



Perbandingan Karakteristik Mortar Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Nagan Raya Terhadap Mortar Konvensional Dengan FAS 0,5

Aiyub¹

¹Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe, 24301

*Email korespondensi : Aiyubts9@gmail.com

Diterima April 2022; Disetujui Juni 2022; Dipublikasi Juli 2022

Abstract: Alumina (Al) and silica (Si) compounds in Nagan Raya fly ash (FANR) greatly affect the characteristics of geopolymer mortar so that it can be compared to conventional mortar using OPC Semen Padang (OPCSP) with FAS 0.5. This study aims to obtain the optimum composition of geopolymer mortar using Nagan Raya fly ash, so that it can be compared to conventional mortar using OPC with FAS 0.5. This test is carried out using the parameters of workability, setting time and compressive strength in conventional mortar. Alkaline solution was prepared using 10M NaOH solution, the ratio of alkaline solution to FANR was 1.0 and 1.1, respectively, with the ratio of Na₂SiO₃ to NaOH 2, respectively; 2.5; 3; and 3.5. The results show that the optimum workability of geopolymer mortar is 19.15 cm where this workability is close to the workability of conventional mortar of 19.2 cm, the optimum setting time of geopolymer mortar is 165 minutes where this setting time is close to the conventional mortar setting time of 191 minutes and the optimum compressive strength of mortar. geopolymer obtained at 28.86 MPa where the compressive strength is close to the compressive strength of conventional mortar of 34.38 MPa. So that geopolymer mortar based on FANR is still feasible to use and has a characteristic approach to conventional mortar made from OPCSP with FAS 0.5.

Keywords: geopolymer mortar, workability, setting time, compressive strength

Abstrak: Senyawa alumina (Al) dan silika (Si) pada fly ash Nagan Raya (FANR) sangat mempengaruhi karakteristik mortar geopolimer agar dapat disetarakan dengan mortar konvensional yang menggunakan OPC Semen Padang (OPCSP) dengan FAS 0,5. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan komposisi optimum dari mortar geopolimer yang menggunakan fly ash Nagan Raya, agar dapat disetarakan dengan mortar konvensional yang menggunakan OPC dengan FAS 0,5. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan parameter *workability*, *setting time* dan kuat tekan yang ada pada mortar konvensional. Larutan alkali dipersiapkan dengan menggunakan larutan NaOH 10M, rasio larutan alkali terhadap FANR berturut-turut sebesar 1,0 dan 1,1 dengan rasio Na₂SiO₃ terhadap NaOH berturut-turut sebesar 2; 2,5; 3; dan 3,5. Hasil menunjukkan bahwa *workability* optimum mortar geopolimer diperoleh sebesar 19,15 cm dimana *workability* ini mendekati *workability* mortar konvensional sebesar 19,2 cm, *setting time* optimum mortar geopolimer diperoleh sebesar 165 menit dimana *setting time* ini mendekati *setting time* mortar konvensional sebesar 191 menit dan kuat tekan optimum mortar geopolimer diperoleh sebesar 28,86 MPa dimana kuat tekan ini mendekati kuat tekan mortar konvensional sebesar 34,38 MPa. Sehingga mortar geopolimer berbahan dasar FANR masih layak digunakan dan memiliki pendekatan karakteristik terhadap mortar konvensional berbahan OPCSP dengan FAS 0,5.

Kata Kunci: mortar geopolimer, *workability*, *setting time*, kuat tekan

Penggunaan limbah industri sebagai ikatan dalam beton dapat berupa *pozzolanic* yaitu material yang mempunyai kandungan kimia silika (Si) dan alumina (Al) yang tinggi akan bereaksi bersama-sama dengan *ordinary portland cement* (OPC) membentuk ikatan C-S-H. Dalam hal ini, penggunaan limbah industri sebagai ikatan dalam beton dapat menggantikan sebagian penggunaan OPC. Selain itu, penggunaan limbah industri juga mampu menggantikan seluruh OPC sebagai ikatan dalam beton. Hal ini dilakukan dengan menggunakan teknologi geopolimer. Teknologi ini diketahui memiliki rekam jejak pelepasan CO₂ yang lebih rendah dibandingkan dengan OPC sehingga termasuk dalam teknologi ramah lingkungan (*green technology*). Material yang berasal dari limbah industri memiliki syarat khusus dalam hal kandungan kimia diantaranya kaya Si, Al dan Ca. Dalam reaksi geopolimer, kandungan Si dan Al akan membentuk ikatan gel Si-O-Al dan Si-O-Si yang akan berkontribusi terhadap karakteristik mekanik beton sedangkan kandungan Ca akan membentuk ikatan gel C-A-S-H atau N-A-S-H yang akan berkontribusi terhadap lamanya perkerasan (Komnitsas dan Zaharaki, 2007).

