

PENGARUH ALKALI AKTIVATOR TERHADAP WORKABILITAS DAN KUAT TEKAN MORTAR GEOPOLIMER BERBAHAN FLY ASH KLAS C

Sandri Linna Sengkey^{1*}, Rita Irmawaty¹, Muralia Hustim¹ dan Purwanto²

¹Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hassanuddin
Jalan Poros Malino KM. 6 Bontomarannu, Gowa, Sulawesi Selatan

²Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hassanuddin
Jalan Poros Malino KM. 6 Bontomarannu, Gowa, Sulawesi Selatan

*Email: s.sengkey@yahoo.com

Abstrak

Dalam tulisan ini, pengaruh molaritas Sodium Hidroksida (NaOH), rasio Sodium Silikat (Na₂SiO₃)/Sodium Hidroksida (NaOH) dan rasio alkali aktivator/fly ash terhadap workabilitas, serta kekuatan tekan 7 hari mortar geopolimer berbahan fly ash klas C akan didiskusikan. Mortar geopolimer dibuat dengan variasi NaOH sebesar 8, 10, 12 M, rasio Na₂SiO₃/NaOH sebesar 1.5, 2.0, 2.5 dan rasio alkali aktivator/fly ash sebesar 0.4, 0.45, 0.5 yang di curing pada temperatur ruang. Hasil menunjukkan konsentrasi larutan aktivator mempengaruhi sifat mortar geopolimer. Workabilitas semakin menurun dengan makin besarnya molaritas NaOH dan rasio Na₂SiO₃/NaOH tapi dengan makin besar rasio alkali aktivator/fly ash maka workabilitas juga semakin besar. Kuat tekan optimum tercapai pada NaOH 10 M, rasio Na₂SiO₃/NaOH 2.5 serta rasio alkali aktivator/fly ash 0.4.

Kata kunci: alkali aktivator, fly ash, kuat tekan, mortar geopolimer, workabilitas

PENDAHULUAN

Isu lingkungan berupa pemanasan global terkait dengan emisi gas CO₂ yang dilepaskan ke atmosfer dalam memproduksi semen, menimbulkan kesadaran masyarakat dunia untuk melakukan upaya mereduksi gas CO₂ ini. Salah satu alternatif yaitu mencari bahan pengikat lain pengganti semen. Joseph Davidovits memperkenalkan material geopolimer yang berfungsi sebagai pengikat, yang lebih ramah lingkungan. Jenis pengikat ini memiliki komposisi kimia menyerupai zeolite tetapi memiliki mikrostruktur yang amorf. Dalam proses geopolimer, terjadi reaksi kimia antara alumina-silikat oksida (Si₂O₅, Al₂O₂) dengan alkali polisilikat yang menghasilkan pasta geopolimer berupa ikatan polimer Si-O-Al yang mempunyai kekuatan mengikat seperti pasta semen. Penelitian-penelitian tentang geopolimer melaporkan bahwa emisi CO₂ yang diproduksi geopolimer 70-80% lebih kecil dibandingkan dengan semen Portland biasa (Huseien dkk., 2017).

Bahan dasar pembuatan material geopolimer adalah bahan-bahan yang banyak mengandung silika dan alumina yang diaktifkan dengan alkali aktivator. Unsur-unsur ini banyak terdapat pada bahan-bahan pozolan, baik pozolan alam maupun buatan.

Fly ash yang merupakan limbah hasil pembakaran batu bara, adalah salah satu pozolan buatan yang banyak dipakai sebagai bahan dasar (prekursor) dalam pembuatan geopolimer karena ketersediaannya di seluruh dunia. Pemanfaatan produk sampingan seperti fly ash memberikan efek ekologis yang menguntungkan lingkungan serta menurunkan konsumsi energi.

Fly ash berdasarkan komposisi kimianya diklasifikasikan sebagai klas C atau klas F. Penelitian-penelitian sebelumnya melaporkan bahwa fly ash klas C dapat digunakan untuk membuat material geopolimer dengan hasil yang baik (Phoo-ngernkham dkk., 2015) dan karena kandungan kalsiumnya, maka dapat dilakukan curing pada temperatur ruang.

