

PERAN PENDIDIKAN LINGKUNGAN DALAM MENDORONG INOVASI CEROBONG TANPA ASAP UNTUK MENGURANGI PENCEMARAN UDARA

PROMOTING SMOKELESS CHIMNEY INNOVATION THROUGH ENVIRONMENTAL EDUCATION TO COMBAT AIR POLLUTION

Dini Aulia¹, Ni'matul Mukaromah², Azka Fatkhi Rozaki³, Ali Mustofa⁴, Fitroh Qudsiyyah⁵, Pipit Mulyah⁶

^{1,2,3,4,5}Program Studi Pendidikan Agama Islam, Institut Agama Islam K.H. Sufyan Tsauri Majenang, Cilacap

⁶Program Studi Pendidikan Guru Madrasah Ibtidaiyah, Institut Agama Islam K.H. Sufyan Tsauri Majenang, Cilacap

e-mail ¹auliaprestianidini@gmail.com, ²nimahkaromah38@gmail.com,

³tawakal066@gmail.com, ⁴massallibnn@gmail.com, ⁵bintifauzin@gmail.com,

⁶pipitmulyah@insima.ac.id

Abstrak

Permasalahan sampah merupakan tantangan lingkungan krusial bagi institusi pendidikan berbasis asrama seperti pondok pesantren. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis inovasi teknologi *low emission incinerator* (cerobong rendah asap) di Pondok Pesantren El Bayan, Majenang, serta pengaruhnya terhadap pembentukan karakter santri. Menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode studi kasus, data dikumpulkan melalui observasi partisipatif, wawancara mendalam dengan inovator (Bapak Hardono), serta dokumentasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara teknis, insinerator dengan sistem *double chamber* ini mampu mereduksi volume sampah residu hingga 95% dengan emisi gas buang yang minimal melalui pembakaran sempurna. Secara edukatif, pengelolaan sampah yang diintegrasikan melalui metode *Contextual Teaching and Learning* (CTL) berhasil menginternalisasi nilai kedisiplinan dan tanggung jawab, serta membangun kesalehan ekologis (*ecological piety*) pada santri. Sinergi antara teknologi tepat guna dan modal sosial pesantren menciptakan sistem manajemen sampah berbasis komunitas yang berkelanjutan dan edukatif.

Kata Kunci: Insinerator Rendah Emisi, Pesantren, Pendidikan Lingkungan, Karakter, Sampah.

Abstract

Waste management is a crucial environmental challenge for boarding-based educational institutions such as Islamic boarding schools (Pesantren). This study aims to analyze the innovation of low emission incinerator technology at Pondok Pesantren El Bayan, Majenang, and its influence on students' character building. Using a qualitative approach with a case study method, data were collected through participatory observation, in-depth interviews with the innovator (Mr. Hardono), and documentation. The results showed that technically, the double chamber incinerator system is capable of reducing residual waste volume by up to 95% with minimal exhaust emissions through complete combustion. Educationally, waste management integrated through Contextual Teaching and Learning (CTL) methods has successfully internalized the values of discipline and responsibility, as well as building ecological piety among students. The synergy between appropriate technology and the social capital of the pesantren creates a sustainable and educational community-based waste management system.

Keywords: Low Emission Incinerator, Pesantren, Environmental Education, Character, Waste

