



Pengaruh Variasi Konsentrasi Larutan NaOH 6M dan 8M Terhadap Penurunan CaCO₃ Pada Mortar Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Nagan Raya

Aiyub¹, Lia Ramadhaniati¹, Fajri*^{1,2}

¹Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, Lhokseumawe, 24301, Indonesia.

²Geopolymer and Green Technology Research Center, Politeknik Negeri Lhokseumawe, Lhokseumawe, 24301, Indonesia.

*Email korespondensi: fajri@pnl.ac.id¹

Diterima November 2020; Disetujui Januari 2021; Dipublikasi Januari 2021

Abstract: The combination of NaOH and Na₂SiO₃ in an alkaline solution is able to react with FA to form Si-O-Si and Si-O-Al gels. Several studies have shown that the high concentration of NaOH causes the appearance of calcium carbonate (CaCO₃) on the surface of the specimen. This problem became the concern of this study, the reduction NaOH concentration was investigated to reduce CaCO₃. The results showed that the chemical composition of FA Nagan Raya (FANR) contained Si, Al, and Ca compounds which were respectively around 37.16%, 17.61%, and 8.72%. XRD analysis shows that the main peaks of the FANR material and paste are in the 20 to 30 2θ region. FTIR analysis showed that the peak of the band 1380cm⁻¹ - 1450cm⁻¹, showed that the CaCO₃ was bent in the FANR paste. The TGA analysis shows that the weight loss of FANR paste is higher than material of FANR. Low NaOH concentration has decreasing workability which causes faster setting time and reduces compressive strength. However, the use of a low concentration of NaOH solution can reduce CaCO₃ on the surface of spesimen.

Keywords: geopolimer, calcium carbonate, fly ash Nagan Raya.

Abstrak: Kombinasi NaOH dan Na₂SiO₃ dalam larutan alkali mampu bereaksi dengan material FA untuk membentuk gel Si-O-Si dan Si-O-Al. Namun, beberapa penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi NaOH yang tinggi menyebabkan munculnya kalsium karbonat (CaCO₃) di permukaan benda uji. Masalah ini menjadi perhatian peneliti dalam penelitian ini dimana pengurangan konsentrasi NaOH diselidiki untuk mengurangi CaCO₃ pada permukaan benda uji geopolimer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi kimia fly ash Nagan Raya (FANR) mengandung senyawa Si, Al, dan Ca yang masing-masing sekitar 37,16%, 17,61%, dan 8,72%. Analisis XRD menunjukkan bahwa puncak utama material dan pasta FANR berada di daerah 20 hingga 30 2θ. Analisis FTIR menunjukkan puncak pita 1380 cm⁻¹ - 1450 cm⁻¹ menunjukkan pembengkokan CaCO₃ yang terjadi pada pasta FANR. Analisis TGA menunjukkan bahwa pengurangan berat pada pasta FANR lebih tinggi dari pada material FANR. Konsentrasi NaOH yang rendah berdampak pada penurunan workability yang menyebabkan setting time lebih cepat dan mengurangi kuat tekan. Namun, penggunaan konsentrasi larutan NaOH yang rendah mampu mengurangi CaCO₃ pada permukaan benda uji.

Kata kunci : geopolimer, kalsium karbonat, fly ash Nagan Raya.

Penggunaan limbah industri yang memiliki kandungan silika dan kalsium diketahui mampu menggantikan sebagian dari pada penggunaan semen. Lebih lanjut, sebagian limbah industri diketahui juga memiliki kandungan alumina yang tinggi selain kandungan silika dan kandungan kalsium. Sehingga sebagian limbah tersebut diperkirakan mampu menggantikan penggunaan semen dalam industri beton (Owaid et al., 2012). Limbah industri lain yang sering digunakan dalam konstruksi seperti karbit dari industri pengelasan (Rahmawati et al., 2020; Rahmawati & Meliyana, 2019), namun jika digunakan sebagai pengganti semen harus dilakukan pengujian karakteristiknya.

Teknologi ini dikenal dengan istilah teknologi geopolimer atau *Green Technology* yang diketahui memiliki rekam jejak pelepasan CO₂ yang lebih rendah dibandingkan dengan semen. Penelitian ini mencoba untuk menurunkan kadar kalsium karbonat pada permukaan benda uji dengan menurunkan konsentrasi larutan NaOH pada campuran geopolimer. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mempelajari potensi pemanfaatan FA sebagai bahan dasar geopolimer.