Selain prekursor, alkali aktivator merupakan bahan utama dalam pembuatan material geopolimer. Kotwal dkk. (2014) melakukan penelitian untuk menganalisa pengaruh komposisi aktivator pada sifat segar dan keras dari mortar geopolimer berbahan fly ash klas C yang dicuring pada temperatur ambient. Aktivator yang digunakan adalah NaOH dan Na₂SiO₃. Hasil menunjukkan flow mortar menurun sebagai akibat dari peningkatan kandungan NaOH dan Na₂SiO₃, sedangkan kuat tekan meningkat secara bertahap dengan peningkatan kandungan NaOH dan Na₂SiO₃. Phoo-ngernkham (2016) mempelajari pengaruh penggunaan jenis aktivator berupa NaOH dan Na₂SiO₃ secara terpisah dan kemudian digabung terhadap kekuatan mortar berbahan fly ash klas C dengan penambahan semen. Hasil menunjukkan kekuatan tekan mortar geopolimer tergantung pada jenis alkali aktivator.

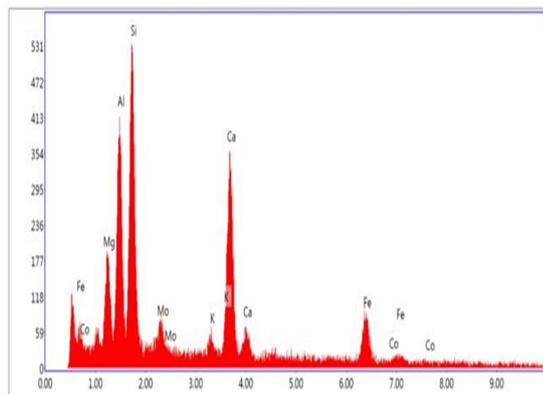
Kekuatan mortar geopolimer dengan kombinasi NaOH dan Na_2SiO_3 memberikan hasil kuat tekan tertinggi diikuti oleh campuran dengan NaOH dan Na_2SiO_3 . Degirmenci (2016) menyatakan bahwa konsentrasi NaOH merupakan faktor yang paling penting untuk kekuatan material geopolimer. Risdanareni dkk. (2015) menyatakan bahwa binder dan beton geopolimer yang dibuat dengan konsentrasi NaOH 10 M dan rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ sebesar 2.5 menunjukkan kuat tekan tertinggi.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh konsentrasi NaOH, rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ dan rasio alkali aktivator/fly ash terhadap sifat segar berupa workabilitas dan sifat keras berupa kekuatan tekan mortar geopolimer umur 7 hari.

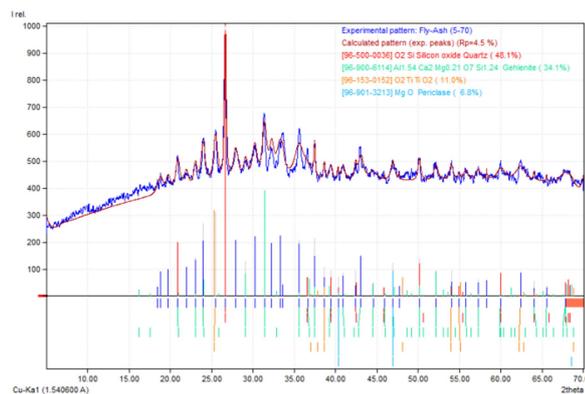
METODOLOGI

Material

Prekursor berupa Fly ash diambil dari PLTU Amurang Sulawesi Utara. Berdasarkan hasil analisa Energy Dispersive X-Ray (EDX) pada gambar 1, komposisi kimia fly ash mengandung 22.3% SiO_2 , 15.14% Al_2O_3 , 21.88% Fe_2O_3 , 30.01% CaO dan 5.85% MgO. Menurut ASTM C618-08a fly ash ini termasuk klas C karena kadar $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3 > 50\%$ serta $\text{CaO} > 5\%$. Struktur kristal, komposisi mineral dan tingkat kekristalan fly ash dapat dilihat pada gambar 2 melalui analisa X-Ray Diffraction (XRD). Untuk agregat halus, pasir sungai lolos saringan no. 4 (4.75 mm) dengan berat jenis saturated surface dry (SSD) 2.58 dan modulus kehalusan 2.92 digunakan. Alkali aktivator yang digunakan berupa sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silica (Na_2SiO_3). Untuk larutan NaOH, NaOH pellet dicampur dengan air suling kemudian dibiarkan 24 jam sebelum digunakan. Pengaruh alkali aktivator yang dipelajari meliputi molaritas NaOH 8, 10, 12 M, rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ sebesar 1.5, 2.0, 2.5 serta rasio alkali aktivator/fly ash sebesar 0.4, 0.45 dan 0.5. Jumlah fly ash konstan untuk semua campuran.



