

Pendampingan Pengelolaan Sampah Terpadu Berbasis Insinerator Ramah Lingkungan di Pondok Pesantren Hubbul Khoir, Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah

**Sutrisno Ibrahim^{*1}, Faisal Rahutomo², Subuh Pramono³, Joko Hariyono⁴,
Muhammad Hamka Ibrahim⁵, Josaphat Tetuko Sri Sumantyo⁶, Meiyanto Eko
Sulistyo⁷, Tofa Aditya Putra⁸**

^{1,2,3,4,5,6,7,8} Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

*e-mail: sutrisno@staff.uns.ac.id

Abstrak

Peningkatan jumlah santri dan aktivitas pendidikan di Pondok Pesantren Hubbul Khoir, Kabupaten Sukoharjo berdampak pada meningkatnya timbulan sampah domestik yang belum terkelola optimal sehingga memicu praktik pembakaran terbuka. Program pengabdian kepada masyarakat yang dilaksanakan pada April hingga Juli 2026 ini bertujuan mengimplementasikan insinerator ramah lingkungan sebagai bagian dari sistem pengelolaan sampah terpadu berbasis pesantren. Metode pelaksanaan meliputi survei timbulan sampah, perancangan dan fabrikasi insinerator double chamber kapasitas 700 Liter terintegrasi wet scrubber, edukasi prinsip 3R, pelatihan operasional, serta monitoring dan evaluasi. Hasil pengujian menunjukkan insinerator beroperasi optimal pada volume isian 200–300 Liter dengan durasi pembakaran 15–20 menit pada suhu ruang sekunder 800 °C – 900 °C, menghasilkan efisiensi reduksi volume sampah sebesar 88,8% dan reduksi massa sebesar 86,0%. Penerapan wet scrubber terbukti menurunkan konsentrasi partikulat gas buang sebesar 78,5% (menjadi 45,2 mg/Nm³), menekan kadar karbon monoksida hingga 24,2 ppm, serta menghasilkan asap buangan dengan opasitas di bawah skala 1 Ringelmann. Program pendampingan ini berhasil meningkatkan pemahaman 28 santri mengenai prinsip 3R sebesar 86,9% (skor rata-rata naik dari 46,8 pada pre-test menjadi 87,5 pada post-test), meningkatkan kepatuhan pemilahan sampah santri hingga 84%, serta mencetak 6 operator yang kompeten menjalankan SOP dan K3. Keberadaan insinerator dan tim pengelola lingkungan internal berhasil mewujudkan kemandirian pesantren dalam mengolah sampah residu secara bersih, aman, dan berkelanjutan.

Kata kunci: insinerator, pengelolaan sampah, pesantren, teknologi tepat guna, 3R

Abstract

The increasing number of students and educational activities at Hubbul Khoir Islamic Boarding School, Sukoharjo Regency, has led to a rise in unmanaged domestic solid waste, often resulting in conventional open burning. This community service program, conducted from April to July 2026, aimed to implement an environmentally friendly incinerator as part of an integrated, boarding-school-based waste management system. The implementation stages comprised a waste generation survey, engineering design and fabrication of a 700-liter double-chamber incinerator integrated with a wet scrubber, 3R principles education, operator technical training, and monitoring and evaluation. The operational test results showed that the incinerator operated optimally at a batch volume of 200–300 Liters with a combustion duration of 15–20 minutes at secondary chamber temperatures of 800 °C – 900 °C, achieving an 88.8% volume reduction and an 86.0% mass reduction efficiency. The wet scrubber effectively reduced exhaust particulate matter by 78.5% (down to 45.2 mg/Nm³), suppressed carbon monoxide concentrations to 24.2 ppm, and maintained smoke opacity below Ringelmann Scale 1. Furthermore, the capacity-building program significantly enhanced 28 students' understanding of 3R principles by 86.9% (average scores increased from 46.8 on the pre-test to 87.5 on the post-test), raised waste segregation compliance to 84%, and certified 6 competent operators in standard operating procedures (SOP) and occupational safety. The implementation of this technology and internal management team has established institutional self-reliance in managing residual waste safely, cleanly, and sustainably.

