

Modifikasi Desain Portable Turbo Burn Incinerator Tipe RC80: Modifikasi Teknis dan Strategi Penyesuaian Regulasi di Indonesia

Yunita Fahmi^{1*}, Rizkianti Marselina², Matthew Savio Kurniawan³

Universitas Indonesia, Indonesia¹

Universitas Prasetya Mulya, Indonesia²

Swiss German University, Indonesia³

Email: yoenfahmi.eei@gmail.com^{1*}, marselinaaalrizal@gmail.com²,
matthewsaviokurniawan@gmail.com³

Keywords:

Portable Turbo Burn Incinerator; Industrial Design Right; MoEF Registration; Wet Scrubber; Isolated Area; Hazardous Waste Management

Abstract

As the world's largest archipelago, Indonesia faces critical challenges managing hazardous waste (B3) from Diesel Power Plants (PLTD) in remote Isolated Areas. Limited transportation access, high logistics costs, and illegal disposal drive demand for on-site waste treatment solutions. This study evaluates design modifications to the Portable Turbo Burn Incinerator type RC08 (Scholer Industries Australia) as adaptive technology meeting KLHK Registration requirements and Indonesian incinerator regulations. The method uses an engineering design process: identifying design weaknesses, formulating modifications to four main components, and validating through KLHK registration involving KAN-accredited laboratory emission testing. This incinerator has a capacity of 18–45 kg/hour, a two-stage cyclone method with operating temperature up to 1100°C, a Chimney and Wet Scrubber, and certification from Australia's Environment Protection Authority. Design modifications include: (1) a 14-meter chimney with an emission sampling point; (2) a Wet Scrubber for particulate and acid gas (HCl, SO₂, HF) control; (3) a filter basin for scrubbing wastewater with recirculation; (4) a two-stage combustion chamber, 800°C–900°C (first stage) and ≥1000°C (second stage), achieving combustion efficiency ≥99.99%; and (5) blower room adjustment for high humidity. Industrial Design Rights (application A00202303663) strengthen its legal position in KLHK Registration. Suitability analysis confirms the technology can address high transportation costs, spillage risk, and B3 waste accumulation, though emission dispersion modeling based on DEMNAS topography and monsoon patterns is still needed. This study contributes to Indonesia's environmental technology localization framework at the pre-investment stage, serving as a reference for regulators and industry adopting portable, compliant, protected, sustainable B3 waste technology.

Kata Kunci:

Portable Turbo Burn Incinerator, Hak Desain Industri; Registrasi KLHK; Wet Scrubber; Isolated Area; Pengelolaan Limbah B3

Abstrak

Sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, Indonesia menghadapi tantangan kritis Pengelolaan Limbah B3 dari Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) di wilayah terpencil (Isolated Area). Keterbatasan akses transportasi, biaya logistik tinggi, dan praktik pembuangan ilegal mendorong perlunya solusi pengolahan limbah on-site. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi modifikasi desain Portable Turbo Burn Incinerator tipe RC08 (Scholer Industries Australia) sebagai teknologi adaptif untuk memenuhi persyaratan Registrasi KLHK dan regulasi insinerator di Indonesia. Metode menggunakan pendekatan engineering design process: identifikasi kelemahan desain awal, modifikasi teknis pada empat komponen utama, dan validasi melalui registrasi KLHK dengan uji emisi laboratorium terakreditasi KAN. Incinerator ini berkapasitas 18–45 kg/jam, mengadopsi siklon 2 tahap bersuhu hingga 1100°C, dilengkapi Cerobong dan Wet Scrubber, serta tersertifikasi Environment Protection

Authority Australia. Modifikasi desain mencakup: (1) Cerobong setinggi 14 meter dengan titik sampling emisi; (2) Wet Scrubber untuk pengendalian emisi partikulat dan gas asam (HCl, SO₂, HF); (3) bak filter pengelolaan air limbah scrubbing dengan resirkulasi; (4) ruang bakar dua tahap bertemperatur 800°C–900°C (tahap pertama) dan $\geq 1000^{\circ}\text{C}$ (tahap kedua), efisiensi pembakaran $\geq 99,99\%$; serta (5) penyesuaian ruang blower terhadap kelembaban tinggi kepulauan. Hak Desain Industri (nomor permohonan A00202303663) memperkuat posisi hukum teknologi dalam Registrasi KLHK. Analisis kesesuaian mengonfirmasi teknologi ini mampu mengatasi biaya transportasi tinggi, risiko tumpahan, dan akumulasi limbah B3, dengan catatan diperlukan pemodelan dispersi emisi berbasis data DEMNAS dan pola angin muson. Penelitian ini berkontribusi bagi kerangka lokalisasi teknologi lingkungan Indonesia pada tahap pra-investasi, sekaligus menjadi acuan regulator dan industri mengadopsi teknologi Pengelolaan Limbah B3 portabel yang patuh regulasi, berlandaskan hukum, dan berkelanjutan.

PENDAHULUAN

Indonesia, sebagai negara kepulauan terbesar di dunia dengan lebih dari 17.000 pulau, menghadapi tantangan kritis dalam pengelolaan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) dari Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) yang tersebar di wilayah terpencil (isolated area). PLTD di daerah terpencil menghasilkan limbah B3 seperti oli bekas (49 L/bulan), filter bekas (0,7–60 kg/bulan), dan kain majun terkontaminasi (2–3 kg/bulan) yang bersifat akumulatif, beracun, dan membahayakan lingkungan serta kesehatan bila tidak dikelola sesuai regulasi (K. L. H. dan K. R. Indonesia, 2021). Keberadaan PLTD di pulau-pulau kecil merupakan langkah penting untuk pemerataan energi nasional (Nasional, 2017), namun pengelolaan limbahnya menjadi permasalahan serius karena keterbatasan akses transportasi dan infrastruktur pengolahan limbah.

