



Pengaruh Rasio Campuran Abu Sekam Padi dan Zeolit terhadap Waktu Ikut, Berat Isi, dan Kuat Tekan Mortar Geopolimer Ramah Lingkungan

The Mixed Ratio Effect of Rice Husk Ash and Zeolite on the Setting Time, Density, and Compressive Strength of Ecofriendly Geopolymer Mortar

PRETYSESAR NURUL HIKMAH^{1*}, DWI MARTA NURJAYA¹, AGUNG SUMARNO²

¹Program Studi Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Kampus UI Depok, Kota Depok 16424, Indonesia.

²Pusat Riset Teknologi Kekuatan Struktur, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jl. Raya Puspiptek Kawasan Sains dan Teknologi BJ.Habibie Serpong, Tangerang Selatan 15314, Indonesia.

*pretty.sesar@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history:

Received 29 April 2023

Accepted 22 March 2024

Published 31 July 2024

Keywords:

Mortar

Geopolymer

Cement Portland

Rice Husk Ash

Zeolite

ABSTRACT

Portland cement is an ingredient in mortar in the building industry. Portland cement manufacturing emits vast amounts of CO₂, causing detrimental repercussions such as global warming. As a result, a less harmful cement alternative material, such as geopolymer, is required. The production of geopolymer materials requires components containing large amounts of Si and Al, such as rice husk ash (RHA) and zeolite, as well as alkaline activators, such as NaOH and Na₂SiO₃, which function as binding solutions for Si and Al in the geopolymerization reaction. The purpose of this study was to determine the mixed ratio effect of rice husk ash and zeolite on the setting time, density, and compressive strength. The method was used experimentally, with making samples size 5 cm x 5 cm x 5 cm and oven curing at 60°C for 24 hours to retain the quality of the geopolymer mortar. To study the effects of precursor on mortar compressive strength and compare the compressive strength of RHA-zeolite geopolymer mortar with portland cement mortar, five different geopolymer mortar compositions were used: 100% RHA, 90% RHA-10% zeolite, 70% RHA-30% zeolite, 50% RHA-50% zeolite, and 100% zeolite. The results of this study reveal that a high Si concentration in the geopolymer mortar increases compressive strength. The highest geopolymer mortar compressive strength values were in the composition of 100% ASP with values at 7, 14, and 28 days, respectively 1.7 MPa, 2.5 MPa, and 2.8 MPa, despite the fact that geopolymer mortar has a lower compressive strength than portland cement mortar.

INFORMASI ARTIKEL

Histori artikel:

Diterima 29 April 2023

Disetujui 22 Maret 2024

Diterbitkan 31 Juli 2024

Kata kunci:

Mortar

Geopolimer

Semen Portland

Abu Sekam Padi

Zeolit

ABSTRAK

Semen portland merupakan bahan yang digunakan pada mortar dalam industri bangunan. Terdapat dampak negatif pada proses produksi semen portland di mana menghasilkan gas CO₂ yang besar sehingga pemanasan global terjadi. Adanya dampak negatif tersebut diperlukan material semen alternatif yang ramah lingkungan, seperti geopolimer. Produksi geopolimer memerlukan bahan yang mengandung Si dan Al tinggi, seperti abu sekam padi dan zeolit, selain itu perlu alkali aktivator sebagai *binder* dalam reaksi geopolimerisasi seperti NaOH dan Na₂SiO₃. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh rasio campuran antara abu sekam padi dan zeolit terhadap waktu ikat, berat isi, dan kuat tekan. Metode yang digunakan adalah eksperimental dengan membuat sampel berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm kemudian diberi perlakuan berupa perawatan oven di 60 °C selama 24 jam untuk menjaga kualitas mortar geopolimer. Dalam mempelajari efek unsur prekursor pada campuran mortar melalui perbandingan kuat tekan mortar geopolimer dan mortar semen yang diuji menggunakan mesin kompresi beton, terdapat 5 jenis komposisi campuran mortar yang dipakai yaitu 100% ASP, 90% ASP-10% zeolit, 70% ASP-30% zeolit, 50% ASP-50% zeolit, dan 100% zeolit. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini adalah mortar geopolimer dengan kandungan Si yang tinggi meningkatkan kekuatan tekannya. Nilai kuat tekan mortar geopolimer terbaik adalah pada komposisi 100% ASP dengan nilai kuat tekan pada 7, 14, dan 28 hari sebesar 1,7 MPa, 2,5 MPa dan 2,8 MPa, tetapi kuat tekan mortar geopolimer masih lebih rendah daripada mortar semen portland.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri konstruksi di Indonesia merupakan industri yang terus berkembang, salah satu contohnya dapat terlihat dalam salah satu survei yang dilakukan oleh Badan Pusat Statistik (BPS) menunjukkan peningkatan nilai konstruksi di Daerah Kalimantan Timur sekitar 6% dari triwulan III tahun 2019 sampai triwulan III tahun 2020 seiring dengan pembangunan Ibu Kota Negara yang baru (Subdirektorat Statistik Konstruksi, 2021). Adanya peningkatan nilai konstruksi ini maka juga menunjukkan adanya peningkatan kebutuhan bahan-bahan penyusun konstruksi, seperti bata, hebel, beton, dan mortar. Mortar merupakan salah satu bahan utama pendiri fondasi bangunan atau juga bisa disebut material pengisi yang terbuat dari campuran agregat halus, air, dan bahan perekat yang diaduk secara homogen, di mana umumnya agregat halus berupa pasir dan bahan perekat berupa semen (Sihombing *et al.*, 2018). Akan tetapi, produksi semen portland dalam skala besar menimbulkan efek negatif seperti pemanasan global akibat besarnya emisi CO₂ yang dihasilkan dalam proses kalsinasi semen tersebut dan juga semakin menipisnya material alam memerlukan solusi alternatif material pengganti (Sumarno *et al.*, 2022). Maka dari itu, material pengganti semen portland yang lebih ramah lingkungan seperti geopolimer diperlukan (Anam & Sumarno, 2019).