Gambar 1. Hasil analisa EDX



Gambar 2. Hasil analisa XRD

Prosedur Pembuatan campuran

Sebanyak 27 campuran mortar dibuat dengan perbandingan pasir/fly ash sebesar 2. Variasi campuran mortar geopolimer berbahan fly ash dapat dilihat pada tabel 1. Prosedur pencampuran mortar menggunakan metode *separate mixing* (Antoni dkk. 2016, Rattanasak dan Chindaprasirt, 2009) dimulai dengan mencampur fly ash dan larutan NaOH selama 3 menit, kemudian tambahkan Na_2SiO_3 dan mixer selama 2 menit. Terakhir pasir dimasukkan dalam adukan dan mixer selama 3 menit. Cetak dalam mould bentuk kubus dengan ukuran sisi 50 mm. Metode curing dilakukan dengan cara curing pada temperatur ruang, yaitu meletakkan benda uji dalam ruangan dengan temperatur $28 \pm 2^\circ\text{C}$. Setelah curing selama 24 jam, benda uji dikeluarkan dari mould, kemudian dibiarkan dalam ruangan pada sampai umur uji 7 hari.

Pengujian specimen

Pengujian workabilitas mortar geopolimer mengacu pada standar ASTM C1437 dengan menggunakan meja leleh. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk memperkirakan tingkat kemudahan dalam pengerjaan mortar geopolimer. Mortar segar dimasukkan dalam cincin leleh diatas meja leleh, pengisian dilakukan 2 lapis, setiap lapis dipadatkan 20 kali. Kemudian cincin leleh

diangkat perlahan-lahan, dan meja leleh digetarkan sebanyak 25 kali selama 15 detik dengan tinggi jatuh $\frac{1}{2}$ in (12,7 mm). Diameter mortar kemudian diukur.

Pengujian kuat tekan mortar geopolimer mengacu pada standar ASTM C109. Nilai kuat tekan mortar diperoleh melalui pengujian menggunakan mesin uji tekan dengan cara memberi beban tekan dengan kecepatan pembebanan tertentu. Beban maksimum yang dapat dipikul mortar per satuan luas penampang benda uji merupakan nilai kuat tekan mortar yang dinyatakan dalam MPa atau N/mm^2 . Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7 hari. Nilai kuat tekan diambil dari nilai rata-rata tiga buah benda uji pada setiap campuran.

Tabel 1. Variasi campuran mortar geopolimer

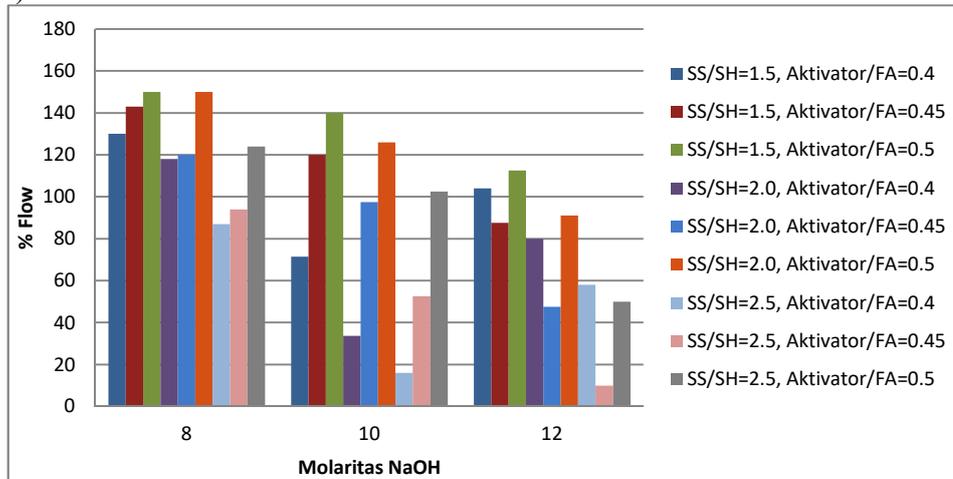
No.	Kode sampel	NaOH	Na ₂ SiO ₃ /	Aktivator/
		(M)	NaOH	Fly ash
1	A8-1.5-0.4	8	1.5	0.4
2	A8-1.5-0.45	8	1.5	0.45
3	A8-1.5-0.5	8	1.5	0.5
4	A8-2-0.4	8	2	0.4
5	A8-2-0.45	8	2	0.45
6	A8-2-0.5	8	2	0.5
7	A8-2.5-0.4	8	2.5	0.4
8	A8-2.5-0.45	8	2.5	0.45
9	A8-2.5-0.5	8	2.5	0.5
10	A10-1.5-0.4	10	1.5	0.4
11	A10-1.5-0.45	10	1.5	0.45
12	A10-1.5-0.5	10	1.5	0.5
13	A10-2-0.4	10	2	0.4
14	A10-2-0.45	10	2	0.45
15	A10-2-0.5	10	2	0.5
16	A10-2.5-0.4	10	2.5	0.4
17	A10-2.5-0.45	10	2.5	0.45
18	A10-2.5-0.5	10	2.5	0.5
19	A12-1.5-0.4	12	1.5	0.4
20	A12-1.5-0.45	12	1.5	0.45
21	A12-1.5-0.5	12	1.5	0.5
22	A12-2-0.4	12	2	0.4
23	A12-2-0.45	12	2	0.45
24	A12-2-0.5	12	2	0.5
25	A12-2.5-0.4	12	2.5	0.4
26	A12-2.5-0.45	12	2.5	0.45
27	A12-2.5-0.5	12	2.5	0.5

