

KARAKTERISASI ABU HASIL PEMBAKARAN SAMPAH DI PUSAT DAUR ULANG (PDU) MENGWITANI KABUPATEN BADUNG

Ida Ayu Rai Widhiawati¹, Anak Agung Intan Praniti², Ngakan Gede Agung Khrisna Wiryananda³, Ida Bagus Made Baskara Andika⁴

¹*Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Bali, Indonesia

e-mail: darawidhia@unud.ac.id

²Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Bali, Indonesia

e-mail: intan.praniti007@student.unud.ac.id

³Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Bali, Indonesia

e-mail: khrisna.wiryananda@unud.ac.id

⁴Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Bali, Indonesia

e-mail: ibmbaskara@unud.ac.id

ABSTRAK

Sampah merupakan persoalan lingkungan yang masih menjadi tantangan, terutama akibat meningkatnya timbulan, pertumbuhan penduduk, dan perubahan gaya hidup masyarakat. Tingginya komposisi sampah residu akibat pemilahan di sumber tidak dilakukan secara maksimal, sehingga dibutuhkan pengolahan sampah residu yang masif. Pengolahan sampah residu melalui metode insinerasi di Pusat Daur Ulang (PDU) Mengwitani menghasilkan limbah berupa abu dasar (*bottom ash*) yang mengalami peningkatan timbulan sehingga perlu diketahui karakteristik untuk menentukan potensi pemanfaatannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah timbulan abu dasar yang dihasilkan, mengidentifikasi karakteristik fisik dan kimia, serta mengidentifikasi potensi pemanfaatannya sebagai material konstruksi. Sampel pengujian abu diambil dari enam tungku insinerator aktif, diuji secara fisik dengan analisis saringan, kadar air, dan berat jenis, serta pengujian kimia menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) lalu dibandingkan dengan standar. Timbulan abu rata-rata mencapai 1.090 ton/tahun cenderung meningkat dari tahun 2021 hingga 2024. Abu didominasi fraksi halus (<4,75 mm), kadar air rendah (1,181%), dan berat jenis ringan (1,272 g/cm³). Kandungan logam didominasi oleh Ca sebesar 45.625 ppm. Berdasarkan hasil uji karakteristik fisik dan kimia, abu hasil insinerasi di PDU Mengwitani berpotensi dimanfaatkan sebagai material alternatif dalam bidang konstruksi yaitu sebagai bahan campuran atau tambahan (*filler*) pada mortar atau beton dan sebagai parsial pasir untuk *paving block*.

Kata Kunci: Abu dasar, PDU Mengwitani, timbulan abu, karakteristik fisik dan kimia, material konstruksi.

1. PENDAHULUAN

Sampah masih menjadi permasalahan lingkungan yang kompleks, terutama karena peningkatan volumenya seiring pertumbuhan penduduk dan perubahan gaya hidup masyarakat. Dari berbagai jenis sampah, tidak semua sampah dapat didaur ulang, sehingga menyisakan sampah residu yang memerlukan penanganan khusus untuk mengurangi dampaknya terhadap lingkungan (Waste4Change, 2018). Menurut Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) tahun 2023, komposisi terbesar sampah di Indonesia adalah sisa makanan (39,78%), plastik (19,19%), kayu (12,03%), kertas (10,8%), logam (3,21%), dan lainnya seperti kain, karet, dan kaca, yang sebagian besar termasuk dalam kategori residu.

Penggunaan insinerator menjadi salah satu solusi pengelolaan sampah residu, sebagaimana diterapkan di Kabupaten Badung. Kabupaten Badung merupakan daerah dengan aktivitas pariwisata tinggi yang menghasilkan timbulan sampah besar, yakni 119.474 ton pada 2022 dan meningkat menjadi 195.222 ton pada 2023 (Satu Data Indonesia Provinsi Bali, 2022). Pengelolaan sampahnya dilakukan di Pusat Daur Ulang (PDU) Mengwitani yang melayani kecamatan 3 yaitu Abiansemal, Mengwi, dan Kuta Utara, menggunakan 8 unit insinerator. Sistem insinerasi mampu mengurangi volume sampah lebih dari 90% dalam waktu yang relatif singkat dan dapat mendetoksifikasi bahan pathogen sebesar 100% (Rudend & Hermana, 2021).

Pada proses insinerasi menghasilkan limbah berupa abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*), yang mana abu dasar mendominasi dan belum dimanfaatkan secara optimal (Rosariawati, 2018). Berdasarkan data DLHK Kabupaten Badung Pada 2022, timbulan abu dasar mencapai 295 ton dan meningkat drastis menjadi 739 ton pada 2023. Abu dasar dari hasil pembakaran sampah residu di PDU Mengwitani dikumpulkan di unit pengumpulan abu, dan hanya dimanfaatkan sebagai bahan urugan untuk tanah kosong atau *landfill*. Jika abu hasil insinerasi dibuang tanpa pengelolaan yang memadai, hal tersebut dapat menimbulkan potensi pencemaran lingkungan (Hasan Abdullah

et al., 2024). Unsur-unsur utama dalam abu dasar meliputi Ca, Si, Fe, dan Al (Lynn et al., 2016), serta dalam penelitian Rosariawari, (2018) menyatakan logam Cr terdapat dalam jumlah yang tinggi pada pengujian abu sampah domestik.