Mortar dapat diklasifikasikan ke dalam dua jenis yaitu mortar berdasarkan kekuatannya seperti mortar tipe M, S, N, dan O, serta mortar berdasarkan bahan pengikat campurannya yaitu mortar semen, mortar kapur, mortar *surkhi*, mortar lumpur, mortar *pozzolan*, dan mortar polimer. Mortar semen adalah mortar dengan campuran semen, air, dan pasir yang umum digunakan sebagai plesteran atau lapisan tahan lembab, sedangkan mortar geopolimer adalah mortar yang memakai bahan organik alam atau hasil samping industri dengan kandungan Si dan Al yang tinggi sebagai bahan pengikat pengganti semen, mortar geopolimer ini juga termasuk campuran mortar *pozzolan* dan polimer tanpa penggunaan semen sama sekali. Salah satu jenis semen yang umum digunakan dalam pembuatan mortar adalah semen portland, hal ini terjadi karena murah, mudah ditemukan, dan kualitasnya baik. Semen portland adalah salah satu jenis semen hidrolis yang umum dipakai dalam pembuatan mortar semen di mana tersusun atas senyawa trikalsium silikat (C₃S) dan dikalsium silikat (C₂S) dengan komposisi 70%–80% dari berat semen total serta senyawa ini berkontribusi besar pada sifat mekanis mortar semen seperti kekuatan dan daya tahan mortar (Badan Standardisasi Nasional, 2015).

Geopolimer adalah bahan perekat yang terbentuk melalui reaksi geopolimerisasi di mana terjadinya reaksi antara bahan baku silikat dan aluminosilikat dengan larutan alkali aktivator. Pada reaksi ini terjadi penggabungan oligomer ion SiO₂ dan Al₂O₃ menjadi kompleks besar yang saling berhubungan oleh ikatan kovalen. Pada reaksi geopolimerisasi ini terjadi disolusi ion Si dan Al dari prekursor lalu ion prekursor akan reorientasi dan dilanjutkan polikondensasi sehingga terbentuk produk akhir berupa padatan (Davidovits, 2015). Beberapa produk samping hasil industri seperti abu sekam padi, *fly ash*, serta material alami seperti zeolit dan sumber anorganik lainnya yang

mengandung SiO₂ dan Al₂O₃ dapat dijadikan sebagai bahan utama prekursor geopolimer di mana dalam reaksi geopolimerisasi juga memerlukan senyawa alkali seperti alkali hidroksida, silikat, aluminat, karbonat, atau kombinasinya yang digunakan untuk mengaktifkan aluminosilikat setelah bereaksi dengan prekursor.

Abu sekam padi adalah produk samping industri pertanian yang berasal dari pembakaran bagian terluar butir padi di mana abu hasil pembakaran ini memiliki kandungan senyawa SiO₂ yang cukup tinggi sehingga dapat meningkatkan sifat mekanis seperti kuat tekan mortar dan daya tahan mortar geopolimer yang terbentuk dibandingkan dengan mortar semen konvensional saat terkena serangan asam kuat (Elakkiah, 2019). Sedangkan zeolit adalah bahan organik alami yang berupa mineral kristal tekoaluminosilikat terhidrasi yang berpori di mana strukturnya tiga dimensi terbuka dan berongga yang diisi oleh atom-atom logam alkali serta molekul air yang bergerak bebas dan strukturnya terdiri atas tetrahedral [SiO₄]⁴⁻ dan [AlO₄]⁵⁻ yang dihubungkan dengan atom-atom oksigen. Adanya struktur khas dan kandungan aluminosilikat menyebabkan material ini dapat dijadikan bahan utama pembentuk geopolimer (Rozeq *et al.*, 2019). Larutan alkali aktivator yang umum digunakan dalam pembentukan geopolimer adalah larutan basa sodium silikat (Na₂SiO₃) dan sodium hidroksida (NaOH). Larutan tersebut bereaksi dengan senyawa SiO₂ dan Al₂O₃ yang berasal dari prekursor dan terbentuk ikatan gugus polimer aluminosilikat yang banyak dan H₂O sebagai hasil sisa proses polimerisasi. Rasio campuran alkali aktivator juga mempengaruhi besar kuat tekan mortar geopolimer yang terbentuk (Saglamtimur *et al.*, 2019).