HASIL DAN PEMBAHASAN

Workabilitas

Workabilitas mortar geopolimer dapat dikelompokkan dalam kategori tinggi, sedang dan kaku (Mermerdas dkk., 2017). Hubungan molaritas NaOH dengan nilai flow dari mortar geopolimer berbahan fly ash dapat dilihat pada gambar 3. Dari gambar 3 terlihat bahwa pada molaritas NaOH 8 M, nilai flow berada pada range 100 - >150%. Campuran dengan molaritas 8 M sangat encer sehingga flow mortar pada range ini termasuk pada kategori sangat tinggi. Untuk NaOH 10 M dan 12 M, nilai flow mortar berada pada range 20 -140% dan 10 -110% dan masuk pada kategori kaku sampai tinggi. Nilai flow yang rendah sampai 10% dipengaruhi juga oleh kandungan Na₂SiO₃ yang tinggi. Secara keseluruhan dapat dilihat bahwa semakin besar molaritas NaOH, maka nilai flow mortar semakin berkurang. Kondisi ini karena peningkatan konsentrasi NaOH akan meningkatkan

kekakuan (*stiffness*) dari mortar segar sehingga nilai flow menjadi berkurang (Sathonsaowaphak dkk., 2009, Haruna dkk., 2018). Selain itu semakin besar molaritas NaOH, maka semakin besar ion OH⁻ tambahan yang akan mempercepat pelarutan sehingga campuran mengendap lebih awal (Kotwal dkk., 2014).