KAJIAN PUSTAKA

Konsep geopolimer pertama kali diperkenalkan oleh Joseph Davidovits pada 1980-an. Konsep ini merupakan bentuk baru dari polimer anorganik untuk silikat alumino yang dibuat pada lingkungan alkali. Proses geopolimerisasi terjadi karena reaksi kimia antara oksida alumino-silikat dan larutan logam alkali dalam kondisi yang sangat basa. Sumber alumino-silikat ditemukan dalam bahan limbah industri seperti abu terbang atau dikenal dengan nama *Fly Ash (FA)* (Davidovits,

2013). Material FA adalah limbah dari pembakaran batu bara pada tungku pembakaran yang dapat menghasilkan energi listrik. Material FA diketahui paling sering digunakan sebagai material dalam geopolimer dikarenakan kaya akan kandungan Si, Al dan Ca dimana volume material dalam jumlah besar dapat ditemukan pada setiap mesin pembangkit listrik pada PLTU-PLTU yang ada. Melalui teknologi geopolimer, diketahui pelepasan emisi CO₂ dapat dikurangi hingga 80% dibandingkan dengan penggunaan semen portland (Singh, 2018).

Selanjutnya, penambahan Larutan Alkali (LA) seperti larutan natrium hidroksida (NaOH) dan larutan kalium hidroksida (KOH), membawa efek berbeda dari kekuatan tekan geopolimer. LA NaOH dapat menghasilkan kekuatan tekan geopolimer yang lebih tinggi dibandingkan larutan KOH. Larutan natrium hidroksida dalam LA dapat mengaktifkan Si dan Al oksida dalam proses geopolimerisasi untuk membentuk monomer pembentuk geopolimer (Davidovits, 1998). Namun, penggunaan konsentrasi NaOH yang tinggi diperkirakan dapat menyebabkan munculnya kalsium karbonat (CaCO₃). Ini terlihat pada permukaan benda uji dengan kemunculan warna putih pada permukaannya. Semakin sedikit kandungan silika dan aluminat semakin banyak bereaksi dengan OH⁻ dimana HO-Si berikatan dengan {AlO₄}⁻ Na⁺ membentuk Si-O-Al dan melepaskan NaOH. NaOH inilah yang bereaksi kembali dengan udara membentuk Na₂CO₃ dan CaCO₃ berupa endapan putih (Chindaprasirt et al., 2012).

METODE PENELITIAN

Penyelidikan ini akan mengevaluasi struktur partikel dari material dan membahas sifat kimia serta pengikat pada pasta geopolimer yang akan dianalisis dengan menggunakan alat *X-Ray Fluorescence* (XRF), *x-ray diffraction* (XRD), *Thermo Gravimetri Analysis* (TGA), dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Perencanaan *mix design* dalam penelitian ini bertujuan untuk menghitung proporsi material-material penyusun mortar geopolimer. Berdasarkan hasil dari pengujian karakteristik mortar menunjukkan bahwa material FA dapat digunakan sebagai material dalam campuran mortar, sehingga dapat ditentukan kebutuhan total volume material untuk pembuatan benda uji. Material yang digunakan untuk membuat mortar geopolimer adalah material yang berasal dari limbah pembakaran batu bara (*fly ash*) yang dijadikan sebagai alternatif pengganti semen pada mortar geopolimer. Sedangkan material lainnya merupakan campuran larutan natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat (Na_2SiO_3) dengan rasio tertentu sebagai aktivator alkali yang digunakan secara bersama-sama dengan material utama untuk pengikat material lainnya. Material *fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fly ash* yang berasal dari PLTU Nagan Raya, Aceh.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Material

1. Komposisi Kimia Material Fly Ash Nagan Raya (FANR)

Untuk komposisi kimia terhadap FA yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

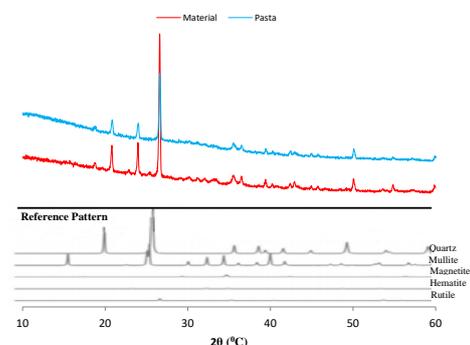
Table 1 Persentase Komposisi Kimia dari FANR

Senyawa Kandungan	Persentase Kandungan (%)
Si	37,16
Al	17,61
Fe	18,79
Ca	8,72
Na	0,468
K	0,788
Ti	0,747
Mg	6,43
P	0,139
S	1,96