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa abu insinerator berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan konstruksi, seperti substitusi pasir pada bata beton (Putri et al., 2018) maupun sebagai bahan campuran paving dan batako (Hasan Abdullah et al., 2024). Oleh karena itu, penelitian untuk mengetahui karakterisasi ini penting dilakukan sebagai upaya mendukung pengelolaan limbah yang berkelanjutan dan berwawasan lingkungan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis jumlah timbulan limbah abu yang dihasilkan dari pembakaran sampah di PDU Mengwitani, menganalisis karakteristik limbah abu dari hasil pembakaran sampah di PDU Mengwitani, serta mengetahui dan menganalisis potensi pemanfaatan limbah abu hasil pembakaran sampahnya untuk bahan konstruksi.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Pusat Daur Ulang (PDU) Mengwitani yang mana sebelumnya bernama TPST Mengwitani, terletak di Jl. Mengwitani, Kec. Mengwi, Kabupaten Badung sesuai yang ditampilkan Gambar 1.



Gambar 7. Peta Lokasi Penelitian

2.2. Pengumpulan Data

Data penelitian diperoleh melalui obsevasi lapangan, studi pustaka, serta pengujian di laboratorium. Kondisi eksisting diketahui melalui observasi langsung di Pusat Daur Ulang (PDU) Mengwitani untuk mengetahui sistem pengelolaan sampah residu dan metode pencatatan timbulan abu insinerator. Untuk data primer yakni karakteristik abu secara fisik dan kimia diperoleh dari pengujian fisik meliputi analisis ukuran butir (*sieve analysis*), kadar air, dan berat jenis, dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Teknik Sipil, Universitas Udayana. Pengujian kimia dilakukan dengan metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) untuk mengukur kadar logam Ca, Si, Fe, Al, dan Cr, di Laboratorium Teknik Lingkungan dan Laboratorium Penelitian Terpadu FMIPA Universitas Udayana.

Pengambilan sampel dilakukan di 6 tungku insinerator yang beroperasi di PDU Mengwitani, masing-masing diambil sebanyak 500 gr/tungku menggunakan sekop dan cetok, kemudian disimpan dalam wadah *stainless steel*. Sampel dari masing-masing tungku dihomogenisasi untuk mendapatkan representasi yang merata sebelum diuji di laboratorium.

Data sekunder diperoleh dari Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan Kabupaten Badung serta studi terdahulu yang relevan. Data timbulan abu dari tahun 2021 hingga 2024 diperoleh berdasarkan catatan operasional insinerator di PDU Mengwitani.

2.3. Analisis Data

a. Analisis Timbulan Abu

Data timbulan abu dari tahun 2021 hingga 2024 dianalisis menggunakan Microsoft Excel untuk mengidentifikasi tren tahunan timbulan abu hasil insinerasi berdasarkan data sekunder.

b. Analisis Karakteristik Abu

Karakterisasi fisik abu dilakukan di laboratorium sesuai dengan standar SNI, mencakup:

- Analisis saringan berdasarkan SNI 03-1968-1990 mengenai Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar

- Kadar air mengacu pada SNI 1965:2008 mengenai cara uji penentuan kadar air untuk tanah dan batuan di laboratorium. Selanjutnya dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_3} \times 100\% \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

Keterangan:

- w = kadar air (%)
- W_1 = berat cawan dan contoh basah (gram)
- W_2 = berat cawan dan contoh kering (gram)
- W_3 = berat cawan (gram)
- $(W_1 - W_2)$ merupakan berat air (gram)
- $(W_2 - W_3)$ merupakan berat contoh kering (gram)

- Berat jenis mengacu pada SNI 1964:2008 mengenai cara uji berat jenis tanah. Lalu dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Gs = \frac{\text{Berat Sample}}{\text{Volume Sample}} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

$$Gs = \frac{(W_t)}{(W_5 - W_3)} \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

Keterangan:

- G_s = Berat Jenis
- W_1 = Berat piknometer
- W_2 = Berat piknometer + Sampel
- W_t = $W_2 - W_1$
- W_3 = Berat piknometer+air+Sampel
- W_4 = Berat piknometer + air
- W_5 = $W_t + W_4$

Analisis kimia menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) berdasarkan SNI 8910:2021 mengenai cara uji kadar logam dalam contoh uji limbah padat, sedimen, dan tanah dengan metode destruksi asam menggunakan (SSA)-Nyala atau (ICP-OES) untuk menentukan kadar logam berat Ca, Si, Fe, Al, Cr dalam sampel abu yang dipilih berdasarkan literatur yang menunjukkan kelimpahan logam tersebut pada abu insinerator. Penelitian Lynn et al., (2016) menyatakan logam Ca, Si, Fe, dan Al sebagai unsur utama dalam abu dasar, sementara Cho et al., (2020) menyatakan logam Fe dan Al dominan, serta Rosariawari (2018) dan Sabu & Kasam (2017) menyatakan kandungan Cr dalam jumlah tinggi pada abu sampah domestik.