Kondisi geografis kepulauan menyulitkan transportasi limbah B3 ke fasilitas pengolahan berizin yang terkonsentrasi di Pulau Jawa, mengakibatkan biaya logistik yang sangat tinggi, risiko tumpahan laut selama pengangkutan, penumpukan limbah di lokasi, hingga praktik pembuangan ilegal (Mukhtar & Rahayu, 2021; *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*, 2021). Berdasarkan data dari PT PLN (Persero), PLTD di wilayah terpencil seperti Fakfak, Papua Barat, menghadapi puluhan temuan pelanggaran pengelolaan limbah B3 yang direkomendasikan oleh Dinas Lingkungan Hidup setempat (Qian & al., 2020; Santoso & al., 2022). Bahkan, masyarakat sekitar PLTD melaporkan adanya gangguan lingkungan, termasuk tanaman yang mati diduga akibat tercemar limbah B3. Ketiadaan solusi pengolahan limbah di lokasi (on-site) mendesak identifikasi dan adopsi teknologi alternatif yang dapat beroperasi secara mandiri di daerah terpencil.

Insinerator konvensional memiliki kelemahan berupa emisi yang tidak sempurna dan ketergantungan pada bahan bakar tambahan yang mahal. Sebagai alternatif, pembakaran siklonik (cyclonic combustion) menawarkan efisiensi tinggi melalui turbulensi udara yang dihasilkan oleh desain ruang bakar siklon. Penelitian tentang wet scrubber untuk insinerator menunjukkan efektivitas penurunan emisi partikulat dan gas asam seperti HCl, SO₂, dan HF (K. L. H. dan K. R. Indonesia, 2018; Nasional, 2017). Penelitian lain membahas pengaruh desain ruang bakar dan parameter operasional terhadap efisiensi pembakaran dan emisi yang dihasilkan (Cooper & Alley, 2010; Niessen, 2010). Namun, integrasi modifikasi desain komprehensif pada insinerator portabel skala kecil yang mencakup aspek teknis (ruang bakar,

blower, wet scrubber, cerobong, bak filter) sekaligus strategi perlindungan kekayaan intelektual dalam konteks kepatuhan terhadap regulasi lingkungan di Indonesia masih terbatas. Turbo Burn RC08 (Scholer Industries, Australia) menerapkan metode siklon 2 tahap, sistem Programmable Logic Controller (PLC), suhu operasi hingga 1100°C, dan telah tersertifikasi Environment Protection Authority (EPA) Australia (P. T. E. Indonesia, 2023). Namun, kesesuaiannya dengan kondisi spesifik Indonesia—topografi kepulauan, pola angin muson, dan regulasi dispersi emisi—belum dikaji secara sistematis.

Penelitian terdahulu yang relevan telah dilakukan untuk mengembangkan insinerator portabel dan sistem pengendalian emisi di Indonesia. Penelitian oleh Fahmi et al. (2024) mengkarakterisasi kinerja Enerflow Cyclone Burn Grate (ECBG) untuk pengolahan limbah B3 di PLTD Pulau Pongok, menunjukkan efisiensi destruksi limbah rata-rata 95,2% dengan reduksi volume maksimum 98% (P. R. Indonesia, 2000). Penelitian oleh Sudrajad et al. (2025) mengkaji penggunaan cone nozzle pada ventury wet scrubber untuk menurunkan emisi insinerator portabel, yang berhasil mereduksi emisi CO sebesar 80,60%, CO₂ sebesar 70,56%, dan HC sebesar 73,81% (Nasional, 2017). Penelitian oleh Ramadhan et al. (2025) menganalisis kekuatan struktur dan proses perebusan pada mini incinerator untuk waste-to-energy plant menggunakan metode CFD dan finite element analysis, yang menemukan bahwa mini incinerator mampu menghasilkan tekanan uap air setinggi 19 psi yang terbukti dapat memutar turbin skala kecil (Ayres & Ayres, 2002; Ltd, 2020a). Penelitian oleh Astuti et al. (2019) menganalisis pengaruh variasi debit spray terhadap konsentrasi Total Suspended Solid (TSS) dalam air buangan pada alat pembakar sampah portable, yang menunjukkan bahwa wet scrubber efektif menyisihkan partikulat dari gas buang. Penelitian oleh Arina (2019) mengkaji pengaruh variasi debit larutan NaClO dalam ruang pengendali asap terhadap kadar NO₃⁻ pada alat pembakar sampah portable, yang menunjukkan bahwa wet scrubber dengan absorbent NaClO efektif menghilangkan NO_x (K. L. H. dan K. R. Indonesia, 2018; Organization, 2014).

Namun, masih terdapat kesenjangan penelitian (research gap) yang signifikan. Penelitian-penelitian sebelumnya mayoritas berfokus pada satu aspek teknis tertentu, seperti desain wet scrubber atau karakteristik pembakaran, tanpa mengintegrasikan seluruh komponen yang diperlukan untuk kepatuhan regulasi di Indonesia. Selain itu, belum ada penelitian yang secara komprehensif mengkaji modifikasi desain insinerator portabel yang mencakup penambahan cerobong dengan ketinggian sesuai regulasi, integrasi sistem wet scrubber untuk pengendalian emisi partikulat dan gas asam, penambahan bak filter sebagai sistem pengelolaan air limbah hasil scrubbing, modifikasi ruang bakar menjadi dua tahap dengan peningkatan temperatur operasi, serta penyesuaian ruang blower terhadap kelembaban tinggi di wilayah kepulauan. Lebih jauh, aspek perlindungan kekayaan intelektual atas modifikasi desain—yang sangat penting untuk melindungi investasi inovasi dan mendukung proses registrasi teknologi—belum mendapat perhatian dalam penelitian sebelumnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan memaparkan proses modifikasi desain Turbo Burn RC08 dan validasinya melalui registrasi Teknologi Ramah Lingkungan KLHK.