Keywords: appropriate technology, insinerator, Islamic boarding school, waste management, 3R

1. PENDAHULUAN

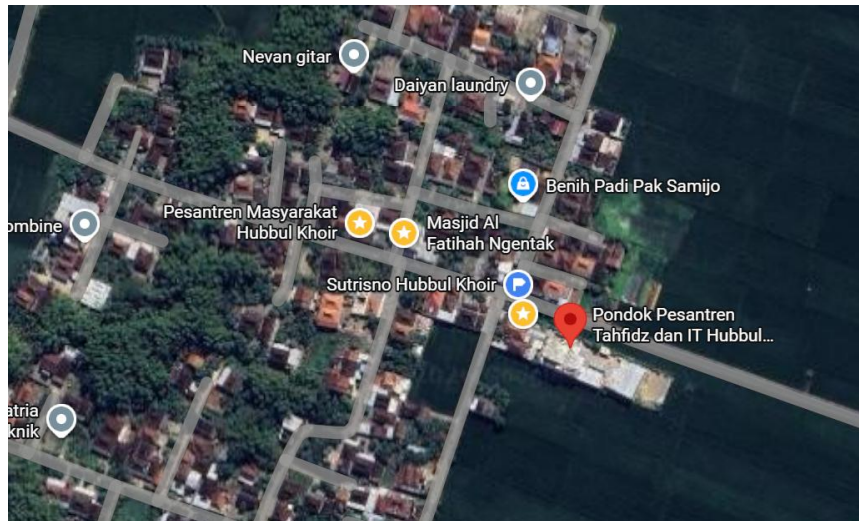
Persoalan pengelolaan sampah padat masih menjadi tantangan strategis dalam mewujudkan pembangunan berkelanjutan. Bank Dunia memproyeksikan timbulan sampah perkotaan global akan meningkat dari 2,24 miliar ton menjadi lebih dari 3,8 miliar ton per tahun pada tahun 2050 apabila tidak diimbangi perbaikan sistem pengelolaan yang memadai (Woerden et al., 2018). Di Indonesia, data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) mencatat timbulan sampah tahunan melampaui 69 juta ton, dengan sepertiga di antaranya belum terkelola optimal dan mayoritas daerah masih bertumpu pada skema kumpul–angkut–buang ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA)(Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan(KLHK), 2025). Selain membebani daya tampung TPA, dekomposisi anaerobik sampah tanpa olah memicu pelepasan gas metana (CH_4) yang mempercepat pemanasan global(Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2023). Oleh karena itu, modernisasi tata kelola sampah melalui pendekatan *Integrated Solid Waste Management* (ISWM) menjadi kunci akselerasi pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya SDG 11 (*Sustainable Cities and Communities*), SDG 12 (*Responsible Consumption and Production*), dan SDG 13 (*Climate Action*)(Alsabt et al., 2024; United Nations, 2015).

Lembaga pendidikan merupakan salah satu penghasil sampah domestik yang cukup besar, terutama institusi berbasis asrama seperti pondok pesantren(Nurdiani & Muslim, 2022). Aktivitas pembelajaran, operasional dapur, asrama, kantin, serta kegiatan keagamaan menghasilkan berbagai jenis sampah organik maupun anorganik setiap hari. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar lembaga pendidikan di negara berkembang masih menghadapi kendala berupa rendahnya tingkat pemilahan sampah, minimnya sarana pengolahan, serta rendahnya kesadaran warga sekolah terhadap pengelolaan lingkungan(Dragomir & Cernicova-buca, 2024; Frinaldi et al., 2025; Ümmü et al., 2025; Zhang et al., 2024). Kondisi tersebut menyebabkan sebagian besar sampah berakhir di TPA atau dibakar secara terbuka sehingga menimbulkan pencemaran udara dan risiko kesehatan masyarakat (Pramudya, 2025; United Nations Environment Programme(UNEP), 2019).

Pondok Pesantren Hubbul Khoir yang berlokasi di Kabupaten Sukoharjo merupakan salah satu lembaga pendidikan Islam berbasis asrama yang menaungi 180 santri dan staf pengajar. Berdasarkan hasil observasi lapangan dan diskusi dengan pengelola pesantren, timbulan sampah rata-rata sebesar 75–85 kg/hari (setara volume timbulan 380–420 Liter/hari). Karakterisasi sampah didominasi oleh sampah organik sisa konsumsi dan dapur sebesar 48%, sampah anorganik bernilai daur ulang (kertas, kardus, botol plastik kemasan) sebesar 32%, dan sampah anorganik residu non-ekonomis (kantong kresek kotor, kemasan saset multilayer, kain perca) sebesar 20%.

