

Rekomendasi Kebijakan *Zero Waste* Melalui Pemanfaatan Abu Pembakaran Sampah Residu sebagai Material Konstruksi Berkelanjutan

**Tirtha Damayanti*, Ni Kadek Sri Ebtha Yuni, I Gede Ryan Kurniawan,
Putu Mas Diah Pradnyawati**

Politeknik Negeri Bali, Badung-80364, Indonesia

ARTICLE INFO

Kata Kunci:

zero waste; abu pembakaran sampah residu; material konstruksi berkelanjutan; ekonomi sirkular; limbah residu.

***Correspondence email:**

tirthadamayanti@pnb.ac.id

Submitted: 17 Januari 2026

Revised: 21 Januari 2026

Accepted: 24 Januari 2026

Published: 04 Februari 2026

ABSTRAK

Sektor konstruksi menghadapi tantangan ganda berupa tingginya emisi karbon dan ketergantungan pada sumber daya alam, di tengah krisis pengelolaan sampah residu yang kian mendesak di Indonesia. Insinerasi telah diterapkan untuk mereduksi volume sampah, namun menghasilkan residu berupa Abu Pembakaran Sampah Residu (AHSR) yang belum dimanfaatkan secara optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji potensi AHSR sebagai material konstruksi ramah lingkungan serta merumuskan rekomendasi kebijakan strategis guna mendukung visi *zero waste* dan ekonomi sirkular. Dengan menggunakan metode tinjauan naratif (*narrative review*) terhadap literatur strategis (2019–2025), penelitian ini menemukan bahwa AHSR memiliki karakteristik pozzolanik yang unggul, mampu menghasilkan material konstruksi dengan kuat tekan mencapai 17 MPa, serta mereduksi emisi CO₂ sebesar 14,60% hingga 22,63%. Namun, implementasi skala industri terhambat oleh "Paradoks Regulasi", di mana AHSR secara teknis terbukti aman melalui enkapsulasi, namun secara hukum masih terjebak dalam klasifikasi limbah B3 (PP No. 22/2021). Hasil kajian merumuskan tiga rekomendasi kebijakan transformatif: (1) Reklasifikasi AHSR menjadi bahan bangunan non-B3 pasca-uji TCLP; (2) Penerbitan adendum SNI khusus material berbasis residu; dan (3) Aktivasi pasar melalui kebijakan *Green Public Procurement*. Penelitian ini menyimpulkan bahwa sinkronisasi antara regulasi lingkungan dan standar teknis infrastruktur adalah kunci utama dalam mengubah beban limbah menjadi sumber daya konstruksi yang berkelanjutan di Indonesia.

ABSTRACT

Keywords:

zero waste; residual waste incineration ash; sustainable construction materials; circular economy; residual waste.

The construction sector faces a dual challenge of high carbon emissions and resource depletion, amidst an urgent municipal solid waste crisis in Indonesia. While incineration has been implemented to reduce waste volume, it produces Incineration Bottom Ash and Fly Ash (IBA/IFA) that remains largely underutilized. This study aims to evaluate the potential of Incineration Ash as an eco-friendly construction material and to formulate strategic policy recommendations to support the vision of zero waste and a circular economy. Utilizing a narrative review method of 20 strategic literatures (2015–2025), the research finds that incineration ash possesses superior pozzolan characteristics, capable of producing construction materials with compressive strengths up to 17 MPa while reducing CO₂ emissions by 14.60% to 22.63%. However, industrial-scale implementation is hindered by a "Regulatory Paradox," where ash is technically proven safe through encapsulation but remains legally classified as hazardous waste (B3) under Government Regulation No. 22/2021. The study formulates three transformative policy recommendations: (1) Reclassifying treated incineration ash as non-hazardous building material post-TCLP testing; (2) Issuing specific national technical standards (SNI) for ash-based materials; and (3) Stimulating market demand through Green Public Procurement. This research concludes that synchronizing environmental regulations with technical infrastructure standards is the key to transforming waste burdens into sustainable construction resources in Indonesia.