Material abu terbang (*fly ash*) Nagan Raya merupakan limbah terbuang yang dihasilkan dari pembakaran batu bara pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Nagan Raya yang kaya akan kandungan silika (Si), alumina (Al), besi (Fe) dan kalsium (Ca) yang dapat menggantikan semen sebagai bahan pengikat melalui teknologi geopolimer (Alvee., 2022). Meskipun, penelitian beton geopolimer sudah lebih dari dua dekade, namun belum ada satu standarpun yang menjadi referensi dari beton geopolimer. Sehingga

penelitian ini dipersiapkan untuk melakukan pendekatan karakteristik standar mortar geopolimer yang menggunakan *fly ash* Nagan Raya (FANR) dengan mengacu kepada beton konvensional yang menggunakan OPC Semen Padang (OPCSP) dengan FAS 0,5. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan komposisi optimum dari mortar geopolimer yang menggunakan FANR, agar dapat disetarakan dengan mortar konvensional yang menggunakan OPCSP dengan FAS 0,5.

METODOLOGI

Penyelidikan ini akan mengevaluasi struktur partikel dari material FANR dan OPCSP dan membahas sifat kimia serta pengikat pada pasta geopolimer dan pasta konvensional yang akan dianalisis dengan menggunakan alat *X-Ray Fluorescence* (XRF), *X-ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infrared* (FTIR), dan *Thermo Gravimetri Analysis* (TGA).

Material yang digunakan untuk membuat mortar geopolimer adalah *fly ash* yang berasal dari PLTU Nagan Raya, campuran larutan natrium hidroksida (NaOH) 10M dan natrium silikat (Na₂SiO₃) dengan rasio tertentu sebagai larutan alkali (LA), dan pasir. Sedangkan material untuk membuat mortar konvensional adalah OPC bemerek Semen Padang, pasir, dan air.

HASIL DAN PEMBAHASAN

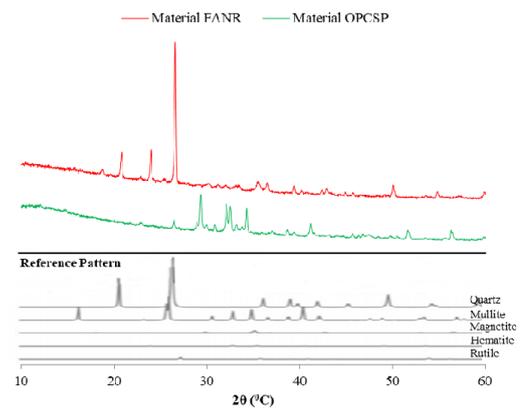
A. Karakteristik Material

1. Komposisi kimia material

Untuk komposisi kimia terhadap material FANR dan OPCSP yang digunakan.

Tabel 1. Persentase Komposisi Kimia dari FANR dan OPCSP

Senyawa	FANR (%)	OPCSP (%)
Si	37,16	21,94
Al	17,61	5,46
Fe	18,79	3,43
Ca	8,72	65,07
Mg	6,43	0,78
S	1,96	1,7
Na	0,47	-
LOI	8,86	1,62



Gambar 1. Grafik XRD dari Material FANR dan Material OPCSP

Analisis komposisi kimia diselidiki oleh *x-ray fluorescence* (XRF). Dari Tabel 1 diatas menunjukkan kandungan kimia FANR terdiri dari senyawa Si, Al dan Ca 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 binder. Lebih lanjut, pada material OPCSP komposisi kimia Si sebesar 21,94%, Al sebesar 5,46% dan Ca sebesar 65,07% akan membentuk ikatan dalam bentuk C-S-H dan C-A-H yang berkontribusi terhadap kuat tekan dan *setting time*. Pada material OPCSP terlihat tidak hadirnya komposisi kimia alkali Na. Ini menunjukkan bahwa material OPCSP tidak menghasilkan karbonasi pada mortar konvensional sebanyak yang ada pada mortar geopolimer.

2. Analisis kristal material

Analisa Kristal pada material FANR dan OPCSP diinvestigasi dengan menggunakan alat *x-ray diffraction* (XRD), puncak yang terlihat pada gambar akan mengacu pada data base yang ada pada alat XRD.

