

INOVASI INSINERATOR SEDERHANA UNTUK MENGURANGI PENUMPUKAN SAMPAH MASYARAKAT NAGARI KOTO GADANG ANAM KOTO: TINJAUAN LITERATUR

Athifa Asyari¹, Rayhan Pramana Septiawan², Mutiara Dwi Putri³, Chairunisa Kamilah⁴, Gunawan Pratama⁵, Firman Wahyu Saputra⁶, Miftahul Khair⁷

¹Fakultas Bahasa dan Seni, Universitas Negeri Padang, Padang, Indonesia,

²Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, Padang, Indonesia,

³Fakultas Ilmu Pendidikan, Universitas Negeri Padang, Padang, Indonesia,

⁴Fakultas Ilmu Sosial, Universitas Negeri Padang, Padang, Indonesia,

⁵Fakultas Ilmu Sosial, Universitas Negeri Padang, Padang, Indonesia,

⁶Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, Padang, Indonesia

athifaasyari04@gmail.com, Rayhanseptiawan3@gmail.com,

dwiputrimutiara12@gmail.com, chairunisakamilah@gmail.com,

gunawanpratama61@gmail.com, firmanwahyusaputra60@gmail.com,

miftahkimia@gmail.com

ABSTRACT

Residual-waste accumulation and open burning remain problems in areas with limited treatment services. This study reviews 26 sources to assess a simple incinerator concept for Nagari Koto Gadang Anam Koto. Nine studies with original input and residue data reported batch mass or volume reductions of 62.88% to 96.94%. A material-flow evaluation showed that incineration handled 25% to 30% of total waste input within an integrated system. Waste type, moisture, chamber loading, temperature, residence time, air supply, and flue-gas control affected residue and smoke. Smoke colour alone did not demonstrate emission safety. All numerical findings are secondary data, not local measurements. The concept requires waste sorting, trained operators, mass recording, and emission testing before field implementation.

Keywords: simple incinerator, opacity, emission control, mass reduction, residual waste

ABSTRAK

Penumpukan sampah residu dan pembakaran terbuka masih menjadi persoalan di wilayah dengan layanan pengolahan terbatas. Kajian ini menelaah 26 sumber untuk menilai konsep insinerator sederhana bagi Nagari Koto Gadang Anam Koto. Sembilan studi yang memiliki data input dan residu asli melaporkan pengurangan massa atau volume batch sebesar 62,88% sampai 96,94%. Evaluasi aliran material menunjukkan bahwa insinerasi menangani 25% sampai 30% total input sampah dalam sistem terpadu. Jenis sampah, kadar air, beban ruang, suhu, waktu tinggal,

suplai udara, dan pengendalian gas buang memengaruhi residu serta asap. Warna asap saja tidak membuktikan keamanan emisi. Seluruh angka merupakan data sekunder, bukan pengukuran lokal. Konsep ini memerlukan pemilahan sampah, operator terlatih, pencatatan massa, dan uji emisi sebelum diterapkan.

Kata Kunci: insinerator sederhana, opasitas, pengendalian emisi, reduksi massa, sampah residu

A. Pendahuluan

Pengelolaan sampah masyarakat tidak dapat berhenti pada kegiatan mengumpulkan dan memindahkan sampah. Sistem yang memadai harus mencegah timbulan, mendorong penggunaan kembali, memisahkan bahan yang masih dapat didaur ulang, mengolah sampah organik, dan menangani residu secara aman. Ketika layanan tersebut terbatas, sebagian masyarakat memilih pembakaran terbuka karena mudah dilakukan. Pilihan tersebut mengurangi tumpukan secara cepat, tetapi tidak mengendalikan komposisi bahan, suplai oksigen, suhu, waktu tinggal gas, arah asap, maupun residu pembakaran.

WHO menjelaskan bahwa pembakaran sampah terbuka dapat terjadi di rumah tangga, jalan, lokasi pembuangan kecil, dan tempat pembuangan besar. Proses tersebut melepaskan campuran partikulat, karbon hitam, gas beracun, logam, dan senyawa organik persisten yang

dapat menimbulkan gangguan pernapasan serta dampak kesehatan lain. Masalah utama pembakaran terbuka bukan hanya asap yang terlihat. Kondisi pembakaran yang tidak stabil juga dapat menghasilkan polutan yang tidak dapat dinilai melalui pengamatan mata saja (World Health Organization, 2025).

Insinerator menggunakan ruang bakar tertutup agar operator dapat mengatur pemasukan sampah, udara, suhu, aliran gas, dan pembuangan abu. Kelebihan ini menjadikan insinerator lebih terkendali dibandingkan pembakaran terbuka. Namun, insinerator sederhana tidak otomatis aman. Alat yang hanya berupa drum atau ruang pembakaran tanpa lapisan tahan api, ruang sekunder, alat pemantauan, dan pengendalian gas buang tetap berisiko menghasilkan pembakaran tidak sempurna dan emisi berbahaya.

Kajian teknologi waste-to-energy di Indonesia menempatkan insinerasi sebagai salah satu opsi penanganan

residu, tetapi penerapannya perlu dinilai secara terpadu dari aspek teknis, ekonomi, dan lingkungan (Jamilatun, Pitoyo, & Setyawan, 2023).

Draf awal artikel telah mengangkat persoalan sampah di Nagari Koto Gadang Anam Koto, tetapi belum memisahkan data lokal dari temuan penelitian terdahulu. Revisi ini menempatkan nagari sebagai konteks penerapan konseptual dan tidak mengklaim adanya pengukuran lapangan. Kajian diarahkan pada tiga kebutuhan. Pertama, memverifikasi data asli jumlah sampah sebelum dan sesudah pembakaran. Kedua, membandingkan temuan nasional mengenai suhu, waktu, udara, kadar air, kapasitas, asap, dan residu. Ketiga, menerjemahkan hasil tersebut menjadi batas penerapan teknologi yang dapat diuji pada penelitian lanjutan. Dengan arah tersebut, artikel tidak hanya menyebut kelebihan insinerator, tetapi juga menilai perbedaan hasil, ketidakkonsistenan data, risiko emisi, dan persyaratan tata kelola.