1. PENDAHULUAN

Permasalahan sampah atau limbah padat (*solid waste*) merupakan salah satu tantangan lingkungan paling persisten dan kompleks yang dihadapi oleh negara-negara berkembang, termasuk Indonesia, pada abad ke-21 ini. Pertumbuhan populasi yang eksponensial, urbanisasi yang pesat, serta perubahan pola konsumsi masyarakat menuju materialisme dan penggunaan barang sekali pakai (*single-use products*) telah memicu lonjakan volume timbulan sampah yang belum diimbangi dengan kapasitas infrastruktur pengelolaan yang memadai (4). Berdasarkan data terbaru Sistem Informasi Pengolahan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 2023, Indonesia menghasilkan 31,9 juta ton sampah per tahun, di mana 35,67% atau 11,3 juta ton di antaranya tidak terkelola (*unmanaged waste*) sehingga mencemari ekosistem darat dan perairan (7). Secara spesifik, komposisi sampah di Indonesia didominasi oleh fraksi organik (57%-60%) yang memiliki kadar air (*moisture content*) tinggi. Praktik konvensional seperti open dumping terbukti berbahaya karena memicu pelepasan gas metana (CH_4)—yang memiliki potensi pemanasan global 28 kali lebih kuat dibanding CO_2 —serta pencemaran air tanah melalui lindi (5). Oleh karena itu, diperlukan transformasi paradigma dari sekadar "kumpul-angkut-buang" menuju pendekatan holistik yang mencakup pemilahan ketat di sumber, pengolahan biologis, dan konversi termal yang aman. Di tengah krisis pengelolaan sampah kota, institusi pendidikan berbasis asrama seperti Pondok Pesantren memegang peranan strategis sebagai mikrokosmos komunitas. Dengan populasi santri yang besar, pesantren menghasilkan limbah domestik masif setiap harinya, mulai dari sisa dapur hingga limbah kertas. Tanpa sistem mandiri, pesantren sering kali menjadi kontributor beban bagi TPA daerah atau terjebak dalam praktik pembuangan sembarangan yang merusak sanitasi lingkungan internal (16). Namun, struktur komunal pesantren dengan kepemimpinan Kyai yang kuat dan nilai kepatuhan santri menawarkan peluang unik untuk penerapan manajemen sampah berbasis komunitas (*Community-Based Waste Management*) yang disiplin dan terukur. Inisiatif pengolahan sampah organik menjadi produk bernali seperti kompos atau *eco-enzyme* mulai marak, selaras dengan prinsip arsitektur permakultur yang memandang sampah sebagai sumber daya (Mollison & Holmgren, 2019). Namun, permasalahan krusial sering kali muncul pada residu non-organik yang sulit didaur ulang secara biologis. Dalam konteks ini, kegiatan pengelolaan sampah harus diintegrasikan sebagai media *Contextual Teaching and Learning* (CTL) untuk membangun kesalehan ekologis (*ecological piety*) dan tanggung jawab santri (4). Melalui pendekatan *experiential learning*, santri tidak hanya belajar teori kebersihan, tetapi

mempraktikkannya melalui interaksi langsung dengan material limbah dan teknologi pengolahan. Beberapa penelitian terdahulu telah membahas manajemen sampah di pemukiman (16) dan penggunaan insinerator industri (14). Namun, terdapat kesenjangan penelitian di mana inovasi teknologi termal sering kali bersifat *top-down* dan mahal, sehingga sulit diadopsi oleh pesantren. Selain itu, aspek integrasi antara teknologi pembakaran sampah dengan pendidikan karakter santri masih jarang dieksplorasi secara mendalam. Kebaruan penelitian ini terletak pada fokus studi kasus di Pondok Pesantren El Bayan, Majenang, yang berhasil mengembangkan inovasi teknologi tepat guna berupa alat pembakaran sampah rendah emisi (*low emission incinerator*) atau cerobong tanpa asap yang diinisiasi oleh tokoh lokal, Bapak Hardono (4). Inovasi ini unik karena lahir dari *tacit knowledge* dan eksperimentasi lapangan untuk menjawab kebutuhan kemandirian pengelolaan sampah. Berdasarkan fokus tersebut, penelitian ini merumuskan masalah mengenai bagaimana proses implementasi pengelolaan sampah berbasis komunitas di Pondok Pesantren El Bayan, bagaimana efektivitas desain teknis serta mekanisme termodinamika sederhana dari inovasi *low emission incinerator* tersebut dalam mereduksi volume sampah, hingga bagaimana integrasi pengelolaan sampah melalui metode CTL mampu menginternalisasi nilai-nilai pendidikan karakter dan kesalehan ekologis pada diri santri. Melalui kajian ini, diharapkan diperoleh manfaat teoretis berupa pengayaan literatur mengenai model pembelajaran kontekstual di institusi keagamaan serta penguatan teori manajemen sampah berbasis komunitas melalui kearifan lokal (*local genius*). Secara praktis, penelitian ini diproyeksikan menjadi rujukan bagi pesantren lain dalam menciptakan kemandirian pengelolaan sampah, memberikan basis data deskriptif bagi inovator teknologi rendah emisi, serta menjadi bahan pertimbangan bagi pengambil kebijakan dalam menyusun program desentralisasi pengelolaan sampah yang berbasis pada potensi institusi lokal.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode studi kasus (case study) untuk mendalami fenomena inovasi teknologi lokal dan internalisasi nilai karakter di Pondok Pesantren El Bayan, Majenang, Cilacap, di mana peneliti bertindak sebagai instrumen kunci (3). Lokasi ini dipilih secara *purposive* karena keunikan kemandirian pengelolaan sampahnya melalui teknologi *low emission incinerator* yang melibatkan Bapak Hardono sebagai informan kunci, serta pengasuh dan santri sebagai informan pendukung. Data dikumpulkan melalui triangulasi teknik yang meliputi observasi partisipatif terhadap