Analisis komposisi kimia diselidiki oleh X-ray fluorescence (XRF). Dari Tabel 1 diatas menunjukkan *Fly Ash* Nagan Raya (FANR) mengandung Si, Al dan Ca yaitu masing-masing 37,16%, 17,61% dan 8,72%. Kandungan kimia ini berperan membentuk gel geopolimerisasi. Senyawa Si dan Al dikategorikan dalam senyawa kaya yang menghasilkan gel kuat Si-O-Si dan Si-O-Al dalam pasta. Kandungan silika FANR hasil studi ini lebih besar dari hasil studi (Rahmawati et al., 2021) yaitu sebesar 21,07%.

a. Analisis Kristal pada Material dan Pasta Geopolimer

Identifikasi kristal material dan pasta geopolimer diselidiki oleh analisis XRD seperti yang terlihat pada Gambar 1 penelitian ini menggambarkan kinerja (FANR) dari material ke dalam pasta geopolimer.



Gambar 1 Pola XRD Dalam Bentuk material dan pasta Pada FANR

Penyebaran puncak ini merujuk ke basis data yang tersimpan dalam database XRD dimana gambar puncak disesuaikan dengan data base tersebut. Dari gambar 4.2 terlihat bahwa puncak utama dari material dan pasta FANR berada pada daerah 20 sampai 30 2θ . Daerah ini menunjukkan bahwa material dan pasta FANR memiliki komposisi kimia utama pada Quartz (Si) sedangkan pada puncak-puncak yang kecil menunjukkan adanya senyawa kimia Mullite (Fe) dan Magnetite (Al). Ini sesuai dengan hasil yang diperoleh pada pengujian XRF yang menunjukkan bahwa material FANR kaya akan kandungan utama Si, sedangkan kandungan Fe dan Al tersedia dalam jumlah yang cukup. Lebih lanjut, pasta FANR menunjukkan hal yang sama yang menjelaskan bahwa material FANR dapat dijadikan sebagai pasta dalam ikatan geopolimer. Ini berarti material FANR memiliki tingkat geopolimerisasi yang tinggi dalam membentuk pasta. Hal ini dikaitkan dengan pembentukan gel Si-O-Si dan Si-O-Al yang dihasilkan oleh reaksi alkali dari jenis natrium dan unsur Si dan Al yang terandung dalam bahan tersebut. Pasta ini berperan sebagai pengikat dalam sistem geopolimerisasi yang berkontribusi terhadap sifat mekanik geopolimer.

b. Identifikasi Ikatan Material dan Pasta Geopolimer

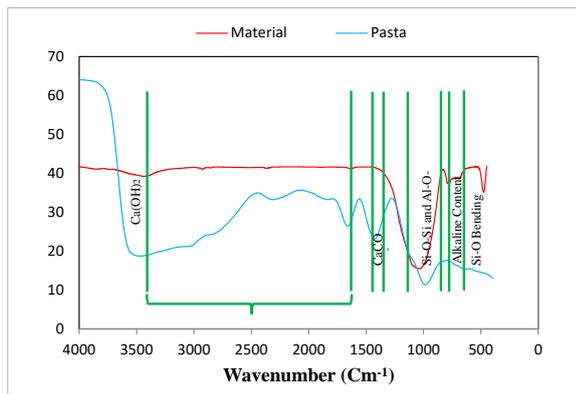
Identifikasi ikatan kimia dari material dan pasta FANR diilustrasikan pada Gambar 2. Gambar tersebut menunjukkan bahwa puncak pita pada daerah gelombang di atas 3440 cm^{-1} menunjukkan keberadaan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ di material dan pasta. Hal ini menjelaskan material FANR berkontribusi terhadap senyawa kimia $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang diperkirakan menyebabkan karbonasi pada pasta geopolimer

selama bereaksi dengan CO_2 .

Puncak pita di daerah gelombang 1630 cm^{-1} – 3440 cm^{-1} menunjukkan peregangan dan pembengkokan ikatan H_2O . Tercatat bahwa material dan pasta FANR memiliki puncak sebanyak 3 dan 5. Ini berarti ada peningkatan jumlah puncak pita dari material FANR ke pasta geopolimer yang menjelaskan adanya kandungan air yang dimiliki oleh pasta FANR dibandingkan dengan material FANR.

Puncak pita di daerah gelombang 1380 cm^{-1} – 1450 cm^{-1} menunjukkan peregangan CaCO_3 (Kalsium Karbonat). Dari gambar 2 terlihat bahwa tidak ada kehadiran CaCO_3 di daerah material namun kandungan tersebut terdapat pada pasta FANR. Ini mendukung penjelasan pada daerah gelombang sebelumnya yang menjelaskan bahwa permukaan FANR yang berkabut menyerap lebih banyak larutan basa dalam campuran segar geopolimer.