Material FANR kaya akan kandungan silika (Si) dan alumina (Al). Sedangkan pada material OPCSP kandungan Si dan Al tidak sebanyak yang terkandung pada material FANR. Kandungan Si dan Al pada material FANR pada pasta geopolimer akan bereaksi dengan larutan alkalin membentuk ikatan gel Si-O-Si dan Si-O-Al, sedangkan kandungan Si dan Al pada material OPCSP pada pasta konvensional akan bereaksi dengan H₂O membentuk C-S-H dan C-A-H.

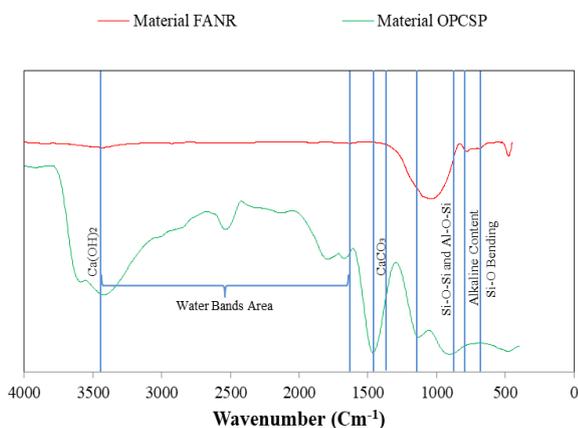
3. Identifikasi ikatan material

Identifikasi ikatan kimia dari material FANR dan OPCSP diilustrasikan pada Gambar 2. tersebut menunjukkan bahwa puncak pita pada area di atas 3440 cm⁻¹ menunjukkan keberadaan Ca(OH)₂ pada material. Jumlah puncak pita pada material FANR sebanyak 1 buah sedangkan pada OPCSP sebanyak 2 buah. Ini menunjukkan bahwa material OPCSP memiliki kandungan Ca(OH)₂ lebih banyak yang mengindikasikan karbonasi yang lebih tinggi pada material FANR. Ini sesuai dengan hasil senyawa kimia yang terdapat pada analisis senyawa kimia yang menjelaskan bahwa kandungan kimia OPCSP kaya akan kandungan

kalsium (Ca).

Puncak pita di area $3440\text{ cm}^{-1} - 1630\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan peregangan dan pembengkokan ikatan H_2O . Tercatat bahwa material FANR dan OPCSP memiliki puncak pita sebanyak 3 dan 8 buah. Ini berarti jumlah puncak pita material OPCSP lebih banyak dibandingkan material FANR. Hal ini dikaitkan dengan cairan yang digunakan untuk mengikat material OPCSP berasal dari air (H_2O) sedangkan material FANR diikat dengan larutan alkali yang mengandung sedikit air.

Puncak pita di area gelombang $880\text{ cm}^{-1} - 1440\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan peregangan Si-O-Si dan Si-O-Al. Jumlah puncak pita material FANR dan OPCSP adalah sekitar 1 dan 2. Ini dapat disimpulkan bahwa material OPCSP lebih memiliki kemampuan untuk membentuk ikatan Si-O-Si dan Si-O-Al dibandingkan material FANR.



Gambar 2. Grafik FTIR Material FANR dan OPCSP

Alasan ini juga didukung dengan hasil yang terdapat dalam senyawa kimia yang menjelaskan rasio kandungan Si terhadap Al pada OPCSP lebih besar dibandingkan FANR sehingga gel Si-O-Si dan Si-O-Al yang terbentuk lebih banyak.

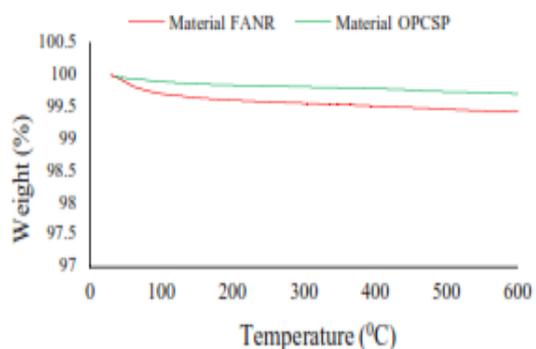
Puncak pita di area gelombang $680\text{ cm}^{-1} - 800\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya kandungan alkali.

Diketahui bahwa jumlah puncak pita pada material FANR adalah 1 buah dan tidak ada puncak pita pada material OPCSP. Hal ini sesuai dengan hasil senyawa kimia yang diperoleh dari analisa XRF yang mencantumkan komposisi kimia Na pada material FANR tapi tidak terkandung pada material OPCSP.

Puncak pita pada area gelombang di bawah 680 cm^{-1} menunjukkan pembengkokan Si-O (Rahmawati et al., 2021). Terlihat pada gambar bahwa puncak pita pada material FANR dan OPCSP sebanyak masing-masing 1 buah. Ini menunjukkan bahwa material FANR dan OPCSP memiliki kandungan Si.