Penelitian terdahulu mengenai pemanfaatan zeolit yang mengandung aluminosilikat sebagai bahan pembentuk geopolimer dengan NaOH sebagai alkali menghasilkan kekuatan tekan 5,24 MPa (Auqui *et al.*, 2017). Untuk meningkatkan kekuatan tekan dari zeolit sebagai bahan geopolimer, penelitian lain melakukan komposit antara zeolit dengan bahan lain dalam pembentukan geopolimer seperti komposit antara *blast furnace slag* dan zeolit yang menghasilkan kekuatan tekan sebesar 15,30 MPa (Khalid *et al.*, 2018), komposit antara *fly ash* dan zeolit yang menghasilkan kekuatan tekan sebesar 9,78 MPa (De Rossi *et al.*, 2019), dan komposit antara metakaolin dan zeolit menghasilkan kekuatan tekan 3,00 MPa (Papa *et al.*, 2018). Penelitian terdahulu dengan menggunakan limbah abu sekam padi sebagai bahan pembentuk geopolimer menghasilkan kekuatan 40,7 MPa (Kim *et al.*, 2014). Penelitian terdahulu menunjukkan potensi yang baik dari abu sekam padi bila dijadikan bahan komposit bersama zeolit dalam pembentukan mortar geopolimer untuk meningkatkan kekuatan tekan dari mortar geopolimer. Pemanfaatan kedua material tersebut pada penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu solusi material alternatif dalam mengurangi pemanasan global dan menipisnya material alam akibat proses produksi semen portland.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh rasio campuran antara abu sekam padi dan zeolite terhadap waktu ikat, berat isi, dan kuat tekan mortar geopolimer.

2. METODE

2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada studi ini antara lain labu takar, gelas ukur, dan timbangan digital yang diperlukan dalam pelarutan larutan sodium hidroksida dan pencampuran larutan alkali aktivator. Alat *sieve shaker* dan satu set ayakan pasir dengan urutan ukuran lubang ayakan terdiri atas 9,5 mm; 4,75 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; 0,15 mm dan wadah lolos ayakan diperlukan untuk uji agregat halus dan ayakan 100 mesh untuk menyaring bahan penyusun mortar seperti abu sekam padi, zeolit, dan semen portland komposit. Selain itu, kerucut uji berat jenis pasir dan labu erlenmeyer diperlukan untuk uji kandungan organik pasir dan alat *X-ray Fluorescence (XRF)* untuk pengujian komposisi kimia semen, abu sekam padi (ASP), dan zeolite. Mesin pengaduk Standar ASTM C-305 untuk pencampuran pasta mortar geopolimer, jangka sorong dan mistar untuk penghitungan berat isi mortar, *stopwatch* dan alat vicat Standar ASTM-91-82 untuk uji waktu ikat mortar, serta cetakan kubus berbahan baja ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm dan sendok perata diperlukan dalam proses pembuatan dan pencetakan mortar. Oven atau *furnace* diperlukan juga untuk mortar geopolimer yang dioven di suhu 60 °C, dan alat terakhir yaitu mesin uji kuat tekan.

Mortar geopolimer yang dibuat dalam penelitian ini memakai bahan utama antara lain abu sekam padi dari hasil samping pertanian di sawah Daerah Kiara, Walantaka, Serang, Banten. Serbuk mineral zeolit dari Bandung yang telah dilakukan pengujian berat jenis dengan standar yang berlaku, serta larutan aktivator di mana terdiri atas campuran larutan NaOH 14 M dan larutan sodium silikat. Sedangkan untuk pembuatan mortar semen memerlukan semen jenis PCC (*Portland Cement Composite*) dan air. Untuk agregat halus yang digunakan dalam pembentukan mortar geopolimer maupun mortar semen dalam penelitian ini memakai pasir

bangka belitung yang telah diuji laboratorium dari *batching plant* Jayamix by PT. Readymix SCG di Daerah Kampung Rambutan, Jakarta Timur.

Pengujian agregat halus atau pasir dilakukan untuk mengetahui apakah pasir sudah lolos standar spesifikasi agregat halus untuk konstruksi. Berdasarkan hasil yang ditunjukkan oleh Tabel 1, diketahui bahwa agregat halus yang berupa pasir belitung ini telah lolos dalam semua standar uji yang berlaku untuk syarat pasir yang digunakan dalam pekerjaan konstruksi sehingga pasir dapat digunakan dalam pembentukan mortar semen maupun mortar geopolimer ASP-zeolit.

Tabel 1. Ringkasan hasil pengujian pasir

No	Jenis Pengujian	Referensi	Standar Uji	Hasil Uji
1.	Kadar lumpur (%)	AS 1141-12	Max. 5	2,51
2.	Modulus Halus	ASTM C136, AS 1141-11	2,3-3,1	3,07
3.	Penyerapan Air (%)	ASTM C128	Max. 5	2,54
4.	Berat Jenis (gram)	ASTM C128	Min. 2,5	2,58
5.	Kandungan Organik	ASTM C40	Max. 3	2

Pengujian karakterisasi bahan utama penyusun mortar perlu dilakukan untuk mengetahui kadar Si dan Al yang merupakan komponen penting dalam peningkatan sifat mekanis mortar geopolimer. Pada Tabel 2 menunjukkan adanya perbedaan jumlah kandungan SiO₂ dan Al₂O₃ yang berperan penting dalam reaksi geopolimerisasi pada abu sekam padi dan zeolit. Hal ini memungkinkan terjadinya perbedaan nilai kuat tekan kelima jenis mortar geopolimer yang dibuat dalam studi ini karena besar rasio Si/Al akan mempengaruhi laju reaksi geopolimer dan sifat mekanis geopolimer yang terbentuk (Asif et al., 2015).