PENDAHULUAN

Pengelolaan limbah merupakan salah satu isu strategis dalam pembangunan berkelanjutan, khususnya di negara berkembang dengan tingkat urbanisasi dan pertumbuhan penduduk yang tinggi seperti Indonesia. Peningkatan timbulan sampah perkotaan yang tidak diimbangi dengan sistem pengolahan yang memadai menyebabkan tekanan serius terhadap lingkungan, terutama di Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan menunjukkan bahwa sepanjang tahun 2023 terjadi kebakaran di sedikitnya 35 TPA di Indonesia, yang mencerminkan masih lemahnya pengelolaan sampah residu dan tingginya potensi risiko lingkungan akibat penumpukan limbah (Valenia Samputri et al., 2023).

Salah satu metode pengurangan volume sampah yang mulai diterapkan adalah insinerasi. Meskipun mampu menurunkan volume sampah secara signifikan, proses insinerasi menghasilkan residu berupa abu pembakaran yang hingga saat ini sebagian besar masih dibuang ke TPA. Abu pembakaran sampah residu berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik, terutama terkait kandungan logam berat dan partikel berbahaya (B. Chen et al., 2023). Namun demikian, sejumlah penelitian menunjukkan bahwa abu hasil insinerasi memiliki kandungan mineral utama seperti silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) yang berpotensi dimanfaatkan kembali sebagai material konstruksi (Zhang & Zhao, 2014;).

Di sisi lain, sektor konstruksi merupakan salah satu penyumbang terbesar emisi karbon dan konsumsi sumber daya alam tidak terbarukan. Produksi semen dan eksploitasi agregat alam berkontribusi signifikan terhadap degradasi lingkungan dan perubahan iklim (Siddique, 2014). Oleh karena itu, pengembangan material konstruksi alternatif berbasis limbah menjadi pendekatan yang relevan dalam mendukung prinsip *zero waste* dan ekonomi sirkular. Berbagai studi menunjukkan bahwa pemanfaatan abu pembakaran sampah residu sebagai substitusi parsial semen, pasir, atau agregat dalam beton, paving block, dan beton mampu meningkatkan atau mempertahankan sifat mekanik material sekaligus menurunkan biaya produksi dan emisi karbon (Laksmono & Rosariawari, 2018.; Marieta et al., 2023; Putri et al., 2019).

Meskipun potensi teknis pemanfaatan abu pembakaran sampah residu telah banyak dikaji, sebagian besar penelitian masih berfokus pada aspek laboratorium dan karakteristik material, sementara kajian yang mengintegrasikan temuan teknis tersebut ke dalam kerangka kebijakan publik di Indonesia masih terbatas. Terdapat kesenjangan (*research gap*) antara hasil penelitian teknis pemanfaatan abu insinerasi dan kebijakan pengelolaan limbah serta regulasi material konstruksi yang berlaku. Hingga saat ini, belum terdapat standar teknis nasional dan kebijakan komprehensif yang secara khusus mengatur pemanfaatan abu pembakaran sampah residu sebagai bahan bangunan non-struktural dalam konteks *zero waste* di sektor konstruksi.

Kesenjangan tersebut menunjukkan perlunya pendekatan kebijakan berbasis bukti ilmiah (*evidence-based policy*) yang menghubungkan hasil-hasil penelitian terdahulu dengan strategi implementasi yang aplikatif dan adaptif terhadap kondisi Indonesia. *Novelty* (unsur kebaruan) dari artikel ini terletak pada penyusunan rekomendasi kebijakan *zero waste* di sektor konstruksi yang disusun secara sistematis berdasarkan telaah literatur mutakhir mengenai pemanfaatan abu pembakaran sampah residu, dengan mempertimbangkan aspek teknis, lingkungan, sosial, dan regulasi. Berdasarkan uraian tersebut, tujuan penulisan artikel ini adalah untuk mengkaji potensi pemanfaatan abu pembakaran sampah residu sebagai material konstruksi ramah lingkungan melalui pendekatan *narrative review*, serta merumuskan rekomendasi kebijakan strategis yang dapat mendukung penerapan konsep *zero waste* dan ekonomi sirkular di sektor konstruksi Indonesia