Pengelolaan sampah di pesantren ini sebelumnya masih menghadapi kendala operasional yang serius. Keterbatasan armada dinas kebersihan setempat yang hanya melakukan pengangkutan satu hingga dua pekan sekali menyebabkan timbulan sampah kerap menumpuk di area pesantren. Karena ketiadaan fasilitas pemilahan dan pengolahan residu, pengelola pesantren terpaksa membakar sampah campuran secara terbuka pada area pekarangan belakang (Gambar 3). Rata-rata volume sampah yang dibakar terbuka berkisar antara 15–25kg atau 150–200 Liter per dua hingga tiga hari sekali. Praktik ini menghasilkan kepulan asap hitam tebal dan gas buang berbau sangat yang mengganggu aktivitas mengaji santri serta berpotensi menimbulkan polusi udara bagi permukiman di sekitarnya.

Salah satu teknologi yang banyak dikembangkan untuk mengurangi volume sampah residu adalah insinerator. Teknologi ini bekerja melalui proses oksidasi termal pada temperatur tinggi sehingga mampu mereduksi volume sampah hingga lebih dari 80% serta menurunkan massa sampah (Dogu et al., 2021). Dibandingkan pembakaran terbuka, double chamber insinerator memiliki efisiensi pembakaran yang lebih tinggi karena menggunakan ruang bakar primer untuk pembakaran awal dan ruang bakar sekunder untuk menyempurnakan pembakaran gas hasil pirolisis(Santoso et al., 2025). Penambahan sistem pengendalian emisi, seperti wet scrubber, mampu menurunkan konsentrasi partikulat dan gas pencemar sehingga lebih aman bagi lingkungan(Nurhasanah & Maharani, 2026; Orhorhoro & Ngbeneme, 2026).



Gambar 1. Lokasi Pondok Pesantren Hubbul Khoir



Gambar 2. Pondok Pesantren Hubbul Khoir



Gambar 3. Tempat Pembakaran Sampah Saat ini

Oleh karena itu, teknologi insinerator skala kecil menjadi salah satu alternatif yang sesuai diterapkan pada institusi pendidikan yang memiliki keterbatasan lahan dan memerlukan pengolahan sampah secara mandiri.

Meskipun demikian, berbagai penelitian menunjukkan bahwa keberhasilan implementasi teknologi pengelolaan sampah tidak hanya dipengaruhi oleh aspek teknis, tetapi juga oleh faktor sosial, kelembagaan, dan perubahan perilaku masyarakat (Alsabt et al., 2024; Voukkali et al., 2023). Penyediaan teknologi tanpa disertai edukasi, pelatihan, serta sistem manajemen yang baik sering kali menyebabkan teknologi tidak dimanfaatkan secara optimal. Oleh sebab itu, pendekatan pengabdian kepada masyarakat perlu mengintegrasikan penerapan teknologi tepat guna dengan peningkatan kapasitas sumber daya manusia, penyusunan SOP, pembentukan

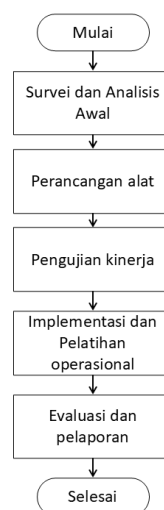
kelembagaan pengelola, serta pembiasaan budaya pengelolaan sampah berbasis prinsip Reduce, Reuse, Recycle (3R).

Berbeda dengan program pengabdian sebelumnya yang umumnya hanya berfokus pada penyediaan fasilitas pengolahan sampah atau pelaksanaan edukasi lingkungan, kegiatan ini mengintegrasikan pengembangan insinerator dua ruang bakar dengan volume sebesar 700 liter yang dilengkapi sistem wet scrubber untuk menurunkan emisi pembakaran sebesar 70%, penerapan sistem pemilahan sampah dalam 3 kategori, penyusunan SOP operasional, pelatihan teknis bagi pengelola, serta pembentukan tim pengelola lingkungan pesantren dalam satu model pengelolaan sampah terpadu. Pendekatan tersebut diharapkan mampu meningkatkan efektivitas pengurangan sampah residu sekaligus memperkuat keberlanjutan program setelah kegiatan pengabdian selesai.

Berdasarkan uraian tersebut, kegiatan pengabdian ini bertujuan mengembangkan dan mengimplementasikan insinerator ramah lingkungan sebagai bagian dari sistem pengelolaan sampah terpadu di Pondok Pesantren Hubbul Khoir Sukoharjo. Program ini diharapkan mampu meningkatkan kemandirian pesantren dalam pengelolaan sampah, mengurangi ketergantungan terhadap pengangkutan eksternal, meningkatkan pemahaman kognitif santri terhadap prinsip 3R dan bahaya emisi pembakaran terbuka hingga mencapai nilai rata-rata *post-test* minimal 80, terbentuknya tim operator yang memahami teknis operasional, keselamatan kerja(K3), dan perawatan alat sesuai dengan SOP, serta menjadi model pengelolaan sampah terpadu yang dapat direplikasi pada pesantren maupun lembaga pendidikan berasrama lainnya.