4. Analisis aliran termal material

Kehilangan berat pada material diselidiki oleh thermo gravimetri analisis (TGA) yang hasilnya dianalisa dengan melihat kehilangan berat air pada material. Gambar 3 menunjukkan penurunan berat material FANR dan OPCSP seiring dengan peningkatan suhu kalsinasi. Penurunan berat material FANR dan OPCSP pada suhu 200°C hingga 1000°C sebesar 0,3% dan 0,11%.



Gambar 3. Grafik TGA Material FANR dan Material OPCSP

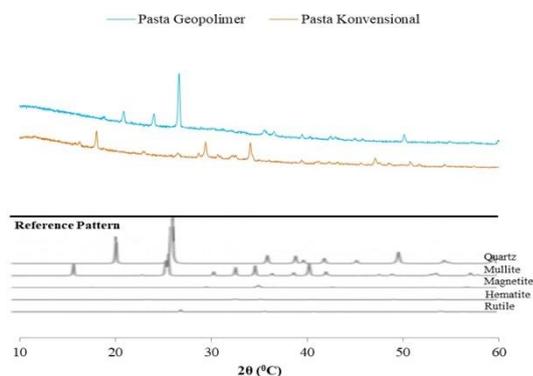
Penurunan ini menunjukkan kondisi penguapan ikatan air secara fisik. Sedangkan, penurunan berat material FANR dan OPCSP pada

suhu 1000°C hingga 3000°C sebesar 0,15% dan 0,08%. Penurunan ini menunjukkan kondisi penguapan ikatan air secara kimia. Penurunan berat material FANR dan OPCSP pada suhu di atas 3000C sebesar 0,28% dan 0,19%. Penurunan ini menunjukkan dihidroksilasi gugus OH yang terjadi dengan polikondensasi yang selanjutnya menjadi ikatan siloxo Si-O-Si dengan menghubungkan jaringan rantai geopolimer. Tercatat bahwa penurunan berat di semua titik kalsinasi menunjukkan bahwa penurunan berat material FANR lebih tinggi daripada material OPCSP. Hal ini dikaitkan dengan banyaknya larutan alkali dalam binder yang menyebabkan lebih banyak penguapan air sedangkan material FANR masih dalam kondisi kering.

B. Mikrostruktur Pasta

1. Analisis kristal pasta geopolimer dan pasta konvensional

Analisa Kristal pada pasta geopolimer dan pasta konvensional diinvestigasi dengan menggunakan alat *x-ray diffraction* (XRD), puncak yang terlihat pada gambar akan mengacu pada data base yang ada pada alat XRD. Hasil analisa kristal.



Gambar 4. Grafik XRD dari Pasta Geopolimer dan Pasta Konvensional

Seperti terlihat pada Gambar 4 hasil pengujian menunjukkan bahwa pasta geopolimer kaya akan kandungan silika (Si) dan alumina (Al). Pasta

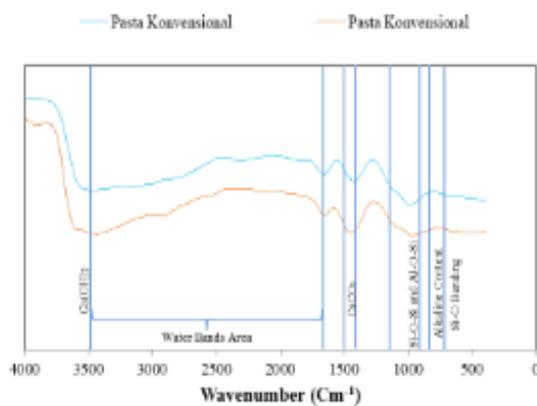
konvensional juga kaya akan kandungan silika (Si) dan kandungan alumina (Al), namun silika yang terkandung memiliki sifat amorf. Kandungan Si dan Al pada pasta geopolimer bereaksi dengan larutan alkali membentuk ikatan gel Si-O-Si dan Si-O-Al, sedangkan kandungan Si dan Al pada pasta konvensional bereaksi dengan H₂O membentuk C-S-H dan C-A-H.

