



KARAKTERISTIK FISIK ABU INCINERATOR SEBAGAI MATERIAL SUBSTITUSI AGREGAT HALUS PADA KONSTRUKSI

Nur Resky^a, Mursalim Ninoy La Ola^a, Muhammad Buttomi Masgode^{a*}, Vovianty Masgode^b,
Gunawansyah^c

^a Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sembilanbelas November Kolaka, Kolaka - Indonesia 93516

^b Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Lampung, Bandar Lampung - Indonesia 35141

ARTICLE INFO

Handling Editor- Septi Adnan

Keywords: Incinerator ash, physical characteristics, fine aggregate substitution, material characterization.

Kata kunci: Abu incinerator, karakteristik fisik, substitusi agregat halus, karakterisasi material.

ABSTRACT

Incinerator ash is a residue from solid waste combustion that has the potential to be used as a construction material. This study aims to examine the physical characteristics of incinerator ash as a substitute for fine aggregate in construction. The incinerator ash used comes from the combustion of plastic and styrofoam waste at PT Ceria Nugraha Indotama. Physical characteristic testing includes gradation analysis referring to SNI ASTM C136:2012, specific gravity and water absorption testing referring to SNI 1970:2008, and testing the content of material passing through sieve No. 200 referring to SNI ASTM C117:2012. The results of the gradation analysis indicate that the incinerator ash belongs to Zone 3 (rather fine) and meets the fine aggregate gradation classification. The specific gravity test produces a bulk value of 1.03, SSD 1.22, and apparent 1.28, with water absorption of 19.23%. The average value of material passing through the No. 200 sieve is 34.01%, which is higher than the maximum limit of fine aggregate for concrete according to ASTM C33/C33M, which is 3–5%, thus indicating a very high fine particle content. The characterization results show that incinerator ash has a fine grain size, a lower specific gravity than natural fine aggregate, and high water absorption due to the porous structure of the material. Based on these characteristics, incinerator ash has the potential to be used as a partial substitute for fine aggregate in construction, but further research is needed to evaluate its effect on the mechanical properties of construction materials..

Singkatan: BJ = Berat Jenis; SSD = Saturated Surface Dry (Jenuh Kering) KA = Kadar Air

* Korespondensi ke: Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sembilanbelas November Kolaka, Kolaka - Indonesia 93516

E-mail address: (Nur Resky).

<https://doi.org/10.1016/j.akhwat.2024.108XXX>

Diajukan, 11 Maret 2026; Diterima dalam bentuk revisi, 25 Maret 2026; Disetujui, 26 Maret 2026;

Terbit secara online, 01 April 2026

3047-518X/© 2026 Published by USN Scientific Journal Publisher. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Pendahuluan

Perkembangan sektor konstruksi menyebabkan kebutuhan agregat halus terus meningkat setiap tahunnya. Di sisi lain, eksploitasi pasir alam secara terus-menerus dapat menimbulkan kerusakan lingkungan sehingga diperlukan material alternatif yang lebih ramah lingkungan. Salah satu material yang berpotensi dimanfaatkan adalah abu incinerator, yaitu residu padat hasil pembakaran limbah pada temperatur tinggi.

Pada penelitian ini, abu incinerator yang digunakan merupakan hasil pembakaran limbah padat dari PT Ceria Nugraha Indotama, yang berasal dari limbah operasional kawasan pertambangan berupa plastic, Styrofoam dan sampah lainnya. Limbah tersebut dibakar menggunakan incinerator sebagai bagian dari pengelolaan limbah perusahaan, sehingga menghasilkan residu berupa abu incinerator. Hingga saat ini, abu hasil pembakaran tersebut masih belum dimanfaatkan secara optimal dan umumnya hanya menjadi limbah sisa pembakaran yang memerlukan pengelolaan lebih lanjut.

Abu incinerator selama ini masih dikategorikan sebagai limbah yang memerlukan penanganan khusus. Apabila tidak dikelola dengan baik, abu tersebut berpotensi mencemari tanah maupun air. Oleh karena itu, pemanfaatannya sebagai bahan konstruksi merupakan salah satu upaya pengelolaan limbah yang mendukung konsep reduce, reuse, recycle (3R).