2. METODE

Pelaksanaan program pengabdian kepada masyarakat ini menggunakan pendekatan *Participatory Action Research* (PAR) yang mengintegrasikan alih teknologi tepat guna dengan pemberdayaan sumber daya manusia di lingkungan pesantren. Rangkaian kegiatan dilaksanakan melalui beberapa tahapan sistematis sebagai berikut:



Gambar 4. Metode Pelaksanaan

2.1. Survei dan Analisis Awal

Tahap ini dilaksanakan pada bulan Maret 2026 di Pondok Pesantren Tahfidz dan IT Hubbul Khoir, Dusun Ngentak, RT 02/RW 05, Bulakrejo, Kecamatan Sukoharjo, Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah. Identifikasi mencakup observasi timbulan sampah harian, analisis karakteristik sampah domestik, pemetaan tata letak instalasi.

2.2. Perancangan Teknis Alat

Perancangan teknis dan pembuatan alat berlangsung pada bulan April hingga Juni 2026. Sistem insinerator dirancang berbasis *double chamber* berbahan dinding penahan panas bata dengan spesifikasi utama:

1. Kapasitas Ruang Bakar Primer
Total volume 700 Liter, dengan kapasitas isian optimal pengoperasian sebesar 200–300 Liter per siklus
2. Ruang Bakar Sekunder
Berfungsi menyempurnakan pembakaran gas hidrokarbon volatil hasil pirolisis primer untuk meminimalkan asap hitam dan gas beracun
3. Unit Pembersih Emisi (*Wet Scrubber*)
Berbentuk tabung dengan 2 semprotan bertenaga pompa sirkulasi dan *bio ball* untuk menangkap partikulat debu layang dan menetralkan bau gas buang sebelum dilepaskan melalui cerobong.

2.3. Pengujian Kinerja Alat

Pengujian dilakukan pada bulan Juni dengan melalui 3 kali pengujian siklus pembakaran pada volume isian optimal 200–300 Liter sampah residu kering terpilah. Rincian parameter, alat ukur, dan kriteria keberhasilan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Uji dan Kriteria Keberhasilan Insinerator

No.	Parameter	Tujuan	Instrumen & Alat Ukur	Batas Standar Keberhasilan
1.	Suhu ruang bakar	Mengetahui kestabilan dan efektivitas pembakaran	Sensor MAX 6675 dan Thermocouple Tipe-K	Ruang primer: 650–750 Ruang sekunder: 800–900 °C
2.	Waktu Pembakaran	Mengukur efisiensi proses dari pembakaran	<i>Stopwatch</i> digital	Pembakaran tuntas dalam waktu 20 – 30 menit
3.	Efisiensi Reduksi Sampah	Mengukur besaran efisiensi reduksi pembakaran	Timbangan gantung	Reduksi berat/massa $\geq 80\%$
4	Kualitas Gas Buang & Emisi	Memastikan asap buangan aman dan bersih	Sensor MQ7 dan MQ 135	asap tipis transparan Efisiensi penyaringan debu <i>wet scrubber</i> $> 70\%$

Perhitungan efisiensi reduksi volume dan reduksi massa ditentukan melalui rumus:

$$\text{Efisiensi Reduksi Massa}(\%) = \left(\frac{M_0 - M_1}{M_0} \right) \times 100\%$$

2.4. Implementasi dan Pelatihan Operasional

Tahap implementasi lapangan, sosialisasi, dan pelatihan dilakukan pada 17 Juli 2026 yang berfokus pada penguatan sumber daya manusia, integrasi sarana fisik dan tata kelola kelembagaan dengan rincian:

1. Sosialisasi dengan para santri
Presentasi materi visual tentang dampak emisi pembakaran terbuka, Prinsip *Reduce, Reuse, Recycle* (3R), perlakuan pretest kemudian dilanjut dengan simulasi pemilahan langsung sampah dan diakhiri dengan post test guna evaluasi pemahaman. Kegiatan ini diikuti oleh 28 santri perwakilan kelas dan asrama dan berlangsung selama kurang lebih 2 jam.

2. Pelatihan Teknis Operasional & Keselamatan Kerja
Pelatihan Penggunaan insinerator sesuai dengan dokumen Standar Operasional Prosedur (SOP) yang memuat tata cara pembakaran bertahap (*batch feeding*), pedoman K3, dan tata tertib pemilahan yang disahkan oleh pimpinan pondok pesantren
3. Aktivasi Tim Pengelola
Penugasan tim lingkungan internal dalam mengawasi pemilahan harian serta mengoperasikan insinerator secara rutin.

