

PERBANDINGAN KUAT TEKAN MORTAR GEOPOLIMER DENGAN SUBSTITUSI FLY ASH OLEH ZEOLIT DAN SILICA FUME SEBAGAI BAHAN POZZOLAN

JOSEP BONANO¹, EUNEKE WIDYANINGSIH²

1. Mahasiswa, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung
2. Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung

Email : Akujosepbonano01@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan pengaruh substitusi parsial fly ash dengan zeolit dan silica fume terhadap kuat tekan mortar geopolimer. Mortar geopolimer berbasis fly ash kelas F dimanfaatkan sebagai alternatif ramah lingkungan pengganti semen Portland. Variasi yang digunakan adalah substitusi zeolit (3%, 7%, 10%, 15%) dan silica fume (3%, 7%, 10%, 15%) terhadap berat fly ash. Sebanyak 27 benda uji kubus berukuran 5x5x5 cm dibuat dan diuji kuat tekannya pada umur 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi optimum dicapai pada substitusi zeolit 15% dengan kuat tekan 39,97 MPa (peningkatan 120,71% dari baseline 18,11 MPa) dan substitusi silica fume 10% dengan kuat tekan 35,62 MPa (peningkatan 97%). Substitusi di atas kadar optimum menyebabkan penurunan kuat tekan. Zeolit menunjukkan peningkatan kuat tekan yang lebih tinggi pada persentase rendah (3% dan 7%) dibandingkan silica fume. Berdasarkan SNI 6882:2014, seluruh mortar dengan substitusi silica fume dan sebagian besar mortar dengan substitusi zeolit (hingga 50%) dikategorikan sebagai mortar tipe M (kuat tekan > 17,2 MPa). Disimpulkan bahwa zeolit dan silica fume efektif sebagai bahan pozzolan substitusi parsial fly ash dalam mortar geopolimer dengan kadar optimum masing-masing 15% dan 10%.

Kata kunci: Mortar Geopolimer, Fly Ash, silica fume, zeolit, Kuat Tekan

1. PENDAHULUAN

Dengan meningkatnya pembangunan infrastruktur di seluruh dunia, permintaan bahan bangunan, terutama semen, meningkat. Menurut IEA (2023), produksi semen konvensional menyumbang Kebutuhan akan material konstruksi yang kuat dan ramah lingkungan terus mendorong inovasi. Produksi semen Portland (OPC) menyumbang sekitar 7-8% emisi CO₂ global. Mortar geopolimer, yang menggunakan material aluminosilikat seperti fly ash dan diaktivasi larutan alkali, menjadi alternatif berkelanjutan karena tidak memerlukan pembakaran bersuhu tinggi.

Kinerja mortar geopolimer dapat ditingkatkan dengan penambahan bahan pozzolan halus seperti silica fume (SF) dan zeolit powder. SF, limbah industri silikon, memiliki partikel sangat halus dan kandungan silika amorf tinggi, berfungsi sebagai filler reaktif yang meningkatkan kepadatan mikrostruktur. Zeolit, mineral aluminosilikat alami berpori, berpotensi mempercepat reaksi geopolimerisasi dan meningkatkan stabilitas dimensi.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) Mengetahui pengaruh substitusi fly ash dengan zeolit (3%, 7%, 10%, 15%) terhadap kuat tekan umur 28 hari; (2) Mengetahui pengaruh substitusi fly ash dengan SF (3%, 7%, 10%, 15%); (3) Membandingkan pengaruh SF dan zeolit terhadap peningkatan kuat tekan mortar geopolimer.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan metode eksperimen laboratorium.

2.1 Bahan

Bahan yang digunakan meliputi: agregat halus (pasir), fly ash kelas F (PLTU Paiton), zeolit alam berbentuk serbuk (di-oven 250°C selama 2 jam), silica fume, serta larutan alkali aktivator NaOH 10M dan Na₂SiO₃ dengan perbandingan 1:3.

2.2 Variasi Campuran dan Benda Uji

Dirancang dua kelompok variasi :

1. **Substitusi Zeolit:** 3% 7% 10% 15% dari berat fly ash
2. **Substitusi Silica Fume:** 3% 7% 10% 15% dari berat fly ash

2.3 Prosedur

1. **Pengujian Material:** Agregat halus diuji gradasi, berat jenis, berat isi, dan kadar lumpur. Fly ash, zeolit, dan SF diuji berat jenis.
2. **Pencampuran dan Pengecoran:** Bahan dicampur sesuai mix design, dimasukkan ke cetakan, dipadatkan, dan diratakan.
3. **Perawatan (curing):** menggunakan metode curing membran dengan membungkus sampel dalam plastik.
4. **Pengujian Kuat Tekan:** Dilakukan pada umur 28 hari menggunakan Compression Testing Machine (CTM) mengacu SNI 1974-2011

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Bahan

Hasil pengujian material menunjukkan bahwa semua bahan memenuhi persyaratan. Modulus halus pasir 2,81%, kadar lumpur 4,71% (<5% SNI). Berat jenis fly ash, zeolit, dan SF berturut-turut adalah 2,683; 1,44; dan 2,24 gram/cm³.