METODE

Penelitian ini dilakukan dengan metode tinjauan naratif (*narrative review*), menggunakan berbagai artikel ilmiah, laporan penelitian, dan dokumen kebijakan sebagai data sekunder untuk menghasilkan rekomendasi kebijakan yang komprehensif dan berbasis bukti. Proses pencarian dan pemilihan literatur dilakukan secara sistematis melalui basis data jurnal nasional dan internasional, serta portal kebijakan publik, dengan menggunakan kata kunci yang relevan seperti "abu pembakaran sampah", "pemanfaatan abu residu", "konstruksi berkelanjutan", "zero waste konstruksi", dan "*circular economy* konstruksi". Untuk menjaga relevansi dan kualitas sumber, digunakan kriteria inklusi dan eksklusi sebagai berikut:

Kriteria Inklusi:

1. Publikasi (jurnal, laporan, dokumen kebijakan) diterbitkan dalam 6 tahun terakhir untuk memastikan aktualitas data dan teknologi
2. Topik membahas secara spesifik tentang abu hasil pembakaran sampah residu (bukan abu spesifik dari limbah industri atau limbah berbahaya tanpa pengolahan lanjutan).
3. Membahas potensi pemanfaatan abu pembakaran sampah residu sebagai material dalam sektor konstruksi (misalnya, sebagai bahan substitusi semen, agregat, atau material konstruksi inovatif lainnya).
4. Mengkaji aspek kebijakan, regulasi, standar, atau strategi terkait pengelolaan sampah residu, implementasi *zero waste* di sektor konstruksi, dan pemanfaatan material alternatif dari limbah.

Kriteria Eksklusi:

1. Artikel atau dokumen yang tidak membahas abu pembakaran sampah residu secara langsung atau hanya membahas jenis abu lain (misalnya, abu terbang batu bara tanpa kaitan dengan sampah kota).
2. Topik tidak memiliki relevansi dengan aplikasi di sektor konstruksi atau tidak membahas implikasi kebijakan untuk mencapai *zero waste*.
3. Studi yang berfokus murni pada karakterisasi teknis abu tanpa membahas potensi pemanfaatan atau aspek kebijakan.
4. Literatur yang tidak dapat diakses secara penuh (*full text*) atau bukan merupakan sumber yang terverifikasi.

Setelah proses penyaringan berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, literatur yang lolos seleksi akan dianalisis secara mendalam. Analisis difokuskan pada identifikasi berbagai potensi dan teknologi pemanfaatan abu pembakaran sampah residu di sektor konstruksi, evaluasi keberhasilan dan tantangan implementasi kebijakan serupa di berbagai negara, serta perumusan rekomendasi kebijakan yang adaptif dan aplikatif untuk konteks Indonesia dalam upaya mencapai target zero waste di sektor industri konstruksi di Indonesia

HASIL

Berdasarkan sintesis data dari literatur strategis, penelitian ini mengidentifikasi tiga domain utama hasil: performa mekanis, efisiensi ekologis, dan validasi sosial-ekonomi. Abu Pembakaran Sampah Residu (AHSR) terbukti memiliki reaktivitas pozzolanik yang mampu memperbaiki struktur mikro beton melalui pengisian rongga kapiler (*pore-filling effect*).

Secara teknis, efektivitas AHSR sebagai material substitusi sangat bergantung pada proporsi campuran. Data agregat menunjukkan bahwa substitusi pasir atau semen pada level optimal 10% – 20% menghasilkan kuat tekan yang kompetitif untuk aplikasi infrastruktur perkotaan. Rincian data teknis dan dampak lingkungannya disajikan dalam tabel 1. berikut:

Tabel 1. Sintesis Data Pemanfaatan Abu Pembakaran Sampah Residu (AHSR)