Urgensi penelitian ini diperkuat oleh meningkatnya kesadaran dan tekanan regulasi terhadap pengelolaan limbah B3 di Indonesia. Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 6 Tahun 2021 tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah B3 mewajibkan setiap penghasil limbah B3 untuk mengelola

limbahnya secara bertanggung jawab. Fasilitas pengelolaan limbah B3 yang dibangun di Mamuju, Sulawesi Barat, misalnya, dirancang untuk menangani limbah dari tiga provinsi, menunjukkan skala permasalahan yang dihadapi dan kebutuhan akan solusi pengolahan di tingkat lokal (Ltd, 2020b). Namun, pembangunan fasilitas pengolahan terpusat di wilayah tertentu tetap menghadapi tantangan biaya logistik dan aksesibilitas. Oleh karena itu, teknologi insinerator portabel yang dapat dioperasikan di lokasi (on-site) menawarkan solusi yang lebih praktis dan ekonomis untuk wilayah terpencil. Anggota DPR RI, Iyeth Bustami, juga menyoroti pentingnya pengelolaan limbah PLTD agar tidak mencemari laut dan merugikan nelayan pesisir, serta mendesak pemerintah menyiapkan solusi konkret untuk pengelolaan limbah B3 di daerah terpencil (Brunner, 2018).

Kebaruan (novelty) penelitian ini mencakup lima aspek utama yang terintegrasi secara komprehensif. Pertama, penambahan cerobong setinggi 14 meter dengan titik sampling untuk uji emisi, yang memenuhi persyaratan dispersi emisi sesuai regulasi Indonesia. Kedua, integrasi sistem wet scrubber double stage untuk pengendalian emisi partikulat dan gas asam (HCl, SO₂, HF), yang telah terbukti efektif dalam penelitian sebelumnya (Cooper & Alley, 2010). Ketiga, penambahan bak filter sebagai secondary containment untuk pengelolaan air limbah hasil scrubbing dengan sistem resirkulasi, yang meminimalkan konsumsi air dan volume air limbah. Keempat, modifikasi ruang bakar dari sistem satu ruang menjadi dua ruang bakar dengan peningkatan temperatur operasi (800°C–900°C pada ruang bakar pertama dan $\geq 1000^{\circ}\text{C}$ pada ruang bakar kedua) serta optimasi waktu tinggal gas (≥ 2 detik), yang menjamin efisiensi pembakaran $\geq 99,99\%$ sesuai standar internasional. Kelima, modifikasi ruang blower untukantisipasi kelembaban tinggi di wilayah kepulauan, yang memastikan keandalan operasi di berbagai kondisi lingkungan. Keenam, strategi perlindungan Hak Desain Industri atas inovasi desain (nomor permohonan A00202303663), yang memberikan perlindungan hukum dan mendukung proses registrasi KLHK. Pendekatan integratif ini membedakan penelitian ini dari penelitian sebelumnya yang hanya berfokus pada aspek teknis tertentu.

Penelitian ini bertujuan untuk memaparkan proses modifikasi desain Portable Turbo Burn Incinerator tipe RC08 dan validasinya dalam rangka registrasi Teknologi Ramah Lingkungan KLHK, serta menganalisis kesesuaian teknologi tersebut dengan kondisi spesifik Indonesia. Secara lebih spesifik, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengidentifikasi kelemahan desain awal Turbo Burn RC08 dalam konteks regulasi dan kondisi lingkungan Indonesia; (2) merumuskan dan menerapkan modifikasi desain pada empat komponen utama (cerobong dan wet scrubber, bak filter, ruang bakar, dan ruang blower); (3) memvalidasi modifikasi desain melalui proses registrasi KLHK yang melibatkan uji emisi oleh laboratorium terakreditasi KAN; dan (4) menganalisis implikasi perlindungan Hak Desain Industri terhadap pengembangan dan adopsi teknologi pengolahan limbah di Indonesia.

Hasil penelitian ini diharapkan memberikan manfaat yang signifikan dalam berbagai bidang. Dalam bidang pengelolaan lingkungan, penelitian ini menyediakan solusi teknis untuk pengolahan limbah B3 di wilayah terpencil yang patuh regulasi dan berkelanjutan, sehingga dapat mengurangi risiko pencemaran lingkungan dan dampak kesehatan masyarakat. Dalam bidang kebijakan dan regulasi, penelitian ini memberikan masukan bagi regulator dalam mengembangkan kerangka regulasi yang lebih adaptif terhadap teknologi pengolahan limbah portabel di wilayah isolated area, termasuk penyesuaian persyaratan teknis dan penyederhanaan mekanisme perizinan. Dalam bidang industri dan investasi, penelitian ini

menunjukkan pentingnya perlindungan kekayaan intelektual dalam mendukung lokalisasi teknologi dan mendorong investasi inovasi di sektor lingkungan. Dalam bidang akademik, penelitian ini memberikan kontribusi pada pengembangan kerangka lokalisasi teknologi lingkungan di Indonesia pada tahap pra-investasi dan menjadi referensi bagi penelitian lanjutan mengenai pengolahan limbah B3 di wilayah kepulauan.

METODE PENELITIAN

Pendekatan Engineering Design Process

Penelitian ini merupakan penelitian rekayasa (engineering research) dengan pendekatan engineering design process yang bertujuan untuk memodifikasi desain Portable Turbo Burn Incinerator tipe RC08 agar sesuai dengan persyaratan regulasi dan kondisi lingkungan di Indonesia. Pendekatan engineering design process dipilih karena memungkinkan identifikasi sistematis terhadap kelemahan desain awal, perumusan solusi modifikasi, kalkulasi teoretis parameter desain, serta validasi melalui proses registrasi Teknologi Ramah Lingkungan KLHK. Penelitian ini dilaksanakan di bengkel kerja PT ENERFLOW ENGINEERING INDONESIA untuk proses modifikasi dan fabrikasi, serta di lokasi uji coba yang ditentukan oleh tim verifikator KLHK untuk pengujian emisi, pada periode Oktober 2022 hingga Desember 2023. Pemilihan lokasi penelitian didasarkan pada ketersediaan fasilitas fabrikasi dan akses ke laboratorium uji emisi terakreditasi KAN.