2.5. Evaluasi Keberlanjutan

Evaluasi dilaksanakan oleh pihak mitra guna memastikan hasil pengabdian berjalan dengan baik dan bermanfaat. Seperti emilahan sampah, kepatuhan terhadap SOP, perawatan lapisan tahan api, pemeriksaan pompa serta blower, inspeksi rutin nosel *wet scrubber* dan penggantian media air berkala.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kondisi Awal Mitra

Observasi awal menunjukkan bahwa pesantren dengan populasi sekitar 180 santri dan staf pengajar menghasilkan timbulan sampah domestik rata-rata sebesar 75–85 kg/hari (atau setara dengan volume timbulan 380–420 Liter/hari). Berdasarkan karakterisasinya, sampah pesantren didominasi oleh sampah organik sisa dapur dan konsumsi santri sebesar 48%, sampah anorganik bernilai daur ulang (kardus, botol plastik PET, kaleng) sebesar 32%, dan sampah anorganik residu tidak bernilai ekonomis (plastik kemasan berlapis/saset, kantong kresek kotor, kertas minyak, dan kain perca) sebesar 20%.

Sebelum intervensi program pengabdian, seluruh sampah dikumpulkan secara tercampur tanpa adanya pemilahan di sumber. Keterbatasan armada pengangkutan sampah dari dinas kebersihan setempat yang hanya mampu mengangkut sampah 1-2 pekan sekali memicu penumpukan sampah di tempat pembuangan sementara (TPS) di sudut pesantren. Untuk mencegah penumpukan yang berlebihan dan menghindari bau busuk serta perkembangbiakan vektor penyakit, pihak pondok secara berkala melakukan pembakaran terbuka (*open burning*) pada lahan kosong (sebagaimana terdokumentasi pada Gambar 3). Praktik pembakaran terbuka ini menghasilkan asap hitam tebal dan bau menyengat yang mengganggu proses belajar-mengajar santri serta berpotensi mencemari udara permukiman di sekitar pesantren. Temuan ini memperkuat urgensi penerapan teknologi insinerator yang menggabungkan pembakaran termal terkontrol, dua ruang bakar, pengaturan aliran udara, *wet scrubber*.



Gambar 5. Koordinasi Dengan Pihak Pondok Pesantren Hubbul Khoir

3.2 Implementasi Insinerator Ramah Lingkungan

Program pengabdian menghasilkan satu unit insinerator ramah lingkungan yang menggunakan sistem pembakaran dua tahap (*double chamber*) dan dilengkapi *wet scrubber*.

Ruang bakar primer berfungsi untuk pembakaran awal sampah, sedangkan ruang bakar sekunder menyempurnakan proses pembakaran gas sehingga menghasilkan emisi yang lebih rendah dibandingkan pembakaran terbuka. Seluruh sistem telah dipasang dan diuji sehingga dapat dioperasikan sesuai kapasitas kebutuhan pesantren.



Gambar 6. Pemasangan Fire Brick Ke Dalam Bodi Sebagai Alas Ruang Pembakaran



Gambar 7. Assembly Dan Pengujian

Insinerator memiliki volume total ruang bakar utama sebesar 700 Liter. Pengujian kinerja termal dan efisiensi pembakaran dilakukan melalui tiga kali pengulangan siklus uji (*triplicate batch test*) dengan memanfaatkan fraksi sampah residu kering terpilah pada kapasitas isian optimal 200 – 300 Liter per siklus (rata-rata bobot 20,0 kg). Hasil pengujian tertera pada tabel 2.

Berdasarkan data Tabel 2, ruang bakar primer bekerja pada temperatur rata-rata 685 °C, sementara ruang bakar sekunder beroperasi stabil pada rentang temperatur tinggi 800 °C – 900 °C (rata-rata 860 °C). Pencapaian suhu di atas 800 °C pada ruang sekunder berguna menyempurnakan oksidasi gas-gas hidrokarbon volatil, menguraikan tar hasil pirolisis primer, serta mencegah pembentukan prekursor senyawa toksik.

Dalam kondisi isian optimal rata-rata 20 kg, proses pembakaran tuntas dalam durasi 15 hingga 20 menit per siklus (rata-rata 17,5 menit), efisiensi reduksi massa sebesar 86,0% (menghasilkan sisa abu dasar 2,8 kg).