No	Kategori Aplikasi	Referensi Utama	Temuan Teknis & Dampak Strategis
1	Paving Block & Batako	(Fithriyah et al., 2024; Hasan Abdullah et al., 2023; Laksmo & Rosariawari, 2018; D. Putri et al., 2019; Thennarasan Latha et al., 2023)	Substitusi abu 10% menghasilkan kuat tekan hingga 17 MPa (Mutu B). Berhasil diimplementasikan melalui program pemberdayaan masyarakat.
2	Bata Beton & Material Struktural	(Gede & Darmayasa, 2022; Grazulyte et al., 2021; desi Putri et al., 2018; Siddique, 2014; Zhang & Zhao, 2014)	Reduksi emisi CO ₂ hingga 22,63%. Peningkatan ketahanan beku-cair dan efisiensi produksi bata ramah lingkungan.
3	Semen & Eco-Concrete	(Chen et al., 2023; Li et al., 2024; Marieta et al., 2023; Vaiciene & Simanavičius, 2022; Suryan et al., 2024)	Reduksi Global Warming Potential (GWP) hingga 55%. Penggunaan mikro-serbuk abu meningkatkan densitas matriks beton.
4	Blok Tanah & Agregat	(Chen et al., 2022; Lu et al., 2024; Thennarasan Latha et al., 2024)	Peningkatan sifat mekanik blok tanah terkompresi. Mitigasi risiko toksikologis melalui enkapsulasi mineral.

Sumber: Hasil Telaah Literatur (2025)

Hasil analisis laboratorium dari berbagai studi juga mengonfirmasi bahwa risiko toksisitas logam berat (seperti Pb, Cd, dan Cr) dapat ditekan di bawah ambang batas aman melalui proses enkapsulasi semen atau pencucian residu (*washing pretreatment*), sehingga produk akhir aman untuk digunakan pada area publik (Lu et al., 2024).

Namun, temuan lapangan menunjukkan adanya "stagnasi implementasi" di Indonesia. Meskipun secara teknis AHSR memenuhi syarat Mutu B dan D SNI untuk material non-struktural, adopsi industri tetap rendah karena ketiadaan payung hukum yang mengakui residu pembakaran sebagai komoditas bahan bangunan. Hal ini menyebabkan AHSR kehilangan nilai ekonomisnya dan tetap berakhir sebagai akumulasi limbah di TPA.

Pembahasan

Analisis Potensi Mekanis dan Dekarbonisasi

Berdasarkan sintesis terhadap referensi yang dikaji, potensi Abu Pembakaran Sampah Residu (AHSR) sebagai material konstruksi didorong oleh karakteristik pozzolaniknya yang mengandung senyawa silika dan alumina reaktif. Secara mekanis, penggunaan AHSR sebagai substitusi parsial pasir atau semen pada kadar 10–20% tidak hanya mempertahankan integritas struktural, tetapi dalam beberapa kasus meningkatkan durabilitas material melalui *pore-filling effect* (pengisian rongga mikro). Hal ini dibuktikan oleh (D. Putri et al., 2019) dan (Laksmo & Rosariawari, 2018), di mana produk paving block mampu mencapai kuat tekan hingga 17 MPa (Mutu B), yang sangat ideal untuk infrastruktur perkotaan berkelanjutan.

Dari aspek dekarbonisasi, temuan ini mengungkap dampak ekologis yang transformatif. Sektor konstruksi tradisional merupakan penyumbang emisi karbon masif akibat produksi klinker semen. Substitusi AHSR ke dalam matriks semen atau beton, sebagaimana dilaporkan oleh (Marieta et al., 2023) dan (Putri et al., 2018), mampu mereduksi jejak karbon unit produksi sebesar 14,60% hingga 22,63%, bahkan menurunkan Global Warming Potential (GWP) hingga 55% pada produksi semen ekologi. Angka-angka ini menunjukkan bahwa AHSR bukan sekadar solusi pengelolaan limbah, melainkan instrumen mitigasi perubahan iklim yang krusial bagi industri konstruksi masa depan di

Indonesia. Dengan memanfaatkan residu ini, industri konstruksi dapat beralih dari model ekstraktif yang merusak alam menuju model regeneratif yang mendukung target Net Zero Emission.

Paradoks Regulasi dan Hambatan Implementasi

Meskipun bukti ilmiah dari literatur di atas mengonfirmasi keamanan dan keunggulan teknis AHSR, terdapat kesenjangan besar (*gap*) dalam implementasi skala industri di Indonesia yang diidentifikasi sebagai "Paradoks Regulasi". Paradoks ini terjadi ketika sebuah material secara teknis telah terbukti aman dan bermanfaat (terutama melalui teknologi enkapsulasi yang mengikat logam berat secara permanen dalam beton), namun secara hukum masih terjebak dalam klasifikasi Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) sesuai dengan PP No. 22 Tahun 2021.