B. Metode Penelitian

Desain Kajian

Penelitian menggunakan literature review terstruktur dengan sintesis naratif. Pendekatan ini dipilih karena tujuan kajian adalah membandingkan hasil penelitian terdahulu dan menyusun rancangan konseptual, bukan menguji alat secara langsung. Prinsip transparansi PRISMA 2020 digunakan sebagai panduan untuk menjelaskan penelusuran, seleksi, ekstraksi, dan sintesis (Page et al., 2021). Kajian ini tidak disebut systematic review penuh karena tidak memiliki registrasi protokol, catatan duplikasi awal yang lengkap, penilaian risiko bias formal, atau meta-analisis.

Penelusuran dan Pemilihan

Sumber

Penelusuran dilakukan melalui Google Scholar, Garuda, PubMed, Crossref, laman penerbit jurnal, portal peraturan BPK, serta situs resmi WHO, U.S. EPA, dan pemerintah. Penelusuran terakhir dilakukan pada 25 Juni 2026. Kata kunci Indonesia meliputi insinerator sederhana, pengurangan massa sampah, pengurangan volume sampah, berat residu abu, ruang bakar sekunder,

emisi insinerator, opasitas asap, dan insinerator masyarakat. Kata kunci Inggris meliputi small-scale waste incinerator, waste mass reduction, ash residue, secondary combustion chamber, dioxin emission, opacity, air staging, and bag filter. Artikel nasional yang ditambahkan berasal dari jurnal Indonesia dan tersedia melalui laman penerbit, DOI, repositori institusi, atau naskah teks penuh yang dapat diakses.

Sumber dimasukkan apabila membahas insinerasi sampah, memiliki identitas penerbit dan tahun yang dapat dilacak, serta menyajikan data kuantitatif, rincian desain, proses pembuatan, jangkauan layanan, atau ketentuan emisi. Untuk Tabel 1 diterapkan syarat lebih ketat. Sumber harus menampilkan data asli input sebelum pembakaran dan residu atau persentase sisa setelah pembakaran pada artikel yang sama. Angka umum dari artikel tinjauan, klaim promosi, dan nilai yang hanya dikutip dari sumber lain tidak dimasukkan ke Tabel 1. Sumber tersebut tetap dapat digunakan untuk memperkuat pembahasan apabila relevan dan batas datanya dijelaskan.

Ekstraksi dan Analisis Data

Data yang diekstraksi meliputi jenis sampah, berat atau volume awal, berat residu, persentase pengurangan, suhu, waktu pembakaran, kapasitas, kadar air, aliran udara, warna atau opasitas asap, jumlah penerima layanan, dan konsentrasi emisi. Korpus akhir berjumlah 26 sumber, terdiri atas 21 artikel jurnal, satu prosiding, dan empat dokumen resmi. Sebanyak 13 artikel jurnal nasional ditambahkan pada tahap pembaruan. Tujuh artikel tambahan memenuhi syarat data asli sebelum dan sesudah sehingga masuk ke Tabel 1, sedangkan enam artikel lainnya digunakan untuk memperkuat analisis desain, operasi, pengendalian asap, dan penerapan skala masyarakat. Nilai persentase yang dihitung ulang dari angka input dan residu diberi keterangan sebagai hasil perhitungan penulis agar tidak disalahartikan sebagai angka yang dicetak langsung oleh sumber.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Penurunan Jumlah Sampah Sebelum dan Sesudah Insinerasi

Perbandingan pengurangan sampah harus memakai angka asli

dari penelitian, bukan rentang umum yang dipindahkan dari artikel tinjauan. Oleh karena itu, Tabel 1 hanya memuat studi yang menuliskan berat atau persentase input sebelum pembakaran dan residu sesudah pembakaran dalam artikel yang sama. Data disajikan dalam satuan asli sumber. Persentase pengurangan

dihitung dengan rumus $[(\text{berat awal} - \text{berat residu}) / \text{berat awal}] \times 100\%$ apabila sumber hanya memberikan berat awal dan residu. Cara ini menjaga keterlacakan data sekaligus memperlihatkan bahwa hasil antaratat tidak dapat dibandingkan tanpa melihat jenis sampah dan kondisi operasinya.

Tabel 1. Perbandingan jumlah sampah sebelum dan sesudah insinerasi berdasarkan literatur

Sumber dan objek	Kondisi uji	Sebelum	Sesudah	Pengurangan	Status data dan makna
Gunawan et al. (2025), sampah organik rumah tangga	650°C; 2,5 jam	50 kg	2 kg residu	96%	Angka 50 kg dan 2 kg tercantum pada bagian hasil. Bagian pengujian menulis kapasitas 20 kg/jam, berbeda dari 150 kg/jam pada abstrak dan kesimpulan.
Purwanta et al. (2022), sampah kota modular	Pra-pengolahan; dua ruang bakar	100% input	sekitar 4% fly ash dan bottom ash	sekitar 96%	Persentase abu dilaporkan pada studi modular Labuan Bajo. Nilai dipakai sebagai data konfigurasi tersebut, bukan standar alat sederhana.
Junaidi et al. (2021), daun kering	443,2°C di ruang insinerator; 20 menit	8 kg	residu 3,06% atau sekitar 0,245 kg	96,94%	Persentase residu dan efisiensi dicantumkan langsung oleh artikel. Nilai kilogram residu merupakan konversi dari 3,06% x 8 kg.
Suryanto et al. (2022), sampah rumah sakit	Uji prototipe dengan semprotan air	5 kg; 10 kg	0,39 kg; 0,73 kg abu	92,2%; 92,7%	Berat awal, berat abu, waktu, suhu, dan rendemen tercantum pada tabel hasil asli.
Utami et al. (2016), limbah medis	1.200°C; 120 menit	500 kg	21 kg residu	95,8%	Berat awal dan residu tercantum pada tabel. Persentase 95,8%

