

PEMANFAATAN SISA PEMBAKARAN SAMPAH RUMAH TANGGA DENGAN PENAMBAHAN PCC SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT HALUS PADA MORTAR GEOPOLIMER

Irfan Hadi Darmawan¹, Euneke Widyandisih²

1. Mahasiswa, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung
 2. Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung
- Email : irfanhadi809@gmail.com

ABSTRAK

Peningkatan volume limbah padat hasil pembakaran sampah rumah tangga menjadi tantangan lingkungan yang serius, sementara kebutuhan material konstruksi terus meningkat. Penelitian ini mengevaluasi pemanfaatan sisa pembakaran sampah rumah tangga sebagai substitusi agregat halus pada mortar geopolimer dengan penambahan Portland Composite Cement (PCC). Variasi substitusi abu dilakukan sebesar 0%, 10%, 15%, dan 20% terhadap pasir, dengan aktivator berupa larutan KOH 8M dan Na_2SiO_3 . Pengujian utama meliputi karakteristik material, berat jenis, serta kuat tekan mortar pada umur 7 dan 28 hari. Hasil menunjukkan bahwa substitusi 10% memberikan kuat tekan optimum pada umur 28 hari berkisar 24,09–26,83 MPa, sementara kadar lebih tinggi cenderung menurunkan kekuatan akibat peningkatan porositas. Pra-perlakuan abu dan penambahan PCC terbukti efektif mengurangi potensi swelling. Temuan ini menunjukkan bahwa abu sisa pembakaran sampah berpotensi dimanfaatkan sebagai material konstruksi berkelanjutan pada mortar geopolimer.

Kata kunci: mortar geopolimer; sisa pembakaran sampah; substitusi agregat; PCC.

1. Pendahuluan

Permasalahan persampahan perkotaan di Indonesia terus meningkat, dengan timbulan sampah nasional mencapai 68,5 juta ton per tahun (KLHK, 2022). Teknologi insinerasi atau *Waste-to-Energy* (WtE) dapat mereduksi volume sampah hingga 90%, namun menghasilkan residu berupa abu dasar (*bottom ash*) yang mencapai 80-90% dari total abu (Huang et al., 2020). Sisa pembakaran sampah rumah tangga mengandung senyawa oksida seperti SiO_2 , Al_2O_3 , dan CaO yang berpotensi sebagai material konstruksi, tetapi juga mengandung mineral reaktif (*montmorillonite*) dan logam

aluminium (Al) yang dapat menyebabkan ekspansi (*swelling*) dan retak pada beton akibat reaksi dengan larutan alkali.

Beton geopolimer, yang menggunakan bahan pozolan seperti fly ash dan diaktivasi dengan larutan alkali, menawarkan alternatif ramah lingkungan dibandingkan beton semen Portland. Sisa pembakaran sampah secara fisik menyerupai agregat halus, sehingga berpotensi sebagai bahan substitusi. Namun, penelitian sebelumnya oleh Ari Rafif Bhadrika (2025) menunjukkan bahwa penggunaan sisa pembakaran sampah tanpa perlakuan menyebabkan penurunan kuat tekan dan *swelling* yang signifikan.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk: (1) Menentukan komposisi optimal mortar geopolimer dengan substitusi sisa pembakaran sampah yang memenuhi standar teknis, (2) Menganalisis pengaruh variasi persentase substitusi terhadap kuat tekan, dan (3) Mengevaluasi efektivitas kombinasi pra-perlakuan (penyaringan, pencucian, pengeringan) dan penambahan *Portland Composite Cement* (PCC) dalam memitigasi potensi *swelling*.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan secara eksperimental di Laboratorium Material Konstruksi, Institut Teknologi Nasional Bandung. Material utama yang digunakan terdiri dari *fly ash* kelas F dari PLTU Paiton sebagai prekursor, pasir alami Garut sebagai agregat halus, serta sisa pembakaran sampah rumah tangga dari Bandung Barat sebagai bahan substitusi. Larutan aktivator alkali dibuat dari campuran KOH 8M dan Na_2SiO_3 dengan perbandingan 1:3, sedangkan PCC digunakan sebagai bahan stabilisasi campuran.

Sebelum digunakan, sisa pembakaran sampah melalui tahap pra-perlakuan berupa penyaringan kering (lolos saringan No. 30 dan tertahan No. 100), pencucian dengan air selama 30–60 menit untuk menurunkan kandungan klorida dan logam terlarut, serta pengeringan dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam. Rancangan campuran mortar geopolimer menggunakan metode berbasis volume dengan komposisi tetap 70% agregat (pasir + abu sampah) dan 30% binder (*fly ash* + aktivator), dengan rasio aktivator terhadap *fly ash* 40:60.

