

Pengaruh Rasio Aktivator Terhadap Sifat *Mortar* Geopolimer Dengan Metode Pencampuran Kering

Sonia^{1*}, Firdaus², Leon A. Abdillah³

¹²³Universitas Bina Darma, Palembang, Indonesia

email: ^{1} soniazzara21@gmail.com

Abstrak: Penggunaan semen portland sebagai bahan pengikat menghasilkan emisi karbon yang tinggi sehingga diperlukan alternatif material yang lebih ramah lingkungan. *Mortar* geopolimer berbasis *fly ash* dapat menjadi alternatif dengan rasio aktivator NaOH dan Na₂SiO₃ sebagai salah satu faktor yang memengaruhi sifat *mortar*. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh rasio aktivator terhadap waktu ikat pasta semen geopolimer dan kuat tekan *mortar* geopolimer dengan metode pencampuran kering. Penelitian dilakukan secara kuantitatif eksperimental menggunakan empat variasi rasio NaOH : Na₂SiO₃, yaitu 0,5 : 2,5; 1 : 2,5; 1,5 : 2,5; dan 2 : 2,5. Pengujian waktu ikat dilakukan menggunakan *vicat needle*, sedangkan kuat tekan diuji pada umur 7, 14, dan 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi rasio NaOH terhadap Na₂SiO₃, semakin cepat waktu ikat. Variasi V1 menghasilkan *initial setting time* 120 menit dan *final setting time* 165 menit, sedangkan V4 menghasilkan masing-masing 75 menit dan 120 menit. Seluruh variasi mengalami peningkatan kuat tekan seiring bertambahnya umur perawatan. Variasi V3 dengan rasio NaOH : Na₂SiO₃ sebesar 1,5 : 2,5 menghasilkan kuat tekan tertinggi, yaitu 13,9 MPa pada umur 7 hari, 14,8 MPa pada umur 14 hari, dan 19,7 MPa pada umur 28 hari. Dengan demikian, V3 merupakan rasio aktivator optimum dalam penelitian ini.

Kata kunci: *mortar* geopolimer, *fly ash*, rasio aktivator, waktu ikat, kuat tekan.

Abstract: The use of Portland cement as a binder results in high carbon emissions, making it necessary to find more environmentally friendly alternative materials. Fly ash-based geopolymer mortar can serve as an alternative, with the ratio of NaOH to Na₂SiO₃ activators being one of the factors influencing the mortar's properties. This study aims to analyze the effect of the activator ratio on the setting time of geopolymer cement paste and the compressive strength of geopolymer mortar using the dry-mixing method. The study was conducted as a quantitative experiment using four variations of the NaOH:Na₂SiO₃ ratio: 0.5:2.5, 1:2.5, 1.5:2.5, and 2:2.5. Setting time was tested using a Vicat needle, while compressive strength was tested at 7, 14, and 28 days. The results showed that the higher the NaOH-to-Na₂SiO₃ ratio, the faster the setting time. Variation V1 yielded an initial setting time of 120 minutes and a final setting time of 165 minutes, while V4 yielded 75 minutes and 120 minutes, respectively. All variations exhibited an increase in compressive strength as the curing age increased. Variation V3, with a NaOH:Na₂SiO₃ ratio of 1.5:2.5, produced the highest compressive strength: 13.9 MPa at 7 days, 14.8 MPa at 14 days, and 19.7 MPa at 28 days. Thus, V3 represents the optimal activator ratio in this study.

Keywords: geopolymer mortar, fly ash, activator ratio, setting time, compressive strength.

Pendahuluan

Perkembangan industri konstruksi yang pesat menimbulkan dampak terhadap lingkungan, salah satunya akibat penggunaan semen portland sebagai bahan pengikat utama pada beton dan *mortar*. Produksi semen portland menghasilkan emisi karbon dioksida (CO₂) sekitar 7–8% dari total emisi gas rumah kaca global sehingga diperlukan pengembangan material konstruksi yang lebih ramah lingkungan (Solikin, 2021). Salah satu alternatif yang dapat dikembangkan adalah geopolimer yang diperkenalkan sebagai bahan pengikat alternatif pengganti semen portland (Davidovits, 1991). Geopolimer memiliki potensi menurunkan emisi CO₂ hingga 80% dibandingkan semen portland serta memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi dan serangan kimia serta sifat mekanik yang baik (Priastiwi et al., 2023). Dalam aplikasinya,

geopolimer dapat digunakan sebagai bahan pengikat pada *mortar* dengan memanfaatkan material aluminosilikat sebagai bahan dasar (Maryenttry et al., 2024).