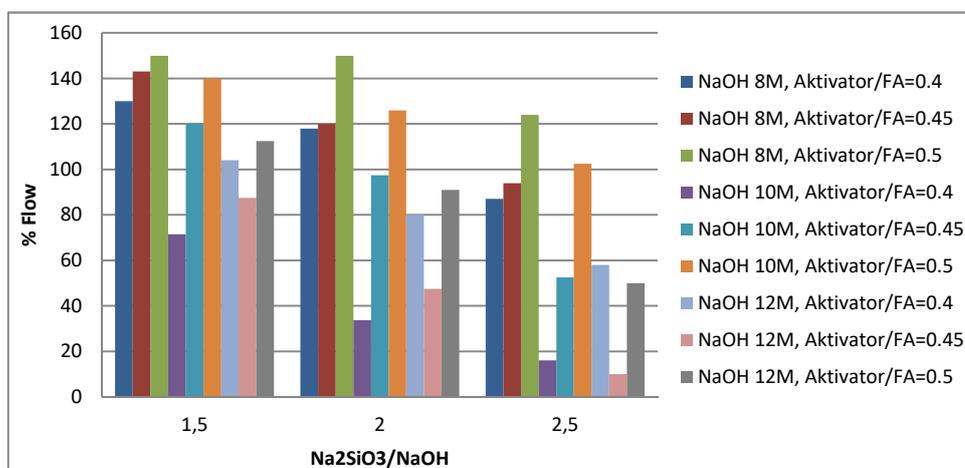


Gambar 3. Hubungan molaritas NaOH dengan flow mortar geopolimer

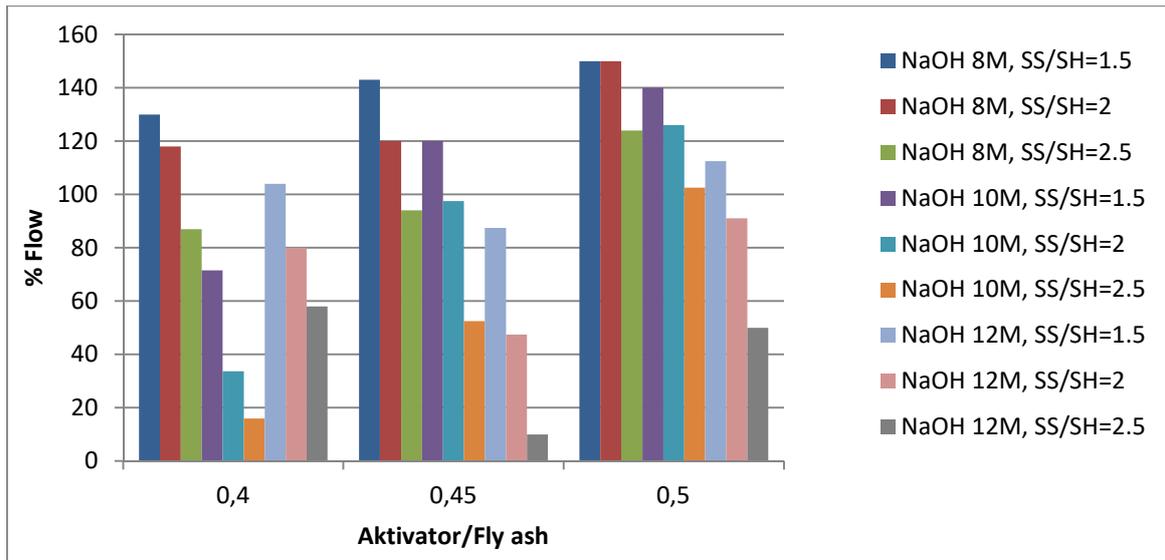
Pengaruh rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ terhadap workabilitas campuran mortar geopolimer ditunjukkan pada gambar 4 dimana pada rasio 1.5 nilai flow mortar berkisar 70 -150% sementara pada rasio 2.5 nilai flow turun sampai 10%. Nilai flow semakin menurun dengan makin besarnya rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$. Penurunan nilai flow mortar ini disebabkan karena semakin besar rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$, berarti semakin banyak kandungan Na_2SiO_3 dalam campuran. Dengan meningkatnya jumlah sodium silikat, maka viskositas semakin tinggi dan proses pembentukan binder semakin cepat (Kotwal dkk., 2014).

Gambar 5 memperlihatkan pengaruh rasio alkali activator/fly ash terhadap nilai flow mortar geopolimer. Hasil uji menunjukkan terjadinya peningkatan nilai flow mortar dengan makin meningkatnya rasio alkali aktivator/fly ash. Pada nilai rasio aktivator/fly ash sebesar 0.5, sebagian besar campuran menunjukkan nilai flow mortar > 100%. Tingginya nilai flow disebabkan karena adanya kelebihan jumlah larutan aktivator dalam campuran mortar sehingga menyebabkan peningkatan kadar air.

Dari hasil eksperimen, workabilitas yang baik sehingga campuran mudah dikerjakan dan dicetak, tercapai pada diameter flow mortar berkisar 150 – 200 mm atau 50 -100%. Hasil ini didukung oleh penelitian terdahulu (Ghosh dan Ghosh, 2012) yang menyatakan bahwa diameter flow minimum agar mortar geopolimer mudah dikerjakan sebaiknya 150 ± 10 mm.



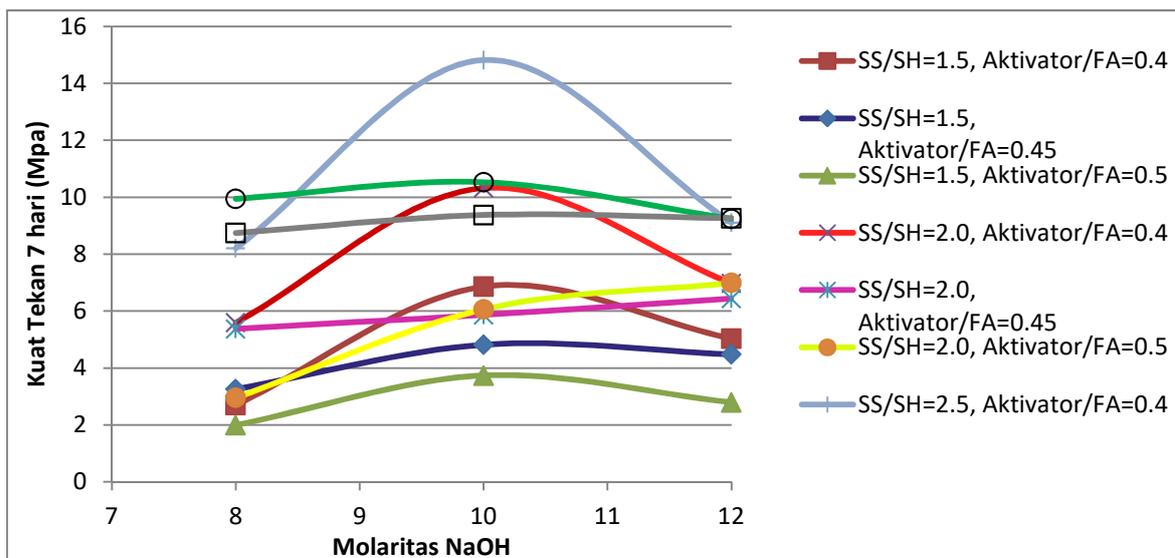
Gambar 4. Hubungan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ dengan flow mortar geopolimer