proses pemilahan dan operasional insinerator, wawancara mendalam mengenai latar belakang inovasi serta integrasi nilai kedisiplinan, dan dokumentasi terkait data teknis maupun catatan perilaku ekologis santri. Selanjutnya, data dianalisis menggunakan model Miles, Huberman, dan Saldana (2014) melalui tahapan reduksi data, penyajian data dalam bentuk naratif dan bagan alur, serta penarikan kesimpulan. Keabsahan temuan dipastikan melalui triangulasi sumber dan teknik serta prosedur *member check* untuk memvalidasi deskripsi teknis alat. Adapun kerangka berpikir penelitian ini mengintegrasikan aspek teknis berbasis prinsip termodinamika sederhana untuk mengukur efektivitas alat, serta aspek edukasi berbasis indikator *Contextual Teaching and Learning* (CTL) guna mengevaluasi proses pembentukan karakter kesalehan ekologis santri.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

Berdasarkan hasil observasi dan estimasi harian di Pondok Pesantren El Bayan, data timbulan sampah dapat dipetakan sebagai berikut:

TABEL 1. Hasil Observasi

Kategori Sampah	Jenis Limbah	Estimasi Volume/Hari	Penanganan
Organik	Sisa makanan dapur, dedaunan, limbah pertanian	60% (± 150 kg)	Pengomposan & Pakan Ternak
Anorganik	Plastik kemasan, kertas, kardus, kain perca	30% (± 75 kg)	Insinerator (Pembakaran)
Residu	B3, pembalut, kaca, logam	10% (± 25 kg)	Pengangkutan ke TPA

Sebelum adanya inovasi insinerator, sekitar 40% sampah (anorganik + residu) menumpuk dan sering dibakar secara terbuka (*open burning*) yang menghasilkan asap pekat atau dibuang ke lubang tanah. Setelah implementasi, residu yang benar-benar dibuang ke luar pesantren berkang hingga menjadi hanya 10%.

Inovasi teknologi tepat guna yang dikembangkan oleh Bapak Hardono di Pondok Pesantren El Bayan merupakan jawaban atas keterbatasan akses teknologi pengelolaan sampah yang ramah lingkungan bagi komunitas lokal. Alat ini dirancang dengan mempertimbangkan aspek fungsionalitas, kemandirian biaya, dan efektivitas emisi. Secara material, insinerator ini dibangun menggunakan pelat besi tebal tahan panas yang dirancang khusus untuk menghadapi suhu ekstrem. Keunggulan utama pada sisi material adalah penggunaan lapisan bata api (*refractory brick*) pada bagian interior ruang bakar.