Variasi penelitian meliputi substitusi abu sebesar 0%, 10%, 15%, dan 20% terhadap berat agregat halus, dikombinasikan dengan dua tingkat stabilisasi PCC (rasio abu:PCC 1:0,1), sehingga diperoleh tujuh variasi campuran. Benda uji dicetak dalam kubus 5×5×5 cm³, dipadatkan dengan vibrator, dan dirawat dalam plastik kedap udara pada suhu ruang. Uji kuat tekan dilakukan pada umur 7 dan 28 hari sesuai SNI 1974:2011 dengan rata-rata tiga sampel, disertai pengujian karakteristik material awal seperti berat jenis, gradasi, dan kadar lumpur berdasarkan standar SNI terkait.



Gambar 1 Curing Mortar



Gambar 2 Pengujian Kuat Tekan Menggunakan Compression Machine Test

Tabel 1 Variasi campuran mortar berdasarkan persentase substitusi agregat halus m³

Variasi	1	2	3	4
Material	AH 100% : S 0% PCC 1:0,1	AH 90% : S 10% PCC 1:0,1	AH 85% : S 15% PCC 1:0,1	AH 80% : S 20% PCC 1:0,1
<i>Fly Ash</i> (kg)	473,281	473,281	473,281	473,281
KOH (kg)	42,924	42,924	42,924	42,924
Na ₂ SiO ₃ (kg)	122,598	122,598	122,598	122,598
Agregat Halus (kg)	1673,84	1506,456	1422,764	1339,072

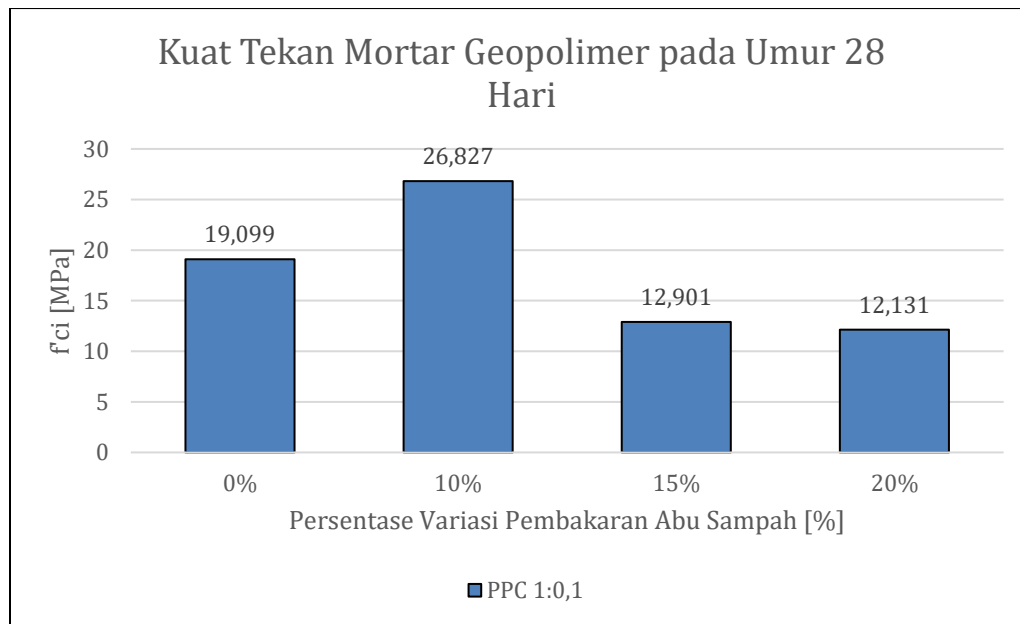
Sisa Pembakaran Sampah (kg)	0	134,456	201,684	268,912
PCC (kg)	0	13,446	20,168	26,891
Total (kg)	2312,643	2293,161	2283,419	2273,678

3. HASIL PENGUJIAN DAN PENELITIAN

Temuan bahwa substitusi optimal hanya 10% sejalan dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan penurunan performa pada penggunaan sisa pembakaran sampah di atas 20% (Ari Rafif Bhadraka, 2025). Peningkatan kuat tekan pada level 10% didukung oleh peran PCC yang mengisi pori dan membentuk gel pengikat tambahan. Efektivitas pra-perlakuan dalam mencegah *swelling* dikonfirmasi oleh penelitian Boyu Chen et al. (2024) yang melaporkan pencucian dapat mengurangi kandungan aluminium metalik hingga 86%. Penambahan PCC juga meniru mekanisme stabilisasi tanah ekspansif dengan semen, dimana semen mengurangi kemampuan mengembang mineral lempung (Aleminah SORSA, 2022). Berikut dilampirkan hasil pengujian kuat tekan beton pengaruh variasi kadar substitusi sisa pembakaran sampah pada Tabel 3 dan Gambar 3.