2. Identifikasi ikatan pasta geopolimer dan pasta konvensional

Identifikasi ikatan kimia dari pasta geopolimer dan pasta konvensional diilustrasikan pada Gambar 5. tersebut menunjukkan bahwa puncak pita pada area diatas 3440 cm⁻¹ menunjukkan keberadaan Ca(OH)₂ pada pasta. Jumlah puncak pita pada pasta geopolimer sebanyak 1 buah sedangkan pada pasta konvensional sebanyak 2 buah. Ini menunjukkan bahwa pasta konvensional memiliki kandungan Ca(OH)₂ lebih banyak yang mengindikasikan karbonasi yang lebih tinggi pada pasta geopolimer. Ini dikaitkan dengan kandungan Ca yang tinggi pada pasta konvensional sedangkan kandungan Ca pada pasta geopolimer memiliki kandungan yang sedikit.

Puncak pita di area 3440 cm⁻¹ – 1630 cm⁻¹ menunjukkan peregangan dan pembengkokan ikatan H₂O. Tercatat bahwa pasta geopolimer dan pasta konvensional memiliki jumlah puncak pita yang sama. Ini menjelaskan adanya jumlah kandungan air yang sama yang dimiliki oleh kedua pasta tersebut. Hal ini didukung dengan kenyataan pada saat pembuatan benda uji dimana pasta konvensional menggunakan air sebagai pengikat dan pastageopolimer menggunakan banyak larutan

alkali sebagai pengikat. Kenaikan jumlah alkali menyebabkan meningkatnya jumlah air dalam larutan. Dari Gambar 5 terlihat adanya kehadiran CaCO_3 dengan jumlah yang sama pada kedua pasta tersebut. Kehadiran CaCO_3 pada pasta konvensional berasal dari reaksi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan CO_2 sedangkan kehadiran CaCO_3 pada pasta geopolimer berasal dari sisa reaksi antara NaOH dan Na_2SiO_3 .



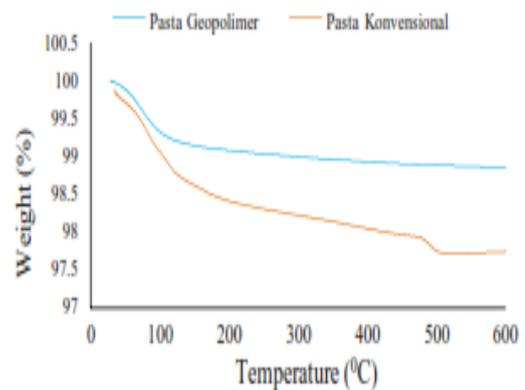
Gambar 5. Grafik FTIR dari Pasta Geopolimer dan Pasta Konvensional

Puncak pita di area gelombang 680 cm^{-1} – 800 cm^{-1} menunjukkan adanya kandungan alkali. Diketahui bahwa jumlah puncak pita pada pasta geopolimer sebanyak 2 buah sedangkan pada pasta konvensional sebanyak 1 buah. Pada pasta geopolimer hal ini terjadi akibat reaksi antara material FANR dengan larutan alkali, sedangkan pada pasta konvensional kandungan alkali muncul akibat reaksi yang terjadi pada air.

3. Analisis aliran termal pasta geopolimer dan pasta konvensional

Aliran termal diselidiki oleh *thermo gravimetri analysis* (TGA) yang hasilnya dianalisis dengan penurunan berat sampel. Gambar 6

menunjukkan penurunan berat pasta geopolimer dan pasta konvensional seiring dengan peningkatan suhu kalsinasi. Penurunan berat pasta geopolimer dan pasta konvensional pada suhu 20°C hingga 100°C sebesar 0,67% dan 0,93%. Penurunan ini menunjukkan kondisi penguapan ikatan air secara fisik.