Hambatan utama yang muncul dari paradoks ini adalah stigma negatif dan beban biaya operasional yang tidak masuk akal secara ekonomi. Status B3 mewajibkan prosedur pengangkutan dan penyimpanan yang sangat ketat dan mahal, sehingga harga material berbasis abu menjadi jauh lebih tinggi dibandingkan pasir alam. Hal ini menyebabkan hasil riset yang menjanjikan tetap tertahan di tingkat laboratorium atau pengabdian masyarakat skala kecil (seperti di Gresik dan Sidoarjo) tanpa mampu menembus rantai pasok industri konstruksi nasional. Selain itu, ketiadaan standar teknis (SNI) khusus AHSR menciptakan keraguan bagi para insinyur dan kontraktor mengenai legalitas dan jaminan kualitas jangka panjang. Tanpa adanya kebijakan yang berani untuk mereklasifikasi residu yang telah memenuhi uji lingkungan (TCLP) menjadi "Bahan Bangunan Non-B3 Tersertifikasi", potensi besar AHSR sebagai sumber daya sirkular hanya akan berakhir sia-sia sebagai polutan di lahan penimbunan (TPA).

Tabel 2. Kondisi Eksisting vs Rekomendasi Zero Waste

Parameter	Kondisi Saat Ini (Hambatan)	Rekomendasi Kebijakan
Status Hukum	Klasifikasi B3 menghambat nilai ekonomi residu.	Deregulasi Terukur: Reklasifikasi menjadi bahan bangunan Non-B3 tersertifikasi.
Standarisasi	Ketiadaan SNI khusus material campuran abu.	Legalisasi Teknis: Penerbitan adendum SNI khusus AHSR oleh BSN & PUPR.
Serapan Pasar	Material daur ulang kalah saing dengan material alam.	Green Public Procurement: Kewajiban penggunaan konten AHSR pada proyek negara.
Infrastruktur	Pengolahan abu terpisah dari lokasi insinerasi.	Integrated Hub: Pembangunan unit pengolahan material di lokasi insinerator.

Sumber: Hasil Analisis (2025)

Tabel 2 memetakan transformasi radikal yang diperlukan untuk menggeser paradigma pengelolaan limbah di Indonesia dari sistem linear menuju sirkular. Analisis terhadap parameter Status Hukum menunjukkan bahwa hambatan utama bukan terletak pada aspek teknis, melainkan pada beban regulasi. Selama AHSR masih terjebak dalam klasifikasi B3 tanpa pengecualian fungsional, maka biaya operasional untuk pemanfaatannya akan tetap tinggi, sehingga industri akan terus memilih material alam yang lebih murah namun tidak berkelanjutan. Rekomendasi mengenai Legalisasi Teknis melalui penyusunan SNI khusus menjadi krusial. Tanpa standar resmi dari BSN atau Kementerian PUPR, kontraktor tidak akan berani mengambil risiko menggunakan AHSR dalam skala besar karena kekhawatiran akan aspek legalitas dan jaminan mutu jangka panjang. Lebih lanjut, poin *Market Creation* melalui *Green Public Procurement* (Pengadaan Hijau Pemerintah) diusulkan sebagai mesin penggerak utama. Pemerintah, sebagai pemegang kendali proyek infrastruktur terbesar di Indonesia, memiliki kekuatan untuk menciptakan pasar bagi material hijau ini. Jika pemerintah mewajibkan penggunaan konten AHSR pada proyek jalan atau drainase, maka ekonomi sirkular akan terbentuk secara organik, menurunkan biaya produksi melalui skala ekonomi, dan secara signifikan mereduksi volume residu yang berakhir di TPA. Terakhir, pengawasan melalui *Digital Tracking* (sistem barcode/blockchain) direkomendasikan untuk menghapus stigma negatif masyarakat terkait keamanan lingkungan. Dengan sistem yang transparan, asal-usul dan keamanan material AHSR dapat dilacak secara real-time, menjamin bahwa produk konstruksi yang dihasilkan aman dari risiko toksisitas logam berat.