						dihitung dari data asli oleh penulis kajian.
Desiarista dan Mirwan (2019), limbah medis	Insinerator 2 m ³ ; 1.200°C; 120 menit; blower 30 mbar	300 kg	12 residu	kg 96%		Berat awal, residu, dan persentase penyisihan tercantum pada tabel artikel.
Suprihatin (2018), limbah medis	800°C; 2 jam; rata-rata 10 hari	67,5 kg/hari	25,08 kg/hari rata-rata residu	62,88%		Artikel melaporkan reduksi rata-rata 62,88%. Nilai residu rata-rata dihitung dari sepuluh data harian pada tabel sumber.
Nurhayati dan Triastuti (2011), jarum dan plastik medis	1.000°C; 20 menit	0,5 kg	0,02375 kg residu rata-rata	95,25% berdasarkan massa; tabel sumber 95,5%		Data residu berasal dari empat pengulangan. Penulis sumber memilih 15 menit sebagai kondisi optimum saat kualitas abu dan asap ikut dipertimbangkan.
Hermansyah et al. (2017), sampah plastik	Insinerator dua tahap; 36 menit	1 kg	residu 32,5% atau sekitar 0,325 kg	67,5%		Efisiensi sama dengan pembakaran bebas, tetapi asap berubah dari hitam menjadi putih. Data menunjukkan pengendalian asap tidak selalu menaikkan reduksi massa.

Tabel 1 menunjukkan bahwa uji batch menghasilkan pengurangan yang lebar, yaitu 62,88% sampai 96,94%. Rentang tersebut muncul karena objek dan kondisi uji berbeda. Junaidi et al. (2021) membakar daun kering sebanyak 8 kg dan mencatat residu 3,06%. Sebaliknya, Suprihatin (2018) membakar campuran limbah medis rata-rata 67,5 kg per hari pada 800°C selama dua jam dan hanya memperoleh reduksi 62,88%. Pada

penelitian Suprihatin, volume muatan melampaui volume efektif tungku 0,7 m³ sehingga suplai oksigen tidak memadai. Perbandingan ini menunjukkan bahwa besarnya muatan, kepadatan sampah, dan ketersediaan oksigen dapat menurunkan hasil walaupun suhu nominal telah mencapai 800°C.

Data Utami et al. (2016) dan Desiarista dan Mirwan (2019) memperlihatkan pola yang konsisten

pada limbah medis. Ketika suhu mencapai 1.200°C dan waktu pembakaran 120 menit, residu turun menjadi 21 kg dari 500 kg dan 12 kg dari 300 kg. Suryanto et al. (2022) memperoleh reduksi 92,2% pada beban 5 kg dan 92,7% pada beban 10 kg, meskipun suhu prototipe jauh lebih rendah. Hasil tersebut tidak berarti suhu rendah selalu memadai karena komposisi sampah, volume ruang, burner, dan cara penentuan akhir pembakaran berbeda. Nurhayati dan Triastuti (2011) juga menunjukkan bahwa kondisi dengan reduksi massa tertinggi belum tentu menjadi kondisi optimum ketika kualitas abu dan warna asap ikut dinilai. Dengan demikian, artikel harus membedakan efisiensi reduksi massa, mutu residu, dan mutu emisi sebagai tiga indikator

yang saling melengkapi.

Jumlah Masyarakat yang Menggunakan atau Menerima Layanan

Literatur pengabdian masyarakat sering menuliskan jumlah unit alat dan kapasitasnya, tetapi tidak selalu melaporkan jumlah pengguna secara jelas. Kondisi ini penting karena keberhasilan teknologi tidak hanya ditentukan oleh suhu atau ukuran ruang bakar. Penggunaan rutin membutuhkan pelanggan layanan, operator, jadwal, biaya, pemilahan, dan pemeliharaan. Tabel 2 memisahkan jumlah masyarakat yang menerima layanan dari jumlah operator yang benar-benar menjalankan alat.

Tabel 2. Jangkauan masyarakat dan indikator pemanfaatan dalam literatur terpilih

Sumber	Jangkauan masyarakat	Unit atau kapasitas	Indikator hasil	Batas interpretasi
Syamsiro et al. (2024), TPS3R Bisma	Sekitar 130 anggota menjadi pelanggan layanan sampah.	Rancangan insinerator dua ruang.	Residu pelanggan dikelola melalui organisasi TPS3R.	Angka 130 menunjukkan cakupan pelanggan, bukan jumlah operator.
Gunawan et al. (2025), Desa Alue Lim	Lima peserta mengikuti pelatihan.	Satu unit. Uji bagian hasil 20 kg/jam; abstrak dan kesimpulan 150 kg/jam.	N-Gain rata-rata 85,5%; input 50 kg menjadi residu 2 kg.	Jumlah pengguna aktif jangka panjang tidak dilaporkan dan angka kapasitas internal tidak konsisten.
Alfiandri et al.	Jumlah	Tiga unit	Pemanfaatan	Jumlah unit tidak

(2019), Kranggan	Desa pengguna tidak insinerator. dilaporkan.	fasilitas dinilai belum maksimal.	membuktikan adopsi tanpa data operator dan frekuensi operasi.
---------------------	---	-----------------------------------	---

Data TPS3R Bisma memberi contoh bahwa jangkauan layanan harus dibaca sebagai jumlah pelanggan sistem, bukan jumlah orang yang menjalankan insinerator. Sekitar 130 anggota menyerahkan sampah kepada pengelola, sedangkan pengoperasian alat membutuhkan petugas tertentu. Model layanan bersama lebih dapat dikendalikan daripada penggunaan alat oleh setiap rumah tangga karena pencatatan input, jadwal, keselamatan, dan pemeliharaan dapat dipusatkan.