Puncak pita di daerah bilangan gelombang 880 cm^{-1} – 1140 cm^{-1} menunjukkan peregangan Si-O-Si dan Si-O-Al. Puncak pita ini terlihat jelas muncul pada material dan pasta geopolimer. Dapat disimpulkan bahwa material FANR memiliki potensi sebagai material dalam geopolimer sebagaimana disebutkan dalam analisis kimia. Lebih lanjut, peregangan yang sama dalam pasta menunjukkan bahwa material FANR mampu bereaksi dengan LA untuk membentuk gel Si-O-Si dan Si-O-Al yang berkontribusi terhadap pengikat dalam geopolimer.



Gambar 2. Identifikasi Bentuk Ikatan Kimia FANR material dan pasta

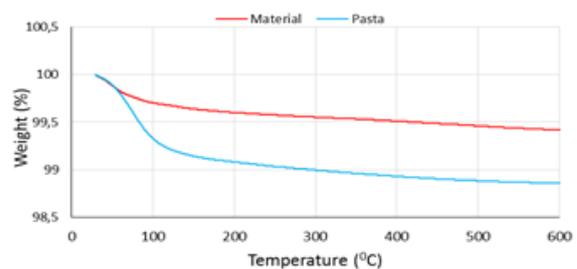
Puncak pita di daerah gelombang 680cm^{-1} - 800cm^{-1} menunjukkan adanya kandungan alkali seperti terlihat pada Gambar 2 diketahui bahwa jumlah puncak pita pada pasta geopolimer sebanyak 2 buah dan pada material FANR sebanyak 1 buah. Hal ini disebabkan oleh permukaan berkabut dari partikel FANR yang menyerap lebih banyak LA sehingga meninggalkan kandungan alkali pada permukaan pasta geopolimer.

Puncak pita pada daerah bilangan gelombang di bawah 680 cm^{-1} menunjukkan pembengkokan Si-O. Terlihat pada Tabel 4.3 bahwa puncak pita pada pasta geopolimer sebanyak 2 buah sedangkan pada material FANR sebanyak 1 buah. Hal ini disebabkan lebih banyak kandungan Si dalam material FANR sehingga kandungan Si yang bersisa tidak mendapatkan porsi untuk bereaksi dengan kandungan Al.

c. Analisis Aliran Termal Material dan pasta Geopolimer

Aliran termal diselidiki oleh Analisis Termogravimetri (TGA) yang hasilnya dianalisis dengan penurunan berat sampel. Gambar 3 menunjukkan penurunan berat material dan pasta

FANR seiring dengan peningkatan suhu kalsinasi. Penurunan berat material dan pasta FANR pada suhu 20°C hingga 100°C sebesar 0,3% dan 0,67%. Penurunan ini menunjukkan kondisi penguapan ikatan air secara fisik.

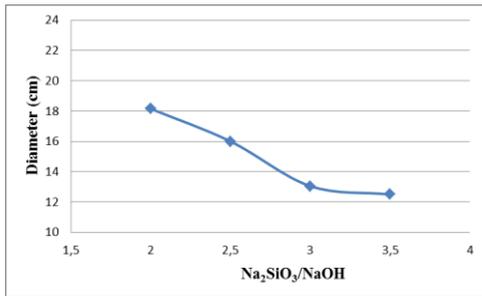


Gambar 3. Penurunan Berat Sampel Material FANR Pada Bentuk Material dan Pasta

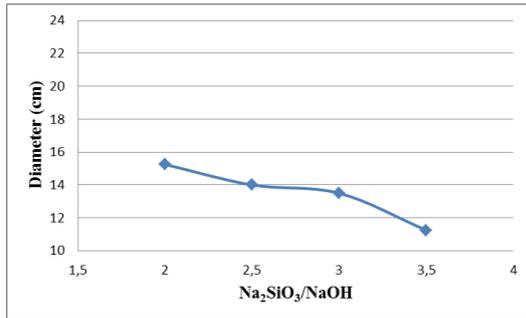
Penurunan berat pada suhu 100°C hingga 300°C sebesar 0,15% dan 0,34%. Penurunan ini menunjukkan kondisi penguapan ikatan air secara kimia. Penurunan berat pada suhu di atas 300°C sebesar 0,28% dan 0,47%. Penurunan ini menunjukkan dihidroksilasi gugus OH yang terjadi dengan polikondensasi yang selanjutnya menjadi ikatan siloxo Si-O-Si dengan menghubungkan jaringan rantai geopolimer. Tercatat pada penurunan berat di semua titik kalsinasi menunjukkan bahwa penurunan berat pasta FANR lebih tinggi daripada material FANR. Hal ini dikaitkan dengan banyaknya LA dalam pasta yang menyebabkan lebih banyak penguapan air. Sedangkan material FANR masih dalam kondisi kering.