Penambahan lapisan ini bukan tanpa alasan teknis; bata api berfungsi sebagai isolator termal yang menjaga stabilitas suhu di dalam ruang bakar agar tetap tinggi dan konstan, sekaligus melindungi dinding pelat besi luar dari korosi termal yang cepat, sehingga memperpanjang usia pakai alat secara signifikan.



Gambar 1. Model Cerobong tanpa asap

Mekanisme inti dari alat ini terletak pada penerapan sistem dua kamar pembakaran (*double chamber*). Sistem ini mengadopsi prinsip termodinamika di mana pembakaran dilakukan dalam dua tahap untuk memastikan gas buang bersih. Pada Kamar Pertama (ruang primer), sampah dimasukkan dan dibakar pada suhu rendah hingga sedang. Di fase ini, terjadi proses volatilisasi di mana materi padat berubah menjadi gas dan arang. Namun, pembakaran di kamar pertama biasanya belum sempurna dan masih mengandung partikel karbon (asap hitam). Di sinilah peran krusial Kamar Kedua (ruang sekunder) muncul. Gas dan asap dari ruang pertama dialirkan ke ruang kedua yang memiliki suhu jauh lebih tinggi. Di ruang ini, terjadi suplai udara tambahan (*excess air*) yang memicu oksidasi lanjut. Partikel karbon dan gas-gas berbahaya lainnya dibakar kembali hingga pecah menjadi molekul yang lebih sederhana dan aman.



Gambar 2. Penerapan Model Cerobong asap

Hasil akhir dari proses dua tahap ini adalah emisi gas buang yang keluar melalui cerobong tampak transparan atau hanya berupa uap putih tipis. Fenomena visual ini secara ilmiah menandakan telah terjadinya pembakaran sempurna (*complete combustion*), di mana karbon telah teroksidasi secara maksimal. Keunggulan lain yang sangat signifikan adalah efisiensi reduksi massa sampah. Inovasi Bapak Hardono mampu menyisakan residu akhir berupa abu halus hanya sebanyak ±5% dari volume sampah awal. Artinya, alat ini mampu melenyapkan 95% volume sampah residu yang sebelumnya menjadi beban lingkungan. Efektivitas ini membuktikan bahwa teknologi buatan lokal, jika dirancang dengan pemahaman *tacit knowledge* mengenai sirkulasi oksigen dan manajemen suhu, mampu menyaingi fungsi insinerator industri dalam skala yang lebih aplikatif untuk institusi keagamaan seperti pesantren.

3.2 Pembahasan

3.2.1. Analisis Inovasi Teknologi Low Emission Incinerator (Cerobong Tanpa Asap)

Inovasi insinerator di Pondok Pesantren El Bayan mengadopsi prinsip pembakaran dua tahap (*double chamber*) yang secara teoritis mampu mengatasi kelemahan pembakaran terbuka. Kamar pertama berfungsi sebagai ruang penguapan materi volatil, sedangkan kamar kedua berfungsi sebagai zona oksidasi lanjut. Hal ini sejalan dengan teori Niessen (2010) dalam *Combustion and Incineration Processes*, yang menyatakan bahwa efisiensi pembakaran sangat bergantung pada "3T" (*Temperature, Time, and Turbulence*). Penggunaan bata api (*refractory brick*) berfungsi menjaga temperatur agar tetap stabil di atas titik nyala karbon, sehingga gas-gas sisa dapat terurai sempurna.

Secara lingkungan, minimnya emisi asap hitam pada alat ini menunjukkan tercapainya *complete combustion*. Hal ini mengurangi pelepasan *Black Carbon* yang menurut Bond et al. (2013) merupakan kontributor signifikan terhadap pemanasan global setelah CO₂. Reduksi volume sampah hingga 90-95% membuktikan bahwa teknologi tepat guna ini memenuhi kriteria Manajemen Sampah Terintegrasi (*Integrated Waste Management*) yang diusulkan oleh Tchobanoglou & Kreith (2002), di mana pemrosesan di sumber (*at source*) secara signifikan mengurangi beban logistik dan ketergantungan pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA).