3.2 Kuat Tekan Mortar Geopolimer Dasar (Baseline)

Mortar geopolimer tanpa substitusi (100% fly ash) menghasilkan kuat tekan rata-rata 18,11 MPa pada umur 28 hari, yang memenuhi syarat sebagai mortar struktural yang disajikan pada Tabel 1.

Base Line Mortar Geopolimer	Kuat Tekan 28 Hari				
	Variasi	Sample	Berat (gram)	Kuat Tekan	
				Hasil (Mpa) (N/mm ²)	Rata - Rata (Mpa) (N/mm ²)
Base Line	Base Line	1	283	18,08	18,11
		2	289	18,49	
		3	290	17,76	

3.3 Pengaruh Substitusi Zeolit

Hasil pengujian kuat tekan mortar dengan substitusi zeolit disajikan pada Tabel 2.

	Kuat Tekan 28 Hari				
	Variasi zeolit	Sample	Berat (gram)	Kuat Tekan	
				Hasil (Mpa) (N/mm ²)	Rata - Rata (Mpa) (N/mm ²)
Variasi Zeolit Mortar Geopolimer	FA 97% ; Z 3%	1	290	19,08	20,66
		2	296	21,76	
		3	294	20,98	
	FA 93% ; Z 7%	1	287	24,68	23,8
		2	293	16,88	
		3	291	22,92	
	FA 90% ; Z 10%	1	285	31,63	32,6
		2	287	31,63	
		3	288	34,54	
	FA 85% ; Z 15%	1	276	39,08	39,97
		2	282	40,50	
		3	282	40,32	

Kuat tekan meningkat hingga mencapai puncak pada substitusi 15% (39,97 MPa). Peningkatan signifikan disebabkan oleh reaktivitas pozzolanik zeolit yang berkontribusi pada pembentukan matriks geopolimer yang lebih padat. Penurunan kuat tekan pada substitusi >15% disebabkan oleh penurunan jumlah fly ash sebagai sumber aluminosilikat reaktif utama dan kemungkinan efek dilution.

3.4 Pengaruh Substitusi Silica Fume

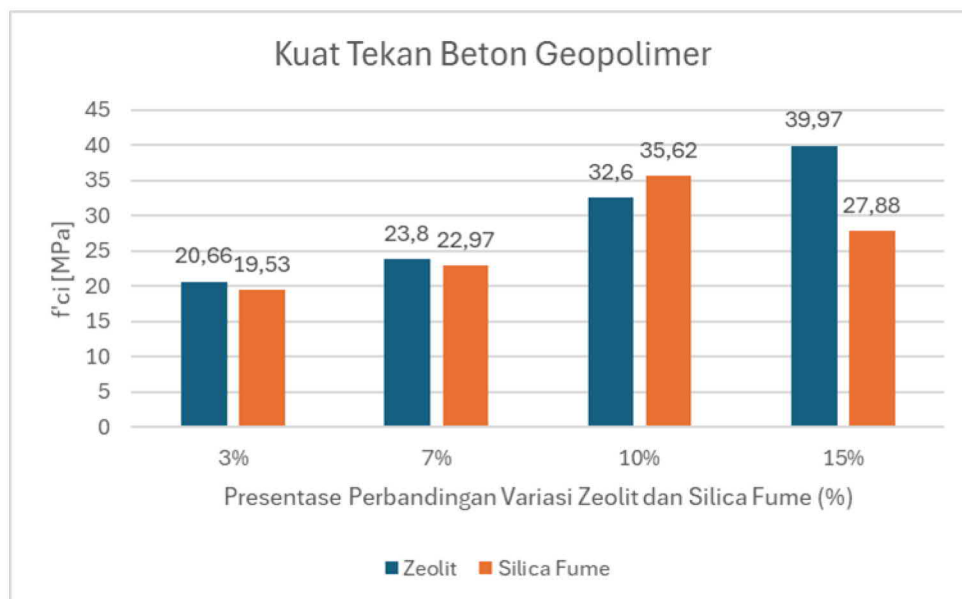
Hasil pengujian kuat tekan mortar dengan substitusi Silica Fume disajikan pada Tabel 3.