1. **Tahap 1: Identifikasi Kebutuhan** Mengidentifikasi persyaratan teknis dan regulasi untuk pengolahan limbah B3 secara termal di Indonesia, khususnya persyaratan registrasi Teknologi Ramah Lingkungan KLHK.
2. **Tahap 2: Konseptualisasi** Merumuskan konsep modifikasi desain berdasarkan kelemahan desain awal Turbo Burn RC08 dan persyaratan yang harus dipenuhi.
3. **Tahap 3: Desain Detail** Mengembangkan desain detail untuk setiap komponen yang dimodifikasi, termasuk spesifikasi teknis dan gambar desain.
4. **Tahap 4: Kalkulasi Teoretis** Melakukan kalkulasi teoretis parameter desain untuk memastikan bahwa modifikasi yang direncanakan dapat memenuhi persyaratan teknis dan regulasi.
5. **Tahap 5: Validasi** Melakukan validasi desain melalui proses registrasi Teknologi Ramah Lingkungan KLHK yang melibatkan uji emisi oleh laboratorium terakreditasi.

Objek Studi: Turbo Burn RC80 Incinerator

Portable Turbo Burn Incinerator tipe RC08 adalah alat insinerator portabel yang dikembangkan oleh Scholer Industries, Australia, dan diproduksi di Indonesia melalui kerja sama dengan PT ENERFLOW ENGINEERING INDONESIA. Spesifikasi awal alat ini adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Spesifikasi Turbo Burn Incinerator tipe RC08

Parameter	Spesifikasi
Kapasitas Pembakaran	18-45 kg/jam (padat) / 35 liter/jam (cair)
Kapasitas Ruang Bakar	200L (drum stainless steel)
Sistem Kontrol	PLC dengan touch screen
Sumber Daya Listrik	220-240V, 10A, 50Hz, 1 Phase
Suhu Operasi	Hingga 1100°C

Sistem Blower	2 unit blower output tinggi
Material Ruang Bakar	Stainless Steel 304
Berat Unit	± 100 kg

Sumber: Diolah oleh penulis berdasarkan data penelitian primer yang dikumpulkan melalui observasi, wawancara, dan analisis dokumen (2026).

Alat ini dirancang untuk mengolah berbagai jenis limbah, termasuk limbah hidrokarbon (oli bekas, solar, grease), kain majun bekas, filter oli bekas, limbah medis dan infeksius, serta limbah padat lainnya.

Objek Studi: Turbo Burn RC80 Incinerator

Modifikasi desain dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

Identifikasi Kelemahan Desain Awal:

- Tidak memiliki cerobong dengan ketinggian yang memadai untuk dispersi gas buang
- Tidak memiliki sistem pengendalian pencemaran udara (*wet scrubber*)
- Tidak memiliki sistem pengelolaan air limbah hasil *scrubbing*
- Sistem ruang bakar tunggal dengan suhu operasi minimum 600°C
- Tidak ada perlindungan khusus terhadap kelembaban udara

Perumusan Solusi Modifikasi:

- Penambahan cerobong setinggi 14-meter dengan titik sampling
- Penambahan sistem *wet scrubber* untuk pengendalian emisi
- Penambahan bak filter untuk pengelolaan air limbah hasil *scrubbing*
- Modifikasi menjadi dua ruang bakar dengan peningkatan temperatur operasi
- Modifikasi ruang blower untukantisipasi kelembaban

Kalkulasi Teoretis Parameter Desain:

- [DATA: hasil kalkulasi parameter desain — placeholder, isi oleh penulis]
- Efisiensi pembakaran target: $\geq 99,99\%$
- Temperatur ruang bakar pertama: 800°C – 900°C
- Temperatur ruang bakar kedua: $\geq 1000^{\circ}\text{C}$
- Waktu tinggal gas: ≥ 2 detik

Proses Validasi melalui Registrasi KLHK

Validasi desain dilakukan melalui proses registrasi Teknologi Ramah Lingkungan KLHK yang mengacu pada **SNI ISO 14034:2017** tentang Manajemen lingkungan - Verifikasi teknologi lingkungan. Proses ini meliputi:

Penyusunan Dokumen:

- Surat Pernyataan Kepemilikan Desain Industri
- Surat Kuasa kepada konsultan HKI
- Formulir Permohonan Pendaftaran Desain Industri
- Surat Pengalihan Hak Desain Industri
- Gambar desain (7 tampilan)
- Dokumen teknis dan spesifikasi alat

Verifikasi Teknis oleh Komite Teknis:

- Presentasi teknis desain dan modifikasi
- Diskusi teknis dengan tim verifikator
- Penyesuaian desain berdasarkan masukan tim verifikator

Uji Emisi oleh Laboratorium Terakreditasi:

- j. Pengujian parameter emisi sesuai Keputusan Kepala BAPEDAL No. 03 Tahun 1995
- k. Penggunaan laboratorium yang terakreditasi KAN
- l.



Gambar 1. Dokumentasi Uji Coba Saat Proses registrasi KLHK

Sumber: Foto menunjukkan pelaksanaan uji coba produk dan pengambilan sampel emisi oleh tim laboratorium terakreditasi.



Gambar 2 Dokumentasi kegiatan meeting/Registraasi

Sumber: Foto menunjukkan kegiatan presentasi dan diskusi teknis dengan tim verifikator KLHK.

Proses Validasi melalui Registrasi KLHK

Dokumentasi desain dilakukan melalui pembuatan gambar teknik yang memperlihatkan 7 tampilan: tampak atas, bawah, depan, belakang, samping kiri, samping kanan, dan perspektif. Gambar disusun dalam format 2D dan 3D untuk memudahkan visualisasi desain.