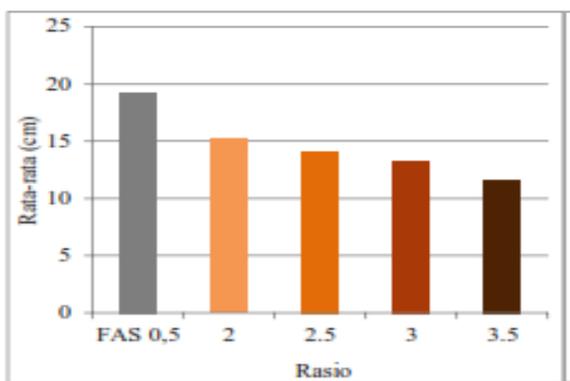


Gambar 6. Grafik TGA Pasta Geopolimer dan Pasta Konvensional

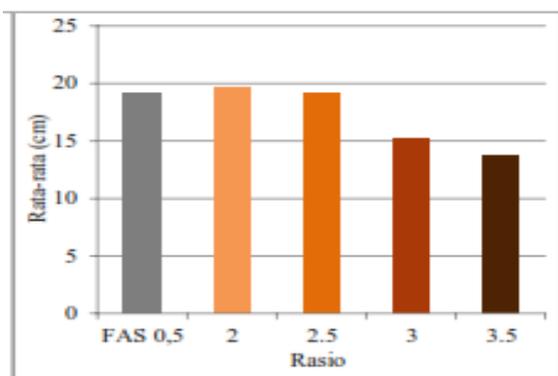
Penurunan berat pada suhu 100°C hingga 300°C sebesar 0,34% dan 0,84%. Penurunan ini menunjukkan kondisi penguapan ikatan air secara kimia. Penurunan berat pada suhu di atas 300°C sebesar 0,47% dan 1,32%. Ini terlihat bahwa seluruh pasta konvensional lebih banyak kehilangan air dibandingkan pasta geopolimer. Hal ini dikarenakan pasta konvensional dihasilkan dari reaksi OPCSP dengan air sedangkan pasta geopolimer dihasilkan dari reaksi FANR dengan larutan alkali.

C. Workability

Permukaan FANR yang berkabut menyebabkan penyerapan larutan alkali oleh permukaan partikel FANR yang menyebabkan terjadinya penurunan *workability*.



Gambar 7a. Rasio LA/FA = 1,0



Gambar 7b. Rasio LA/FA = 1,1

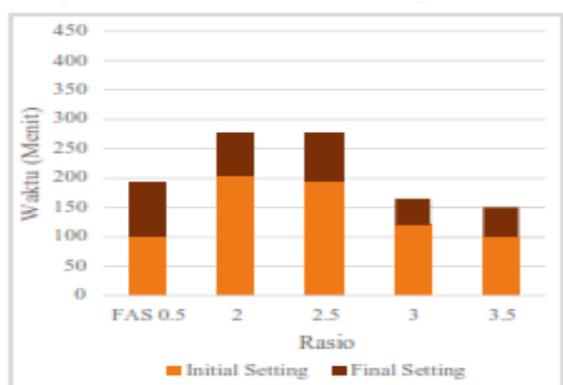
Gambar 7. *Workability* Mortar Konvensional dan Mortar Geopolimer

Dari Gambar 7a dan 7b menunjukkan keseluruhan hasil *workability* dari campuran geopolimer segar mengalami penurunan *workability* seiring peningkatan rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$. Viskositas larutan alkali akan meningkat bila rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ juga semakin tinggi, hal ini menyebabkan larutan alkali semakin mengental dan melekat sehingga akan menurunkan *workability*. Maka, dari seluruh nilai *workability* campuran geopolimer segar baik dengan rasio LA/FA 1,0 dan 1,1 serta dengan rasio perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ 2; 2,5; 3 dan 3,5 yang paling mendekati nilai *workability* dari campuran OPC segar dengan FAS 0,5 dengan nilai *workability* 19,2 cm adalah pada campuran rasio LA/FA=1,1 dengan rasio perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ =2,5 dengan nilai *workability*

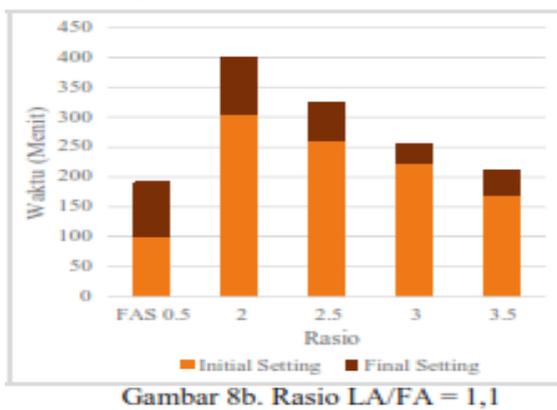
19,15 cm.

D. *Setting Time*

Optimalisasi konsentrasi NaOH dengan rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ 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 $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ 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 $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ menyebabkan campuran geopolimer segar lebih kental sehingga akan menjadi lebih kaku dan akan mengeras dalam waktu singkat.



Gambar 8a. Rasio LA/FA = 1,0



Gambar 8. *Setting Time* Mortar Konvensional dan Mortar Geopolimer

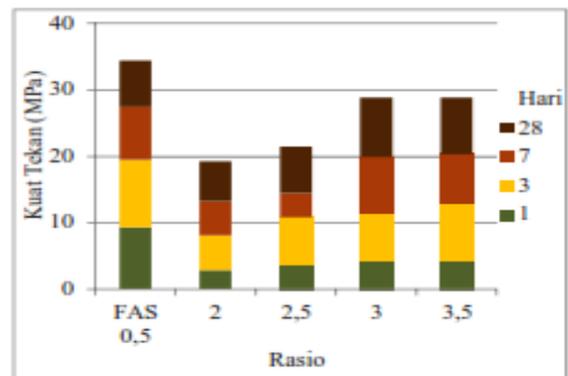
Gambar 8a dan 8b menunjukkan semakin tinggi rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ menyebabkan penurunan *setting time*. Hal ini sesuai dengan nilai *workability* yang menunjukkan bahwa semakin tinggi rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ maka campuran geopolimer segar semakin kental, sehingga waktu *setting time* terjadi lebih cepat.