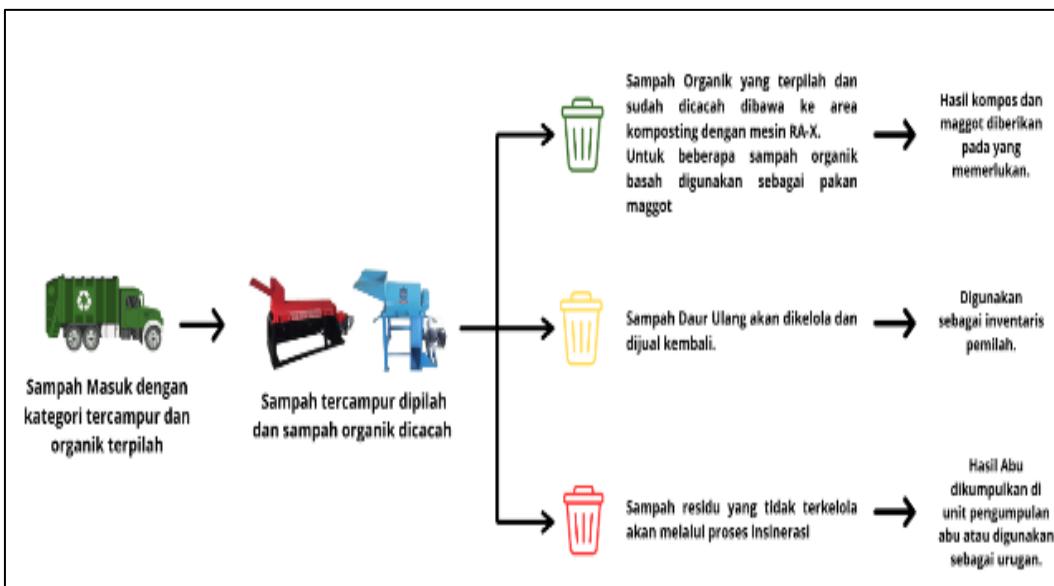
c. Rekomendasi Potensi Pemanfaatan

Potensi pemanfaatan abu sebagai bahan substitusi dalam konstruksi dievaluasi dengan membandingkan hasil uji karakteristik terhadap literatur terdahulu dan standar teknis yang relevan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pusat Daur Ulang (PDU) Mengwitani

Pusat Daur Ulang (PDU) Mengwitani dikelola oleh Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan Kabupaten Badung. PDU Mengwitani memiliki luas area mencapai 2,6 hektar. Sejak beroperasi pada awal 2019, PDU ini memiliki kapasitas pengolahan sampah hingga 50 ton/hari. Fasilitas yang tersedia meliputi kantor administrasi, unit conveyor, 8 unit insinerator, unit maggot (*Black Soldier Fly*), unit pencacahan, unit komposting, hanggar sampah, dan tempat pengumpulan abu. Pengolahan dimulai dari sampah campuran yang masuk menggunakan truk atau compactor, dipilah secara manual diatas conveyor. Sebagian sampah organik basah digunakan untuk budidaya maggot, dan sisanya beserta organik kering diproses menjadi kompos. Sampah anorganik dikumpulkan dan dapat didaur ulang, serta sampah residu akan dibakar menggunakan insinerator. Adapun skema Pengolahan ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 8. Skema Pengelolaan Sampah di PDU Mengwitani

Sumber: PDU Mengwitani, 2025

3.2. Timbulan sampah

Dalam kurun waktu dari tahun 2021 hingga 2024, sampah yang masuk ke PDU Mengwitani menunjukkan peningkatan yang cukup signifikan, baik dari segi volume maupun komposisinya. Data Timbulan sampah di PDU Mengwitani ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 3. Timbulan Sampah di PDU Mengwitani

Tahun	Sampah Masuk (ton)	Organik Kering (ton)	Organik Basah (ton)	Anorganik (ton)	Residu (ton)
2021	4.590	1.255	29	84	3.219
2022	2.658	646	16	41	1.951
2023	3.283	175	9	34	2.975
2024	8.781	72	5	56	8.463

Sumber: PDU Mengwitani, 2024

Data menunjukkan bahwa volume sampah masuk ke PDU Mengwitani mengalami fluktuasi dari tahun 2021 hingga 2024. Tahun 2021 tercatat sebesar 4.590 ton, menurun pada 2022 menjadi 2.658 ton akibat penguatan program TPS 3R dan pembatasan aktivitas. Tahun 2023 volume meningkat menjadi 3.283 ton karena penutupan TPA Suwung. Peningkatan signifikan terjadi pada 2024, mencapai 8.781 ton, dipengaruhi oleh perluasan cakupan wilayah pelayanan, dan peningkatan aktivitas masyarakat.

Dari sisi komposisi, sampah organik kering mendominasi pada 2021 namun menurun drastis hingga hanya 72 ton pada 2024. Sebaliknya, sampah residu meningkat tajam menjadi 8.463 ton pada 2024, hampir setara dengan total sampah masuk, mengindikasikan rendahnya efektivitas pemilahan sampah di sumber. Tren ini mencerminkan dinamika sistem pengelolaan sampah yang dipengaruhi oleh faktor teknis dan perilaku masyarakat dalam memilah sampah.

3.3. Pengolahan Sampah dengan Insinerator

Insinerator merupakan teknologi utama dalam pengolahan sampah residu di PDU Mengwitani, terutama untuk jenis sampah yang tidak dapat didaur ulang seperti tekstil, popok, plastik *non-recycle*, dan sampah taman. Terdapat 8 unit insinerator yang dioperasikan, terdiri atas 6 unit berbahan bakar solar dan 2 unit berbahan bakar gas. Masing-masing unit memiliki kapasitas pembakaran hingga 7 ton/hari, namun menurun menjadi ±5 ton/hari pada musim hujan akibat tingginya kadar air dalam sampah.

PDU Mengwitani menggunakan Incinerator yang menerapkan sistem *Controlled Air Incineration* dengan desain ruang bakar ganda (*dual chamber*). Proses pembakaran utama berlangsung pada suhu 800 - 1.000 °C, dilanjutkan di ruang sekunder pada suhu ±1.200 °C untuk memastikan pembakaran sempurna dan menekan emisi berbahaya. Sistem

pembakaran ini dibantu oleh blower, tangki bahan bakar, serta pintu input dan output sampah. Gas hasil pembakaran dialirkan ke sistem pengendalian emisi yang terdiri dari pendingin asap dengan pompa sirkulasi, pancuran air, filter, dan tiga bak endapan. Sistem ini berfungsi menyaring debu dan partikel berbahaya agar gas buang yang dilepas ke udara tidak melampaui ambang batas aman.