Salah satu bahan yang dapat digunakan dalam pembuatan *mortar* geopolimer adalah *fly ash*. Material ini memiliki kandungan silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) yang tinggi sehingga berpotensi membentuk struktur geopolimer yang kuat (Saputra et al., 2024). Pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan dasar *mortar* geopolimer juga dapat mengurangi penggunaan semen portland sekaligus meningkatkan pemanfaatan limbah hasil pembakaran batu bara (Fitriananda, Estetika Wardhono, 2022). Dalam proses geopolimerisasi, material aluminosilikat bereaksi dengan aktivator alkali untuk membentuk struktur pengikat *geopolymer* (Firdaus & Putri, 2024).

Rasio aktivator NaOH dan Na_2SiO_3 merupakan salah satu faktor yang memengaruhi proses geopolimerisasi dan sifat *mortar* yang dihasilkan (Islami & others, 2019). Perbandingan aktivator dapat memengaruhi sifat fisik dan mekanik, termasuk kuat tekan *mortar* geopolimer (Kuniawati et al., 2023). Variasi komposisi dan rasio aktivator alkali berpengaruh terhadap kinerja mekanik *mortar* geopolimer (Khafid et al., 2024). Oleh karena itu, pengaturan rasio NaOH terhadap Na_2SiO_3 menjadi salah satu aspek penting dalam memperoleh karakteristik *mortar* geopolimer yang sesuai (Fajrin et al., 2025).

Selain rasio aktivator, metode pencampuran berperan dalam proses pembuatan *mortar* geopolimer. Metode pencampuran kering (*dry mixing*) dilakukan dengan mencampurkan aktivator dalam bentuk padat secara langsung dengan *fly ash* sebelum penambahan air. Metode ini berbeda dengan pencampuran basah (*wet mixing*) yang menggunakan aktivator dalam bentuk larutan (Fauzi et al., 2021). Penerapan metode pencampuran kering pada *mortar* geopolimer masih relatif terbatas dibandingkan metode pencampuran basah (Yasin, 2017). Variasi rasio NaOH terhadap Na_2SiO_3 pada *mortar* geopolimer dengan metode *dry mixing* berpengaruh terhadap kuat tekan *mortar* (Anugrah & Wardhono, 2018). Namun, kajian mengenai pengaruh variasi rasio aktivator NaOH dan Na_2SiO_3 dalam bentuk padat terhadap waktu ikat dan kuat tekan *mortar* geopolimer dengan metode pencampuran kering masih terbatas (Salwan et al., 2021).

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh rasio aktivator NaOH dan Na_2SiO_3 terhadap waktu ikat pasta semen geopolimer serta kuat tekan *mortar* geopolimer dengan metode pencampuran kering. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai rasio aktivator yang menghasilkan kinerja optimum serta mendukung pengembangan *mortar* geopolimer berbasis *fly ash* sebagai alternatif bahan pengikat yang lebih ramah lingkungan.

Metode

Pengujian *setting time* pasta dilakukan menggunakan *Vicat needle* dengan pengamatan penetrasi jarum setiap 15 menit untuk menentukan *initial setting time* dan *final setting time*. Pengujian kuat tekan dilakukan terhadap *mortar* berbentuk kubus berukuran $5 \times 5 \times 5$ cm menggunakan CTM pada umur 7, 14, dan 28 hari sesuai SNI 03-6825-2002. Data dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan hasil setiap variasi rasio NaOH : Na_2SiO_3 untuk menentukan pengaruh rasio aktivator dan variasi optimum berdasarkan kuat tekan.

Pada pembuatan pasta, *fly ash*, NaOH, dan Na_2SiO_3 dicampurkan hingga homogen dengan metode pencampuran kering, kemudian ditambahkan air dan diaduk hingga tercampur merata. Pada pembuatan *mortar*, agregat halus ditambahkan ke dalam campuran hingga homogen. Campuran kemudian dicetak dan dirawat sesuai umur pengujian. Karakteristik agregat halus meliputi analisis saringan, berat jenis dan penyerapan, kadar lumpur, serta berat isi.