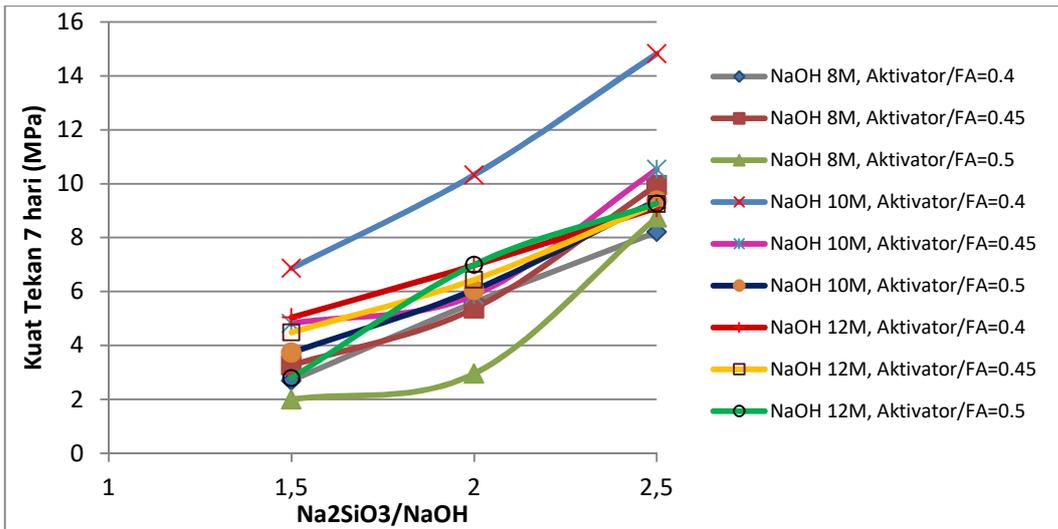
Gambar 5. Hubungan Aktivator/Fly ash dengan flow mortar geopolimer

Kuat Tekan

Pengaruh molaritas NaOH terhadap kuat tekan mortar geopolimer fly ash dapat dilihat pada gambar 6. Dari hasil pengujian, NaOH dengan molaritas 10 M memberikan nilai kuat tekan tertinggi pada hampir semua campuran. Kuat tekan terbesar pada umur 7 hari sebesar 14.82 MPa. Hasil serupa dinyatakan oleh Haruna dkk. (2018) yang melakukan pengujian dengan menggunakan NaOH dengan molaritas 10, 14 dan 16 M, menemukan bahwa kuat tekan tertinggi dicapai pada konsentrasi NaOH 10 M. Semakin besar konsentrasi NaOH, kuat tekan semakin berkurang. Pada gambar terlihat peningkatan kuat tekan dari 8 M ke 10 M. Hal ini disebabkan karena dengan meningkatnya konsentrasi NaOH, berarti ion Na juga meningkat. Ion Na berperan penting dalam proses geopolimerisasi dan membentuk jaringan alumina-silika sehingga kuat tekan meningkat (Sathonsaowaphak dkk., 2009). Pada konsentrasi 12 M kuat tekan menurun, hal ini mungkin karena kelebihan ion Na. Peningkatan konsentrasi NaOH melebihi 12 M memberi efek negatif pada hasil geopolimerisasi berupa kuat tekan yang lebih rendah (Memon, F. A., dkk., 2013).



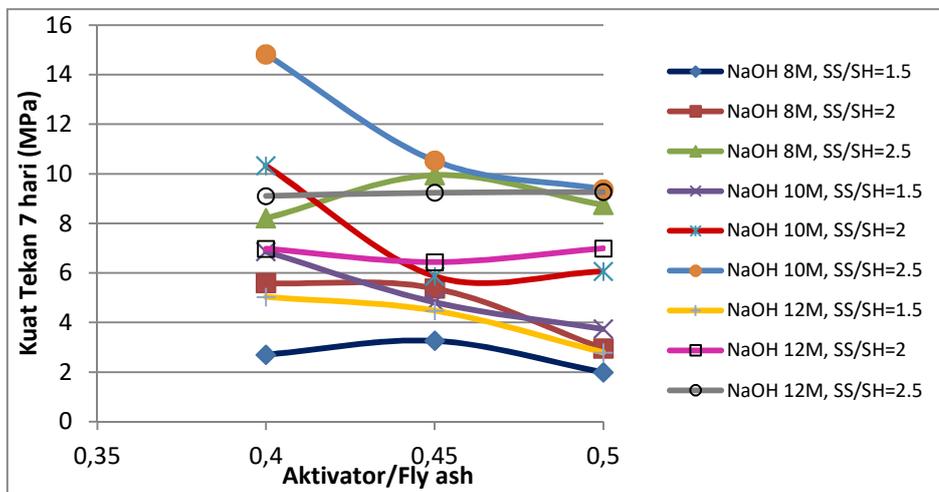
Gambar 6. Hubungan molaritas NaOH dengan kuat tekan mortar geopolimer