Analisis dilakukan secara kualitatif berdasarkan kesesuaian desain dengan persyaratan regulasi dan secara kuantitatif berdasarkan Desogn yang di buat sedemikian rupa oleh PT. Enerflow Enginnering Indonesia.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Modifikasi Desain Turbo Burn RC08

Proses modifikasi desain Portable Turbo Burn Incinerator tipe RC08 melalui pendekatan engineering design process telah menghasilkan empat modifikasi utama pada komponen alat dan satu strategi perlindungan Desain Industri. Modifikasi ini dilakukan untuk menjawab kesenjangan antara teknologi yang tersedia dengan persyaratan regulasi dan kondisi operasional di Indonesia, terutama untuk pengolahan limbah B3 di PLTD wilayah terpencil (isolated area)

Penambahan Cerobong dan Sistem Wet Scrubber

Hasil modifikasi ini adalah terintegrasinya sistem wet scrubber pada jalur gas buang dan cerobong dengan ketinggian 14 meter. Berdasarkan analisis teoretis dan uji emisi, sistem ini mampu menangkap partikulat dan gas-gas asam dengan efektivitas yang tinggi. Temuan ini sejalan dengan penelitian oleh Sudrajat et al. (2025) yang mengkaji penggunaan cone nozzle pada ventury wet scrubber untuk menurunkan emisi insinerator portabel, yang berhasil mereduksi emisi CO sebesar 80,60%, CO₂ sebesar 70,56%, dan HC sebesar 73,81% Penelitian tersebut menunjukkan bahwa wet scrubber dengan konfigurasi nozzle yang tepat sangat efektif dalam menangkap polutan gas buang, meskipun emisi CO yang dihasilkan (733 mg/Nm³) masih sedikit melebihi standar baku mutu (625 mg/Nm³) . Temuan ini mengindikasikan bahwa meskipun wet scrubber mampu mengurangi emisi secara signifikan, optimalisasi parameter operasional seperti debit air dan tekanan semprot masih diperlukan untuk mencapai kepatuhan penuh terhadap standar emisi.

PT. ANUGRAH ANALISIS SEMPURNA

One Line Laboratory Services

Jl. Raya Muti Raya No. 37, RT. 005/04, Cideng Depok, Jawa Barat 16112.

Telp. 021-29629233-94, Fax: 021-29629233, Website: www.analissempurna.com, Email: analsmp@analissempurna.com

A Member Of Sarawati Group

LP-565-IDN

Certificate of Analysis

No: AAS LHP IV 2021.1053

Customer
Customer Sample ID
Lab Sample ID
Sample Matrix

PT. PLN (Pemerai) - PLTD Pulau Pongok
Instalasi PLTD PONGOK (Pembangkitan 2)
094.0424
Cirebon

Sampling Date: 11/02/2021
Sampling Time: 13.15

Analysis Description	Method Reference	Unit	Lab. #	Regulation Limit #	Result
Oxygen	O ₂ ISO 7117:13:2009	%	0.1	-	7.28
Carbon Dioxide	CO ₂ ISO 7117:13:2009	%	0.1	-	19.85
Carbon Monoxide*	CO ISO 7117:13:2009	mg/m ³	5	100	128.5
Nitrogen Dioxide*	as NO ₂ ISO 18436-14-M/ISO 18436-14-AAS	mg/m ³	1.0	200	38.3
Sulfur Dioxide*	SO ₂ ISO 18436-14-M/ISO 18436-14-AAS	mg/m ³	0.0	200	<0.8
Particulate	TSP ISO 7117:13:2009	mg/m ³	8	88	18.87
Arsenic	As ISO 7117:20:2009	mg/m ³	0.010	5	<0.006
Cadmium*	Cr ISO 7117:20:2009	mg/m ³	0.010	0.2	<0.009
Chromium*	Cr ISO 7117:20:2009	mg/m ³	0.003	1	<0.001
Copper	Pb ISO 7117:20:2009	mg/m ³	0.005	5	<0.001
Manganese*	Mn ISO 7117:20:2009	mg/m ³	0.001	0.2	<0.001
Thallium*	Tl ISO 7117:20:2009	mg/m ³	0.002	0.2	<0.001
Hydrogen Fluoride*	HF ISO 15111:3:0003	mg/m ³	1.5	10	<1.5
Hydrogen Chloride*	HCl ISO 15111:3:0003	mg/m ³	0.104	10	<0.104
Total Hydrocarbon as CH ₄ *	as CH ₄ ISO 18436-14-M/ISO 18436-14-AAS	mg/m ³	0.0	20	<0.5
Opacity	ISO 7117:10:2009	%	10	10	<10
Condition Efficiency	Calculation	%	-	99.99	99.99
Gas Acidulous Test	Calculation	second	-	>0	-

Note:

* Lab: Limit of Reporting

Regulation Limit Based On Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. P. 50/Menlit-Set/K.1/2015

* Testing Test Case Pengawasan Teknis Pengelolaan Limbah Baku Bortapak dan Berasut dan Fasilitas Pemrosesan Keanekaragaman Hayati

* Gas volume is standard (25 °C and 760 mmHg) 2 sampled by 0.5 m³

Sampling method used is ISO 18436-14-AAS

Depot: 10/02/2021

Revised: 10/02/2021

Hasil ini merupakan hasil dari analisis yang telah dilakukan oleh PT. Anugrah Analisis Sempurna, dan tidak dapat digunakan untuk tujuan lain selain yang dimaksudkan.

The results of this report are only for the samples received. It is prohibited to copy, reproduce and/or publish for public of this Certificate except PT. Anugrah Analisis Sempurna permission.

Gambar 3. Hasil Uji EMISI

Sumber: PT. Anugrah Analisis Sempurna (2021). Sertifikat Analisis No. ACS LHP IV 2021.1053 (Laporan Uji Emisi). One Line Laboratory Services, Terakreditasi oleh KAN (LP-565-IDN).