Benda uji terdiri atas empat variasi rasio NaOH : Na_2SiO_3 , yaitu V1 sebesar 0,5 : 2,5, V2 sebesar 1 : 2,5, V3 sebesar 1,5 : 2,5, dan V4 sebesar 2 : 2,5. Seluruh variasi menggunakan perbandingan prekursor terhadap aktivator sebesar 85 : 15, water-cement ratio (W/C) sebesar 0,165, dan agregat halus sebesar 40%. Setiap variasi terdiri atas tiga benda uji pasta untuk pengujian *setting time* dan tiga benda uji *mortar* untuk masing-masing umur pengujian 7, 14, dan 28 hari.

Bahan yang digunakan terdiri atas *fly ash*, natrium hidroksida (NaOH) padat, natrium silikat (Na_2SiO_3) padat, agregat halus berupa pasir, dan air. *Fly ash* digunakan sebagai prekursor aluminosilikat, NaOH dan Na_2SiO_3 sebagai aktivator alkali, pasir sebagai agregat halus, dan air sebagai media untuk memungkinkan berlangsungnya reaksi antara prekursor dan aktivator. Peralatan yang digunakan meliputi oven laboratorium, saringan, timbangan digital, Cooper Mini, piknometer, gelas ukur, mesin pengaduk beton mini, *Vicat needle*, cetakan *mortar*, *Compression Testing Machine* (CTM), serta alat bantu penelitian.

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif eksperimental untuk menganalisis pengaruh rasio aktivator terhadap *setting time* pasta semen geopolimer dan kuat tekan *mortar* geopolimer dengan metode pencampuran kering (*dry mixing*). Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Kampus C Universitas Bina Darma Palembang. Tahapan penelitian meliputi persiapan material, karakterisasi agregat halus, pembuatan pasta dan *mortar* geopolimer, pengujian *setting time*, pengujian kuat tekan, serta analisis hasil pengujian.

Hasil dan Pembahasan

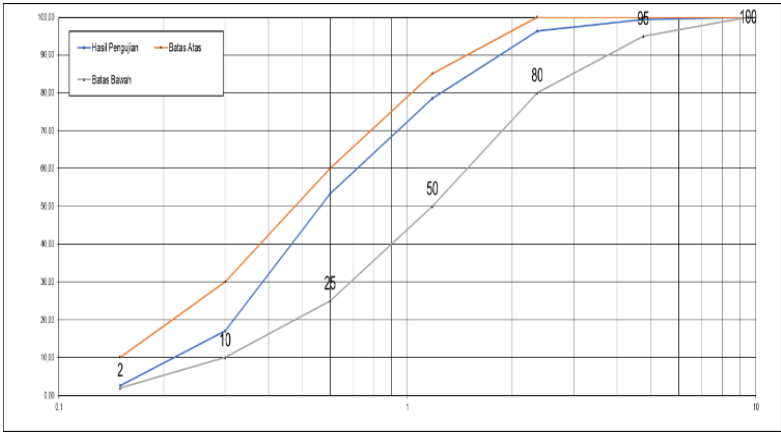
Karakteristik Agregat Halus

Analisis saringan agregat halus

Hasil analisis saringan menunjukkan distribusi ukuran butiran agregat halus yang digunakan dalam campuran *mortar*. Pengujian dilakukan untuk mengetahui persentase material yang tertahan dan lolos pada setiap ukuran saringan serta menentukan modulus kehalusan agregat yang mengacu pada SNI 03-1968-1990 (03-1968-1990, 1990). Hasil pengujian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Analisa Saringan

Saringan		Massa tertahan	Jumlah Tertahan	Persentase Kumulatif (%)	
mm (inci)		Gram (a)	Gram (b)	Tertahan (c)	Lewat (d)
9,52 mm	(3/8 inci)	0	0,0	0,0	100,0
4,75 mm	(No.4)	5,9	5,9	0,60	99,40
2,36 mm	(No.8)	29,9	35,8	3,64	96,36
1,18 mm	(No.16)	176,1	211,9	21,53	78,47
0,6 mm	(No.30)	247,8	459,7	46,70	53,30
0,3 mm	(No.60)	356,7	816,4	82,94	17,06
0,15 mm	(No.100)	141,5	957,9	97,32	2,68
0,075 mm	(No.200)	21,4	979,3	99,49	0,5
Pan		5,0	984,3	100,0	0,0
Jumlah		984,3		452,2	447,8
Modulus kehalusan :				4,48	



Gambar 2. Grafik Analisa Saringan

Berdasarkan hasil pengujian, nilai modulus kehalusan agregat halus sebesar 4,48. Persentase kumulatif lolos terbesar berada pada ukuran saringan 0,60 – 0,15 mm, yang menunjukkan bahwa agregat memiliki distribusi butiran dari ukuran menengah hingga halus.