3.4. Timbulan Abu dari Insinerator

Jumlah timbulan abu hasil pembakaran insinerator di PDU Mengwitani selama periode 2021 hingga 2024 mengalami fluktuasi yang signifikan sesuai data pada Tabel 2.

Tabel 4. Timbulan Abu dari Insinerator

Tahun	Total Sampah Masuk (ton)	Total Residu (ton)	Residu Yang Dibakar (ton)	Abu (ton)	Persentase (%)
2021	4.590	3.219	2.364	354	15
2022	2.658	1.951	1.661	295	17,8
2023	3.283	2.975	2.693	739	27,4
2024	8.781	8.463	8.456	2.971	35,1
Rata-rata	4.828	4.152	3.794	1.090	24

Sumber: PDU Mengwitani, 2025

Data operasional PDU Mengwitani dari tahun 2021 hingga 2024 menunjukkan tren peningkatan signifikan pada volume dan persentase timbulan abu insinerator. Pada tahun 2021, dari 2.364 ton residu yang dibakar, dihasilkan 354 ton abu (15%). Rendahnya persentase abu disebabkan karena dominasi fraksi organik yang mudah terurai (Tchobanoglous, 1993). Tahun 2022, meskipun total sampah menurun, residu yang dibakar sebesar 1.661 ton menghasilkan 295 ton abu (17,8%). Kenaikan ini disebabkan peningkatan fraksi anorganik yang tidak mudah terbakar. Tahun 2023, volume abu meningkat signifikan menjadi 739 ton dari 2.693 ton residu (27,4%), seiring bertambahnya unit insinerator dan wilayah layanan. Puncaknya pada 2024, dari 8.456 ton residu, abu yang dihasilkan mencapai 2.971 ton (35,1%). Peningkatan ini dipengaruhi oleh pembakaran yang tidak maksimal.

Secara keseluruhan, peningkatan timbulan abu menunjukkan korelasi dengan peningkatan volume sampah residu dan efisiensi insinerator. Hal ini sejalan dengan penelitian Zhang et al., (2015) yang menyatakan bahwa kuantitas abu dipengaruhi oleh kualitas bahan bakar sampah dan efisiensi proses pembakaran.

3.5. Karakteristik Limbah Abu dari Hasil Pembakaran Sampah di PDU Mengwitani

Karakterisasi abu dari insinerator dilakukan dengan pengujian fisik mencakup berat jenis, kadar air, dan analisis saringan. Pengujian kimia dilakukan menggunakan metode AAS untuk mengidentifikasi kandungan logam berat. Merujuk pada Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, Lampiran IX, abu dasar (*bottom ash*) hasil pembakaran dengan insinerator termasuk dalam kategori limbah B3. Oleh karena itu, pengujian karakteristik fisik dan kimia perlu dilakukan secara menyeluruh untuk mengevaluasi potensi pemanfaatannya secara aman.

Pengambilan sampel dilakukan pada 6 dari 8 tungku insinerator aktif di PDU Mengwitani, yang dipilih berdasarkan frekuensi operasional tertinggi dan penggunaan bahan bakar solar. Sampel diambil dengan jumlah 500gr/tungku. Seluruh sampel kemudian dikumpulkan dalam wadah *stainless steel* dan dihomogenisasi untuk memperoleh satu sampel gabungan yang mewakili seluruh abu insinerator,

3.6. Hasil Uji Fisik

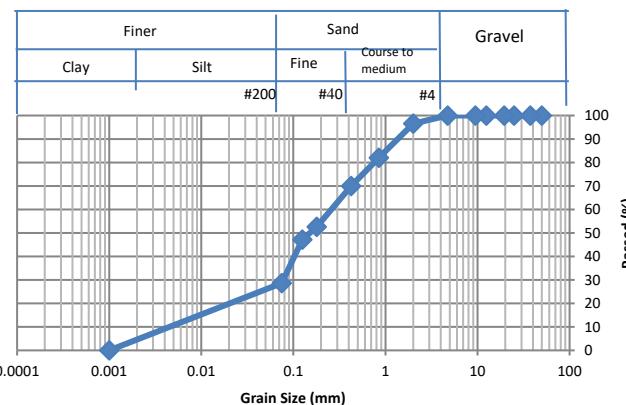
a. Analisis Saringan

Analisis Saringan dilakukan untuk menentukan distribusi ukuran butir dari sampel abu insinerator yang dihasilkan oleh pembakaran sampah di PDU Mengwitani. Adapun hasil analisis saringan ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 5. Hasil Analisis Saringan Abu Insinerator

				Coarse (%):	0,00
Wt. of sample		500 gr	Sand (%):	71,34	
Wt. of can		gr	Fine (%):	28,66	
ϕ (mm)	NO SIEVE	Wt. (gr)	Tot. (gr)	RETAINED	PASSED
50	2"	0,0	0	0,00	100,00
37,5	11/2"	0,0	0	0,00	100,00
25	1"	0,0	0	0,00	100,00
19,5	3/4"	0,0	0,0	0,00	100,00
12,5	1/2"	0,0	0	0,00	100,00
9,5	3/8"	0,0	0	0,00	100,00
4,75	4	0,0	0	0,00	100,00
2	10	17,1	17,1	3,42	96,58
0,85	20	72,9	90	18,00	82,00
0,425	40	59,9	149,9	29,98	70,02
0,18	80	87,1	237	47,40	52,60
0,125	100	27,3	264,3	52,86	47,14
0,075	200	92,4	356,7	71,34	28,66
0,001	PAN	143,3	500,00	100,00	0,00