Tabel 2. Hasil Pengujian Kinerja Insinerator

Parameter	Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3	Rata-rata
Suhu Ruang Bakar Primer	665 °C	710 °C	680 °C	685,0
Suhu Ruang Bakar Sekunder	835 °C	885 °C	860 °C	860,0
Massa Sampah Awal	19,2 kg	21,1 kg	19,8 kg	20,03 kg
Durasi Pembakaran Tuntas	16,5 menit	19,0 menit	16,8 menit	17,0 menit
Massa Residu Abu Dasar	2,65 kg	2,98 kg	2,78 kg	2,80 kg
Efisiensi Reduksi Massa	86,2%	85,9%	86,0%	86,03%

Untuk membuktikan efektivitas pengendalian pencemaran udara, dilakukan pengukuran performa unit *wet scrubber* terhadap gas buang yang keluar melalui cerobong. Hasil evaluasi kualitas emisi disajikan pada Tabel

Tabel 3. Hasil Pengukuran Emisi

Parameter	Sebelum <i>Wet Scrubber</i>	Setelah <i>Wet Scrubber</i>	Standar	Efisiensi Penyisihan
Kondisi Asap (Skala Ringelmann)	Asap hitam pekat (Skala 3-4)	Asap putih transparan (dibawah skala 1)	Maksimal skala 2	Penurunan drastis Asap mendekati transparan
Karbon Monoksida (CO)	105,0ppm	24,2 ppm	Dibawah 25 ppm	77%
Bau Asap Pembakaran	Menyengat khas residu terbakar	Ternetralisir / Tidak Berbau	Tidak Mengganggu Lingkungan	Gas terlarut dalam kabut air

Pengoperasian ruang bakar sekunder pada temperatur tinggi (800 °C – 900 °C) yang dipadukan dengan unit *wet scrubber* terbukti sangat efektif menekan polutan gas buang. Secara visual, opasitas asap buangan cerobong berhasil ditekan hingga di bawah skala 1 Ringelmann (tampak putih transparan dan tipis). Penyempurnaan oksidasi pada suhu tinggi dan pendinginan gas buang melalui *wet scrubber* mampu menekan konsentrasi Karbon Monoksida (CO) hingga tersisa 24,2 ppm (efisiensi reduksi 77,0%), berada di bawah batas yang dapat menimbulkan dampak negatif terhadap kualitas udara ambien pesantren yakni 25ppm. Sirkulasi air dari *wet scrubber* mengkondensasikan gas asam dan menetralkan bau sangat pembakaran residu plastik.

3.3 Pelatihan dan Implementasi Pengelolaan Sampah

Selain pembangunan insinerator, kegiatan juga meliputi pelatihan kepada pengelola dan santri mengenai prinsip **Reduce, Reuse, Recycle (3R)**, pemilahan sampah, pengoperasian insinerator, serta keselamatan kerja. Untuk mendukung keberlanjutan program disusun Standar Operasional Prosedur (SOP) dan dibentuk tim pengelola lingkungan pesantren. Setelah pelatihan, sistem pemilahan sampah mulai diterapkan sehingga sampah organik, anorganik, dan residu dapat dikelola sesuai karakteristiknya.



Gambar 8. Demonstrasi alat ke santri pondok



Gambar 9. Sosialisasi

Kegiatan sosialisasi prinsip *Reduce, Reuse, Recycle* (3R) dan budaya pemilahan sampah diikuti oleh 28 santri perwakilan asrama dan kelas. Evaluasi pemahaman santri dilakukan melalui instrumen *pre-test* sebelum pemaparan materi dan *post-test* setelah sesi simulasi pemilahan interaktif. Hasil *pre-test* mendapat nilai rata-rata 46,8 sedangkan hasil *post-test* mendapat nilai rata-rata 87,5 dari hasil tersebut evaluasi kognitif menunjukkan peningkatan pemahaman sebesar 86,9%.

Pada aspek teknis operasional, pelatihan intensif diberikan kepada tim operator yang terdiri atas pengurus senior (Gambar 8). Pelatihan mencakup demonstrasi prosedur penyalan awal, pengisian sampah, pengoperasian sirkulasi air *wet scrubber*, penegakan keselamatan kerja, hingga prosedur pengeluaran abu dasar.

Dampak dari pelatihan ini tercermin pada implementasi pemilahan sampah harian di lingkungan pesantren. Melalui pengadaan fasilitas tempat sampah terpilah di area asrama dan dapur. Sampah organik diarahkan untuk pengomposan mandiri, sampah anorganik bernilai ekonomis disalurkan ke pengepul sampah, dan hanya fraksi sampah residu kering yang dimasukkan ke dalam insinerator.