Sebelum dimanfaatkan sebagai material substitusi agregat halus, abu incinerator perlu dikarakterisasi untuk mengetahui sifat fisiknya sehingga dapat diperkirakan potensi penggunaannya sebagai material konstruksi. Karakteristik fisik tersebut memberikan informasi mengenai perilaku material, seperti distribusi ukuran butiran, berat jenis, penyerapan air, dan kandungan material halus, yang berpengaruh terhadap kualitas, kepadatan, serta kinerja material konstruksi. Oleh karena itu, karakterisasi fisik menjadi langkah penting dalam menilai kelayakan abu incinerator sebagai material substitusi agregat halus pada berbagai aplikasi konstruksi.

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi karakteristik fisik abu incinerator sebagai material substitusi agregat halus sehingga dapat diketahui potensi penggunaannya.

2. Metode

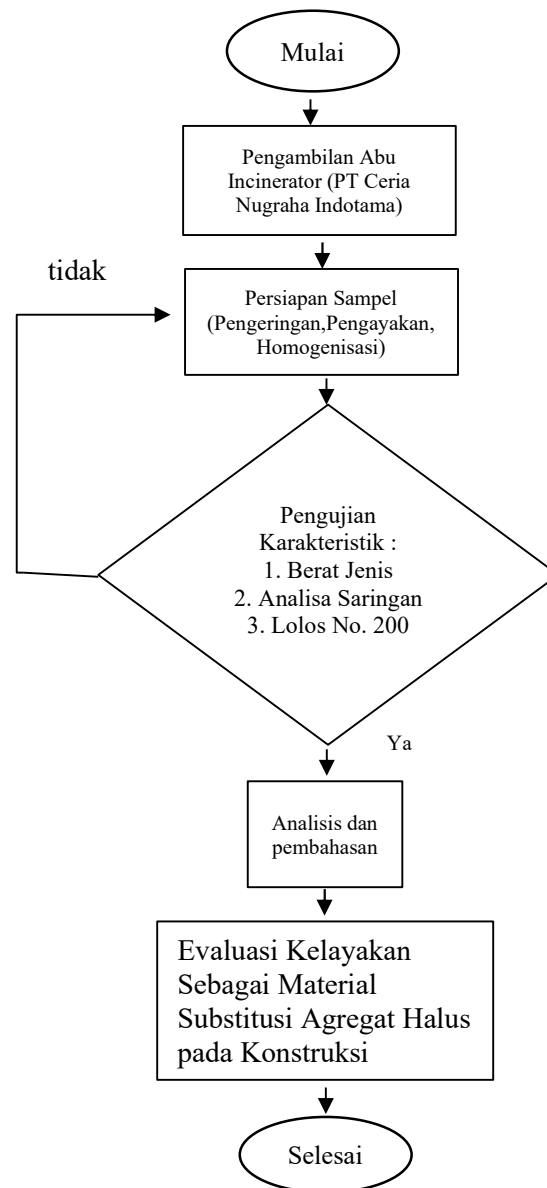
Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang dilaksanakan di Laboratorium Beton UPT Laboratorium Terpadu Universitas Sembilanbelas November Kolaka. Penelitian bertujuan untuk mengetahui karakteristik fisik abu incinerator sebagai material substitusi agregat halus sebelum diaplikasikan pada bangunan konstruksi. Karakterisasi material dilakukan sebagai tahap awal untuk mengevaluasi kelayakan abu incinerator sehingga dapat diketahui pengaruh sifat fisiknya yang akan dihasilkan.

Pengujian karakteristik abu incinerator meliputi:

- Analisis saringan (gradasi).

- Pengujian berat jenis.
- Pengujian penyerapan air.

Bagan Alir Penelitian



Gambar 1 Bagan Alir Penelitian

Seluruh pengujian dilakukan sesuai dengan prosedur pengujian agregat halus yang berlaku di laboratorium dan mengacu pada standar SNI yang relevan. Data hasil pengujian kemudian dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan karakteristik abu incinerator terhadap karakteristik agregat halus alami yang umum digunakan sebagai material konstruksi. Analisis dilakukan untuk mengevaluasi kesesuaian abu incinerator sebagai material substitusi agregat halus serta mengidentifikasi kelebihan dan keterbatasannya berdasarkan parameter fisik yang diperoleh.