Dalam penelitian ini, karakteristik gradasi agregat digunakan sebagai dasar untuk memastikan kesesuaian agregat halus yang digunakan dalam campuran *mortar* geopolimer.

Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus dilakukan untuk mengetahui karakteristik fisik agregat halus yang digunakan dalam campuran. Pengujian ini menggunakan metode piknometer sesuai SNI 1970:2008 (1970:2008, 2008). Hasil pengujian disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Halus

Parameter	Hasil	Satuan
Berat jenis curah kering (S_d)	2,77	gr
Berat jenis jenuh kering permukaan (S_s)	2,84	gr
Berat jenis semu (S_a)	2,98	gr
Penyerapan air (S_w)	2,46	%

Hasil pengujian menunjukkan berat jenis curah kering sebesar 2,77 gr, berat jenis jenuh kering permukaan sebesar 2,84 gr, berat jenis semu sebesar 2,98 gr, dan penyerapan air sebesar 2,46%. menunjukkan bahwa agregat memiliki kemampuan menyerap air yang relatif rendah sehingga kebutuhan air dalam campuran dapat lebih mudah dikendalikan. Karakteristik tersebut penting karena perubahan jumlah air dapat memengaruhi konsistensi campuran dan proses pembentukan struktur geopolimer.

Kadar Lumpur Agregat Halus

Pengujian kadar lumpur dilakukan untuk mengetahui kandungan material halus berupa lumpur dalam agregat. Kandungan lumpur yang tinggi dapat mengganggu ikatan antara pasta pengikat dan agregat sehingga berpotensi memengaruhi kualitas *mortar*. Hal ini mengacu pada SNI 03-4428-1997 (03-4428-1997, n.d.). Hasil pengujian disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Parameter	Hasil	Satuan
Tinggi pasir	11	cm
Tinggi lumpur	0,1	cm
Kadar lumpur	1,79	%

Hasil pengujian menunjukkan kadar lumpur sebesar 1,79%. Nilai tersebut berada di bawah batas maksimum 5%, sehingga agregat halus dinyatakan memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai bahan penyusun *mortar* geopolimer.

Berat Isi Agregat Halus

Pengujian berat isi dilakukan pada kondisi gembur dan padat untuk mengetahui berat agregat per satuan volume. Pengujian ini dilakukan berdasarkan SNI 03-4804-1998 (03-4804-1998, n.d.). Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Halus

Kondisi	Berat isi (gr/cm ³)
Gembur	1,250
Padat	1,283

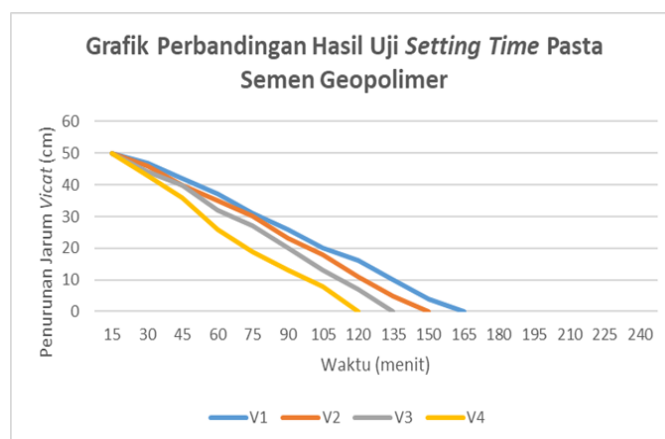
Berat isi agregat halus pada kondisi padat sebesar 1,283 gr/cm³, lebih tinggi dibandingkan kondisi gembur sebesar 1,250 gr/cm³. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa proses pemadatan mengurangi rongga udara di antara butiran agregat sehingga susunannya menjadi lebih rapat. Kondisi ini mendukung penggunaan agregat sebagai bahan penyusun *mortar* karena susunan butiran yang lebih rapat berpotensi menghasilkan *mortar* dengan struktur yang lebih padat.