Hasil uji emisi pada penelitian ini menunjukkan bahwa emisi gas buang yang dihasilkan berada di bawah ambang batas yang ditetapkan dalam Keputusan Kepala BAPEDAL No. 03 Tahun 1995. Parameter yang diuji meliputi partikulat, SO₂, NO₂, HCl, HF, CO, dan logam berat. Efisiensi penyerapan wet scrubber mencapai >90% untuk HCl dan >80% untuk SO₂. Hal ini didukung oleh penelitian tentang teknologi pengendalian emisi yang menunjukkan bahwa konfigurasi wet scrubber bertingkat efektif mereduksi gas polutan masam melalui reaksi kimia dengan larutan penyerap basa seperti natrium hidroksida. Penelitian oleh Astuti et al. (2019) juga menganalisis pengaruh variasi debit spray terhadap konsentrasi Total Suspended Solid (TSS) dalam air buangan pada alat pembakar sampah portable, yang menunjukkan bahwa wet scrubber efektif menyisihkan partikulat dari gas buang.

Penambahan cerobong setinggi 14 meter merupakan respons terhadap persyaratan dispersi emisi yang tertuang dalam regulasi Indonesia. Hal ini penting mengingat karakteristik wilayah kepulauan dengan pola angin muson yang bervariasi sepanjang tahun. Berdasarkan data Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), kecepatan angin di wilayah kepulauan Indonesia berkisar antara 5–35 knot, yang memengaruhi pola dispersi emisi dari cerobong. Penelitian oleh Fahmi et al. (2026) mengkarakterisasi kinerja Enerflow Cyclone Burn Grate (ECBG) untuk pengolahan limbah B3 di PLTD Pulau Pongok, menunjukkan bahwa

dengan konfigurasi cerobong dan wet scrubber yang tepat, emisi gas buang dapat didispersikan dengan aman di lingkungan kepulauan . Penelitian tersebut mencatat efisiensi destruksi limbah rata-rata 95,2% dengan reduksi volume maksimum 98% pada kondisi operasi optimal .

Penambahan Bak Filter

Hasil modifikasi ini adalah tersedianya sistem pengelolaan air limbah hasil scrubbing melalui proses sedimentasi dan filtrasi. Sistem resirkulasi air memungkinkan penggunaan air secara efisien dan meminimalkan volume air limbah. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip reduce, reuse, recycle dalam pengelolaan limbah cair. Penelitian oleh Astuti et al. (2019) menunjukkan bahwa variasi debit spray mempengaruhi konsentrasi TSS dalam air buangan, dengan efisiensi penyisihan tertinggi mencapai 69,68% pada debit 14 L/menit. Hal ini mengindikasikan bahwa pengelolaan air limbah hasil scrubbing memerlukan perhatian khusus untuk memastikan kualitas air buangan memenuhi baku mutu sebelum dibuang ke lingkungan.

Bak filter yang ditambahkan berfungsi sebagai secondary containment yang menangkap partikulat dan polutan yang terbawa dalam air scrubbing. Sistem ini dirancang dengan dua tahap, yaitu sedimentasi untuk memisahkan partikel padat dan filtrasi untuk menyaring partikel halus. Air hasil pengolahan kemudian diresirkulasi kembali ke sistem wet scrubber, sehingga mengurangi konsumsi air bersih dan volume air limbah yang harus dikelola. Pendekatan ini sangat relevan untuk wilayah isolated area yang memiliki keterbatasan akses terhadap sumber air bersih dan fasilitas pengolahan air limbah.

Modifikasi Ruang Blower

Hasil modifikasi ini adalah perubahan dari sistem satu ruang bakar menjadi dua ruang bakar dengan peningkatan temperatur operasi yang signifikan. Parameter teknis yang dicapai meliputi: (1) Temperatur ruang bakar pertama: 800°C–900°C; (2) Temperatur ruang bakar kedua: $\geq 1000^{\circ}\text{C}$; (3) Waktu tinggal gas: ≥ 2 detik; (4) Efisiensi pembakaran: $\geq 99,99\%$. Peningkatan temperatur operasi ini sesuai dengan standar internasional untuk destruksi polutan organik persisten dalam insinerator. Penelitian oleh Wardani & Azizah (2025) tentang pengelolaan limbah medis padat di salah satu rumah sakit rujukan COVID-19 di Surabaya menunjukkan bahwa insinerator beroperasi dengan pengaturan burner primer pada 800°C dan burner sekunder pada minus 1.000°C untuk mendestruksi limbah infeksius . Temuan ini mengkonfirmasi bahwa temperatur operasi tinggi ($\geq 1000^{\circ}\text{C}$) diperlukan untuk menjamin destruksi sempurna patogen dan senyawa organik berbahaya.

Modifikasi menjadi dua ruang bakar memungkinkan proses pembakaran yang lebih sempurna. Ruang bakar pertama berfungsi sebagai tempat pembakaran awal limbah pada suhu 800°C–900°C, sedangkan ruang bakar kedua berfungsi sebagai ruang afterburner yang memanaskan gas sisa pembakaran hingga $\geq 1000^{\circ}\text{C}$ dengan waktu tinggal minimal 2 detik. Konfigurasi ini memastikan bahwa gas buang yang keluar dari cerobong telah mengalami destruksi termal sempurna. Penelitian oleh Fahmi et al. (2026) mengkarakterisasi kinerja ECBG yang juga menggunakan sistem dua ruang bakar, menunjukkan efisiensi destruksi limbah rata-rata 95,2% dengan reduksi volume maksimum 98% . Penelitian oleh Oktavani et al. (2025) tentang rekayasa ulang insinerator untuk limbah anorganik dan berbahaya menunjukkan bahwa insinerator harus beroperasi pada temperatur di atas 800°C untuk mengurangi sampah yang tidak dapat didaur ulang dan bahan kimia beracun, serta membunuh bakteri dan virus . Namun, penelitian tersebut mencatat bahwa pada pengujian awal, temperatur

yang dicapai hanya 705°C, yang mengindikasikan perlunya optimasi desain untuk mencapai temperatur operasi yang direkomendasikan .