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 3 menunjukkan bahwa seluruh sampel abu pembakaran sampah dari insinerator lolos dari saringan No. 4 (4,75 mm), hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat fraksi kerikil atau agregat kasar dalam abu. Distribusi partikel didominasi oleh fraksi pasir (*sand*) sebesar 71,34%, yang terdiri atas pasir halus hingga sangat halus, terutama pada saringan No. 10 hingga No. 100. Sementara itu, fraksi halus atau agregat halus, partikel lolos saringan No. 200/0,075 mm, mencapai 28,66%. Persentase lolos kumulatif menunjukkan penurunan bertahap dari saringan No. 20 (82%) sampai dengan saringan No. 200 (28,66%), dengan sisa partikel halus tertahan di pan (0,001 mm) sebanyak 143,3 gram. Adapun grafik analisis saringan ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 9. Grafik Analisis Saringan

Berdasarkan Gambar 3, hasil analisis saringan menunjukkan bahwa abu insinerator dari PDU Mengwitani didominasi oleh fraksi pasir halus hingga sedang. Sebagian besar partikel berada dalam rentang ukuran <4,75 mm, dengan puncak distribusi antara 0,1 mm hingga 1 mm. Sekitar 90–100% partikel lolos saringan No. 4 (4,75 mm), dan sebagian kecil partikel sangat halus (<0,075 mm) mengindikasikan kehadiran fraksi lanau dan lempung dalam jumlah minor. Berdasarkan klasifikasi SNI 6371:2015, karakteristik ini menempatkan abu dalam kategori pasir halus hingga lanau.

Secara kuantitatif, komposisi partikel menunjukkan 71,34% dalam fraksi pasir dan 28,66% sebagai pasir halus (*fine sand*), serta tidak adanya fraksi kasar (*coarse fraction*). Klasifikasi ini menunjukkan bahwa abu tersusun dari partikel berukuran relatif kecil dan bertekstur halus, sehingga berpotensi digunakan sebagai bahan tambahan (*filler*) dalam campuran mortar atau beton non-struktural.

Penelitian sebelumnya oleh Saikia & De Brito, (2012) menyatakan bahwa abu pembakaran limbah padat dengan distribusi butir dalam rentang pasir dapat digunakan sebagai substitusi parsial agregat halus dalam beton, dengan catatan diperlukan pengujian lanjutan terhadap sifat kimia dan reaktivitas material

b. Kadar Air

Pengujian kadar air dilakukan untuk mengetahui persentase kandungan air yang terdapat dalam abu hasil pembakaran sampah di insinerator Pusat Daur Ulang (PDU) Mengwitani. Adapun hasil pengujian kadar air dari abu insinerator ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 6. Hasil Uji Kadar Air Abu Insinerator

Nomor Cawan		C1	C2
Massa Cawan (W_3)	gram	20,16	20,36
Massa Cawan + Sample Basah (W_1)	gram	46,90	37,95
Massa Cawan + Sample Kering (W_2)	gram	46,58	37,75
Massa Sample Kering (B) = ($W_2 - W_3$)	gram	26,42	17,39
Massa Air (A) = ($W_1 - W_2$)	gram	0,32	0,20
Kadar Air (A/B) × 100%	%	1,211	1,150
Kadar Air rata-rata (W_C)	%	1,181	

Berdasarkan hasil pengujian, rata-rata kadar air yang terkandung dalam sampel abu adalah sebesar 1,181%, menunjukkan bahwa abu tergolong dalam kategori material kering. Pada Pedoman Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil Nomor 14/SE/M/2019, penggunaan abu terbang dalam campuran beton sedikit semen portland memiliki syarat kadar air maksimal 3%, sehingga dengan kandungan abu hasil pembakaran sampah dengan insinerator yang memiliki rata-rata yaitu 1,181% masih memenuhi syarat dalam penggunaan abu untuk campuran beton. Jika dibandingkan dengan syarat agregat halus pada penelitian Suhendra, YamaliRozi. & Ningfuri, (2014) nilai kadar air dalam agregat halus yang masih diterima adalah maksimal 5% sehingga nilai kadar air dari abu insinerator pembakaran sampah ini masih memenuhi standar tersebut.

c. Berat Jenis

Pengujian berat jenis dilakukan untuk mengetahui massa jenis dari abu hasil pembakaran sampah pada insinerator di Pusat Daur Ulang (PDU) Mengwitani. Adapun hasil pengujian berat jenis dari abu insinerator ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 7. Hasil Uji Berat Jenis Abu Insinerator

No.	Test	Sample		Ket.
		PS 12	PS 15	
1.	Berat Piknometer (W_1)	36,08	35,09	gram
2.	Berat Piknometer + Sample (W_2)	49,85	50,63	gram
3.	Berat Piknometer + Sample + Air (W_3)	139,81	138,06	gram
4.	Berat Piknometer + Air (W_4)	136,71	134,91	gram
5.	Temperature	28,5	28,5	°C
6.	Berat Sample ($W_t = W_2 - W_1$)	13,77	15,54	gram
7.	$W_5 = W_t + W_4$	150,48	150,45	gram
8.	Isi Sample ($W_5 - W_3$)	10,67	12,39	cm ³
9.	Berat Jenis (G_s) $\frac{W_t}{W_5 - W_3}$	1,21	1,254	gram/cm ³
10.	Berat Jenis rata-rata	1,272		gram/cm ³