Tabel 2. Hasil pengujian komposisi kimia XRF-material utama mortar

Bahan	Komposisi Kimia									
	MgO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	SO ₃ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	TiO ₂ (%)	MnO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	ZnO (%)
Semen	2,8	7,7	23,2	2,6	1,2	57,4	0,3	0,07	3,8	0,03
Zeolit	1,8	14,2	73,3	0,2	2,9	3,1	0,3	0,08	2,5	0
ASP	1,8	1,4	91,9	0,5	1,7	0,6	0,02	0,3	0,2	0,01

Menurut Tabel 2 diketahui bahwa semen portland yang digunakan memiliki kadar SO₃ kurang dari 4% sehingga semen ini termasuk ke dalam jenis semen portland komposit sesuai standar SNI-15-7064-2004. Selain itu, bahan organik alam ASP dan zeolit yang digunakan dalam studi ini

termasuk ke dalam jenis material *pozzolan*. Pada Tabel 3, dapat dilihat bahwa kedua jenis material alami tersebut termasuk ke dalam material *pozzolan* kelas N. Material tersebut sering dimanfaatkan sebagai bahan substitusi semen dalam pembentukan mortar maupun beton (Karim et al., 2014).

Tabel 3. Klasifikasi material uji *pozzolan* berdasarkan ASTM C-618

Material	Komposisi Material Pozzolan									Klasifikasi Material Pozzolan
	CaO (%)			SO ₃ (%)			Al ₂ O ₃ (%) + SiO ₂ (%) + Fe ₂ O ₃ (%)			
	Kelas N	Kelas F	Kelas C	Kelas N	Kelas F	Kelas C	Kelas N	Kelas F	Kelas C	
	-	>10%	<10%	Max 4	Max 5	Max 5	Min 70	Min 70	Min 50	
ASP		0,6			0,5			93,5		Kelas N
Zeolit		3,1			0,2			90,1		Kelas N

2.2 Metode

Penelitian ini dilakukan dengan cara eksperimental untuk mendapatkan nilai kuat tekan berdasarkan SNI-03-6825-2002 dari mortar semen portland dan mortar geopolimer (Badan Standardisasi Nasional, 2002). Sampel kuat tekan dibuat dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm di mana terdiri atas 1 jenis mortar geopolimer berbahan campuran abu sekam padi dan zeolit dan 1 jenis mortar semen portland. Abu sekam padi dan zeolit terlebih dahulu dihaluskan dan disaring menggunakan ayakan 100 mesh, ukuran lolos ayakan tersebut digunakan sebagai bahan penyusun mortar geopolimer. Mortar geopolimer dibentuk dengan 5 variasi rasio campuran abu sekam padi terhadap serbuk zeolit yaitu 100:0, 90:10, 70:30, 50:50, dan 0:100. Pada kedua jenis mortar yang dibuat memakai jumlah komposisi massa pasta mortar dan massa pasir sesuai standar SNI-03-6825-2002 dengan berat pasta:pasir adalah 1:1,85 agar kondisi mortar setara ketika dibandingkan. Selain itu, rasio massa prekursor dan aktivator adalah 1:0,75 dengan rasio campuran alkali aktivator 3:2 (Na₂SiO₃/NaOH). Pada pembentukan pasta mortar geopolimer dan mortar semen dilakukan juga uji waktu ikat menggunakan stopwatch dan alat vicat sesuai standar SNI-03-6827-2002.

Selanjutnya, mortar semen portland dan mortar geopolimer ASP-zeolit yang telah diberikan perlakuan curing oven 60 °C selama 24 jam yang telah mengeras dilakukan penghitungan berat isi rata-rata mortar dan dilanjutkan uji kuat tekan setelah umur kedua mortar mencapai umur 7, 14, dan 28 hari di mana pengujian kuat tekan mortar menggunakan mesin hydraulic concrete compression testing model: CT47-110. Penentuan besarnya berat isi rata-rata terlihat pada Persamaan 1.

$$\gamma_m = \frac{BM}{V} \dots \dots \dots (1)$$

di mana:

- γ_m : adalah berat isi mortar (Kg/m³)
- BM : adalah berat benda uji (Kg)
- V : adalah volume benda uji (m³)

Penentuan kuat tekan dihitung dengan cara membagi gaya maksimum sampel dengan luas permukaan sampel yang ditekan berdasarkan Persamaan 2.

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2)$$

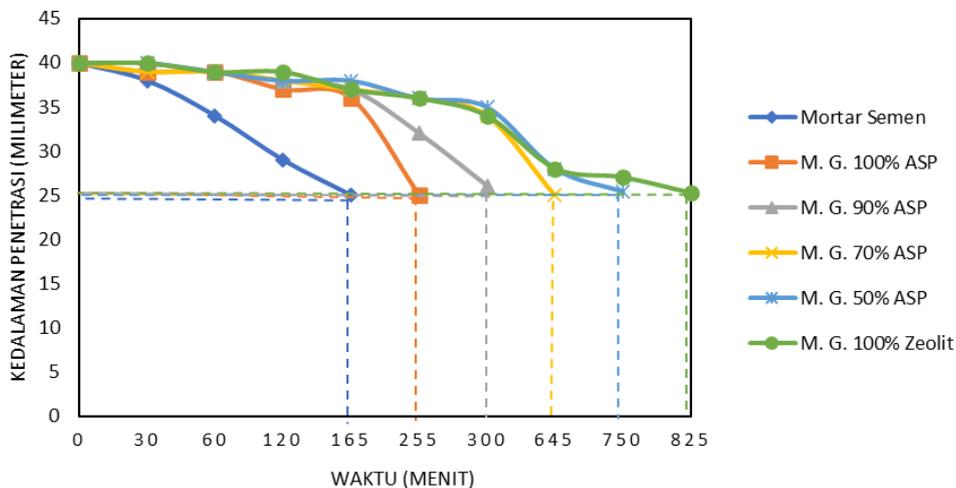
di mana:

- σ : adalah kuat tekan beton (MPa)
- P : adalah gaya maksimum sampel (N)
- A : adalah luas permukaan sampel (mm²)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Rasio Abu Sekam Padi dan Zeolit terhadap Waktu Ikat Mortar Geopolimer

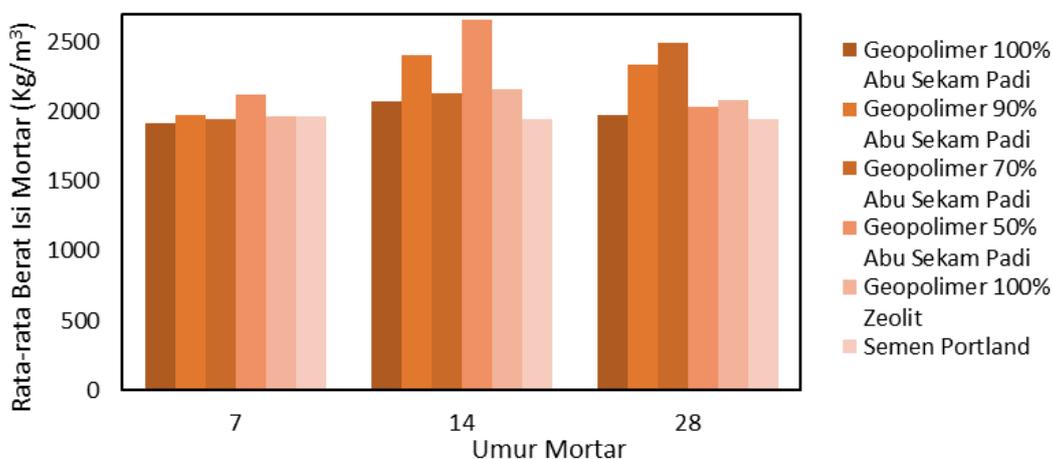
Pengujian waktu ikat pasta mortar perlu dilakukan untuk mengetahui waktu ikat awal terjadinya pengerasan sebagian pasta mortar. Grafik waktu ikat awal 5 variasi komposisi prekursor penyusun mortar geopolimer dan 1 jenis mortar ditunjukkan oleh Gambar 1, di mana untuk mortar geopolimer waktu ikat tercepat dimiliki oleh mortar geopolimer 100% ASP dengan 255 menit lalu dilanjutkan dengan mortar geopolimer 90% ASP-10% zeolit dengan 300 menit, mortar geopolimer 70% ASP-30% zeolit dengan 645 menit, mortar geopolimer 50% ASP-50% zeolit dengan 750 menit, dan mortar geopolimer 100% zeolit dengan 825 menit. Sedangkan, untuk waktu ikat awal mortar semen portland diketahui mengalami pengerasan sebagian setelah 165 menit. Adanya perbedaan waktu ikat awal yang cukup signifikan pada mortar geopolimer yang mengandung banyak zeolit dan banyak ASP terjadi karena rasio Si/Al dalam komposisi penyusun mortar geopolimer akan mempengaruhi laju reaksi geopolimerisasi di mana semakin tinggi rasio Si/Al menyebabkan laju geopolimerisasi berjalan lambat sehingga meningkatkan waktu ikat mortar geopolimer ASP-zeolit (Nikolov et al., 2017). Berdasarkan Tabel 2 diketahui bahwa kadar SiO₂ pada ASP tinggi 91,9% dan kadar Al₂O₃ rendah 1,4%. Pada zeolit, kadar SiO₂ juga tinggi 73,3% dan kadar Al₂O₃ 14,2% tidak serendah ASP maka hasil urutan waktu uji waktu ikat mortar geopolimer ini telah sesuai teori. Waktu ikat mortar geopolimer 100% zeolit berjalan sangat lambat karena tingginya rasio Si/Al.



Gambar 1. Grafik hasil uji waktu ikat awal mortar geopolimer ASP-zeolit vs mortar semen

Selain itu, Gambar 1 juga menunjukkan bahwa waktu ikat mortar semen masih jauh lebih cepat dibandingkan waktu ikat awal mortar geopolimer berbahan ASP maupun zeolit meskipun kondisi lingkungan penelitian telah terkontrol, seperti sama besarnya jumlah komposisi ke-6 jenis mortar, sama besar perbandingan massa pasta mortar dengan pasir, serta pasir dan air yang digunakan juga berasal dari sumber yang sama. Pada mortar semen sudah menunjukkan waktu ikat awal yang tepat dan sesuai standar SNI-03-6827-2002 yang berarti tidak ada kesalahan selama proses pembuatan mortar sebab semen portland yang digunakan adalah semen portland komposit komersial yang telah lulus uji.