Gunawan et al. (2025) mencantumkan lima peserta pelatihan dan satu unit alat. Artikel melaporkan peningkatan kemampuan dengan N-Gain 85,5%, tetapi angka kapasitasnya berbeda di dalam naskah. Bagian pengujian menyebut pembakaran 50 kg selama 2,5 jam atau sekitar 20 kg/jam, sedangkan abstrak dan kesimpulan menulis 150 kg/jam. Ketidaksesuaian ini tidak boleh disembunyikan. Untuk

penelitian lanjutan, kapasitas harus dihitung dari berat batch dan waktu aktual, lalu diverifikasi melalui beberapa pengulangan.

Estimasi Pengurangan Asap dan Indikator Visual

Estimasi pengurangan asap tidak dapat dibuat sebagai satu persentase universal karena artikel nasional memakai indikator yang berbeda. Hermansyah et al. (2017) membandingkan 1 kg plastik pada pembakaran bebas dan insinerator dua tahap. Kedua metode menghasilkan efisiensi reduksi 67,5%, tetapi asap pembakaran bebas berwarna hitam sedangkan sistem dua tahap dengan semprotan air menghasilkan asap putih. Temuan ini menunjukkan bahwa perubahan tampilan asap dapat terjadi tanpa perubahan efisiensi reduksi massa. Karena itu, gambar indikator opasitas hanya berfungsi sebagai pemeriksaan awal.



Gambar 1. Indikator sederhana opasitas asap yang digambar ulang berdasarkan U.S. EPA Method 9 dan pedoman Ringelmann

U.S. EPA Method 9 mendefinisikan opasitas sebagai tingkat tertutupnya pandangan oleh plume atau asap. Penilaian resmi membutuhkan pengamat terlatih, posisi pengamatan, latar belakang, arah matahari, dan interval pembacaan yang terkendali (United States Environmental Protection Agency, 2017). Skala Ringelmann bergerak dari 0 yang jernih sampai 5 yang hitam, dan pedoman pemerintah Inggris mengelompokkan shade 2 atau lebih sebagai dark smoke (Government of the United Kingdom, 2024). Dalam uji lapangan, kondisi pembakaran terbuka dan insinerator harus direkam pada jenis, berat, dan kadar air sampah yang sebanding agar perubahan opasitas dapat ditafsirkan.

Bukti nasional memperkuat keterbatasan pengamatan visual.

Santosa et al. (2022) melaporkan suhu rata-rata di bawah 400°C dan asap yang masih terlihat ketika sampah residu mengandung air. Estu Broto et al. (2024) mencapai suhu ruang bakar sekitar 751°C dan mencatat konsentrasi CO di sekitar alat hingga 27 ppm, sehingga temperatur dan gas perlu dipantau bersamaan. Rizal dan Nurhayati (2017) menguji beban 0, 150, dan 300 kg dan menemukan kecenderungan CO menurun serta CO₂ meningkat saat beban dan suhu meningkat, dengan efisiensi pembakaran yang dilaporkan 99,99%. Pada tingkat pengendalian yang lebih lanjut, Zhang et al. (2019) menunjukkan bahwa dioksin 3,6 ng I-TEQ/Nm³ turun menjadi 0,042 ng I-TEQ/Nm³ setelah injeksi karbon aktif dan bag filter. Rangkaian temuan tersebut menegaskan bahwa warna asap, CO,

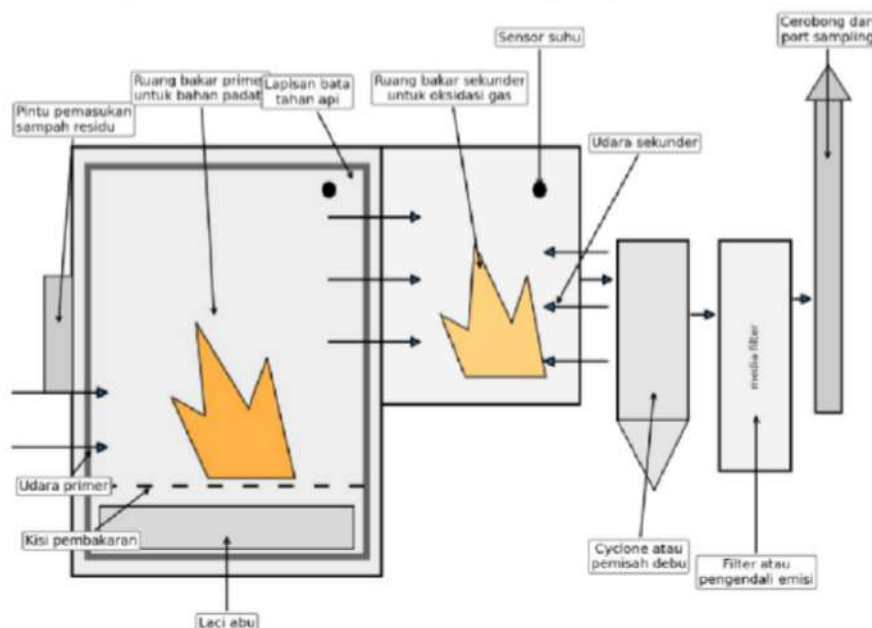
suhu, partikulat, dan dioksin mengukur aspek yang berbeda.

Desain Insinerator dan Fungsi Setiap Bagian

Studi nasional menunjukkan perkembangan dari tungku satu ruang menuju sistem yang mengatur aliran panas dan gas. Rhohman dan Ilham (2019) mengevaluasi insinerator sederhana untuk sampah rumah tangga, sedangkan Hermansyah et al. (2017) menambahkan tahap kedua

dan semprotan air untuk mengubah karakter asap. Suryanto et al. (2022) memakai ruang bakar dari bata dan jalur semprotan air pada pipa gas. Sukamta et al. (2017) membuat insinerator limbah medis skala kecil dan mencatat suhu commissioning sekitar 998°C selama 25 menit. Kesamaan di antara sumber tersebut terletak pada kebutuhan ruang bakar tahan panas, pemasukan udara, jalur gas yang jelas, dan akses pembuangan abu.