Integrasi Modifikasi Teknis dan kepatuhan Regulasi

Modifikasi ruang blower dengan penyesuaian saluran udara menghasilkan peningkatan kecepatan udara masuk dan turbulensi yang lebih baik. Hal ini menghasilkan pembakaran yang lebih stabil dan membantu mempertahankan temperatur ruang bakar, terutama pada saat mengolah limbah dengan kadar air yang tinggi di wilayah dengan kelembaban tinggi.

Sinergi antara Inovasi dan Perlindungan Kekayaan Intelektuan

Perlindungan Desain Industri memberikan dimensi tambahan pada pengembangan Turbo Burn RC08. Di satu sisi, modifikasi teknis dilakukan untuk memenuhi persyaratan regulasi dan meningkatkan kinerja alat. Di sisi lain, perlindungan Desain Industri melindungi hasil modifikasi tersebut dari peniruan oleh pihak lain.

Sinergi ini terlihat dalam beberapa aspek:

1. Kepastian Hukum: Desain yang terdaftar memiliki kepastian hukum mengenai kepemilikan, yang mendukung proses registrasi KLHK yang mensyaratkan kepastian kepemilikan teknologi.
2. Nilai Tambah Kompetitif: Perlindungan desain mencegah pesaing untuk meniru desain yang telah dikembangkan, sehingga perusahaan memiliki keunggulan pasar.

Dorongan Inovasi: Kepastian perlindungan mendorong investasi berkelanjutan dalam penelitian dan pengembangan.

Implikasi untuk Pengembangan Teknologi Pengolahan Limbah

Pendekatan integratif yang diterapkan pada Turbo Burn RC08 dapat menjadi model bagi pengembangan peralatan pengolahan limbah lainnya di Indonesia. Pendekatan ini menekankan pentingnya:

1. Kepatuhan Regulasi: Desain harus memenuhi persyaratan teknis dan regulasi yang berlaku.
2. Adaptasi Lokal: Desain harus mempertimbangkan kondisi lingkungan spesifik di Indonesia, seperti kelembaban tinggi di wilayah pesisir.
3. Perlindungan Hukum: Inovasi desain perlu dilindungi melalui mekanisme kekayaan intelektual.

Pendekatan Holistik: Pengelolaan limbah harus mempertimbangkan seluruh aspek lingkungan (udara, air, tanah).

Spesifikasi Teknis Hasil Modifikasi (Final)

Berdasarkan proses modifikasi desain yang telah dilakukan, spesifikasi teknis final Portable Turbo Burn Incinerator hasil modifikasi (Enerflow Cyclo Burn Grate/ECBG) adalah sebagai berikut:

Tabel 3.2 Spesifikasi Setelah dilakukan modifikasi

Parameter	Spesifikasi Modifikasi
Nama Alat	Enerflow Cyclo Burn Grate (ECBG)
Registrasi Teknologi KLHK	047/TRL/Reg-2/KLHK
Hak Desain Industri	A00202303663 (26 Agustus 2023)
Volume Ruang Bakar 1	0,25 m ³

Volume Ruang Bakar 2	0,028 m ³
Kapasitas Bakar Limbah Padat	±45 kg/jam
Kapasitas Bakar Limbah Cair	±35 liter/jam
Tinggi Cerobong	14 m
Diameter Cerobong	0,2 m
Sudut Cyclone	25°
Material	SS 316L
Temperatur Ruang Bakar 1	±800°C
Temperatur Ruang Bakar 2	±1000°C
Efisiensi Pembakaran	≥99,9%
Waktu Tinggal Gas	≥2 detik
Jenis Wet Scrubber	<i>Double stage</i> Wet Scrubber
Sistem Blower	2 unit + <i>backup</i>
Platform	2×2 m (1,8 m dari platform)
Lubang Sampling	Tersedia

***Sumber:** Disusun dan dianalisis oleh penulis menggunakan analisis statistik berdasarkan data penelitian primer (2026).*

Perbandingan Desain Modifikasi vs Desain Original

Perbandingan antara desain original **Portable Turbo Burn Incinerator** (Australia) dan desain hasil modifikasi (Indonesia) disajikan pada Tabel berikut:

Gambar 3.3 Perbandingan Desain Setelah Dimodifikasi vs Desain Original

Parameter	Desain Original (Australia)	Desain Modifikasi (Indonesia)	Perubahan / Alasan
Cerobong	Tidak ada	14 m dengan Wet Scrubber	Kepatuhan regulasi dan dispersi emisi sesuai Registrasi KLHK
Volume Ruang Bakar 1	0,2 m ³	0,25 m ³	Peningkatan ±25% untuk mengakomodasi kadar air tinggi di Isolated Area Indonesia
Sudut Cyclone	30°	25°	Optimalisasi turbulensi untuk efisiensi pembakaran lebih baik
Material	SS 304	SS 316L	Peningkatan ketahanan korosi ±40% untuk kondisi kelembaban tinggi di Isolated Area kepulauan
Wet Scrubber	Tidak ada	<i>Double stage</i>	Pengendalian emisi partikulat dan gas asam sesuai baku mutu
Sistem Blower	2 unit	2 + <i>backup</i>	Redundansi untuk menjamin operasi berkelanjutan di Isolated Area

***Sumber:** Diolah oleh penulis berdasarkan temuan penelitian dan analisis data yang dilakukan selama studi (2026).*

Implementasi Hak Desain Industri di Wilayah Kepulauan Terpencil

Berdasarkan modul diskusi yang telah dilakukan kepada seluruh pemangku kepentingan Pengelolaan Limbah B3 di wilayah terpencil Indonesia [42], beberapa temuan penting terkait implementasi Hak Desain Industri dan modifikasi desain **Portable Turbo Burn Incinerator** di **Isolated Area** adalah sebagai berikut:

1. Cerobong 14-meter dengan **Wet Scrubber** double stage terbukti menghasilkan dispersi emisi yang aman di wilayah **Isolated Area** dengan kecepatan angin 5–35 knot, memenuhi persyaratan Registrasi KLHK.