3.2 Pengaruh Rasio Abu Sekam Padi dan Zeolit terhadap Berat Isi Mortar Geopolimer



Gambar 2. Grafik hasil perhitungan rata-rata berat isi mortar

3.3 Pengaruh Rasio Abu Sekam Padi dan Zeolit terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer

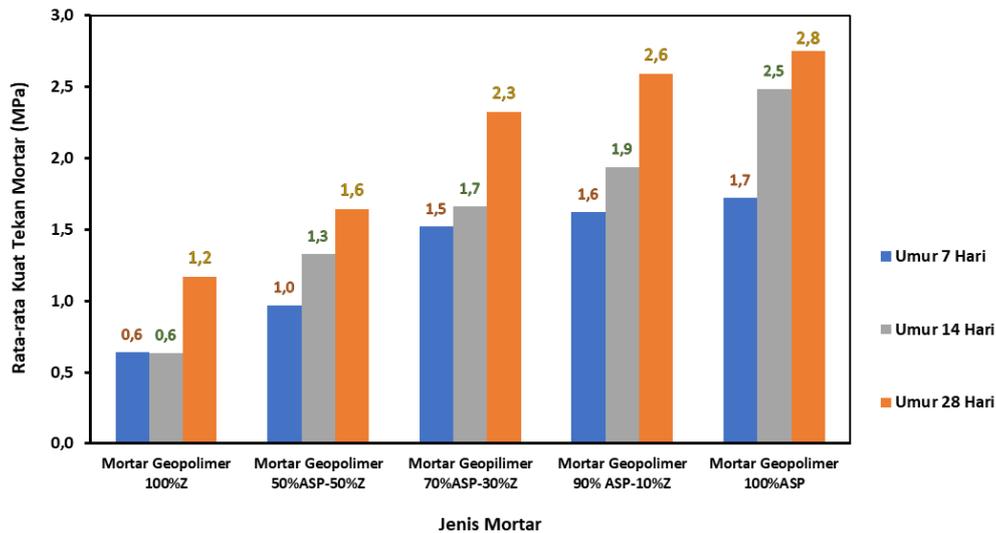
Pada penelitian ini didapatkan hasil uji kuat tekan yang ditunjukkan pada Gambar 3. Hasil dari kelima jenis mortar geopolimer baik yang berumur 7, 14, dan 28 hari diketahui bahwa semakin tinggi kadar ASP dalam komposisi mortar geopolimer maka semakin tinggi pula kuat tekan. Rendahnya kadar Al₂O₃ dan tingginya kadar SiO₂ menyebabkan rasio Si/Al tinggi sehingga ikatan Si-O-Si semakin banyak terbentuk selama reaksi geopolimerisasi dan densitas ikatan tersebut meningkat. Menurut teori diketahui bahwa semakin besar nilai densitas ikatan Si-O-Si maka semakin meningkat pula kekuatan tekan geopolimer tersebut (Faradilla *et al.*, 2020).

Selain itu, perlu diketahui bahwa adanya perbedaan nilai kuat tekan mortar geopolimer ASP-zeolit terjadi karena adanya variasi umur mortar sebesar 7, 14, dan 28 hari yang tertera pada Gambar 3. Mortar geopolimer 100% ASP terjadi kenaikan yang tinggi kuat tekannya dari 1,7 MPa ke 2,5 MPa ketika mortar mencapai umur 14 hari. Saat ion Si dan Al bereaksi dengan larutan aktivator akan membentuk ikatan Si-

Pada penelitian ini dilakukan perhitungan berat isi mortar yang bertujuan untuk mengetahui apakah selama proses pencetakan mortar sudah tepat. Ketika beberapa mortar dibandingkan sifat mekanisnya, kondisi mortar yang dibandingkan memiliki berat yang sama sehingga hasil yang didapatkan setara. Berdasarkan Gambar 2 diketahui bahwa keenam jenis mortar memiliki nilai rata-rata berat isi mortar yang hampir sama yaitu sekitar 2000 kg/m³. Hal ini menunjukkan bahwa rasio campuran abu sekam padi dan zeolit tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap berat isi mortar, sehingga gaya yang diberikan akan lebih merata pada kubus mortar saat dilakukan uji kuat tekan karena ukuran dan distribusi isi mortar pada penelitian ini sudah tepat.

O-Al yang berlangsung cepat karena tingginya kadar SiO₂ lalu yang tersisa hanyalah ion Si dalam pembentukan ikatan Si-O-Si. Semakin banyak ikatan yang terbentuk semakin tinggi pula densitas ikatan Si-O-Si sehingga kuat tekan mortar meningkat dan setelah lewat 14 hari hanya terjadi sedikit peningkatan kuat tekan karena hanya terjadi reorientasi struktur jaringan aluminosilikat yang hanya meningkatkan amorfisitas mortar geopolimer (Ozen & Uzal, 2021).