Skema konseptual insinerator dua ruang dengan pengendalian gas buang



Gambar 2. Skema konseptual insinerator dua ruang dengan komponen berlabel dan arah aliran

Ruang primer menahan sampah pada kisi agar udara dapat masuk dari bawah. Lapisan bata tahan api membantu menjaga panas dan

melindungi struktur. Ruang sekunder menerima gas dari ruang primer serta udara tambahan untuk melanjutkan oksidasi. Rhohman dan Ilham (2019) serta Sukamta et al. (2017) menunjukkan bahwa pemilihan

bahan, dimensi, burner, dan cerobong menentukan kestabilan alat. Purwanta (2021) menemukan kapasitas rancangan tungku TPST yang beragam, mulai 300 kg sampai 1.200 kg per delapan jam, tetapi sebagian sistem pengendalian pencemaran tidak lagi berfungsi sebagaimana desain awal. Artinya, keberadaan komponen belum menjamin kinerja apabila perawatan dan operasi tidak berjalan.

Bagian setelah ruang sekunder menentukan pengendalian emisi. Cyclone dapat memisahkan partikel yang lebih berat, scrubber menahan sebagian komponen melalui kontak dengan cairan, injeksi karbon aktif menyerap senyawa tertentu, dan bag filter menahan debu halus. Hasil Hermansyah et al. (2017) dan Suryanto et al. (2022) menunjukkan manfaat semprotan air sebagai indikator penangkapan partikel, tetapi perubahan warna air atau asap tidak membuktikan pemenuhan baku mutu.

Cerobong perlu memiliki port sampling agar partikulat, CO, HCl, SO₂, NO_x, merkuri, dioksin, dan furan dapat diuji sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 70 Tahun 2016.

Proses Pembuatan Berdasarkan Literatur

Karena artikel menggunakan literature review, gambar proses pembuatan disajikan sebagai rekonstruksi konseptual. Tahapannya disusun dari Syamsiro et al. (2024), Gunawan et al. (2025), Rhohman dan Ilham (2019), Sukamta et al. (2017), serta Suryanto et al. (2022). Literatur tersebut memperlihatkan urutan yang relatif konsisten, yaitu identifikasi jenis sampah, penetapan kapasitas, pembuatan gambar, pemilihan bahan tahan panas, pembangunan fondasi dan ruang bakar, pemasangan burner serta jalur udara, pemasangan cerobong dan pengendali gas, lalu uji fungsi.



Gambar 3. Tahapan pembuatan insinerator berdasarkan sintesis literatur

Tahap pertama harus menghasilkan kebutuhan desain, bukan langsung membeli bahan. Tim perlu menetapkan residu yang boleh masuk, berat batch, kadar air, kapasitas per jam, lokasi aman, arah angin, kebutuhan operator, dan jalur penanganan abu. Rhohman dan Ilham (2019) menekankan evaluasi ukuran dan fungsi bagian alat, sedangkan Purwanta (2021) menunjukkan bahwa kapasitas desain yang terlalu besar atau sistem pengendalian yang tidak dirawat dapat mengubah insinerator menjadi tungku bakar biasa. Bahan tahan api, pintu yang rapat, kisi, laci abu, dan ruang untuk inspeksi perlu ditentukan sejak awal.

Tahap perakitan harus diikuti uji bertahap. Sukamta et al. (2017) melakukan commissioning untuk memeriksa capaian suhu dan kondisi

pembakaran. Suryanto et al. (2022)

mencatat waktu, suhu, volume air,

berat abu, debit, dan rendemen. Pola pencatatan tersebut lebih kuat daripada hanya menampilkan foto api. Uji lapangan untuk nagari perlu mencatat berat awal, kadar air, suhu per interval, waktu nyala, konsumsi bahan bakar, massa residu, opasitas, dan emisi. Pengujian diulang pada beberapa batch agar hasil tidak bergantung pada satu percobaan.

Analisis Teknis dan Sintesis Data Kuantitatif

Data kuantitatif harus dibaca sebagai hubungan antarparameter, bukan sebagai kumpulan angka yang berdiri sendiri. Tabel 3 menempatkan hasil pengurangan, kapasitas, suhu, gas, dan baku mutu dalam satu alur. Artikel nasional memperlihatkan bahwa angka kapasitas nominal dapat berbeda dari laju pembakaran aktual,

suhu tinggi dapat tetap menghasilkan tidak selalu sejalan dengan reduksi
 emisi, dan perubahan warna asap massa.