Gambar 7. Hubungan Na₂SiO₃/NaOH dengan kuat tekan mortar geopolimer

Pengaruh rasio Na₂SiO₃/NaOH terhadap kuat tekan mortar geopolimer dapat dilihat pada gambar 7. Terjadi peningkatan kuat tekan dengan makin besarnya Na₂SiO₃/NaOH dari 1.5 sampai 2.5. Semakin besar rasio Na₂SiO₃/NaOH berarti kandungan Na₂SiO₃ dalam campuran semakin banyak. Hal ini dikaitkan dengan peningkatan jumlah SiO₂ dari Na₂SiO₃ yang mempengaruhi kuat tekan (Degirmenci, 2016). Rasio Na₂SiO₃/NaOH yang tinggi, menghasilkan kuat tekan yang tinggi (Hardjito dan Rangan, 2005). Mereka merekomendasikan rasio Na₂SiO₃/NaOH berkisar 2.5 untuk material geopolimer berbahan dasar fly ash. Untuk rasio Na₂SiO₃/NaOH lebih dari 3.0, ada kecenderungan kuat tekan menurun karena kelebihan kandungan alkali akan memperlambat reaksi geopolimerisasi.

Hubungan rasio aktivator/fly ash terhadap kuat tekan mortar geopolimer pada umur 7 hari ditunjukkan pada gambar 8. Tiga variasi rasio aktivator/fly ash yaitu 0.4, 0.45 dan 0.5 dimana jumlah fly ash konstan untuk semua campuran. Dari gambar 8 terlihat bahwa semakin besar rasio aktivator/fly ash maka kuat tekan berkurang. Kondisi ini terjadi karena adanya kelebihan jumlah larutan aktivator dalam campuran mortar. Kelebihan larutan aktivator ini memberikan tambahan ion OH⁻ untuk mortar, yang kemudian bereaksi dengan kalsium dan membentuk kalsium hidroksida sehingga dengan demikian mengurangi kekuatan mortar (Haruna dkk., 2018). Hasil serupa ditemukan oleh Elyamany dkk. (2018) dan menyatakan bahwa hal ini mungkin karena peningkatan kandungan larutan aktivator menyebabkan peningkatan kadar air yang mempengaruhi kekuatan tekan secara negatif. Berdasarkan hasil tersebut maka penting untuk menentukan jumlah larutan alkali yang tepat untuk mencapai reaksi efektif dengan pengikat dan mencapai kekuatan yang diinginkan.



Gambar 8. Hubungan Aktivator/Fly ash dengan kuat tekan mortar geopolimer

KESIMPULAN

Dalam studi ini, 27 campuran mortar geopolimer berbahan fly ash dibuat dengan variabel berupa molaritas NaOH, rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ dan rasio alkali aktivator/fly ash. Pengaruhnya terhadap workabilitas dan kuat tekan mortar geopolimer dipelajari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa workabilitas mortar geopolimer dipengaruhi oleh molaritas NaOH, rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ dan rasio alkali aktivator/fly ash. Nilai flow mortar berkurang dengan makin meningkatnya molaritas NaOH serta rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ dan makin rendahnya rasio aktivator/fly ash.