	Kuat Tekan 28 Hari				
	Variasi Silica Fume	Sample	Berat (gram)	Kuat Tekan	
				Hasil (Mpa) (N/mm ²)	Rata - Rata (Mpa) (N/mm ²)
Variasi Silica Fume Mortar Geopolimer	FA 97% ; SL 3%	1	290	18,91	19,53
		2	289	21,01	
		3	290	18,69	
	FA 93% ; SL 7%	1	285	23,57	22,97
		2	290	20,67	
		3	296	22,38	
	FA 90% ; SL 10%	1	292	35,26	35,62
		2	289	35,98	
		3	291	16,34	
	FA 85% ; SL 15%	1	289	27,04	27,88
		2	287	28,92	
		3	281	27,70	

Kuat tekan optimum dicapai pada substitusi SF 10% (35,62 MPa). Peningkatan ini disebabkan oleh efek filler dan pozolanik SF: partikelnya yang sangat halus mengisi rongga mikro, sedangkan kandungan silika amorfnya yang tinggi mempercepat dan memperkuat reaksi geopolimerisasi. Penurunan pada SF 15% diduga karena meningkatnya kebutuhan air akibat luas permukaan SF yang besar, sehingga mengurangi kepadatan matriks.

3.5 Perbandingan Zeolit dan Silica Fume

Perbandingan grafik (Gambar 1) menunjukkan bahwa pada persentase rendah (3% dan 7%), zeolit menghasilkan kuat tekan lebih tinggi dibandingkan silica fume (SF). Pada persentase 10%, SF menghasilkan kuat dalam memberikan efek pengisi (filler effect) dan suplai silika reaktif pada kadar optimumnya. Berikut adalah grafik yang menunjukkan perbandingan hasil kuat tekan antara penggunaan silica fume dan zeolit. tekan yang lebih tinggi, sedangkan pada persentase 15%, zeolit kembali unggul dengan nilai kuat tekan tertinggi secara keseluruhan, yaitu 39,97 MPa. Hal ini mengindikasikan adanya perbedaan karakteristik dan mekanisme peningkatan kuat tekan antara kedua material tersebut. Zeolit, dengan kandungan alumina yang signifikan, diduga lebih sinergis dengan sistem geopolimer berbasis fly ash pada rentang persentase tertentu, sementara silica fume lebih unggul



4. KESIMPULAN

1. Substitusi zeolit hingga 15% dan silica fume hingga 10% secara signifikan meningkatkan kuat tekan mortar geopolimer berbasis fly ash, dengan peningkatan tertinggi masing-masing sebesar 120,71% dan 96,68% dibandingkan baseline (18,11 MPa).
2. Zeolit mencapai kuat tekan optimum tertinggi secara absolut (39,97 MPa) pada substitusi 15%, sedangkan silica fume mencapai optimum pada substitusi 10% (35,62 MPa).
3. Substitusi di atas kadar optimum menyebabkan penurunan kuat tekan.
4. Berdasarkan SNI 6882:2014, mortar geopolimer hasil penelitian dengan substitusi yang direkomendasikan memenuhi syarat sebagai mortar struktural tipe M.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Bandung atas dukungan fasilitas laboratorium.

DAFTAR RUJUKAN

- Davidovits, J. (2008). *Geopolymer Chemistry and Applications*. Institut Géopolymère.
- Davidovits, J. (2008). *Geopolymer chemistry and applications* (3rd ed.). Institut Géopolymer.
- Hardjito, D., & Rangan, B. V. (2005). Development and properties of low-calcium fly ash-based geopolymer concrete. Curtin University.
- Kumar, S., et al. (2020). Effect of silica fume on strength and microstructure of geopolymer concrete. *Journal of Building Engineering*.
- Prastyo, R. F., & Wardhono, A. (2019). Analisa kuat tekan mortar geopolimer dengan pengikat zeolite dan fly ash... *Jurnal Teknik Sipil*.
- Putri, S. D., & Widyaningsih, E. (2025). Studi eksperimental penggunaan abu kayu sebagai substitusi fly ash... *Rekaracana: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*.
- SNI 1974-2011. Cara uji kuat tekan mortar semen portland untuk pekerjaan sipil.
- SNI 6882:2014. Spesifikasi mortar untuk pekerjaan pasangan.
- Wicaksono, W. S., et al. (2018). Pengaruh kadar silica fume terhadap kuat tekan pada high strength self compacting concrete. *Jurnal Teknik Sipil*.