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 5, berat jenis abu insinerator memiliki rata-rata $1,272 \text{ g/cm}^3$. Nilai ini jauh lebih rendah dibandingkan agregat halus alami seperti pasir yang memiliki berat jenis disarankan sebesar $2,5 \text{ g/cm}^3$ (Suhendra, YamaliRozi, & Ningfuri, 2014). Hal tersebut menunjukkan bahwa abu insinerator memiliki densitas rendah dan porositas tinggi, sehingga tergolong sebagai material ringan. Karakteristik ini menjadikan abu kurang ideal sebagai agregat utama dalam beton struktural, namun berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan tambahan (*filler*) dalam mortar ringan atau material bangunan non-struktural. Dalam penelitian Khairuna & Zaki, (2017) menyatakan bahwa penggunaan abu insinerator sebagai substitusi pasir sebesar 25–75% dapat menghasilkan mortar dengan berat volume lebih ringan dibandingkan mortar normal.

3.7. Hasil Uji Kimia

Pengujian logam berat Ca, Si, Fe, Al, Cr dipilih sesuai dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa kandungan logam tersebut terkandung signifikan pada abu dasar pembakaran sampah dan jenis logam yang cocok terdapat dalam material konstruksi seperti Ca dan Si. Adapun hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap logam Ca, Si, Fe, Al, Cr ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 8. Hasil Uji Logam Berat		
No.	Nama Logam	Kadar Logam (ppm)
1.	Al	8.157,89
2.	Ca	45.625,00
3.	Cr	2,53
4.	Fe	14.366,78
5.	Si	1.968,75

Berdasarkan hasil uji logam berat pada Tabel 6, terkandung logam berat sebesar Ca (45.625 ppm), Fe (14.366,78 ppm), Al (8.157,89 ppm), Si (1.968,75 ppm), dan Cr (2,53 ppm), dengan logam Ca sebagai unsur dominan dari kelima logam berat yang diuji. Kandungan Ca yang tinggi berkaitan dengan banyaknya limbah organik yang dibakar dan berpotensi sebagai bahan pengikat dalam beton (Ghani et al., 2023). Aluminium dalam abu umumnya berasal dari limbah *non-ferrous* seperti foil dan komponen elektronik. Sementara itu, unsur Si berasal dari material anorganik seperti kaca dan keramik, yang berkontribusi terhadap peningkatan kekerasan dan densitas (Saputro & Partono, 2024). Kandungan Fe yang tinggi memberikan stabilitas termal dan berpotensi meningkatkan kekuatan tekan pada produk konstruksi, seperti *paving block* dan batako. Di sisi lain, kandungan Cr tidak dominan, namun tetap perlu diperhatikan karena sifat toksiknya (Hanum et al., 2024).

Logam-logam tersebut memiliki potensi dampak negatif terhadap kesehatan dan lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Paparan Cr berisiko tinggi terhadap organisme hidup, sedangkan debu silika dapat memicu silikosis. Kelebihan Al di udara dapat memengaruhi fungsi kognitif dan enzim, sementara kadar Ca yang berlebih dapat menyebabkan pengapuran pembuluh darah dan gangguan kardiovaskular. Fe dalam dosis tinggi juga berpotensi menyebabkan keracunan yang ditandai dengan gangguan sistem pencernaan (Asof et al., 2022).

Oleh karenanya, pemanfaatan abu dapat mengurangi dampaknya untuk lingkungan. Kandungan pozzolan dalam *bottom ash*, seperti silika (19–20%) dan alumina (5,1–6,9%), mendukung penggunaannya dalam pembuatan semen, terutama *paving block* (Kusdarini et al., 2022). Penelitian Cahyono et al., (2024) dan Kurniawati, (2017) menunjukkan bahwa unsur kimia dalam abu insinerator, seperti Ca, Fe, dan Si, memiliki kemiripan dengan pasir alam seperti pasir Lumajang, sehingga dapat digunakan sebagai dasar substitusi pasir pada pembuatan paving.

3.8. Potensi Pemanfaatan Abu Hasil Pembakaran Sampah di PDU Mengwitani

Berdasarkan hasil pengujian fisik dan kimia, abu dari insinerator di PDU Mengwitani dapat dimanfaatkan untuk material konstruksi sesuai dengan Tabel 7.

Berdasarkan hasil analisis fisik pada Tabel 7, abu hasil pembakaran memiliki ukuran partikel di bawah 4,75 mm yang tergolong material halus. Ukuran ini memungkinkan abu dimanfaatkan sebagai bahan pengisi (*filler*) dalam mortar dan beton, karena partikel halus mampu meningkatkan kepadatan serta menurunkan porositas (Saikia & De Brito, 2012). Hasil uji kadar air menunjukkan nilai rendah sebesar 1,181%, menunjukkan bahwa abu tidak menyerap air secara signifikan, sehingga tidak memengaruhi keseimbangan air dalam campuran beton (Pedoman Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil Nomor 14/SE/M/2019; Suhendra, YamaliRozi, & Ningfuri, 2014). Berat jenis abu sebesar $1,272 \text{ g/cm}^3$ juga mengindikasikan potensi penggunaannya sebagai material ringan dalam konstruksi.