Tabel 3. Sintesis teknis dan data kuantitatif dari literatur serta peraturan

Sumber	Sistem atau variabel	Data kuantitatif	Interpretasi teknis	Implikasi untuk rancangan sederhana
Gunawan et al. (2025)	Reduksi dan kapasitas	50 kg menjadi 2 kg; 96%; 2,5 jam; 20 kg/jam pada bagian uji.	Kadar air sampah basah menurunkan suhu dan memunculkan asap.	Gunakan kapasitas hasil penimbangan dan waktu aktual, bukan hanya angka kesimpulan.
Junaidi et al. (2021)	Udara, bahan bakar, dan residu	8 kg daun; residu 3,06%; 96,94%; 20 menit; ruang 443,2°C.	Sampah kering dapat terbakar cepat meskipun suhu ruang lebih rendah daripada tungku burner.	Pisahkan sampah basah dan catat suhu pada lokasi sensor yang jelas.
Purwanta (2021)	Neraca massa TPST	Insinerator menangani 25% sampai 30% input di beberapa TPST; Damarsi 30%.	Persentase ini merupakan kontribusi dalam sistem TPST, bukan reduksi abu per batch.	Gabungkan pemilahan, daur ulang, dan pengolahan residu.
Santosa et al. (2022)	Sampah residu rumah tangga	Kapasitas rancangan sekitar 0,5 ton/jam; suhu rata-rata di bawah 400°C; asap masih terlihat.	Kadar air dan suhu rendah menghambat pembakaran stabil.	Lakukan pengeringan dan jangan menjadikan kapasitas nominal sebagai bukti kinerja.
Estu Broto et al. (2024)	Suhu dan CO	Suhu ruang bakar sekitar 751°C; CO di sekitar alat maksimum 27 ppm.	Suhu dan gas perlu diukur bersamaan.	Pasang sensor suhu dan lakukan pemantauan gas pada titik yang terdefinisi.
Rizal dan Nurhayati (2017)	Beban dan gas pembakaran	Beban 0, 150, dan 300 kg; CO cenderung turun, CO ₂ meningkat; efisiensi 99,99%.	Beban, suhu, dan oksidasi memengaruhi komposisi gas.	Tentukan batas muatan dan suplai udara berdasarkan uji.
Hermansyah et al. (2017)	Dua tahap dan semprotan air	1 kg plastik; reduksi 67,5% pada pembakaran bebas dan dua tahap; asap hitam menjadi putih.	Pengendalian asap dapat membaik tanpa peningkatan reduksi massa.	Pisahkan indikator reduksi sampah dari indikator asap.
Zhang et al. (2019)	Karbon aktif dan bag filter	Dioksin 3,6 menjadi 0,042 ng I - T E Q / N m ³ ;	Pengendalian gas buang menentukan	Klaim ramah lingkungan harus didukung uji

			penghilangan 99,13%.		risiko yang terlihat.	polutan tidak	emisi.	
Permen 70/2016	LHK	Baku mutu emisi termal	Partikulat mg/Nm ³ ; 210; NOx 470; HCl 10; Hg 3; CO 625; HF 2; dioksin dan furan 0,1 ng/Nm ³ .	120 SO2 470; CO 2;	Kepatuhan ditentukan oleh pengukuran cerobong.		Sediakan sampling gunakan laboratorium kompeten.	port dan

Hubungan pertama terlihat pada kadar air dan beban ruang. Gunawan et al. (2025) mencatat bahwa sampah organik basah masih menimbulkan asap pada tahap pengeringan. Santosa et al. (2022) juga memperoleh suhu rata-rata di bawah 400°C dan asap yang masih terlihat. Sebaliknya, Junaidi et al. (2021) memakai daun kering dan memperoleh residu 3,06% dalam 20 menit. Suprihatin (2018) menunjukkan keadaan berbeda ketika volume sampah melampaui kapasitas efektif 0,7 m³. Muatan yang padat mengurangi aliran oksigen dan menurunkan reduksi menjadi 62,88%. Keempat sumber tersebut membentuk pola yang konsisten bahwa pengeringan, batas muatan, dan ruang untuk aliran udara perlu ditetapkan sebelum menilai efisiensi alat.

Hubungan kedua terdapat pada suhu, waktu, dan udara. Utami et al. (2016) serta Desiarista dan Mirwan (2019) memperoleh residu paling kecil

pada suhu 1.200°C dan waktu 120 menit. Nurhayati dan Triastuti (2011) menunjukkan bahwa peningkatan waktu dari 15 menjadi 20 menit menurunkan massa residu, tetapi kondisi optimum yang dipilih peneliti tetap 15 menit ketika kualitas abu dan asap turut dipertimbangkan. Trinh et al. (2020) menemukan bahwa aliran udara 1,1 m/s memperpendek waktu pembakaran sekitar 10% sampai 20% pada konfigurasi mereka. Li et al. (2024) menunjukkan bahwa pembagian udara primer dan sekunder memengaruhi pembentukan NOx. Hasil tersebut tidak menghasilkan satu ukuran lubang udara yang berlaku untuk semua alat, tetapi menegaskan perlunya inlet yang dapat diatur dan sensor yang ditempatkan secara konsisten.

Hubungan ketiga terdapat pada reduksi massa dan mutu emisi. Hermansyah et al. (2017) memperoleh reduksi 67,5% pada dua metode, tetapi warna asap berbeda. Rizal dan Nurhayati (2017)

memperlihatkan perubahan CO dan CO₂ terhadap beban, sedangkan Estu Broto et al. (2024) mengukur CO maksimum 27 ppm di sekitar alat. Zhang et al. (2019) memberikan bukti bahwa polutan yang tidak terlihat dapat turun tajam setelah pengendalian gas buang. Baku mutu Indonesia menetapkan total partikulat 120 mg/Nm³ dan dioksin serta furan 0,1 ng/Nm³. Oleh sebab itu, istilah minim asap harus didukung setidaknya oleh data opasitas, suhu, CO, partikulat, dan uji parameter cerobong yang relevan.

Implikasi untuk Nagari Koto Gadang Anam Koto

Berdasarkan sintesis, rancangan untuk Nagari Koto Gadang Anam Koto tidak seharusnya membakar seluruh sampah rumah tangga. Sampah organik basah perlu diarahkan ke pengomposan, sedangkan logam, kaca, kertas, kardus, dan plastik yang masih bernilai masuk ke jalur daur ulang. Insinerator hanya menerima residu kering yang tidak dapat digunakan kembali dan tidak mengandung bahan yang dilarang. Pendekatan ini sejalan dengan evaluasi Purwanta (2021), yang menunjukkan bahwa pengurangan

sampah di TPST berasal dari gabungan pemilahan, daur ulang, dan pembakaran residu, bukan dari insinerator saja.