SIMPULAN

Penelitian ini menegaskan bahwa Abu Pembakaran Sampah Residu (AHSR) merupakan instrumen strategis yang valid secara ilmiah untuk mentransformasi sektor konstruksi Indonesia menuju ekosistem Zero Waste. Hasil sintesis terhadap literatur membuktikan bahwa AHSR memiliki karakteristik pozzolanik yang unggul, mampu menghasilkan material konstruksi dengan kuat tekan hingga 17 MPa, serta memberikan dampak dekarbonisasi signifikan melalui reduksi emisi CO₂ hingga 22,63% dan penurunan potensi pemanasan global hingga 55%. Secara teknis, risiko toksisitas AHSR bukan lagi menjadi hambatan karena dapat dimitigasi sepenuhnya melalui teknologi enkapsulasi semen dan pra-perlakuan yang terstandarisasi.

Namun, implementasi skala luas masih terbelenggu oleh "Paradoks Regulasi", di mana kekakuan klasifikasi limbah B3 dan kekosongan standar teknis (SNI) membuat material ini kehilangan daya saing ekonominya. Oleh karena itu, keberhasilan transisi ini memerlukan komitmen kebijakan yang holistik melalui tiga langkah transformatif: (1) Reklasifikasi AHSR menjadi bahan bangunan non-B3 tersertifikasi; (2) Penerbitan standar teknis nasional yang mengakomodasi material berbasis residu; dan (3) Aktivasi pasar melalui kebijakan pengadaan hijau pemerintah (Green Public Procurement). Tanpa sinkronisasi antara regulasi lingkungan dan standar infrastruktur, potensi besar AHSR sebagai sumber daya konstruksi masa depan hanya akan berakhir sebagai akumulasi limbah di lahan penimbunan. Dengan langkah kebijakan yang tepat, Indonesia dapat memelopori integrasi ekonomi sirkular yang menyinergikan pengelolaan sampah perkotaan dengan pembangunan infrastruktur berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, B., Perumal, P., Illikainen, M., & Ye, G. (2023). *A Review On The Utilization Of Municipal Solid Waste Incineration (MSWI) Bottom Ash As A Mineral Resource For Construction Materials*. In *Journal Of Building Engineering* (Vol. 71). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.106386>
- Chen, D., Zhang, Y., Xu, Y., Nie, Q., Yang, Z., Sheng, W., & Qian, G. (2022). *Municipal Solid Waste Incineration Residues Recycled For Typical Construction Materials- A Review*. In *RSC Advances* (Vol. 12, Issue 10, Pp. 6279–6291). Royal Society Of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/D1ra08050d>
- Fithriyah, N., Madaniah, A. N., Fithriyah, N. N., Yuliadi, H., Sari, T. R., & Rohmah, L. (2024). Inovasi Pemanfaatan Limbah Sampah Menjadi Paving Block Di Desa Kalanganyar Sidoarjo. *NCER*, 2(2), 37–42. <https://doi.org/https://doi.org/10.55732/Ncer.V2i2.1309>
- Gede, I., & Darmayasa, O. (2022). Pembuatan Batu Bata Dengan Memanfaatkan Abu Sisa Pembakaran Limbah Kayu. *JURNAL ECOCENTRISM*. <https://doi.org/https://doi.org/10.36733/Jeco.V2i2.4468>
- Grazulyte, J., Vaitkus, A., Laurinavicius, A., & Sernas, O. (2021). *Performance Of Concrete Mixtures Containing MSWI Bottom Ash. Road And Rail Infrastructure VI*, 6, 819–825. <https://doi.org/10.5592/Co/Cetra.2020.1164>
- Hasan Abdullah, M., Purnamayudhia, O., Indrawati, T., Arum Hidayat, N., & Rizky Kurniawan, A. (2023). Pemanfaatan Limbah Hasil Pembakaran Sampah Menjadi Batako Di TPS Desa Mojosarirejo Driyorejo Gresik. *Prosiding PKM-CSR*, 3, 2655–3570. <https://doi.org/https://doi.org/10.37695/Pkmsr.V6i0.2025>
- Laksmono, R., & Rosariawari, F. (2018). Pembuatan Paving Block Dari Campuran Limbah Abu Dan Sisa Pembakaran Sampah Domestik. *Jurnal Envirotek*, 9(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.33005/Envirotek.V9i1.1049>