Setting Time Pasta Semen Geopolimer

Pengujian *setting time* dilakukan untuk mengetahui waktu yang diperlukan pasta semen geopolimer untuk mengalami pengikatan awal dan pengikatan akhir. Pengujian ini menggunakan *vicat needle* untuk menentukan *initial setting time* dan *final setting time* pada setiap variasi rasio NaOH : Na₂SiO₃ yang mengacu pada (C191-01a, 2002). Pengujian dilakukan dengan pengamatan penetrasi jarum setiap 15 menit.

Tabel 5. Hasil Pengujian Setting Time Pasta Semen Geopolimer

Variasi	Rasio NaOH : Na ₂ SiO ₃	<i>initial setting time</i> (menit)	<i>final setting time</i> (menit)
V1	0,5 : 2,5	120	165
V2	1 : 2,5	105	150
V3	1,5 : 2,5	90	135
V4	2 : 2,5	75	120

**Gambar 2. Grafik Perbandingan *Initial* dan *Final Setting Time***

Berdasarkan hasil pengujian, peningkatan rasio NaOH terhadap Na₂SiO₃ menyebabkan waktu ikat pasta geopolimer semakin singkat. V1 menghasilkan *initial setting time* selama 120 menit dan *final setting time* selama 165 menit. Selanjutnya, waktu ikat mengalami penurunan pada V2 menjadi 105 menit dan 150 menit, pada V3 menjadi 90 menit dan 135 menit, serta

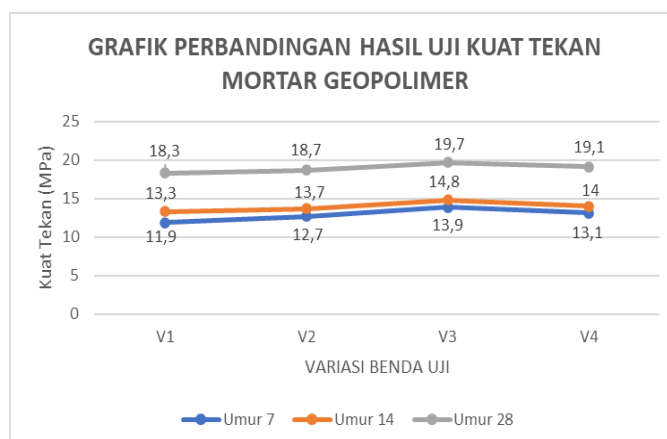
pada V4 menjadi 75 menit dan 120 menit. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan proporsi NaOH mempercepat proses pengikatan pasta geopolimer, yang dikaitkan dengan meningkatnya proses pelarutan silika dan alumina dari *fly ash* sehingga proses geopolimerisasi berlangsung lebih cepat. Dengan demikian, semakin tinggi rasio NaOH terhadap Na_2SiO_3 , semakin singkat waktu ikat pasta geopolimer. (Davidovits, 1991; Anugrah & Wardhono, 2018).

Kuat Tekan *Mortar* Geopolimer

Pengujian kuat tekan dilakukan menggunakan *Compression Testing Machine* terhadap benda uji *mortar* berbentuk kubus berukuran $5 \times 5 \times 5$ cm pada umur 7, 14, dan 28 hari sesuai SNI 03-6825-2002 (SNI-03-6825, 2002).

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Tekan *Mortar* Geopolimer

Variasi	Rasio NaOH : Na_2SiO_3	7 Hari (MPa)	14 Hari (MPa)	28 Hari (MPa)
V1	0,5 : 2,5	11,9	13,3	18,3
V2	1 : 2,5	12,7	13,7	18,7
V3	1,5 : 2,5	13,9	14,8	19,7
V4	2 : 2,5	13,1	14	19,1



Gambar 3. Grafik perbandingan kuat tekan *mortar* umur 7, 14 dan 28 hari

Pada umur 7 hari, kuat tekan rata-rata *mortar* geopolimer pada variasi V1, V2, V3, dan V4 masing-masing sebesar 11,9 MPa, 12,7 MPa, 13,9 MPa, dan 13,1 MPa. Berdasarkan hasil tersebut, terlihat adanya peningkatan kuat tekan dari V1 hingga V3, kemudian mengalami penurunan pada V4. V1 menghasilkan kuat tekan paling rendah sebesar 11,9 MPa, sedangkan V3 menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 13,9 MPa. Sementara itu, V4 mengalami penurunan menjadi 13,1 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa perubahan komposisi aktivator dapat meningkatkan kuat tekan hingga mencapai kondisi tertentu, tetapi peningkatan lebih lanjut tidak selalu menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi.