Penggunaan masyarakat sebaiknya disusun sebagai layanan bersama. Contoh TPS3R Bisma menunjukkan sekitar 130 pelanggan, sedangkan Gunawan et al. (2025) hanya mencatat lima peserta pelatihan. Perbedaan tersebut menggambarkan dua peran yang perlu dipisahkan, yaitu masyarakat sebagai pengguna layanan dan operator sebagai pelaksana teknis. Pemerintah nagari perlu menetapkan kelompok pengelola, operator terlatih, jadwal penerimaan residu, batas batch, buku operasi, biaya pemeliharaan, dan prosedur penghentian alat ketika suhu atau asap tidak terkendali.

Tahap uji lapangan perlu menghasilkan data sebelum dan sesudah yang benar-benar lokal. Peneliti dapat menimbang satu batch residu sebelum pembakaran, mengukur volume dengan wadah tetap, mencatat waktu, suhu, penggunaan bahan bakar, shade opasitas, dan massa abu. Pengukuran diulang pada beberapa batch dengan komposisi yang dicatat. Setelah

operasi stabil, sampel emisi diuji berdasarkan parameter Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 70 Tahun 2016. Data tersebut baru dapat digunakan untuk menyatakan tingkat pengurangan sampah dan asap di Nagari Koto Gadang Anam Koto.

Keterbatasan Kajian

Kajian membandingkan alat dan objek yang beragam, mulai dari sampah rumah tangga, daun kering, plastik, sampai limbah medis. Nilai pengurangan tidak dapat diperlakukan sebagai satu rentang kinerja yang berlaku universal. Beberapa persentase dihitung kembali dari data berat awal dan residu, sedangkan data lain dilaporkan langsung oleh sumber. Kualitas pelaporan juga tidak seragam. Studi Gunawan et al., misalnya, menuliskan kapasitas 20 kg/jam pada bagian hasil dan 150 kg/jam pada abstrak serta kesimpulan. Data jumlah pengguna masih terbatas, dan sebagian studi hanya menggunakan warna asap sebagai indikator. Gambar desain dan pembuatan merupakan rekonstruksi konseptual. Kajian ini tidak menggantikan perhitungan teknik, pengujian berulang, analisis dispersi emisi, izin lingkungan, atau data

lapangan di Nagari Koto Gadang Anam Koto.

D. Kesimpulan

Sintesis 26 sumber menunjukkan bahwa sembilan studi dengan data asli sebelum dan sesudah menghasilkan pengurangan batch sekitar 62,88% sampai 96,94%. Nilai tertinggi muncul pada daun kering dan beberapa pengujian limbah dengan suhu serta waktu yang terkontrol, sedangkan nilai lebih rendah muncul ketika beban melampaui kapasitas efektif atau objek pembakaran sulit terurai. Evaluasi TPST menunjukkan bahwa insinerator menangani sekitar 25% sampai 30% dari total input sistem, sedangkan sisanya perlu ditangani melalui pemilahan, daur ulang, atau pengangkutan. Dengan demikian, reduksi per batch tidak boleh disamakan dengan kontribusi insinerator terhadap seluruh aliran sampah masyarakat.

Kinerja alat dipengaruhi oleh jenis dan kadar air sampah, berat batch, kepadatan muatan, suhu, waktu tinggal, suplai udara, desain ruang kedua, dan pengendalian gas buang. Data nasional menunjukkan bahwa asap dapat berubah dari hitam menjadi putih tanpa peningkatan

reduksi massa, sedangkan bukti emisi menunjukkan bahwa polutan berbahaya tidak dapat dinilai melalui warna asap saja. Klaim minim asap harus didukung pengukuran opasitas, suhu, CO, partikulat, dan parameter emisi lain sesuai baku mutu.

Rancangan konseptual dapat menjadi dasar penelitian lapangan di Nagari Koto Gadang Anam Koto setelah sistem pemilahan dan tata kelola operator dibentuk. Pengujian harus memakai batch yang ditimbang, komposisi dan kadar air yang dicatat, suhu yang direkam per interval, serta residu yang ditimbang setelah alat dingin. Kapasitas dihitung dari berat aktual dibagi waktu operasi dan diverifikasi melalui beberapa pengulangan. Data tersebut, disertai uji emisi cerobong, baru dapat digunakan untuk menyatakan efektivitas alat pada lokasi kajian.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfiandri, A., Legowo, E. H., & Audah, K. A. (2019). Evaluasi penyediaan fasilitas pengelolaan sampah insinerator di Desa Kranggan. In *Prosiding Konferensi Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat dan Corporate Social Responsibility* (Vol. 2, pp. 701-705).
- <https://doi.org/10.37695/pkmcsr.v2i0.619>
- Desiarista, A., & Mirwan, M. (2019). Peningkatan kinerja insinerator sampah medis berdasarkan waktu dan suhu pembakaran. *Jurnal Purifikasi*, 19(1), 1-8. Retrieved from <https://purifikasi.id/index.php/purifikasi/article/download/374/333>
- Estu Broto, P., Fitriyanti, Kusmiran, A., & Ihsan, K. (2024). Rancang bangun insinerator pengolahan sampah dengan penerapan teknologi termal yang ramah lingkungan. *JFT: Jurnal Fisika dan Terapannya*, 11(1), 19-30. <https://doi.org/10.24252/jft.v11i1.45734>
- Government of the United Kingdom. (2024). Preventing air pollution: Dark smoke and the Ringelmann chart. Retrieved from <https://www.gov.uk/preventing-air-pollution/dark-smoke>
- Gunawan, G., Supardin, S., Ruhana, R., & Juhan, N. (2025). Implementasi insinerator untuk pengolahan sampah di Desa Alue Lim Lhokseumawe. *Jurnal Vokasi*, 9(1), 76-85. Retrieved from <https://ejurnal.pnl.ac.id/vokasi/article/view/6527>
- Hermansyah, H., Said L., M., & Hernawati, H. (2017). Rancang bangun insinerator dua tahap: Solusi mengatasi polusi udara pada pembakaran sampah. *JFT: Jurnal Fisika dan Terapannya*, 4(1), 38-48. <https://doi.org/10.24252/jft.v4i1.15686>