Tabel 3 Hasil Kuat Tekan Mortar Pada Umur 28 Hari

Kuat Tekan 28 Hari					
Variasi	Sampel	Berat (gram)	Kuat Tekan		
			Hasil (Kn)	Hasil (MPa)	Rata-rata (MPa)
Normal	1	273,1	30,848	12,3392	19,099
	2	281,6	49,484	19,7936	
	3	281,5	46,012	18,4048	
Abu Sampah 10% PPC 1:0,1	1	267,4	68,153	27,2612	26,827
	2	265,7	65,984	26,3936	
	3	271	47,151	18,8604	
Abu Sampah 15% PCC 1:0,1	1	280,3	35,954	14,3816	12,901
	2	280,9	30,903	12,3612	
	3	278,7	29,903	11,9612	
Abu Sampah 20% PCC 1:0,1	1	273,4	33,523	13,4092	12,131
	2	287,3	28,32	11,328	
	3	278	29,136	11,6544	



Gambar 3 Hasil Perbandingan Kuat Tekan Beton Dengan Persentase Sisa Pembakaran Sampah Pada Umur 28 Hari

Berdasarkan Gambar 3, terlihat adanya kecenderungan penurunan nilai kuat tekan pada umur 28 hari. Pada variasi substitusi 10%, kuat tekan beton mampu melampaui nilai baseline sebesar 19,099 MPa, dengan hasil mencapai 26,827 MPa pada rasio PPC 1:0,1. Namun, ketika kadar substitusi ditingkatkan menjadi 15%, terjadi penurunan kuat tekan hingga 12,901 MPa pada rasio PPC 1:0,1, dan pola penurunan yang sama juga tampak pada variasi 20%. Fenomena ini menunjukkan bahwa semakin tinggi penggunaan sisa pembakaran sampah, maka kuat tekan beton cenderung menurun, temuan yang sejalan dengan hasil penelitian Ari Rafif Bhadrika (2025).

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sisa pembakaran sampah rumah tangga yang telah dipra-perlakukan dan distabilisasi dengan PCC berpotensi digunakan sebagai substitusi parsial agregat halus dalam mortar geopolimer berbasis *fly ash*. Komposisi optimum diperoleh pada substitusi 10%, yang menghasilkan kuat tekan 26,83 MPa pada umur 28 hari dengan rasio PCC 1:0,1, lebih tinggi dibanding mortar kontrol (19,10 MPa) dan memenuhi kriteria struktural ringan. Substitusi di atas 10% menyebabkan penurunan kuat tekan akibat meningkatnya porositas.

Selain itu, kombinasi pra-perlakukan dan penambahan PCC efektif menekan potensi *swelling* sehingga meningkatkan stabilitas dimensi mortar. Penelitian ini mendukung pemanfaatan abu insinerator sebagai material konstruksi berkelanjutan. Untuk penelitian

lanjutan, disarankan analisis mikrostruktur lebih mendalam dan penggunaan benda uji standar beton.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis selama penelitian hingga penyusunan ini, khususnya kepada ibu Euneke Widyaningsih, S.T., M.T.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhadrika, A. R. (2025). *Pemanfaatan Bahan Limbah Hasil Pembakaran Sampah Rumah Tangga untuk Produksi Beton Geopolimer*. Skripsi. Institut Teknologi Nasional Bandung.
- Davidovits, J. (1988). Geopolymer Chemistry and Properties. Dalam *Geopolymer '88: First European Conference on Soft Mineralurgy* (hlm. 25-48). Compiègne, France.
- Niu, S., Li, J., & Zhao, P. (2022). Influence of Pretreated Municipal Solid Waste Incineration (MSWI) Bottom Ash on the Mechanical Properties and Microstructure of Geopolymer Mortar. *Journal of Cleaner Production*, 330, 129845.
- Tang, Z., Li, W., Hu, Y., & Wang, L. (2020). Review of Pretreatment Methods for Municipal Solid Waste Incineration (MSWI) Bottom Ash for Use in Construction Materials. *Construction and Building Materials*, 246, 118489.
- Ye, N., Yang, J., Ke, X., Zhu, J., Li, Y., Xiang, C., Wang, H., Li, L., & Xiao, B. (2016). Effects of Washing Pretreatment on the Properties of Municipal Solid Waste Incineration (MSWI) Bottom Ash Geopolymer. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 18(4), 763-772.