Workability

Workability merupakan campuran geopolimer segar yang dipengaruhi oleh permukaan partikel dari material. Permukaan FANR yang berkabut menyebabkan penyerapan LA oleh permukaan partikel FANR yang menyebabkan terjadinya penurunan *workability*.

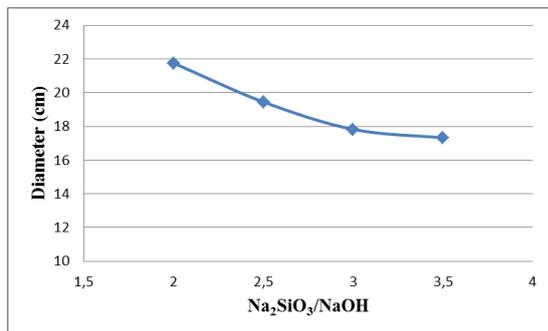


(Gambar 4a LA/FA = 1,1)

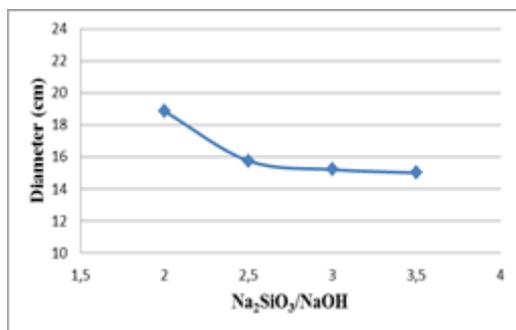


(Gambar 4b. LA/FA = 1,0)

Gambar 4. Workability Geopolimer Mortar Molaritas 6



(Gambar 5a. LA/FA = 1,1)



(Gambar 5b. LA/FA = 1,0)

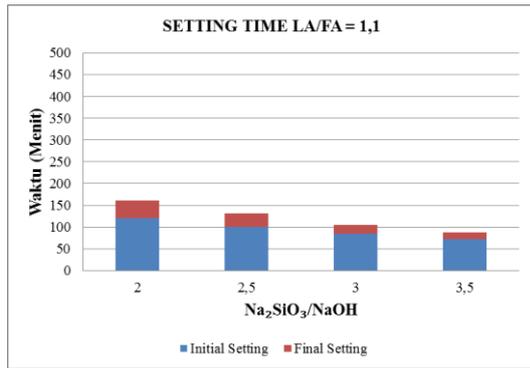
Gambar 5. Workability Geopolimer Mortar Molaritas 8

Pada gambar 4 dan 5 terlihat bahwa semakin tinggi rasio antara LA terhadap FA maka semakin rendah nilai *workability*. Selanjutnya, pada molaritas 6 dan 8 menunjukkan bahwa semakin tinggi rasio antara Na₂SiO₃ terhadap NaOH akan menyebabkan penurunan *workability*. Hal ini berkaitan dengan rasio tinggi Na₂SiO₃/NaOH berkontribusi terhadap sifat viskos yang lebih kental pada campuran geopolimer segar. Sehingga, kedua parameter ini menyebabkan pengurangan *workability* dalam campuran geopolimer segar.

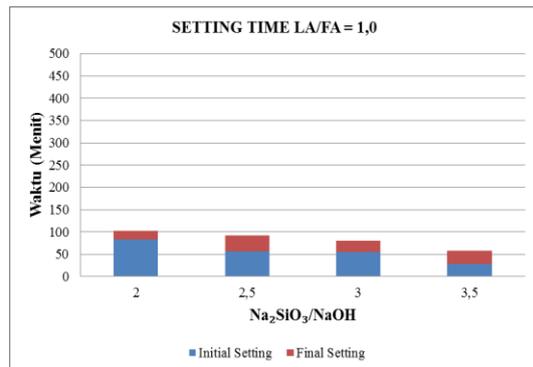
Setting Time

Optimalisasi konsentrasi NaOH dengan rasio Na₂SiO₃/NaOH pada *setting time* diperlukan untuk memahami proses geopolimer dari keadaan plastis ke keadaan statis (mengeras). *Setting time* dari campuran geopolimer segar tergantung pada kandungan Ca dari material dan larutan basa dalam campuran geopolimer segar. Diketahui bahwa konsentrasi larutan NaOH yang tinggi dan rasio larutan Na₂SiO₃/NaOH menyebabkan penurunan *setting time* pada geopolimer. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi tinggi larutan NaOH pada material FANR tidak menyebabkan peningkatan laju disolusi sehingga tidak berpengaruh terhadap percepatan *setting time* mortar geopolimer segar.