Mortar geopolimer 90% ASP-10% zeolit, mortar geopolimer 70% ASP-30% zeolit, dan mortar geopolimer 100% zeolit menunjukkan lambatnya kenaikan kuat tekan mortar dari umur mortar 7 hari ke 14 hari. Hal ini terjadi karena tingginya kadar Al atau rasio Si/Al kecil pada komposisi kedua jenis mortar akibat penambahan zeolit sehingga waktu yang diperlukan dalam reaksi pembentukan Si-O-Al semakin lama dan mengakibatkan kecilnya peningkatan nilai kuat tekannya. Namun, setelah umur mortar 14 hari akan terjadi peningkatan kuat tekan yang tinggi kembali karena kadar ion Al dalam mortar telah menurun sehingga rasio Si/Al meningkat, densitas ikatan Si-O-Si juga meningkat dan kuat tekan mortar geopolimer tinggi (Ulloa *et al.*, 2022).

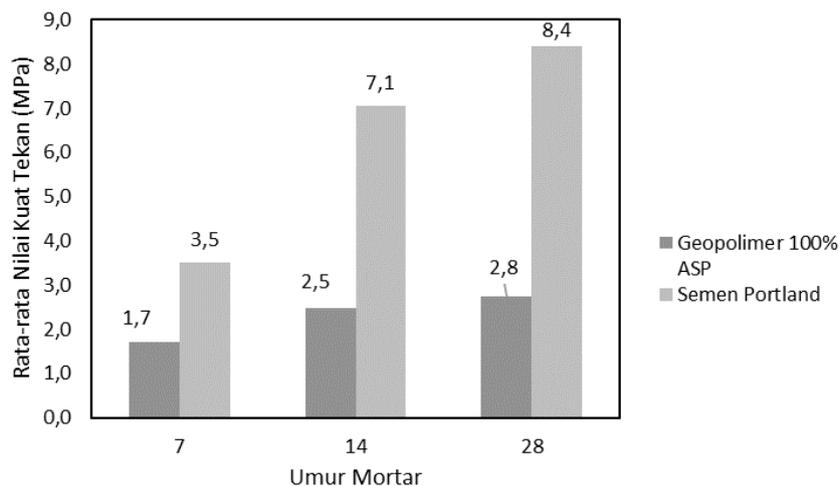


Gambar 3. Grafik batang pengaruh umur dan persentase jumlah prekursor terhadap nilai kuat tekan mortar geopolimer ASP-zeolit

Berdasarkan Gambar 4 diketahui bahwa nilai kuat tekan mortar semen portland komposit jauh lebih tinggi daripada mortar geopolimer 100% ASP. Hal ini terjadi karena pada mortar geopolimer 100% ASP penelitian ini kadar CaO nya sangatlah kecil <1% yang tertera pada Tabel 2 dan hanya kadar senyawa SiO₂ yang tinggi. Jumlah kadar CaO sangat mempengaruhi nilai kuat tekan mortar. Mortar geopolimer yang mengandung kadar Ca tinggi dapat memberikan nilai kuat tekan yang menandingi mortar semen OPC. Senyawa Ca akan membentuk fasa CSH (*calcium silicate hydrate*) yang dapat meningkatkan nilai kuat tekan mortar geopolimer ketika fasa CSH tinggi, contohnya seperti mortar geopolimer berbahan *blast furnace slag* (Mayhoub et al., 2021).

Selain itu, menurut hasil yang tertera di Gambar 4 menunjukkan bahwa mortar geopolimer 100% ASP dengan

komposisi pada penelitian ini tidaklah dapat diterapkan sebagai pengganti mortar semen portland komposit yang sering digunakan dalam pekerjaan umum karena rendahnya nilai kuat tekannya. Untuk mortar geopolimer 100% ASP yang berumur 28 hari memiliki kuat tekan 2,8 MPa yang sudah dapat diklasifikasikan ke dalam mortar tipe O di mana kuat tekan minimal mortar berumur 28 hari adalah 2,4 MPa yang hanya digunakan sebagai elemen non-struktural, sedangkan untuk mortar semen portland komposit berumur 28 hari memiliki nilai kuat tekan sebesar 8,4 MPa sehingga dapat diklasifikasikan ke dalam mortar semen tipe N sesuai ASTM C270-10 dan SNI 03-6882-2002



Gambar 4. Grafik batang uji kuat tekan mortar geopolimer 100 ASP vs mortar semen

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa kuat tekan mortar geopolimer berbahan abu sekam padi dan zeolit dipengaruhi oleh rasio campuran mortar geopolimer ASP-zeolit di mana mortar geopolimer yang mengandung jumlah prekursor ASP tinggi akan memiliki kuat tekan yang tinggi sebab kandungan SiO₂ yang tinggi pada ASP menyebabkan rasio Si/Al juga

meningkat dan juga terjadi peningkatan densitas ikatan Si-O-Si jauh lebih kuat dibandingkan ikatan Si-O-Al. Selain itu, adanya penambahan kadar zeolit dalam rasio campuran mortar geopolimer ASP-zeolit dapat menyebabkan peningkatan kadar Al (kecilnya rasio Si/Al) sehingga laju reaksi geopolimerisasi berjalan lambat dan nilai kuat tekan mortar menurun. Di antara 5 variasi mortar geopolimer didapatkan bahwa kuat tekan mortar terbaik dimiliki oleh

mortar geopolimer 100% ASP. Berdasarkan 3 variasi umur mortar geopolimer yaitu 7, 14, dan 28 hari didapatkan bahwa mortar geopolimer 100% ASP umur 28 hari memiliki nilai kuat tekan tertinggi yaitu sebesar 2,8 MPa yang sudah dapat diklasifikasikan sebagai mortar tipe O tetapi nilainya masih jauh dari nilai kuat tekan mortar semen portland komposit umur 28 hari yaitu 8,4 MPa yang terklarifikasi sebagai mortar tipe N. Hal ini terjadi karena rendahnya kadar CaO pada mortar geopolimer 100% ASP yaitu kurang dari 1% yang merupakan senyawa penting dalam besar kekuatan tekan mortar semen.