- Jamilatun, S., Pitoyo, J., & Setyawan, M. (2023). Technical, economic, and environmental review of waste to energy technologies from municipal solid waste. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(3), 581-593. Retrieved from <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/ilmulingkungan/article/view/51251>
- Junaidi, J., Kurniawan, E., & Lasmana, A. (2021). Analisis laju aliran udara dan laju aliran massa bahan bakar terhadap beban pembakaran sampah pada incinerator berbahan bakar limbah oli bekas. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 5(1), 17-23. Retrieved from https://ejournal.up45.ac.id/index.php/Jurnal_ENGINE/article/view/838
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2016). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.70/MENLHK/SETJEN/KUM.1/8/2016 tentang Baku Mutu Emisi Usaha dan/atau Kegiatan Pengolahan Sampah Secara Termal. Retrieved from <https://peraturan.bpk.go.id/Details/168715/permen-lhk-no-70-tahun-2016>
- Li, Z., Fan, T. W., Lun, M. S., et al. (2024). Optimization of municipal solid waste incineration for low-NO_x emissions through numerical simulation. *Scientific Reports*, 14, 19309. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-69019-w>
- Nurhayati, I., & Triastuti, S. A. (2011). Pengolahan sampah medis jarum RS. Dr. Sutomo Surabaya dengan incenerator modifikasi. *WAKTU: Jurnal Teknik UNIPA*, 9(1), 25-33. <https://doi.org/10.36456/waktu.v9i1.900>
- Page, M. J., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Purwanta, W. (2021). Evaluasi penerapan insinerator sampah skala kecil di TPST Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 22(1), 1-8. <https://doi.org/10.29122/jtl.v22i1.4199>
- Purwanta, W., Prawisudha, P., Juangsa, F. B., Fani, A. M., & Philander, E. (2022). Modular incinerator with pre-treatment plant for municipal solid waste treatment in the super-priority tourism destination of Labuan Bajo, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1065, 012030. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1065/1/012030>
- Rohman, F., & Ilham, M. M. (2019). Analisa dan evaluasi rancang bangun insinerator sederhana dalam mengelola sampah rumah tangga. *Jurnal Mesin Nusantara*, 2(1), 52-60. Retrieved from <https://ojs.unpkediri.ac.id/index.php/JMN/article/view/13442>
- Rizal, A. M., & Nurhayati, I. (2017). Pengolahan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) dengan insinerator tipe

- reciprocating grate incinerator. *WAKTU: Jurnal Teknik UNIPA*, 15(2), 21-27. <https://doi.org/10.36456/waktu.v15i2.728>
- Santosa, I. D. M. C., Suprpto, P. A., & Sudirman, S. (2022). Aplikasi insinerator hemat energi solusi timbunan sampah residu rumah tangga: Studi kasus di Desa Adat Galiukir, Kabupaten Tabanan. *Bhakti Persada Jurnal Aplikasi IPTEKS*, 8(2), 117-124. <https://doi.org/10.31940/bp.v8i2.117-124>
- Sukamta, S., Winata, A., & Thoharuddin, T. (2017). Pembuatan alat incinerator limbah padat medis skala kecil. *Semesta Teknika*, 20(2), 147-153. <https://doi.org/10.18196/st.v20i2.3558>
- Suprihatin, H. (2018). Efektifitas incenerator untuk pembakaran sampah medis di RSUD Kota ABC. *Dinamika Lingkungan Indonesia*, 5(2), 76-83. <https://doi.org/10.31258/dli.5.2.p.76-83>
- Suryanto, S., Mulyadi, M., Mustam, U. K., & Sapan, M. A. (2022). Rancang bangun prototipe insenerator untuk sampah rumah sakit dengan teknologi pengendalian polusi udara. *SINERGI*, 20(2), 215-224. Retrieved from <https://jurnal.poliupg.ac.id/index.php/Sinergi/article/view/3773>
- Syamsiro, M., Widodo, T., Bashir, N. A. A., Slamet, S., & Romadhon, M. A. (2024). Penerapan teknologi insinerator ramah lingkungan untuk pemusnahan sampah di TPS3R Bisma Kabupaten Sleman. *J-ABDI: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, 4(7), 869-882. <https://doi.org/10.53625/jabdi.v4i7.8985>
- Trinh, V. T., Van, H. T., Pham, Q. H., Trinh, M. V., & Bui, H. M. (2020). Treatment of medical solid waste using an air flow controlled incinerator. *Polish Journal of Chemical Technology*, 22(1), 29-34. <https://doi.org/10.2478/pjct-2020-0005>
- United States Environmental Protection Agency. (2017). Method 9: Visual determination of the opacity of emissions from stationary sources. Retrieved from <https://www.epa.gov/emc/method-9-visual-opacity>
- Utami, R. D., Okayadnya, D. G., & Mirwan, M. (2016). Meningkatkan kinerja incenerator pada pemusnahan limbah medis RSUD Dr. Soetomo Surabaya. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 7(2), 115-123. Retrieved from https://eprints.upnjatim.ac.id/7207/1/7._Rahayu%2C_Oka_dan_Mirwan.pdf
- World Health Organization. (2025). Open waste burning: Sectoral solutions for air pollution and health. Retrieved from <https://www.who.int/publications/i/item/B09367>
- Zhang, G., Huang, X., Liao, W., Kang, S., Ren, M., & Hai, J. (2019). Measurement of dioxin emissions from a small-scale waste incinerator in the absence of air pollution controls. *International Journal of Environmental Research*

and Public Health, 16(7), 1267.
<https://doi.org/10.3390/ijerph16071267>

LAMPIRAN