Gambar 2 Abu Incinerator sebelum di pisahkan dengan limbah yang susah terbakar



Gambar 3 Abu Incinerator setelah di pisahkan dengan limbah yang susah terbakar

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis saringan menunjukkan bahwa abu incinerator memiliki distribusi ukuran butiran yang didominasi oleh partikel halus. Persentase kumulatif lolos berturut-turut sebesar 100,00% pada saringan No.4 (4,75 mm), 99,88% pada saringan No.8 (2,36 mm), 87,13% pada saringan No.16 (1,18 mm), 63,90% pada saringan No.30 (0,60 mm), 28,41% pada saringan No.50 (0,30 mm), dan 2,17% pada saringan No.100 (0,15 mm). Berat material yang tertahan terbesar terdapat pada saringan No.50 sebesar 518,63 g atau 35,49% dari total sampel, sedangkan pada saringan No.100 sebesar 383,51 g atau 26,24%.

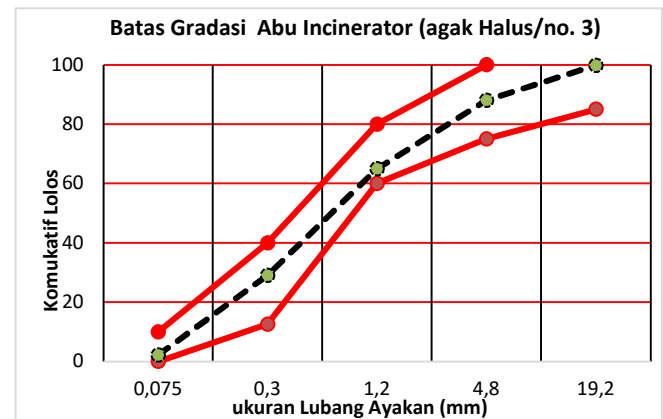


Gambar 4 Pengujian Analisa Saringan Abu Incinerator

Tabel 1

Gradasi Abu Incinerator (SNI ASTM C136:2012 – Metode Uji untuk Analisis Saringan Agregat Halus dan Agregat Kasar)

Ukuran saringan (No.)	Berat tertahan	Prosen tertahan	Kumulatif	
			tertahan	lewat
4,75 mm (No. 4)	0,00	0,00	0,00	100,00
2,36 mm (No. 8)	1,82	0,12	0,12	99,88
1,18 mm (No. 16)	186,25	12,74	12,87	87,13
0,6 mm (No. 30)	339,56	23,23	36,10	63,90
0,3 mm (No. 50)	518,63	35,49	71,59	28,41
0,15 mm (No. 100)	383,51	26,24	97,83	2,17
pan	31,65	2,17	100,00	0,00



Gambar 5 Gradasi Abu Incinerator

Distribusi ukuran butiran hasil analisis saringan menunjukkan bahwa abu incinerator memenuhi gradasi agregat halus Zona 3 (agak halus). Gradasi tersebut menunjukkan bahwa abu incinerator didominasi oleh butiran berukuran halus sehingga berpotensi digunakan sebagai material substitusi agregat halus pada berbagai campuran konstruksi. Butiran yang relatif halus tersebut mampu mengisi rongga di antara partikel agregat sehingga meningkatkan kepadatan campuran (packing density) dan memperbaiki ikatan antara pasta semen dengan agregat. Peningkatan kepadatan campuran berpotensi mengurangi porositas dan meningkatkan kualitas material konstruksi apabila abu incinerator digunakan pada proporsi yang sesuai. Hasil ini sejalan dengan penelitian Ling dan Poon (2013) yang menyatakan bahwa penggunaan municipal solid waste incinerator bottom ash sebagai substitusi agregat halus dapat meningkatkan kepadatan campuran dan mengurangi pori internal pada kadar substitusi tertentu.