Lebih lanjut, rasio tinggi larutan Na₂SiO₃/NaOH menyebabkan campuran geopolimer segar lebih kental sehingga akan menjadi lebih kaku dan akan mengeras dalam waktu singkat.

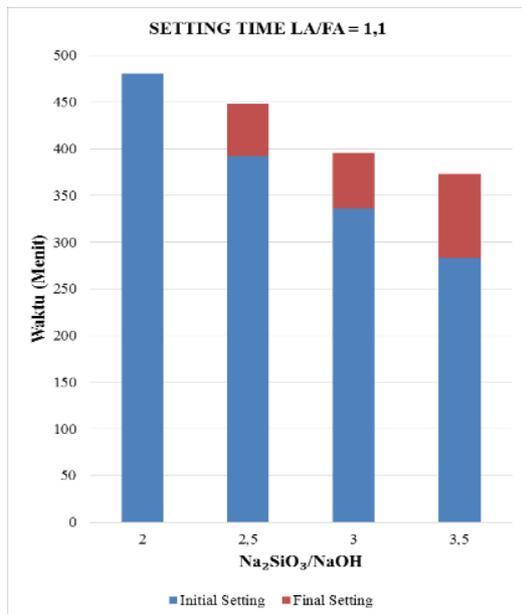


(Gambar 6a. LA/FA = 1,1)

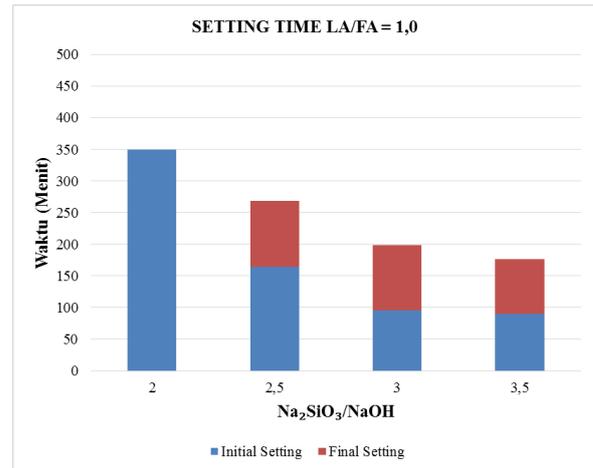


(Gambar 6b. LA/FA = 1,0)

Gambar 6. Setting time Mortar Geopolimer Molaritas 6



(Gambar 7a. LA/FA = 1,1)



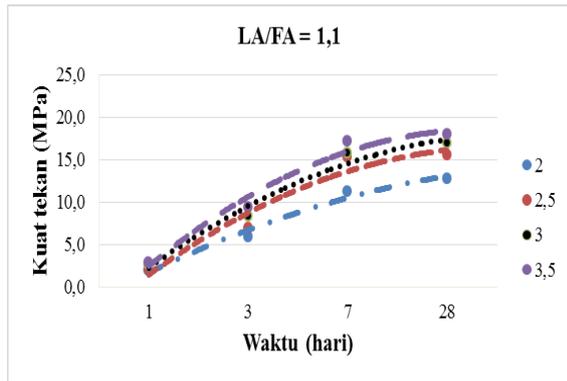
(Gambar 7b. LA/FA = 1,0)

Gambar 6. Setting time Mortar Geopolimer Molaritas 8

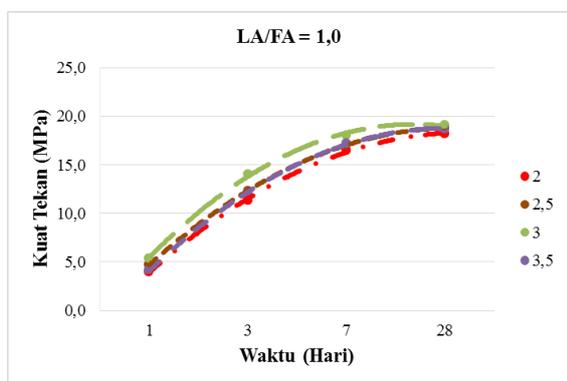
Berdasarkan gambar 6 dan 7 terlihat semakin meningkat rasio Na_2SiO_3 terhadap NaOH maka semakin menurun *final setting time*. Hal ini sesuai dengan nilai *workability* yang menunjukkan bahwa semakin tinggi rasio Na_2SiO_3 terhadap NaOH maka campuran geopolimer segar semakin kental, sehingga waktu *setting time* terjadi lebih cepat. Lebih lanjut, pada molaritas 8 *setting time* terjadi lebih lambat dibandingkan dengan molaritas 6. Hal ini menunjukkan bahwa molaritas yang tinggi pada materail FANR tidak menyebabkan peningkatan laju disolusi sehingga tidak mempengaruhi *setting time*.

Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dalam penelitian ini digunakan benda uji kubus beton mortar geopolimer berukuran 50 mm x 50 mm x 50 mm. Untuk efek penggantian POFA pada kuat tekan dengan larutan alkali yang sama dan untuk rasio pengikat yang sama dapat dilihat pada Gambar 8. Hasil kuat tekan yang didapat adalah berdasarkan benda uji tersebut. Berikut hasil pengujian kuat tekan dari beton mortar geopolimer.



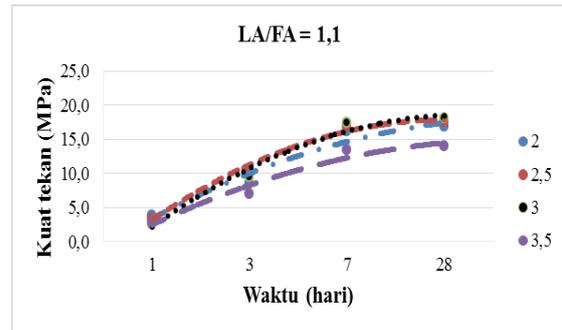
(Gambar 8a. LA/FA = 1,1)



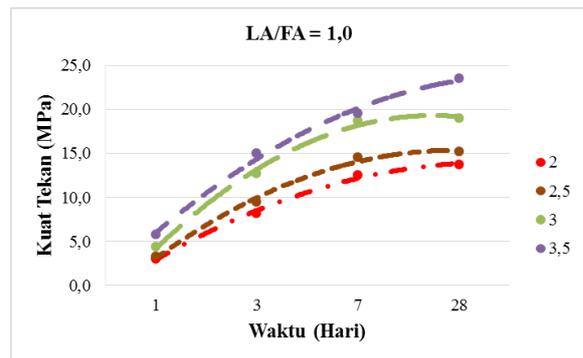
(Gambar 8b. LA/FA = 1,0)

Gambar 8. Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar Geopolimer Molaritas 6

Gambar 8a dan 8b menunjukkan hasil pengujian kuat tekan mortar geopolimer pada molaritas 6 dengan variasi rasio LA terhadap FANR 1.1 dan 1.0. kuat tekan optimum pada rasio LA terhadap FANR 1.1 sebesar 18.0 yang terjadi pada rasio Na_2SiO_3 terhadap NaOH 3.5, sedangkan kuat tekan optimum pada rasio AS terhadap FANR 1.0 sebesar 19.1 yang terjadi pada rasio Na_2SiO_3 terhadap NaOH 3.0. Selain itu, terlihat bahwa kuat tekan optimum pada rasio LA terhadap FANR 1.0 lebih tinggi dibandingkan rasio LA terhadap FANR 1.1. Ini dikarenakan semakin rendah rasio LA terhadap FANR semakin maksimal reaksi yang terjadi sehingga tidak menyebabkan pori di dalam mortar.



(Gambar 9a. LA/FA = 1,1)



(Gambar 9b. LA/FA = 1,0)

Gambar 9. Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar Geopolimer Molaritas 8

Gambar 9a dan 9b menunjukkan hasil pengujian kuat tekan mortar geopolimer pada molaritas 8 dengan variasi rasio LA terhadap FANR 1.1 dan 1.0. Kuat tekan optimum pada rasio LA terhadap FANR 1.1 sebesar 18.1 yang terjadi pada rasio Na_2SiO_3 terhadap NaOH 3.0, sedangkan kuat tekan optimum pada rasio LA terhadap FANR 1.0 sebesar 23,5 yang terjadi pada rasio Na_2SiO_3 terhadap NaOH 3.5. Selain itu, pada molaritas 8 juga terlihat bahwa kuat tekan optimum pada rasio LA terhadap FANR 1.0 lebih tinggi dibandingkan rasio LA terhadap FANR 1.1. Ini dikarenakan alasan yang sama dengan molaritas 6 yang menjelaskan bahwa semakin rendah rasio LA terhadap FANR semakin maksimal reaksi yang terjadi sehingga tidak menyebabkan pori di dalam mortar. Selain itu, terlihat juga bahwa kuat tekan

molaritas 8 lebih tinggi dibandingkan dengan molaritas 6. Hal ini disebabkan molaritas tinggi membantu pembentukan gel Si-O-Si dan gel Si-O-Al.