Terlihat pada gambar keseluruhan nilai *setting time* dari mortar geopolimer melebihi dari nilai *setting time* mortar konvensional. Dengan demikian nilai *setting time* mortar geopolimer yang mendekati nilai *setting time* dari mortar konvensional dengan FAS 0,5 dengan nilai *setting time* 191 menit adalah yang memiliki rasio LA/FA = 1,0 dan rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ = 3 dengan nilai *setting time* 165 menit.

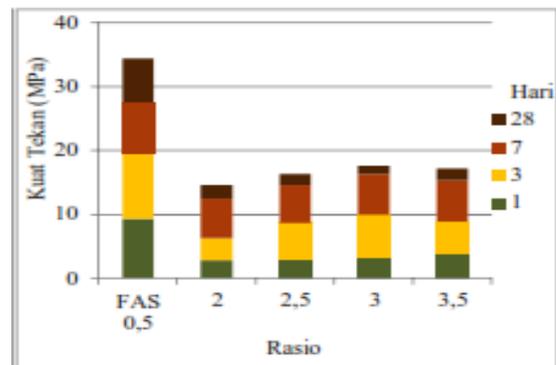
E. Kuat Tekan

Semakin tinggi konsentrasi (molaritas) dari larutan NaOH maka dapat menyebabkan kuat tekan beton geopolimer meningkat. Perbandingan rasio Na_2SiO_3 dengan NaOH juga turut menentukan kuat tekan beton geopolimer. Kandungan Na_2SiO_3 yang lebih banyak menyebabkan nilai kuat tekan beton geopolimer

yang lebih tinggi disbanding dengan kandungan NaOH yang lebih banyak.



Gambar 9a. Rasio LA/FA = 1,0



Gambar 9b. Rasio LA/FA = 1,1

Gambar 9. Kuat Tekan Mortar Konvensional dan Mortar

Gambar 9a dan 9b menunjukkan semakin tinggi rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ menyebabkan peningkatan nilai kuat tekan. Akan tetapi juga terlihat seluruh kuat tekan dari mortar geopolimer memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai kuat tekan mortar konvensional.

Namun, jika membandingkan nilai kuat tekan mortar geopolimer dengan rasio LA/FA 1,0 dan 1,1 maka terlihat bahwa nilai kuat tekan dari mortar geopolimer dengan rasio LA/FA = 1,0 lebih tinggi dibandingkan dengan rasio LA/FA = 1,1. Ini dikarenakan semakin kecil rasio LA/FA menyebabkan semakin sedikit pori yang terbentuk pada mortar. Dengan demikian, yang paling

mendekati nilai kuat tekan mortar konvensional dengan FAS 0,5 dengan nilai kuat tekan 34,38 MPa adalah mortar geopolimer dengan rasio LA/FA = 1,0 dan rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 3$ dengan nilai kuat tekan 28,86 MPa.

KESIMPULAN

1. Analisa Kristal pada pasta geopolimer dan pasta konvensional menunjukkan bahwa pasta geopolimer kaya akan kandungan Si dan Al. Pasta konvensional juga kaya akan kandungan Si dan kandungan Al, namun Si yang terkandung memiliki sifat amorf. Kandungan Si dan Al pada pasta geopolimer bereaksi dengan larutan alkali membentuk ikatan gel Si-O-Si dan Si-O-Al, sedangkan kandungan Si dan Al pada pasta konvensional bereaksi dengan H₂O membentuk C-S-H dan C-A-H. Gel Si-O-Si dan Si-O-Al dalam pasta geopolimer mampu meningkatkan sifat mekanik terutama dalam kuat tekan
2. Hasil menunjukkan bahwa *workability* optimum mortar geopolimer diperoleh sebesar 19,15 cm dimana *workability* ini mendekati *workability* mortar konvensional sebesar 19,2 cm, *setting time* optimum mortar geopolimer diperoleh sebesar 165 menit dimana *setting time* ini mendekati *setting time* mortar konvensional sebesar 191 menit dan kuat tekan optimum mortar geopolimer diperoleh sebesar 28,86 MPa dimana kuat tekan ini mendekati kuat tekan mortar konvensional sebesar 34,38 MPa. Sehingga mortar geopolimer berbahan dasar FANR masih layak digunakan dan memiliki pendekatan karakteristik terhadap mortar konvensional

berbahan OPCSP dengan FAS 0,5.