Hasil pengujian berat jenis menunjukkan bahwa abu incinerator memiliki berat jenis bulk sebesar 1,03, berat

jenis SSD sebesar 1,22, dan berat jenis semu sebesar 1,28, dengan nilai penyerapan air sebesar 19,23%. Nilai tersebut jauh lebih rendah dibandingkan berat jenis agregat halus alami yang pada penelitian ini memiliki berat jenis SSD sebesar 2,54 dan penyerapan air sebesar 5,06%. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa abu incinerator memiliki massa jenis yang lebih rendah dan struktur yang lebih berpori dibandingkan agregat halus alami. Karakteristik ini mengindikasikan bahwa abu incinerator berpotensi dimanfaatkan sebagai material substitusi agregat halus pada konstruksi, namun tingginya nilai penyerapan air memerlukan penyesuaian faktor air-semen dan perancangan campuran agar kinerja material konstruksi tetap optimal.



Gambar 6 Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Abu incinerator

Tabel 2

Berat Jenis Dan Penyerapan (SNI 1970:2008 – Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus)

Parameter	Simbol	Hasil	Satuan
Berat agregat SSD	Bj	200	gram
Berat piknometer + air	B	364,24	gram
Berat piknometer + agregat + air	Bt	382,9	gram
Berat agregat kering oven	Bk	167,74	gram
Berat jenis bulk	$BK/(B+Bj-Bt)$	1,03	-
Berat jenis SSD	$Bj/(B+BK-Bt)$	1,22	-
Berat jenis semu	$BK/(B+BK-Bt)$	1,28	-
Penyerapan air	$(Bj-BK/BK) \times 100\%$	19,23	%

Tabel 3

interpretasi Standar Berat Jenis

Parameter	Hasil Penelitian	Kisaran Umum/Standar	Keterangan
Berat jenis bulk	1,03	Agregat halus normal: 2,20–2,90	Jauh di bawah kisaran agregat normal.
Berat jenis SSD	1,22	Agregat halus normal: 2,50–2,70	Lebih rendah dari agregat alam, menunjukkan material ringan dan berpori.

Berat jenis semu	1,28	Agregat halus normal: 2,50–2,90	Lebih rendah dibanding agregat normal.
Penyerapan air	19,23%	Umumnya $\leq 3\%$ (baik), 3–5% (masih dapat digunakan), $> 5\%$ (tinggi)	Sangat tinggi, menunjukkan porositas besar dan kebutuhan air pencampur lebih tinggi.

Rendahnya berat jenis menunjukkan bahwa abu incinerator mempunyai struktur internal yang lebih ringan dan lebih berpori dibandingkan pasir alam. Struktur berpori tersebut menyebabkan massa jenis material menjadi lebih kecil sehingga apabila digunakan sebagai substitusi agregat halus dapat menghasilkan material konstruksi dengan berat volume yang lebih rendah. Kondisi ini dapat menjadi keuntungan pada aplikasi konstruksi yang memerlukan material dengan berat lebih ringan tanpa mengabaikan persyaratan kinerja yang ditetapkan.

Di sisi lain, nilai penyerapan air sebesar 19,23% menunjukkan bahwa abu incinerator memiliki kemampuan menyerap air yang jauh lebih tinggi dibandingkan agregat halus alami. Tingginya daya serap tersebut disebabkan oleh banyaknya pori terbuka pada permukaan partikel abu incinerator sehingga sebagian air pencampur akan terserap ke dalam material. Akibatnya, apabila proporsi substitusi terlalu besar tanpa penyesuaian faktor air-semen, campuran dapat mengalami penurunan workability (loss of workability) dan proses hidrasi semen berpotensi terganggu. Oleh karena itu, penggunaan abu incinerator sebagai material substitusi agregat halus memerlukan pengendalian kadar air dan perancangan campuran yang tepat agar sifat mekanis material konstruksi tetap memenuhi persyaratan..

Pengujian material yang lolos saringan No.200 menunjukkan nilai 33,94%, 33,74%, dan 34,34% pada masing-masing sampel, dengan rata-rata sebesar 34,01%.