Uji Lab.	Hasil Uji	Standar Uji	Material Potensial	Referensi
Analisis Saringan	Halus (<4,75 mm)	SNI 03-1968-1990	Sebagai <i>filler</i> dalam campuran mortar dan beton.	(Saikia & De Brito, 2012)
Kadar Air	1,181% (rendah)	SNI 1965:2008	Sebagai bahan campuran mortar dan beton.	Pedoman Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil Nomor 14/SE/M/2019 dan (Suhendra, YamaliRozi. & Ningfuri, 2014)
Berat Jenis	1,272 g/cm ³ (ringan)	SNI 1964:2008	Sebagai <i>filler</i> dalam campuran mortar dan beton.	(Suhendra, YamaliRozi. & Ningfuri, 2014)
Logam Berat (AAS)	Terdapat kandungan Ca, Fe, dan Si.	SNI 8910:2021	Sebagai pengikat bahan material, dan substitusi pasir.	(Khairuna & Zaki, 2017) dan (Cahyono et al., 2024).

Tabel 9. Rangkuman Hasil Uji Karakterisasi Abu Pembakaran dari Insinerator

Pengujian kandungan logam berat melalui metode AAS mengidentifikasi kalsium (Ca) sebagai unsur dominan, dengan konsentrasi 45.625 ppm. Kandungan ini menunjukkan sifat pozzolanik yang serupa dengan semen, karena mampu bereaksi dengan air membentuk senyawa pengikat seperti kalsium silikat hidrat (C-S-H) (Khairuna & Zaki, 2017). Penambahan abu dasar insinerator sebesar 25–75% sebagai substitusi pasir menghasilkan mortar dengan berat volume lebih ringan daripada mortar normal. Namun demikian, penambahan lebih dari 50% justru menurunkan kekuatan tekan mortar. Hal ini sejalan dengan penelitian Kusdarini et al., (2024) yang menyatakan bahwa abu pada kisaran 8–12% mampu memengaruhi segregasi, presipitasi, dan menurunkan tegangan luluh mortar. Sementara itu, penelitian Prasetya et al., (2016) dan Putri et al., (2018) menyatakan bahwa penggunaan abu sebagai pengganti sebagian semen atau agregat halus secara penuh cenderung menurunkan kekuatan tekan dan meningkatkan daya serap air pada beton.

Secara umum, karakteristik fisik dan kimia abu insinerator di PDU Mengwitani menunjukkan bahwa material ini berpotensi sebagai substitusi parsial dalam mortar atau beton, khususnya pada komponen non-struktural seperti *paving block*. Meskipun terjadi penurunan kekuatan mekanik, pemanfaatan abu sebagai agregat parsial tetap memenuhi persyaratan teknis tertentu dan mendukung prinsip pengelolaan limbah berkelanjutan (Lynn et al., 2016).

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa timbulan abu insinerator di PDU Mengwitani meningkat signifikan dari tahun 2021 hingga 2024, dengan persentase masing-masing sebesar 15%, 17,8%, 27,4%, dan 35,1%, rata-rata timbulan mencapai 1.090 ton/tahun. Karakteristik fisik abu didominasi oleh fraksi halus (<4,75 mm), memiliki kadar air rendah (1,181%), dan berat jenis ringan (1,272 g/cm³). Hasil uji kimia menggunakan AAS menunjukkan kandungan logam tertinggi pada Ca (45.625 ppm), diikuti oleh Fe, Al, Si, dan Cr. Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa abu memiliki potensi sebagai material alternatif konstruksi, baik sebagai *filler* dalam mortar dan beton, maupun substitusi parsial pasir pada *paving block*.

DAFTAR PUSTAKA

- 14/SE/M/2019, P. B. K. B. dan R. S. N. (2019). Penggunaan Abu Terbang Dalam Campuran Beton Sedikit Semen Portland. *Dinas Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat, September*.
- 8910:2021, S. (2021). Cara uji kadar logam dalam contoh uji limbah padat, sedimen, dan tanah dengan metode destruksi asam menggunakan Spektrometer Serapan Atom (SSA)-Nyala atau Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometric (ICP-OES). In *Badan Standarisasi Nasional: Vol. ICS 13.040*. <http://sispk.bsn.go.id/PNPS/DetilPNPS/21297>
- Asof, M., Arita, S., Andalia, W., & Naswir, M. (2022). Analisis Karakteristik, Potensi dan Pemanfaatan Fly Ash dan Bottom Ash PLTU Industri Pupuk. *Jurnal Teknik Kimia*, 28(1), 2721–4885. <http://ejournal.ft.unsri.ac.id/index.php/jtk>
- Cahyono, L., Utomo, A. P., Fahmi, M. R., & Mayangsari, N. E. (2024). *Studi Kelayakan Material Paving Berbahan Limbah Insinerator Rumah Sakit*. 5(1), 52–56.
- Cho, B. H., Nam, B. H., An, J., & Youn, H. (2020). Municipal solid waste incineration (MSWI) ashes as construction materials-a review. *Materials*, 13(14), 1–30. <https://doi.org/10.3390/ma13143143>
- Ghani, J., Toller, S., Dinelli, E., & Funari, V. (2023). Impact and recoverability of metals from waste: a case study on