PERSANTUNAN

Terima kasih kepada Kepala Pusat Riset Teknologi Kekuatan Struktur BRIN yang telah mendukung penuh sehingga riset ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Anam, S., & Sumarno, A. (2019). Pengaruh Kombinasi Abu Sekam Padi Sebagai Binder Alternatif dan Fly Ash pada Tinjauan Kuat Tekan Beton Geopolimer. *Prosiding Seminar Lignoselulosa*, 80-85.
- Asif, A., Man, Z., Azizli, K., Nuruddin, M. F., & Ismail, L. (2015). The Effect of Si/Al Ratio and Sodium Silicate on the Mechanical Properties of Fly ash based Geopolymer for Coating. *Materials Science Forum*, 803, 355-361.
- Auqui, N. U., Baykara, H., Rigael, A., Cornejo, M. H., & Villalba, J. L. (2017). An investigation of the effect of migratory type corrosion inhibitor on mechanical properties of zeolite-based novel geopolymers. *Journal of Molecular Structure*, 1146, 814-820.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). SNI-03-6825-2002: Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil. Indonesia: Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional. (2015). Semen Portland. Standar Nasional Indonesia.
- Davidovits, J. (2015). In: *Geopolymer Chemistry And Applications*, fourth ed. Saint-Quentin: Geopolymer Institute.
- De Rossi, A., L, S., Ribeiro, M. J., Novais, R. M., Labrincha, J. A., Hotza, D., & Moreira, R. F. (2019). In-situ synthesis of zeolites by geopolymerization of biomass fly ash and metakaolin. *Materials Letters*, 236, 644-648.
- Elakkiah, C. (2019). Rice Husk Ash (RHA)—The Future of Concrete. *Sustainable Construction and Build Mater*, p:439-447.
- Faradilla, F., Nugroho, D., Hidayati, R., Nurlina, Bayuaji, R., Hartanto, D., & Fansuri, H. (2020). Optimization of SiO₂/Al₂ Ratio in the Preparation of Geopolymer from High Calcium Fly. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 616, 1-7.
- Karim, M., Hossain, M., Khan, M., Zain, M., Jamil, M., & Lain, F. (2014). On the Utilization of Pozzolanic Wastes as an Alternative Resource of Cement. *materials*, 7, 7809-7827.
- Khalid, H. R., Lee, N. K., Abbas, N., & Lee, H. K. (2018). Synthesis of geopolymer-supported zeolites via robust one-step method and their adsorption potential. *Journal of Hazardous Materials*, 353, 522-533.
- Kim, Y. Y., Lee, B.-J., Saraswathy, V., & Kwon, S. J. (2014). Strength and Durability Performance of Alkali-Activated Rice Husk Ash Geopolymer Mortar. *The Scientific World Journal*, 2014, 1-10.
- Mayhoub, O., Nasr, E., Ali, Y., & Kohail, M. (2021). Properties of slag based geopolymer reactive powder concrete. *Ain Shams Engineering Journal*, 12, 99-105.
- Nikolov, A., Rostovsky, I., & Nugteren, H. (2017). Geopolymer materials based on natural zeolite. *Case Studies in Construction Materials*, 6, 198-205.
- Ozen, S., & Uzal, B. (2021). Effect of characteristics of natural zeolites on their geopolymerization. *Case Studies in Construction Materials*, 15, 1-11.
- Papa, E., Medri, V., Amari, S., Manaud, J., Benito, P., Vaccari, A., & Landi, E. (2018). Zeolite-geopolymer composite materials: Production and characterization. *Journal of Cleaner Production*, 171, 76-84.
- Rozeq, P., Krol, M., & Mozgawa, W. (2019). Geopolymer-zeolite composites: A review. *Journal of Cleaner Production*, 230, 557-579.
- Saglamtimur, N. D., Oz, H. O., Bilgil, A., Vural, T., & Suzgec, E. (2019). The effect of alkali activation solutions with different water glass/NaOH solution ratios on geopolymer composite materials. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 660 (1), 012003, 1-9.
- Sihombing, A. P., Afrizal, Y., & Gunawan, A. (2018). Pengaruh Penambahan Arang Batok Kelapa terhadap Kuat Tekan Mortar. *Jurnal Inersia*, 10(No.1), 31-37.
- Subdirektorat Statistik Konstruksi. (2021). *Indikator Konstruksi, Triwulan III-2020*. Jakarta: Badan Pusat Statistik Indonesia.
- Sumarno, A., Prasetyo, A., Budiman, I., Nugroho, A., Maidina, Sari, D., . . . Batubara, J. (2022). Potensi Material Alternatif Pengganti Semen dan Agregat untuk Bahan Baku Industri Beton di Daerah Kabupaten Tanah Laut Kalimantan Selatan. *The 2nd Civil Engineering Research Forum*, 2-13.
- Ulloa, N., Jimenez, M., Serrano, B., & Serrano, C. (2022). Natural zeolite-based geopolymers as alternative building materials. *Revista Ingeniería de Construcción*, 37(1), 5-13.