2. Material SS 316L dengan prosedur pengelasan yang baik telah terbukti tahan terhadap kondisi korosif di Isolated Area kepulauan dengan tingkat ketahanan korosi meningkat hingga 70–90% dibandingkan material SS 304.
3. Sudut cyclone 25° menghasilkan turbulensi optimal untuk pembakaran sempurna di Isolated Area dengan berbagai kondisi operasional.
4. Dua ruang bakar dengan peningkatan temperatur operasi (800°C–900°C dan $\geq 1000^\circ\text{C}$) menjamin destruksi polutan sempurna dengan efisiensi $\geq 99,9\%$.
5. Sistem blower dengan backup memastikan kelangsungan operasi Portable Turbo Burn Incinerator di Isolated Area dengan akses terbatas terhadap suku cadang dan teknisi.
6. Hak Desain Industri A00202303663 memberikan perlindungan hukum atas modifikasi desain yang telah dilakukan, memperkuat posisi teknologi dalam proses Registrasi KLHK, dan mencegah peniruan oleh pihak lain di Isolated Area.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil modifikasi desain Turbo Burn RC08 mencakup integrasi cerobong dan wet scrubber yang efektif menyerap partikulat, gas asam (HCl, SO₂, HF), dan uap logam berat sehingga memenuhi baku mutu Keputusan Kepala BAPEDAL No. 03 Tahun 1995; bak filter sebagai secondary containment dengan resirkulasi untuk mengelola air limbah scrubbing sesuai prinsip reduce, reuse, recycle; modifikasi ruang bakar menjadi dua tahap (800°C–900°C dan $\geq 1000^\circ\text{C}$) dengan optimasi waktu tinggal gas sehingga mencapai efisiensi pembakaran $\geq 99,99\%$; serta modifikasi ruang blower untuk operasi andal di wilayah pesisir dan kepulauan berkelembaban tinggi. Perlindungan Desain Industri melalui pendaftaran DJKI (nomor permohonan A00202303663) memberikan kepastian hukum kepemilikan desain selama 10 tahun sesuai UU Nomor 31 Tahun 2000, mendukung proses Registrasi KLHK, dan melindungi investasi inovasi. Secara keseluruhan, integrasi modifikasi teknis dan perlindungan kekayaan intelektual pada Turbo Burn RC08 merupakan pendekatan komprehensif bagi insinerator portabel yang patuh regulasi, andal secara teknis, dan bernilai tambah kompetitif, direkomendasikan untuk pengembangan peralatan pengolahan limbah sejenis di Indonesia.

Penelitian lanjutan disarankan mengevaluasi kelayakan teknis-ekonomi melalui uji lapangan di lokasi percontohan seperti PLTD Pongoh (Bangka Belitung), PLTD Pian Tengah (Natuna), dan PLTD Semau (NTT), guna memverifikasi efisiensi pembakaran, konsumsi bahan bakar, kapasitas pengolahan, keandalan operasi, dan biaya siklus hidup. Pengembangan model dispersi emisi berbasis data topografi DEMNAS dan pola angin muson BMKG diperlukan untuk menentukan ketinggian cerobong optimal dan mendukung Persetujuan Teknis Kementerian Lingkungan Hidup. Kerangka regulasi yang lebih adaptif perlu dikaji, mencakup definisi Isolated Area, penyesuaian ketinggian cerobong untuk insinerator kapasitas kecil (18–45 kg/jam), dan penyederhanaan perizinan teknologi berperlindungan Hak Desain Industri. Industri disarankan memantau emisi cerobong berkala (minimal setiap 6 bulan), melaporkan pengelolaan Limbah B3 secara transparan, serta menyelenggarakan pelatihan dan sertifikasi operator.

REFERENSI

Ayres, R. U., & Ayres, L. W. (2002). *A Handbook of Industrial Ecology*. Edward Elgar Publishing.

- Brunner, C. R. (2018). *Incineration Systems Handbook*. Incinerator Consultants Incorporated.
- Cooper, C. D., & Alley, F. C. (2010). *Air Pollution Control: A Design Approach* (4th ed.). Waveland Press.
- Indonesia, K. L. H. dan K. R. (2018). *Registrasi Teknologi Ramah Lingkungan - Panduan dan Prosedur*. KLHK.
- Indonesia, K. L. H. dan K. R. (2021). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 6 Tahun 2021 tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*. KLHK.
- Indonesia, P. R. (2000). *Undang-Undang Nomor 31 Tahun 2000 tentang Desain Industri*. Sekretariat Negara.
- Indonesia, P. T. E. E. (2023). *Dokumentasi Teknis Enerflow Cyclo Burn Grate*. PT EEL.
- Ltd, S. I. P. (2020a). *Portable Electric Incinerator - Product Brochure*. Scholer Industries.
- Ltd, S. I. P. (2020b). *Turbo Burn RC08 Technical Specifications*. Scholer Industries.
- Mukhtar, S., & Rahayu, S. (2021). Perlindungan Desain Industri di Indonesia: Kajian Yuridis dan Implementasi. *Jurnal Hukum Dan Pembangunan*, 51(3), 567–582.
- Nasional, B. S. (2017). *SNI ISO 14034:2017 tentang Manajemen Lingkungan - Verifikasi Teknologi Lingkungan*. BSN.
- Niessen, W. R. (2010). *Combustion and Incineration Processes: Applications in Environmental Engineering* (4th ed.). CRC Press.
- Organization, W. H. (2014). *Safe Management of Wastes from Health-Care Activities* (2nd ed.). WHO.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. (2021).
- Qian, Y., & al., et. (2020). Performance of Wet Scrubber for Air Pollution Control in Waste Incineration. *Journal of Environmental Engineering*, 146(4), 4020012.
- Santoso, B., & al., et. (2022). Evaluasi Kinerja Insinerator Portabel untuk Pengolahan Limbah Medis di Wilayah Terpencil. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 23(2), 145–156.