Gambar 7 Pengujian Lolos Saringan 200

Tabel 4

Lolos Saringan 200 (SNI ASTM C117:2012 – Metode Uji Bahan yang Lebih Halus dari Saringan 75 μm (No.200) pada Agregat Mineral dengan Pencucian)

No	Berat Sampel Awal (g)	Berat Setelah Dicuci (g)	Lolos Saringan 200 (%)
1	401,21	265,04	33,93
2	400,00	265,04	33,74
3	403,65	265,04	34,33
Rata-rata (Standar <5%)			34,00

Persentase material yang lolos saringan No.200 sebesar 34,01% menunjukkan bahwa abu incinerator mengandung partikel sangat halus dalam jumlah yang cukup tinggi. Kandungan material halus tersebut dapat memberikan efek pengisian (filler effect) dengan mengisi rongga-rongga mikro di antara butiran agregat

sehingga struktur internal campuran menjadi lebih rapat dan porositas berpotensi berkurang. Berkurangnya rongga dalam campuran dapat meningkatkan ikatan antara pasta semen dan agregat sehingga berpotensi meningkatkan sifat mekanis pada kadar substitusi tertentu. Namun demikian, kandungan partikel halus yang tinggi juga dapat meningkatkan luas permukaan spesifik material sehingga kebutuhan air pencampur menjadi lebih besar. Apabila penambahan air tidak dikendalikan, perubahan faktor air-semen dapat meningkatkan porositas setelah proses pengerasan dan berpotensi menurunkan kinerja material konstruksi. Oleh karena itu, penggunaan abu incinerator sebagai material substitusi agregat halus perlu mempertimbangkan proporsi yang optimum agar manfaat efek pengisian (packing effect) dapat diperoleh tanpa mengurangi kualitas material konstruksi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik fisik abu incinerator, dapat disimpulkan bahwa abu incinerator memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai material substitusi untuk agregat halus pada konstruksi. Pada Hasil analisis saringan menunjukkan bahwa abu incinerator didominasi oleh partikel halus, dengan persentase kumulatif lolos sebesar 28,41% pada saringan No.50 dan 2,17% pada saringan No.100, sehingga material ini berpotensi berfungsi sebagai microfiller yang mampu mengisi rongga antar butiran agregat dan meningkatkan kepadatan campuran.

Hasil pengujian berat jenis menunjukkan nilai berat jenis bulk sebesar 1,03, berat jenis SSD sebesar 1,22, dan berat jenis semu sebesar 1,28, dengan penyerapan air sebesar 19,23%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa abu incinerator memiliki massa jenis yang lebih rendah dan struktur yang lebih berpori dibandingkan agregat halus alami. Karakteristik tersebut mengindikasikan bahwa abu incinerator berpotensi dimanfaatkan sebagai material substitusi agregat halus pada berbagai aplikasi konstruksi. Namun, tingginya nilai penyerapan air menunjukkan bahwa material ini memiliki porositas yang besar sehingga dapat meningkatkan kebutuhan air pada campuran. Oleh karena itu, penggunaan abu incinerator sebagai material substitusi agregat halus memerlukan penyesuaian komposisi campuran dan faktor air-semen agar kinerja material konstruksi yang dihasilkan tetap optimal.

Selain itu, hasil pengujian material yang lolos saringan No.200 menunjukkan nilai rata-rata sebesar 34,01%, yang mengindikasikan bahwa abu incinerator mengandung partikel sangat halus dalam jumlah tinggi. Kandungan partikel halus tersebut berpotensi memberikan efek pengisian (packing effect) yang dapat meningkatkan kepadatan campuran dengan mengisi rongga di antara butiran agregat. Namun, apabila digunakan dalam jumlah yang berlebihan, kandungan material halus yang tinggi dapat meningkatkan kebutuhan air pencampur akibat bertambahnya luas permukaan spesifik material. Kondisi tersebut berpotensi memengaruhi workability campuran serta menurunkan sifat mekanis material konstruksi apabila tidak diimbangi dengan perancangan campuran yang tepat. Oleh karena itu, abu incinerator berpotensi dimanfaatkan sebagai material substitusi agregat halus pada konstruksi, dengan memperhatikan proporsi penggunaannya agar diperoleh keseimbangan antara peningkatan kepadatan campuran dan kinerja material konstruksi.