- bottom ash from municipal solid waste incineration plants. *Frontiers in Environmental Science*, 11(November). <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1252313>
- Hanum, F. F., Salamah, S., Rifai Sanuhung, A., & Setya Wardhana, B. (2024). Study on The Potential Contamination of Heavy Metals: Analysis of Cr and Pb Contents From Power Plants in Indonesia Using the Batch Leaching Method. *Jurnal Sains Natural*, 14(1), 53–61. <https://doi.org/10.31938/jsn.v14i1.689>
- Hasan Abdullah, M., Purnamayudha, O., Indrawati, T., Studi Manajemen, P., & Wijaya Putra, U. (2024). Pemanfaatan Dan Analisis Kelayakan Abu Hasil Incenerator Sampah Untuk Paving Batako Di Tps Mojosarirojo Kabupaten Gresik. *Jurnal Sinergitas PkM Dan CSR*, 8(1), 1–8. <http://dx.doi.org/10.19166/jspc.v8i1.7790>
- Indonesia, S. D. (2022). *Data Timbulan Sampah Provinsi Bali*. <https://balisatudata.baliprov.go.id/>
- Khairuna, W., & Zaki, M. (2017). Pemanfaatan Abu Dasar Insinerator Sebagai Bahan Bangunan. *Pascasarjana Universitas Syiah Kuala*, 9(4), 126.
- Kurniawati, L. (2017). Pengaruh Penggunaan Copper Slag Sebagai Pengganti Pasir (Fine Aggregate) Pada Campuran Paving Block. *Rekayasa Teknik Sipil*, 3, 175–180.
- Kusdarini, E., Febriyandi, D., & Cahyono, Y. D. G. (2024). Analisa kandungan unsur dan oksida limbah fly ash dan bottom ash serta potensi pemanfaatannya. 12(3), 227–238.
- Kusdarini, E., Ulviandri, F. I., & Sari, A. S. (2022). Penentuan Komposisi Bahan Baku Pada Pemanfaatan Fly Ash Pada Proses Produksi Paving Block. *Jurnal Reka Lingkungan*, 10(2), 103–112. <https://doi.org/10.26760/rekalingkungan.v10i2.103-112>
- Lynn, C. J., Dhir OBE, R. K., & Ghataora, G. S. (2016). Municipal incinerated bottom ash characteristics and potential for use as aggregate in concrete. *Construction and Building Materials*, 127, 504–517. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.132>
- PP Nomor 22 Tahun 2021. (2021). Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Pedoman Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. *Sekretariat Negara Republik Indonesia*, 1(078487A), 1–483. <http://www.jdih.setjen.kemendagri.go.id/>
- Prasetya, I., Ma'ruf, & Riswan. (2016). Potensi Pemanfaatan Limbah Abu Batubara Sebagai Bahan Konstruksi Di Daerah Rawa. *Jurnal Teknologi Berkelanjutan (Sustainable Technology Journal)*, 5(2), 71–78. <http://jtb.ulm.ac.id>
- Putri, D., Kinasti, M. A., & Lestari, E. (2018). Pemanfaatan Limbah Abu Sisa Pembakaran Sampah Non Organik sebagai Material Pengganti Pasir pada Bata Beton Pejal. *Jurnal Konstruksi*, 10(1), 39–50.
- Rosariawari, F. (2018). Pembuatan Paving Block Dari Campuran Limbah Abu Dan Sisa Pembakaran Sampah Domestik. *Jurnal Envirotek*, 9(1). <https://doi.org/10.33005/envirotek.v9i1.1049>
- Rudend, A. J., & Hermana, J. (2021). Kajian Pembakaran Sampah Plastik Jenis Polipropilena (PP) Menggunakan Insinerator. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v9i2.55410>
- Sabu, M. R., & Kasam. (2017). *Utilization of Hospital Waste Incinerator Ash As a Substitute for the Manufacture of Concrete Roof Tile Pemanfaatan Abu Insinerator Rumah Sakit Sebagai Bahan Subtitusi Dalam Pembuatan Genteng Beton*. 1–8.
- Saikia, N., & De Brito, J. (2012). Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation: A review. *Construction and Building Materials*, 34, 385–401. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.066>
- Saputro, A. W., & Partono, P. (2024). Pengaruh Variasi Penambahan Unsur Silikon (Si) pada Pengecoran Logam Alumunium Terhadap Penyusutan, Densitas, Komposisi Kimia, Struktur Mikro, dan Kekerasan Dengan Metode Investment Casting. *Doctoral Dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta*, 11(1), 1–14.
- SIPSN. (2023). *Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN)*. Pemerintah Republik Indonesia. <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/data/komposisi>
- SNI 03-1968. (1990). Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. SNI 03-1968-1990. *Bandung: Badan Standardisasi Indonesia*, 1–17.
- SNI 1964:2008. (2008). Cara Uji Berat Jenis Tanah. *SNI 4513:2008 Cara Uji Penetrasi Lapangan Dengan SPT*, 12.
- SNI 1965:2008. (2008). Cara Uji Penentuan Kadar Air untuk Tanah dan Batuan di Laboratorium. *Sni 1965:2008*, 1–16.
- SNI 6371:2015. (2015). *Tata cara pengklasifikasian tanah untuk keperluan teknik dengan sistem klasifikasi unifikasi tanah*.
- Suhendra, YamaliRozi., F., & Ningfuri, T. (2014). Karakteristik Material Bahan Konstruksi Di Beberapa Lokasi Dalam Kabupaten Muaro Jambi. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 14(4), 145–152.
- Tchobanoglous, G. (1993). *Integrated Solid Waste Management*.
- Waste4Change. (2018). *Panduan Zero Waste to Landfill untuk Kegiatan Penanganan Sampah Domestik*.
- Zhang, D., Huang, G., Xu, Y., & Gong, Q. (2015). Waste-to-energy in China: Key challenges and opportunities. *Energies*, 8(12), 14182–14196. <https://doi.org/10.3390/en81212422>