Pengamatan Visual CaCO_3

Berdasarkan hasil penelitian yang terdapat pada tabel 3 dapat dilihat bahwa semakin rendah rasio Na_2SiO_3 terhadap NaOH semakin sedikit Kalsium Karbonat (CaCO_3) pada permukaan benda uji. Hal ini dikarenakan semakin rendah rasio Na_2SiO_3 terhadap NaOH semakin banyak penggunaan larutan NaOH yang mana ini juga menaikkan jumlah air. Larutan NaOH akan banyak yang terlarut dengan Na_2SiO_3 dimana jumlah air yang banyak akan menguap dan NaOH yang tertinggal menjadi sedikit.

Lebih lanjut munculnya CaCO_3 di permukaan benda uji pada rasio LA terhadap FANR 1,0 terlihat lebih sedikit dibandingkan dengan rasio LA terhadap FANR 1,1. Hal ini disebabkan karena kandungan LA pada rasio LA terhadap FANR 1,0 lebih sedikit dibandingkan kandungan LA pada rasio LA terhadap FANR 1,1.

Selanjutnya munculnya CaCO_3 di permukaan benda uji pada molaritas 6 lebih sedikit dibandingkan dengan molaritas 8. Hal ini menunjukkan bahwa molaritas rendah larutan NaOH berdampak pada pengurangan CaCO_3 pada permukaan benda uji. Molaritas rendah dalam jumlah air yang sama pada penguapan juga akan meninggalkan NaOH yang sedikit.

Tabel 3 Pengamatan Visual CaCO_3
(Tabel 3a. Molaritas 6)

FA/AS	Rasio	1 Hari	7 Hari	28 Hari	84 Hari
1,0	2				
	2,5				
	3				
	3,5				
1,1	2				
	2,5				
	3				
	3,5				

(Tabel 3b. Molaritas 6)

FA/AS	Rasio	1 Hari	7 Hari	28 Hari	84 Hari
1,0	2				
	2,5				
	3				
	3,5				
1,1	2				
	2,5				
	3				
	3,5				

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Konsentrasi larutan NaOH molaritas rendah mampu mengurangi Kalsium Karbonat (CaCO_3) pada permukaan benda uji. CaCO_3 yang muncul di permukaan benda uji molaritas 6 lebih sedikit dibandingkan CaCO_3 yang muncul di permukaan benda uji molaritas 8.

Konsentrasi larutan NaOH molaritas rendah berpengaruh pada karakteristik mekanik geopolimer. Kuat tekan pada molaritas 6 lebih rendah dibandingkan dengan kuat tekan pada molaritas 8. Hal ini disebabkan molaritas tinggi membantu pembentukan gel Si-O-Si dan gel Si-O-Al.

Saran

Sebaiknya waktu untuk mengevaluasi munculnya CaCO_3 lebih lama, untuk melihat perbedaan yang lebih signifikan antar benda uji. Mencari metode yang tepat untuk menghitung kadar CaCO_3 yang muncul pada permukaan benda uji.

DAFTAR PUSTAKA

Chindaprasirt, P., De Silva, P., Sagoe-Crentsil, K., & Hanjitsuwan, S. (2012). Effect of SiO_2 and Al_2O_3 on the setting and hardening of high calcium fly ash-based geopolymer systems. *Journal of Materials Science*. <https://doi.org/10.1007/s10853-012-6353-y>

Davidovits, J. (1998). Geopolymer chemistry and properties. *1st European Conference on Soft Mineralogy, Compiegne, France, 1*, 25–48.

Davidovits, J. (2013). Geopolymer Cement a review. *Geopolymer Science and Technics*.

Owaid, H. M., Hamid, R. B., & Taha, M. R. (2012). A review of sustainable supplementary cementitious materials as an alternative to all-portland cement mortar and concrete. In *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* (Vol. 6, Issue 9, pp. 287–303).

Rahmawati, C., Aprilia, S., Saidi, T., & Aulia, T. B. (2021). Mineralogical, Microstructural and Compressive Strength Characterization of Fly Ash as Materials in Geopolymer Cement. *Elkawnie*, 7(1), 1–17.

Rahmawati, C., & Meliyana, M. (2019). Potensi Limbah Karbit Sebagai Pengganti Semen Pada Bata Ringan. *Seminar Nasional Multi Disiplin Ilmu Universitas Asahan*, 627–635.

Rahmawati, C., Meliyana, M., Thufail, I., Muhtadin, M., & Faisal, M. (2020). Impact of Fire on Mechanical Properties of Lightweight Bricks Containing Calcium Carbide Residue. *Jurnal Inotera*, 5(2), 129–138.

Singh, N. B. (2018). Fly ash-based geopolymer binder: A future construction material. In *Minerals* (Vol. 8, Issue 7). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/min8070299>