5. Saran

Berdasarkan hasil penelitian, disarankan agar penelitian selanjutnya melakukan karakterisasi abu incinerator secara lebih komprehensif, tidak hanya

terhadap sifat fisik tetapi juga sifat kimia, seperti kandungan SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , serta kandungan logam berat, sehingga potensi dan keamanan abu incinerator sebagai material konstruksi dapat diketahui secara lebih menyeluruh. Selain itu, perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh berbagai variasi persentase substitusi abu incinerator terhadap sifat mekanis dan durabilitas berbagai material konstruksi, seperti kuat tekan, kuat tarik, penyerapan air, ketahanan aus, dan ketahanan terhadap lingkungan agresif, untuk memperoleh kadar substitusi yang optimum sesuai dengan aplikasi konstruksi yang dituju. Mengingat hasil karakterisasi menunjukkan bahwa abu incinerator memiliki berat jenis yang relatif rendah (1,03–1,28), penyerapan air yang tinggi (19,23%), serta kandungan material lolos saringan No.200 sebesar 34,01%, maka penyesuaian komposisi campuran dan faktor air-semen perlu diperhatikan agar diperoleh material konstruksi dengan kinerja yang optimal. Di samping itu, penelitian selanjutnya juga disarankan mengevaluasi pengaruh proses pengolahan awal abu incinerator, seperti pengeringan, pengayakan, dan penghalusan, terhadap karakteristik fisik dan kinerja material konstruksi, sehingga pemanfaatan abu incinerator sebagai material substitusi agregat halus dapat dilakukan secara lebih efektif, aman, dan berkelanjutan.

Referensi

- Al-Rawas, A. A., Hago, A. W., & Al-Sarmi, H. (2005). Effect of incinerator ash on the properties of concrete. *Construction and Building Materials*.
- Badan Standardisasi Nasional. (1990). SNI 03-1968-1990 Metode pengujian analisis saringan agregat halus dan kasar. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (1990). SNI 03-1971-1990 Metode pengujian kadar air agregat. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (1996). SNI 03-4142-1996 Metode pengujian jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan No.200. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (1998). SNI 03-4804-1998 Metode pengujian berat isi dan rongga udara agregat. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). SNI 03-2834-2000 Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 1970:2008 Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus. Jakarta: BSN.
- Bai, Y., Darcy, F., & Basheer, P. A. M. (2003). Strength and durability of concrete incorporating municipal solid waste incinerator bottom ash. *Construction and Building Materials*.
- Chang, F. C., Lo, S. L., Ko, C. H., & Lin, J. D. (1999). Characteristics of municipal solid waste

- incinerator bottom ash and its utilization in construction materials. *Journal of Hazardous Materials*.
- Cheeseman, C. R., Virdi, G. S., & Makinde, A. (2005). Properties and microstructure of lightweight aggregate produced from municipal solid waste incinerator bottom ash. *Resources, Conservation and Recycling*.
- Chimenos, J. M., Segarra, M., Fernández, M. A., & Espiell, F. (1999). Characterization of bottom ash in municipal solid waste incinerator. *Journal of Hazardous Materials*.
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., & Panarese, W. C. (2002). Design and control of concrete mixtures. Skokie, IL: Portland Cement Association.
- Lam, C. H. K., Ip, A. W. M., Barford, J. P., & McKay, G. (2010). Use of incineration MSW ash: A review. *Sustainability*.
- Ling, T. C., & Poon, C. S. (2013). Use of municipal solid waste incineration bottom ash in concrete. *Construction and Building Materials*.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, properties, and materials* (4th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Neville, A. M. (2011). *Properties of concrete* (5th ed.). Harlow, England: Pearson Education Limited.
- Pera, J., Coutaz, L., Ambroise, J., & Chababbet, M. (1997). Use of incinerator bottom ash in concrete. *Cement and Concrete Research*.
- Sugiyono. (2019). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Tjokrodinuljo, K. (1996). *Teknologi beton*. Yogyakarta: Nafiri.
- Zhao, Y., Zhu, Y., & Zhang, C. (2010). Utilization of municipal solid waste incinerator ash in construction materials. *Waste Management*.