Keberhasilan desain Bapak Hardono juga mencerminkan konsep Teknologi Tepat Guna (*Appropriate Technology*) yang dikembangkan oleh Schumacher (1973) dalam bukunya *Small is Beautiful*. Inovasi ini membuktikan bahwa solusi lingkungan tidak selalu harus kompleks dan mahal; teknologi yang lahir dari konteks lokal dan dikelola oleh komunitas

(*bottom-up*) seringkali lebih berkelanjutan dibandingkan proyek skala besar yang bersifat *top-down*.

3.2.2. Analisis Inovasi Teknologi *Low Emission Incinerator* (Cerobong Tanpa Asap)

Integrasi operasional insinerator ke dalam kurikulum informal pesantren merupakan implementasi nyata dari *Contextual Teaching and Learning* (CTL). Menurut Johnson (2002), CTL adalah sistem yang membantu siswa melihat makna di dalam materi akademik yang mereka pelajari dengan cara menghubungkan subjek akademik dengan konteks kehidupan sehari-hari. Santri tidak hanya menghafal teks tentang kebersihan, tetapi mengalami langsung proses transformasi limbah melalui pendekatan *Experiential Learning* dari Kolb (1984). Dalam teori Kolb, pembelajaran terjadi melalui siklus pengalaman konkret, observasi reflektif, konseptualisasi abstrak, dan eksperimentasi aktif.

Fenomena perubahan paradigma santri menuju Kesalehan Ekologis (Ecological Piety) dapat dikaitkan dengan teori *Moral Development* dari Lawrence Kohlberg (1981), di mana individu bergerak dari kepatuhan karena takut hukuman menuju tindakan yang didasarkan pada prinsip-prinsip etika universal. Di pesantren, kepatuhan kepada figur Kyai (sami'na wa atha'na) menjadi jembatan awal menuju internalisasi nilai tersebut. Hal ini memperkuat teori *Social Learning* dari Albert Bandura (1977), yang menekankan pentingnya pemodelan perilaku (modeling) dalam pembentukan karakter. Figur Kyai dan pengasuh bertindak sebagai role model yang mengesahkan bahwa mengelola sampah adalah bagian dari ibadah.

Lebih lanjut, praktik ini mencerminkan konsep *Community-Based Waste Management* (CBWM) yang ditekankan oleh Suryani (2020). Keberlanjutan pengelolaan sampah sangat bergantung pada modal sosial (*social capital*) komunitas tersebut. Terakhir, visi "sampah sebagai sumber daya" selaras dengan teori Circular Economy yang dikemukakan oleh Pearce & Turner (1990), yang menekankan pentingnya siklus regeneratif untuk meminimalkan limbah yang terbuang ke alam bebas.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa pengelolaan sampah di Pondok Pesantren El Bayan, Majenang, merupakan model integrasi yang berhasil antara inovasi teknologi tepat guna dan pendidikan karakter berbasis komunitas. Pertama, secara teknis, inovasi *low emission incinerator* (cerobong rendah asap) karya Bapak Hardono terbukti efektif sebagai solusi desentralisasi sampah. Dengan menerapkan prinsip *double chamber* dan optimalisasi termodinamika sederhana (suhu, waktu, dan turbulensi), alat ini mampu mereduksi volume residu sampah non-organik hingga 90-95% dengan emisi