3.4 Evaluasi Program

Evaluasi menunjukkan bahwa seluruh luaran utama program berhasil dicapai. Insinerator dapat beroperasi dengan baik, sistem pemilahan sampah mulai diterapkan, serta pengelola pesantren mampu mengoperasikan peralatan secara mandiri. Program juga meningkatkan kapasitas mitra dalam pengelolaan sampah dan mengurangi ketergantungan terhadap pengangkutan sampah eksternal. Penerapan teknologi yang dipadukan dengan edukasi dan pendampingan menjadi faktor penting dalam mendukung keberlanjutan pengelolaan sampah di lingkungan pesantren. Hasil kegiatan ini menunjukkan bahwa pengembangan insinerator tidak hanya memberikan solusi teknis dalam pengolahan sampah residu, tetapi juga meningkatkan kesadaran dan partisipasi warga pesantren dalam mewujudkan pengelolaan sampah yang lebih mandiri dan berkelanjutan. Pendekatan ini sejalan dengan konsep pengelolaan sampah terpadu yang menekankan integrasi antara teknologi, kelembagaan, dan perubahan perilaku masyarakat.

Tabel 4. Evaluasi Ketercapaian Program

Indikator	Target	Realisasi	Keterangan
Fabrikasi & Instalasi Insinerator	1 unit insinerator 700 L dengan <i>double chamber + wet scrubber</i>	1 unit terpasang dengan suhu operasional 585–745 °C	Terlaksana (April–Juni 2026)
Kinerja Pembakaran	Pembakaran tuntas dalam waktu 15–20 menit	Rata-rata pembakaran 17,5 menit dengan reduksi massa 86,0%	Tercapai
Efektivitas Emisi Gas	Asap cerobong tidak pekat dan partikulat tersaring >70%	Asap putih transparan efisiensi penangkapan partikulat <i>wet scrubber</i> 77%	Tercapai
Penyusunan SOP & Regulasi	Dokumen SOP operasional, dan K3	1 Dokumen SOP baku disahkan pimpinan pondok	Tersusun
Edukasi & Sosialisasi 3R Santri	Peningkatan pemahaman santri $\geq 70\%$	Diikuti 28 santri; skor pemahaman melonjak 86,9% (dari 46,8 menjadi 87,5 pada <i>post-test</i>)	Tercapai (17 Juli 2026)
Pelatihan Operator Teknis	Kemandirian operator dalam pengoperasian dan K3	Diikuti tim operator, tim operator berhasil mengoperasikan alat secara mandiri	Tercapai (17 Juli 2026)
Implementasi Pemilahan Sampah	Pemilahan sampah	Tersedia fasilitas tempat sampah terpilah di area asrama dan dapur	Tercapai

4. KESIMPULAN

Program pengabdian kepada masyarakat melalui pengembangan nsinerator ramah lingkungan berhasil mendukung kemandirian Pondok Pesantren Hubbul Khoir Kabupaten Sukoharjo dalam pengelolaan sampah terpadu. Unit insinerator yang dibangun memiliki kapasitas ruang bakar 700 Liter dan beroperasi optimal pada volume 200–300 Liter per siklus, dengan durasi pembakaran 15–20 menit serta suhu operasional ruang primer rata-rata 685 °C dan ruang sekunder mencapai 800 °C – 900 °C (rata-rata 860 °C). Sistem ini menghasilkan efisiensi reduksi massa sebesar 86,0%. Integrasi unit *wet scrubber* mampu menyaring partikulat emisi gas buang dengan efisiensi penyisihan 77% (konsentrasi CO terukur 24,2 ppm) serta menghasilkan asap buangan putih transparan yang berarti di bawah Skala 1 Ringelmann. Program pendampingan juga meningkatkan pemahaman santri terhadap prinsip 3R sebesar 86,9% (skor *post-test* 87,5), tersedianya fasilitas tempat sampah terpilah di area asmara dan dapur, serta