Pengaruh alkali aktivator terhadap kuat tekan 7 hari dari mortar geopolimer berbahan fly ash menunjukkan bahwa konsentrasi NaOH mempengaruhi kuat tekan. Kuat tekan meningkat dengan meningkatnya molaritas NaOH dari 8 M sampai 10 M dan kemudian menurun pada 12 M. Kuat tekan bertambah dengan makin besarnya rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ dari 1.5 sampai 2.5 dan semakin berkurang dengan makin besarnya rasio alkali aktivator/fly ash dari 0.4 sampai 0.5. Nilai kuat tekan optimum tercapai pada campuran dengan NaOH 10 M, rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ sebesar 2.5 dan rasio alkali aktivator/fly ash sebesar 0.4.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Institusi Politeknik Negeri Manado yang telah memfasilitasi sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Antoni, Wijaya, S. W., Hardjito, D., 2016, Factors Affecting The Setting Time of Fly Ash-Based Geopolymer, *Trans Tech Publications, Switzerland*, doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.841.90
- ASTM C 618-08, 2008, *Standard Specification for Coal Fly Ash And Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use In Concrete*, ASTM International
- ASTM C109/C109, *Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (using 2 in. or [50mm] cube specimens)*, ASTM International
- ASTM C1437, 2007, *Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar*, ASTM Internasional
- Degirmenci, F. N., 2016, Utilization Of Natural And Waste Pozzolans As An Alternative Resource Of Geopolymer Mortar, *Int. J. Civ. Eng*, DOI 10.1007/s40999-016-0115-1
- Elyamany, H. E., Elmoaty, A. M., Elshaboury, A. M., 2018, Setting Time and 7-Day Strength of Geopolymer Mortar with Various Binders, *Constr. & build. Mater.*, 187, 974-983
- Ghosh, K. and Ghosh, P., 2012, Effect of $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ and W/B Ratio on Setting Time and Workability of Fly Ash Based Geopolymer, *Int. J. Eng.Res.Appl*, ISSN 2(4), 2142-2147
- Hardjito, D. dan Rangan, B.V., 2005, Development and Properties of Low-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete, *Research Report*, Faculty of Engineering, Curtin University of Technology, Australia
- Haruna, S., Mohammed, B.S., Liew, M.S., Alaloul, W.S., Haruna, A., 2018, Effect of Water-Binder Ratio and Naoh Molarity on The Properties of High Calcium Fly Ash Geopolymer Mortars At Outdoor Curing, *Int.l J. of Civ. Eng. and Tech. (IJCIET)*, Vol.9, 1339-1352, <http://www.iaeme.com/IJCIET/index.asp>
- Huseien, G. F., Mirza, J., Ismail, M., Ghoshal, S. K., Hussein, A. A., 2017, Geopolymer Mortars As Sustainable Repair Material : A Comprehensive Review, *Renew. & Sustain. Energy Rev.*, 80, 54-74
- Kotwal, A. R., Kim, Y. J., Hu, J., Sriraman, V., 2014, Characterization and Early Age Physical Properties of Ambient Cured Geopolymer Mortar Based on Class C Fly Ash, *Int. J. of Conc. Struc. and Mater*, DOI 10.1007/s40069-014-0085-0, ISSN 1976-0485/eISSN 2234-1315
- Memon, F.A., Nuruddin, M.F., Khan, S., Shafiq, N., Ayub, T., 2013, Effect of Sodium Hydroxide Concentration on Fresh Properties and Compressive Strength of Self-Compacting Geopolymer Concrete, *J. Eng. Science*, Vol.8(1), 44-56
- Mermerdas, K., Manguri, S., Nassani, D. E., Oleiwi, S. M., 2017, Effect of Aggregate Properties on The Mechanical and Absorption Characteristics of Geopolymer Mortar, *Eng. Sci. & tech., an Int.J.*, 20, 1642-1652

- Phoo-ngernkham, T., Hanjitsuwan, S., Damrongwiriyanupap, N., Chindapasirt, P., 2016, Effect of Sodium Hydroxide and Sodium Silicate Solutions on Strengths of Alkali Activated High Calcium Fly Ash Containing Portland Cement, *KSCE Journal of Civil Engineering*, (0000) 00(0):1-9, DOI 10.1007/s12205-016-0327-6, pISSN 1226-7988, eISSN 1976-3808, www.springer.com/12205
- Phoo-ngernkham, T., Sata, V., Hanjitsuwan, S., Ridthirud, C., Hatanaka, S., Chindapasirt, P., 2015, High Calcium Fly Ash Geopolymer Mortar Containing Portland Cement for Use As Repair Material, *Constr. And Build. Mater.*, 98, 482-488
- Rattanasak, U. and Chindapasirt, P., 2009, Influence of Naoh Solution on The Synthesis of Fly Ash Geopolymer, *Minerals Eng.*, 22(12), 1073-1078
- Risdanareni, P., Ekaputri, J. J., Triwulan, 2015, The Influence of Alkali Activator Concentration to Mechanical Properties of Geopolymer Concrete With Trass As A Filler, *Mater.Sci.Forum*, 803, 125-134
- Sathonsaowaphak, A., Chindapasirt, P., Pimraksa, K., 2009, Workability and Strength of Lignite Bottom Ash Geopolymer Mortar, *J. of Hazardous mater.*, 168, 44-50