DAFTAR PUSTAKA

- Alvee, A. R., Malinda, R., Akbar, A. M., Ashar, R. D., Rahmawati, C., Alomayri, T., Raza, A., & Shaikh, F. U. A. (2022). Experimental study of the mechanical properties and microstructure of geopolimer paste containing nano-silica from agricultural waste and crystalline admixtures. *Case Studies in Construction Materials*, 16, e00792.
- C. A. Rees, J. L. Provis, G. C. Lukey, dan J. S. Van Deventer, "In situ ATR-FTIR study of the early stages of fly ash geopolimer gel formation," *Langmuir*, vol. 23, pp. 9076-9082, 2007.
- Davidovits, J. 2013. "Geopolymer cement". *Institute Geopolimer*. France.
- E. G. Sogaard, G. Chaquina, dan K. Gazda, "Geopolymer synthesis and characterization using Raman spectroscopy, FT-IR, DSC, XRD and compressive strength test," 2016.
- F. Fan, "Mechanical and Thermal Properties of Fly ash-based Geopolymer Cement," Hunan University, 2015.
- Fauzi Amir. 2018. "Investigation of Sidoarjo Mud As An Addition In Fly Ash Based Geopolymer Concrete". *Universiti Teknologi PETRONAS*.
- Hardjito, D., dan Rangan, B. V. (2005). Development and Properties of Low-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. Research Report GC, 94. Retrieved from

- http://www.geopolymer.org/fichiers_pdf/curtin-flyash-GP-concrete-report.pdf
- Hardjito, D., et al. 2012. "Pozzolanic Activity Assessment of LUSI (Lumpur Sidoarjo) Mud in Semi High Volume Pozzolanic Mortar". *Materials*. 5(9): p. 1645-1660.
- Komnitsas, K. dan D. Zaharaki, Geopolymerisation: A review and prospects for the minerals industry. *Minerals Engineering*, 2007. 20(14): p. 1261-1277.
- Kosmatka, S.H., B. Kerkhoff, and W.C. Panarese. 2003. "Design and control of concrete mixtures". PCA.
- Lloyd, N.A, dan Rangan, B. V. (2010). Geopolymer Concrete with Fly Ash. Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, 3, 1493-1504.
- Nath, P., dan Sarker P. K. 2014. Effect Of GGBFS On Setting, Workability, And Early Strength Properties Of Fly Ash Geopolymer Concrete Cured In Ambient Condition. *Construction And Building Materials*, 66, 163-171.
- Nurul SA. Penggunaan asam sulfat sebagai aktivator fly ash dalam aplikasi proses koagulasi pada pengolahan limbah cair industri pulp dan kertas. *Jurnal Vokasi Teknologi Industri*, Vol. 1, No. 1.
- Prasetyo B.G, Tinjauan Kuat Tekan Beton Geopolymer Dengan Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen. 2015. Jurusan Teknik Sipil FT Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- R. Onori, "Alkaline activation of incinerator bottom ash for use in structural applications," *p. Roma*, 2011.
- R. Vempati, A. Rao, T. Hess, D. Cocke, dan H. Lauer, "Fractionation and characterization of Texas lignite class 'F' fly ash by XRD, TGA, FTIR, and SFM," *Cement and concrete research*, vol. 24, pp. 1153-1164, 1994.
- Rattanasak. U, K. Pankhet, dan P. Chindaprasirt. 2011. "Effect of chemical admixtures on properties of high-calcium fly ash geopolymer," *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials*. vol. 18, p. 364.
- Rahmawati, C., Aprilia, S., Saidi, T., Aulia, T. B., & Hadi, A. E. (2021). The Effects of Nanosilica on Mechanical Properties and Fracture Toughness of Geopolymer Cement. *Polymers*, 13(13), 2178. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/polym13132178>
- S. Adi Darma, et al., 2018. Studi Experimental Pengaruh Perbedaan Molaritas Aktivator Pada Perilaku Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash. Volume 7, Nomor 1.
- Shi, C., D. Roy, and P. Krivenko. 2016. "Alkali-Activated Cements and Concretes". *Taylor & Francis*.
- Steenie, E. Wallah, 2014. Pengaruh Perawatan dan Umur Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbasis Abu Terbang, Vol. 4, No. 1.