Pada umur 14 hari, seluruh variasi mengalami peningkatan kuat tekan dibandingkan dengan umur 7 hari. Nilai kuat tekan V1 meningkat menjadi 13,3 MPa, V2 menjadi 13,7 MPa,

V3 menjadi 14,8 MPa, dan V4 menjadi 14,0 MPa. Peningkatan kuat tekan pada seluruh variasi menunjukkan bahwa proses geopolimerisasi masih berlangsung selama masa perawatan. Perkembangan reaksi tersebut menyebabkan struktur pengikat semakin terbentuk sehingga kemampuan *mortar* dalam menerima beban tekan meningkat. V3 tetap menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 14,8 MPa, sedangkan V1 menghasilkan nilai terendah sebesar 13,3 MPa.

Pada umur 28 hari, kuat tekan seluruh variasi kembali mengalami peningkatan. V1 menghasilkan kuat tekan sebesar 18,3 MPa, V2 sebesar 18,7 MPa, V3 sebesar 19,7 MPa, dan V4 sebesar 19,1 MPa. V3 tetap menunjukkan nilai kuat tekan tertinggi, yaitu 19,7 MPa, sedangkan V1 memiliki nilai terendah sebesar 18,3 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perkembangan kuat tekan berlangsung secara konsisten seiring bertambahnya umur perawatan. Peningkatan umur memberikan waktu yang lebih panjang bagi proses geopolimerisasi untuk berkembang sehingga struktur *mortar* menjadi semakin kuat. (Solikin, 2021).

Jika dibandingkan dengan umur 7 hari, peningkatan kuat tekan hingga umur 28 hari masing-masing sebesar 53,78% pada V1, 47,24% pada V2, 41,73% pada V3, dan 45,80% pada V4. Meskipun persentase peningkatan V3 merupakan yang paling rendah dibandingkan variasi lainnya, V3 tetap menghasilkan nilai kuat tekan absolut tertinggi pada seluruh umur pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa variasi tersebut memberikan kinerja kuat tekan yang lebih baik sejak umur awal hingga umur 28 hari.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan pola yang relatif konsisten, yaitu kuat tekan meningkat dari V1 hingga V3 kemudian menurun pada V4. V3 menghasilkan kuat tekan tertinggi pada umur 7, 14, dan 28 hari dengan nilai masing-masing sebesar 13,9 MPa, 14,8 MPa, dan 19,7 MPa. Dengan demikian, V3 merupakan variasi yang memberikan hasil optimum berdasarkan parameter kuat tekan dalam penelitian ini. Penurunan kuat tekan pada V4 menunjukkan bahwa peningkatan komposisi salah satu komponen aktivator tidak selalu memberikan peningkatan kekuatan *mortar* secara terus-menerus.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, peningkatan rasio NaOH terhadap Na_2SiO_3 mempercepat waktu ikat pasta semen geopolimer. V1 dengan rasio 0,5 : 2,5 menghasilkan *initial setting time* 120 menit dan *final setting time* 165 menit, sedangkan V4 dengan rasio 2 : 2,5 menghasilkan waktu ikat tercepat, yaitu 75 menit dan 120 menit. Pada *mortar*, kuat tekan seluruh variasi meningkat dari umur 7 hingga 28 hari. V3 dengan rasio 1,5 : 2,5 menghasilkan kuat tekan tertinggi secara konsisten, yaitu 13,9 MPa pada umur 7 hari, 14,8 MPa pada umur 14 hari, dan 19,7 MPa pada umur 28 hari, sehingga V3 menjadi rasio aktivator optimum berdasarkan parameter kuat tekan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Bina Darma Palembang, khususnya Laboratorium Teknik Sipil Kampus C, yang telah memberikan fasilitas dan dukungan selama pelaksanaan penelitian. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing, dosen penguji, serta seluruh pihak yang telah membantu dalam proses persiapan, pelaksanaan pengujian, hingga penyusunan artikel ini.