gas buang yang sangat minim. Hal ini membuktikan bahwa teknologi yang lahir dari kearifan lokal (*local genius*) mampu menjawab tantangan lingkungan yang kompleks dengan biaya yang lebih terjangkau dan operasional yang mandiri. Kedua, integrasi sistem pengelolaan sampah ke dalam rutinitas santri melalui metode *Contextual Teaching and Learning* (CTL) telah mentransformasi aktivitas kebersihan menjadi laboratorium hidup bagi pembentukan karakter. Melalui pembelajaran berbasis pengalaman (*experiential learning*), nilai-nilai kedisiplinan, tanggung jawab, dan kerjasama tim berhasil terinternalisasi secara alami. Hal ini mendorong pergeseran paradigma santri menuju kesalehan ekologis (*ecological piety*), di mana menjaga lingkungan dipahami sebagai perwujudan nyata dari nilai-nilai spiritual. Ketiga, keberlanjutan sistem ini didukung oleh modal sosial pesantren yang kuat, yakni kepemimpinan figur Kyai dan kepatuhan santri. Sinergi antara teknologi ramah lingkungan dan struktur sosial religius ini menciptakan ekosistem manajemen sampah yang berkelanjutan. Model Pesantren El Bayan ini layak menjadi prototipe bagi lembaga pendidikan lain dalam menghadapi krisis sampah abad ke-21 melalui pendekatan yang holistik, inovatif, dan berakar pada potensi lokal.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis ingin menyampaikan apresiasi dan terima kasih yang tulus kepada Bapak Hardono, selaku tokoh inovator, atas keterbukaan, waktu, serta ilmu berharga yang telah dibagikan mengenai spesifikasi teknis dan filosofi di balik pembuatan alat pembakaran sampah rendah emisi di Pesantren El Bayan. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada keluarga besar Pondok Pesantren El Bayan, Majenang, khususnya kepada jajaran pengasuh dan pengurus yang telah memberikan izin penelitian serta bantuan fasilitas selama proses pengambilan data lapangan. Apresiasi setinggi-tingginya penulis berikan kepada seluruh santri Pondok Pesantren El Bayan yang telah bersedia menjadi subjek observasi dan memberikan inspirasi mendalam mengenai praktik kesalehan ekologis dalam kehidupan sehari-hari. Selain itu, penulis berterima kasih kepada Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) atas penyediaan data melalui Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) yang menjadi rujukan krusial dalam analisis penelitian ini. Terakhir, terima kasih kepada seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas dukungan moral maupun teknis yang diberikan sehingga artikel ilmiah ini dapat terwujud sesuai harapan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bandura, A. (1977). Social learning theory. Prentice-Hall.
2. Bond, T. C., Doherty, S. J., Fahey, D. W., Forster, P. M., Berntsen, T., DeAngelo, B. J., Flanner, M. G., Ghan, S., Kärcher, B., Koch, D., Kinne, S., Kondo, Y., Quinn, P. K., Sarofim, M. C., Schultz, M. G., Schulz, M., Venkataraman, C., Zhang, H., Zhang, S., . . . Zender, C. S. (2013). Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(11), 5380–5552.
3. Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches (4th ed.). Sage Publications.
4. Hardono. (2023). Inovasi pengelolaan sampah mandiri di lingkungan pendidikan.
5. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). Climate change 2021: The physical science basis.
6. Johnson, E. B. (2002). Contextual teaching and learning: What it is and why it's here to stay. Corwin Press.
7. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). (2023). Laporan sistem informasi pengelolaan sampah nasional (SIPSN).
8. Kohlberg, L. (1981). Essays on moral development: Vol. 1. The philosophy of moral development. Harper & Row.
9. Kolb, D. A. (1984). Experiential learning: Experience as the source of learning and development. Prentice-Hall.
10. Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldana, J. (2014). Qualitative data analysis: A methods sourcebook (3rd ed.). Sage Publications.
11. Mollison, B., & Holmgren, D. (2019). Permaculture: A designers' manual. Tagari Publications.
12. Niessen, W. R. (2010). Combustion and incineration processes: Applications in environmental engineering (4th ed.). CRC Press.
13. Pearce, D. W., & Turner, R. K. (1990). Economics of natural resources and the environment. Johns Hopkins University Press.
14. Putra, R., & Sianipar, C. (2022). Analisis penggunaan insinerator industri dalam manajemen sampah.
15. Schumacher, E. F. (1973). Small is beautiful: A study of economics as if people mattered. Blond & Briggs.
16. Suryani, A. (2020). Manajemen sampah di pemukiman dan komunitas.
17. Tchobanoglou, G., & Kreith, F. (2002). Handbook of solid waste management (2nd ed.). McGraw-Hill Education.