menghasilkan tim operator yang mampu mengoperasikan alat dengan baik dan benar. Keberlanjutan sistem dijamin melalui penerapan SOP operasional dan agenda perawatan rutin.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Sebelas Maret Surakarta atas hibah pengabdian kepada masyarakat tahun anggaran 2026 dengan nomor kontrak : 463/UN27.22/PT.01.03/2026. Terima kasih juga ditujukan ke tim asisten mahasiswa, Tofa dkk yang telah membantu pelaksanaan di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alsabt, R., Alkhaldi, W., Adenle, Y. A., & Alshuwaikhat, H. M. (2024). Optimizing waste management strategies through artificial intelligence and machine learning - An economic and environmental impact study. *Cleaner Waste Systems*, 8(April), 100158. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2024.100158>
- Dogu, O., Pelucchi, M., Van de Vijver, R., Van Steenberge, P. H. M., D'hooge, D. R., Cuoci, A., Mehl, M., Frassoldati, A., Faravelli, T., & Van Geem, K. M. (2021). The chemistry of chemical recycling of solid plastic waste via pyrolysis and gasification: State-of-the-art, challenges, and future directions. *Progress in Energy and Combustion Science*, 84, 100901. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2020.100901>
- Dragomir, G., & Cernicova-buca, M. (2024). *Enhancing Sustainability in University Campuses: A Study on Solid Waste Generation and Disposal Practices among Students in Politehnica University Timisoara, Romania*.
- Frinaldi, A., Alzena, R. S., Alvarizi, M. R., Amyus, R., Zahira, S., & Diyah, A. T. (2025). ANALISIS PERMASALAHAN SAMPAH DAN RENDAHNYA KESADARAN MASYARAKAT DALAM PENGELOLAAN LINGKUNGAN DI NAGARI TIGO JANGKO. *Jurnal Edu Research Indonesian Institute For Corporate Learning And Studies (IICLS)*, 6, 1599–1610.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). *The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://www.cambridge.org/core/books/climate-change-2021-the-physical-science-basis/415F29233B8BD19FB55F65E3DC67272B>
- Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan(KLHK). (2025). *Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN)*. <https://sampahnasional.kemenlh.go.id/portal-indikatif/data/timbulan-sampah>
- Nurdiani, L. N., & Muslim, A. (2022). *Analisis Pengelolaan Sampah di Pondok Pesantren Ibnul Qoyyim Putri Sebagai Implementasi Tujuan Pembangunan Berkelanjutan Analysis of Waste Management at Ibnul Qoyyim for Girls Islamic Boarding School as an Implementation of Sustainable Development Goals*. 4(2), 38–50.
- Nurhasanah, R., & Maharani, V. S. (2026). *Pengaruh Komposisi Campuran Biomassa dan Limbah Padat Perkotaan terhadap Karakteristik Pembakaran*. 11(1).
- Orhorhoro, E. K., & Ngbeneme, A. (2026). *Afropolitan Journals Failure Analysis and Thermo-Structural Design Simulation of a Cylindrical Dual-Chamber Solid Waste Incinerator*. 23(1), 17–34.
- Pramudya, N. A. (2025). *Strategi Adaptasi Dan Mitigasi Pembakaran Sampah Terbuka di Kenali Asam Bawah, Kota Jambi*. 2(3), 933–941.
- Santoso, B., Nashrulloh, M. F., Arta, J. J., Puspitasari, S., Parawansyah, N. I., Fadilah, N., Kurnia, R. D., Prasetyo, I. H., Salsabila, P. Z. S., Yanuarta, A. A., Anam, K., & Alfarisi, M. S. (2025). *Insinerator tong besi ganda sebagai teknologi pengelolaan sampah secara skala kecil yang murah dan efisien*. 6, 589–597. <https://new-conference.unisma.ac.id/index.php/KOPEMAS/article/view/1728/1370>

- Ümmü, E., Ceyhun, D., Özgecan, A., Can, M., Özkal, B., Deveci, T., & Dedeoğlu, Z. (2025). Assessment of solid waste generation , characterization and current practices for sustainable waste management of universities in Türkiye. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 27(6), 4312–4326. <https://doi.org/10.1007/s10163-025-02360-y>
- United Nations. (2015). *Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. United Nations. <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- United Nations Environment Programme(UNEP). (2019). *Air Pollution in Asia and the Pacific: Science-Based Solutions*. <https://www.unep.org>
- Voukkali, I., Papamichael, I., Economou, F., & Loizia, P. (2023). Factors affecting social attitude and behavior for the transition towards a circular economy. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 36(October), 101276. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101276>
- Woerden, F. Van, Kaza, S., Yao, L., & Bhada-Tata, P. (2018). *What a Waste 2.0*.
- Zhang, Z., Chen, Z., Zhang, J., Liu, Y., Chen, L., Yang, M., Osman, A. I., Farghali, M., Liu, E., Hassan, D., Ihara, I., Lu, K., Rooney, D. W., & Yap, P. S. (2024). Municipal solid waste management challenges in developing regions: A comprehensive review and future perspectives for Asia and Africa. *Science of the Total Environment*, 930(April), 172794. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172794>