Referensi

- SNI-03-1968-1990, (1990). *Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*.
SNI-03-4428-1997, (n.d.). *Metode Pengujian Agregat Halus Atau Pasir Yang Mengandung Bahan Plastik Dengan Cara Setara Pasir*.
SNI-03-4804-1998, (n.d.). *Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga udara dalam agregat*.
SNI 1970:2008, (2008). *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*.
Anugrah, D. A., & Wardhono, A. (2018). Pengaruh Variasi Naoh Terhadap Na_2SiO_3 Terhadap Kuat Tekan Dry *Geopolymer Mortar* Metode *Dry Mixing* Pada Kondisi Rasio Abu Terbang Terhadap Aktivator 4:1 Terhadap Aktivator 4:1. 1–9.
ASTM C191-01a, (2002). Standard Test Methods for Time of Setting of Hydraulic by *Vicat Needle*.
Davidovits, J. (1991). *Geopolymers: inorganic polymeric new materials*. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 37(8), 1633–1656.
Fajrin, J., Fattaah, M. A. Al, & Hariyadi. (2025). Sifat Fisik Dan Mekanik *Mortar* Geopolimer Berbahan Dasar Kapur Kerang Dan Abu Terbang. 1(1), 1–9.
Fauzi, A., Keliat, A. M., Majuar, E., Hajani, C. N., Mahyar, H., & Fahmi, M. (2021). Pengaruh Penggunaan *Fly Ash* PLTU Pangkalan Susu Terhadap Kuat Tekan *Mortar* Geopolimer. 5(1), 71–76.
Firdaus, & Putri, G. M. (2024). Pemanfaatan Abu Sekam Padi sebagai Bahan Pengganti *Water Glass* dalam Pembuatan *Mortar* Geopolimer Campuran Kering. 1(1), 100–112.
Fitriananda, Estetika Wardhono, A. (2022). Pengaruh Kepekatan Larutan Aktivator Terhadap Kuat Tekan *Geopolymer Mortar* Berbahan Dasar Abu Terbang Dan Naoh 12 Molar Pada Kondisi Ss/Sh 2.0 Dan 4.0.
Islami, M. N., & others. (2019). Pengaruh Konsentrasi Aktivator Dan Zat Additive Terhadap *Setting Time* Dan Kuat Tekan Beton Geopolimer. Universitas Internasional Semen Indonesia.
Khafid, M., Waliyyuddin, S., Rochman, T., & Suryadi, A. (2024). *Mortar* Geopolimer Mutu Tinggi Berbasis *Fly Ash* Dan Silica Fume: Aplikasinya Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Lentur. 5(September), 140–143.
Kuniawati, S., Wahyuni, A. S., Gunawan, A., Islam, M., & Afrizal, Y. (2023). Pengaruh Penggunaan *Fly Ash* Pada Kuat Tekan Beton Geopolimer Dengan Aktivator Natrium Hidroksida (NaOH) DAN Natrium Silikat (Na_2SiO_3). 11(1), 7–15.
Maryenttry, E., Firdaus, & Prawira, W. Y. (2024). Pengaruh Penambahan Kapur Pada Semen Geopolimer Terhadap *Mortar* Geopolimer. 1(1), 127–131.
Priastiwi, Y. A., Hidayat, A., Husna, K., & Putriagsari, F. N. (2023). *Studi Perbandingan Sifat Mekanik Mortar* PPC dan *Mortar* Geopolimer dengan Aktivator NaOH pada Rendaman Air Laut. 29(1), 40–50. <https://doi.org/10.14710/mkts.v29i1.54344>
Salwan, A. A., Rizal, F., & Miswar, K. (2021). Analisa Kuat Tekan *Mortar* Geopolimer Berbasis *Fly Ash* Nagan Raya Dengan Metode *Dry Mix*. 5(1), 40–45.
Saputra, K., Mulyati, E., & Firdaus. (2024). Pengaruh Subsitusi Ampas Tebu Pada *Fly Ash* Terhadap Kuat Tekan *Mortar* Geopolimer. 10(2), 115–123.
SNI-03-6825. (2002). Metode pengujian kekuatan tekan *mortar* semen Portland untuk pekerjaan sipil.
Solikin, M. (2021). Analisis Pemakaian Kombinasi *Fly Ash* Tipe F Dan Slag 1:1 Pada Beton *Geopolymer* Dengan Na_2SiO_3 Dan Naoh Sebagai Alkali Aktivator: Sebuah Kajian Literatur. 14(1), 13–20.
Yasin, A. K. (2017). Rekayasa Beton Geopolimer Berbasis *Fly Ash*.