Pustaka.
- Salthammer, T. (2024). Carbon Monoxide as an Indicator of Indoor Air Quality. *Environmental Science: Atmospheres*, 4(3), 291–305.
<https://doi.org/10.1039/d4ea00006d>
- Saputra, A. D. (2018). *Perancangan Insinerator Limbah Medis Gedung Baru Rumah Sakit Khusus Ibu dan Anak (RSKIA) Kota Bandung*. Institut Teknologi Bandung.
- Sataloff, T. R., John, M., & Kost, K. M. (2008). *Air Pollution Control Equipment*.
- Serlina, Y., Bachtiar, V. S., & Putra, I. (2023). Analisis Konsentrasi Particulate Matter 2,5 di Udara Ambien dan Rekomendasi Tanaman Pereduksi PM_{2,5} di Perumahan Unand Blok B, Ulu Gadut, Kota Padang. *Jurnal Serambi Engineering*, 8(4), 7516–7524. <https://doi.org/10.32672/jse.v8i4.6863>
- Sholehatin, A., & Lituhayu, D. (2025). *Evaluasi Kebijakan Pengelolaan Sampah di Kota Semarang*.
- Shopee.com. (n.d.). *Masker Gas Respirator Anti-Dust Industrial Mask Chemical*. Retrieved January 14, 2026, from <https://shopee.co.id/Masker-Gas-Respirator-Anti-Dust-Industrial-Mask-Chemical-i.239410704.18681983637>

- Taufiq, A., & Maulana, M. F. (2015). Sosialisasi Sampah Organik dan Non Organik Serta Pelatihan Kreasi Sampah. *Jurnal Inovasi Dan Kewirausahaan*, 4(1), 68–73.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. (1993). *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*. McGraw-Hill. New York.
- Themba, N., Sibali, L. L., & Chokwe, T. B. (2023). A Review on the Formation and Remediations of polychlorinated dibenzo p-dioxins and dibenzo -furans (PCDD/Fs) During Thermal Processes with a Focus on MSW Process. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 16(10), 2115–2132. <https://doi.org/10.1007/s11869-023-01394-1>
- U. S. Department of Energy. (2001). *Evaluation of Gas Reburning and Low-NO_x Burners on a Wall-Fired Boiler A DOE Assessment*. x.
- Vivek, J. M., Singh, R., Sutar, R. S., & Asolekar, S. R. (2018). Characterization and Disposal of Ashes from Biomedical Waste Incinerator. *Advances in Waste Management*, 421–435. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0215-2_30
- Wahyono, S., Sahwan, F. L., Suryanto, F., Febriyanto, I., Nugroho, R., & Hanif, M. (2019). Studi Karakterisasi Sampah Landfill dan Potensi Pemanfaatannya (Studi Kasus di TPA Sukawinatan dan Bantargebang). *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 20(2), 179. <https://doi.org/10.29122/jtl.v20i2.3335>
- Warner, & Davis. (1981). *Air Pollution Its Origin and Control*. Harper & Row Publisher.
- Water Blog. (2019). *Hydraulic Losses in Pipes*.
- Wenga, T. (2023). Efficient Treatment of Municipal Solid Waste in Incinerators for Energy Production. *IntechOpen EBooks*.
- WHO. (2009). *Global Health Risks: Mortality and Burden of Diseases Attributable to Selected Major Risks*. http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/GlobalHealthRisks_report_full.pdf
- World Bank. (1999). Technical Guidance Report Municipal Solid Waste Incineration. *The International Bank for Reconstruction and Development*. http://www.worldbank.org/urban/solid_wm/erm/CWG_folder/WasteIncineration.pdf%5Cnhttp://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:23086616
- Wu, Z., Thermelis, N. J., & Bourtsalas, A. C. (Thanos). (2018). *Environmental Impacts of NO_x Reduction Technologies in Waste to Energy Facility in United States*. X.
- Yang, W., Pudasainee, D., Gupta, R., Li, W., Wang, B., & Sun, L. (2022). Particulate Matter Emission During Municipal Solid Waste Combustion:

- Submicron Particulates Formation Mechanism. *Fuel*, 310(PA), 122271. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122271>
- Yoon, M., Chang, J., Suejin, Y. H., Boeun, K., & Kim, Y. (2025). Polychlorinated dibenzo-p -dioxins/dibenzofurans (PCDD/Fs) Concentrations in the Environment and Blood of Residents Living Near Industrial Waste Incinerators in South Korea. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 837–848.
- Yuwanto, S. H., Syah, A., & Bahar, H. (2024). Analisis Proksimat untuk Menentukan Jenis dan Kualitas Batubara Daerah Montallat, Barito, Kalimantan Tengah. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan IV (SENASTITAN IV)*.
- Zhang, L., Wang, J., & Liu, Y. (2021). Thermal Efficiency of Wet Scrubbers in Industrial Applications. *Environmental Pollution and Control Journal*, 68(4), 1201–1215.
- Zhang, Y., Li, Q., Meng, A., & Chen, C. (2011). Carbon Monoxide Formation and Emissions During Waste Incineration in a Grate-Circulating Fluidized Bed Incinerator. *Waste Management and Research*, 29(3), 294–308. <https://doi.org/10.1177/0734242X10368581>
- Zhao, F., Bian, R., Zhang, T., Fang, X., Chai, X., Xin, M., Li, W., Sun, Y., Yuan, L., Chen, J., Lin, X., & Liu, L. (2022). Characteristics of Polychlorinated Dibenzodioxins/Dibenzofurans from a Full-Scale Municipal Solid Waste (MSW) Incinerator in China by MSW Classification. *Process Safety and Environmental Protection*, 161, 50–57.
- Zhou, H., Meng, A., Long, Y., Li, Q., & Zhang, Y. (2014). Classification and Comparison of Municipal Solid Waste Based on Thermochemical Characteristics. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 64(5), 597–616.