- Li, H., Shi, D., Li, H., & Ren, D. (2024). *Experimental Study On Municipal Solid Waste Incineration Ash Micro-Powder As Concrete Admixture*. *Reviews On Advanced Materials Science*, 63(1). <https://doi.org/10.1515/Rams-2024-0027>
- Lu, J., Yang, X., Lai, Y., Wan, X., Gao, J., Wang, Y., Tan, L., & Deng, F. (2024). *Utilization Of Municipal Solid Waste Incinerator Bottom Ash (MSWIBA) In Concrete As Partial Replacement Of Fine Aggregate*. *Construction And Building Materials*, 414. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.134918>
- Marieta, C., Martín-Garin, A., Leon, I., & Guerrero, A. (2023). *Municipal Solid Waste Incineration Fly Ash: From Waste To Cement Manufacturing Resource*. *Materials*, 16(6). <https://doi.org/10.3390/Ma16062538>
- Putri, Desi, Ageng Kinasti, Rr. M., & Lestari, Endah. (2018). Pemanfaatan Limbah Abu Sisa Pembakaran Sampah Non Organik Sebagai Material Pengganti Pasir Pada Bata Beton Pejal. *Jurnal Konstruksia*, 10(1), 39–49. <https://doi.org/https://doi.org/10.24853/Jk.10.1.39-50>
- Putri, D., Mekar, R., Kinasti, A., Sipil, J. T., Tinggi, S., Pln, T., Barat, J., Lingkar, J., Barat, L., & Kosambi, D. (2019). Pemanfaatan Limbah Abu Pembakaran Sampah Non Organik Sebagai Bahan Substitusi Pasir Pada Pembuatan Paving Block. *16*. <https://doi.org/https://jurnal.umj.ac.id/index.php/Semnastek/Article/View/5151>
- Siddique, R. (2014). *Utilization Of Industrial By-Products In Concrete*. *Procedia Engineering*, 95, 335–347. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.192>
- Suryan, V., Septiani, V., Nurfitri, M. A., Amalia, D., Silitonga, E., Chandra, P. W. A., & Febriansyah, A. (2024). Green Concrete: Residu Pembakaran Sampah Plastik Dan Tekstil Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Pada Campuran Beton. *Jurnal Talenta Sipil*, 7(1), 192. <https://doi.org/10.33087/Talentsipil.V7i1.348>
- Thennarasan Latha, A., Murugesan, B., & Kabeer, K. I. S. A. (2024). *Valorisation Of Municipal Solid Waste Incinerator Bottom Ash For The Production Of Compressed Stabilised Earth Blocks*. *Construction And Building Materials*, 423. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135827>
- Thennarasan Latha, A., Murugesan, B., & Thomas, B. S. (2023). *Compressed Stabilized Earth Block Incorporating Municipal Solid Waste Incinerator Bottom Ash As A Partial Replacement For Fine Aggregates*. *Buildings*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/Buildings13051114>
- Vaiciene, M., & Simanavičius, E. (2022). *The Effect Of Municipal Solid Waste Incineration Ash On The Properties And Durability Of Cement Concrete*. *Materials*, 15(13). <https://doi.org/10.3390/Ma15134486>

Tirtha Damayanti*, Ni Kadek Sri Ebtha Yuni, I Gede Ryan Kurniawan, Putu Mas Diah Pradnyawati: *Rekomendasi Kebijakan Zero Waste Melalui Pemanfaatan Abu Pembakaran Sampah Residu sebagai Material Konstruksi Berkelanjutan*

- Valenia Samputri, A., Lestari, A., Prasetya Adi Pendidikan Fisika, N., Ilmu Tarbiyah, F., & Sains Al Qur, U. (2023). Dampak Timbulan Sampah Di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Wonorejo Kabupaten Wonosobo Terhadap Lingkungan Tanah. 3(1), 24–30. <https://doi.org/10.33860/Bjkl.V3i1.2582>
- Zhang, T., & Zhao, Z. (2014). *Optimal Use Of MSWI Bottom Ash In Concrete*. *International Journal Of Concrete Structures And Materials*, 8(2), 173–182. <https://doi.org/10.1007/S40069-014-0073-4>