

KARAKTERISTIK BETON GEOPOLIMER BERDASARKAN VARIASI WAKTU PENGAMBILAN FLY ASH

Juan Satria¹, Agung Sugiarto², Antoni³, Djwantoro Hardjito⁴

ABSTRAK : Beton geopolimer merupakan beton geosintetik yang tidak menggunakan semen sebagai bahan dasar, tetapi menggunakan bahan *pozzolan* berupa *fly ash* yang banyak mengandung unsur alumina (Al) dan silika (Si) dimana unsur ini sangat memegang peranan penting dalam mempengaruhi karakteristik beton geopolimer. Oleh karena itu, dilakukan pengambilan *fly ash* sebanyak sepuluh kali untuk mengetahui perbedaan ukuran partikel, nilai pH, dan kandungan kimia pada tiap-tiap *fly ash*. Dari variasi fisik dan kandungan kimia *fly ash*, peneliti ingin mengetahui *setting time* dan kuat tekan dari geopolimer.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa ukuran partikel, nilai pH, dan kandungan kimia *fly ash* turut mempengaruhi dalam *setting time* dan kuat tekan beton. Kandungan kimia *fly ash* yang sangat mempengaruhi adalah kadar kalsium. Semakin tinggi kadar kalsium *fly ash*, maka *fly ash* tersebut tergolong *fly ash* yang bagus karena menghasilkan *setting* geopolimer yang jauh lebih cepat dan kuat tekan geopolimer yang lebih tinggi dibanding dengan *fly ash* yang memiliki kadar kalsium yang lebih rendah. Kadar kalsium juga turut mempengaruhi nilai pH *fly ash*, semakin tinggi kadar kalsium *fly ash*, maka semakin tinggi juga nilai pH *fly ash*.

KATA KUNCI : *fly ash*, geopolimer, nilai pH, kandungan kimia, *setting time*, kuat tekan.

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan bahan konstruksi yang paling sering digunakan, baik dari dahulu hingga sekarang. Semen yang merupakan material utama dari beton, menghasilkan gas karbondioksida (CO₂) dalam pembuatannya yang dapat mencemari lingkungan. Serta stok semen yang semakin menipis tiap tahunnya. Oleh karena itu, untuk mengatasi masalah pencemaran lingkungan dan persediaan semen yang semakin terbatas ini dengan menggunakan beton geopolimer.

Beton geopolimer adalah beton yang menggunakan *fly ash* sebagai bahan pengganti sebagian semen. Sehingga, karakteristik beton geopolimer (*setting time* & kuat tekan) sangat dipengaruhi oleh karakteristik *fly ash* (fisik, nilai pH, & kandungan kimia). Karena *fly ash* berasal dari pembakaran batu bara, maka perbedaan pada karakteristik *fly ash* ini disebabkan oleh asal batu bara, teknik pembakaran batu bara, kandungan mineral batu bara, metode pengumpulan batu bara, lama waktu penyimpanan batu bara di *stock pile*, dan periode pengambilan sampel batu bara (Ekaputri, Priadana, Susanto, & Junaedi, 2013). Hal lain yang turut mempengaruhi karakteristik *fly ash* adalah larutan alkali yang digunakan sebagai pengaktif reaksi polimerisasi dari alumina (Al) dan silika (Si) yang terkandung dalam *fly ash*. Senyawa alkali yang digunakan adalah natrium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat (Na₂SiO₃).

Oleh karena *fly ash* yang bervariasi (ukuran partikel, nilai pH, & kandungan kimia) akibat pembakaran batu bara, Peneliti melakukan pengambilan sampel *fly ash* sebanyak sepuluh kali. Delapan *fly ash* diambil dari SCG Jayamix yang sumber *fly ash* nya berasal dari *power plant* PJB di Paiton dan dua sisanya berasal dari *power plant* YTL di Paiton.

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, juansatria94@gmail.com

²Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, agung040894@gmail.com

³Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, antoni@petra.ac.id

⁴Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, djwantoro.h@petra.ac.id

Oleh karena variasi pengambilan tersebut, peneliti dalam hal ini dapat mengamati perbedaan karakteristik tiap-tiap *fly ash* (ukuran partikel, nilai pH, & kandungan kimia) dan karakteristik beton geopolimer (*setting time* & kuat tekan) dengan *mix design* yang telah ditentukan.

2. STUDI LITERATUR

2.1 Fly Ash

Fly ash merupakan material sisa pembakaran batu bara yang kandungan mineral dan kimianya dipengaruhi oleh *design properties* pembuatan batu bara dan tipe batu bara (*anthracite*, *bituminous*, *sub-bituminous*, dan *lignite*) (Naik, 1993). Oleh karena itu hal ini menyebabkan terjadinya perbedaan pada karakteristik *fly ash* (ukuran partikel, nilai pH, & kandungan kimia). Menurut ASTM C618, *fly ash* dikelompokkan menjadi 3 kelas. Kelas N merupakan *fly ash* yang diperoleh secara natural, kelas F berasal dari pembakaran batu bara *anthracite* atau *bituminous*, dan kelas C berasal dari pembakaran batu bara *lignite* atau *subbituminous*. *Fly ash* kelas N dan F memiliki senyawa kimia $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 70\%$ dan *fly ash* kelas C memiliki senyawa kimia $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 50\%$.

Jika dilihat dari hasil tes XRF yang dilakukan oleh Wijaya (2015), maka semakin rendah senyawa $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ pada *fly ash* mengakibatkan semakin tinggi kandungan kalsium (Ca) pada *fly ash* tersebut. Sehingga hal ini membuat *fly ash* kelas C memiliki kandungan kalsium yang lebih tinggi daripada *fly ash* kelas F dan kelas N. Menurut peneliti (Diaz, Allouche, & Eklund, 2010), menyebutkan bahwa kadar kalsium yang semakin tinggi menyebabkan kenaikan *compressive strength* pada geopolimer, tetapi menyebabkan *setting* yang lebih cepat sehingga membuat *workability* mortar menjadi rendah.

Selain itu, ukuran partikel *fly ash* juga turut mempengaruhi karakteristik *fly ash*, menurut peneliti (Jamkar, Ghugal, & Patankar, 2013) bahwa semakin meningkatnya *fineness* (semakin halus) *fly ash*, maka semakin meningkat juga *workability* dan *compressive strength* beton geopolimer. Kandungan LOI yang rendah juga dapat mempengaruhi nilai SAI (*strength activity index*). Semakin rendah kandungan LOI maka nilai SAI dari mortar menjadi lebih tinggi.

Nilai pH dari *fly ash* juga turut mempengaruhi karakteristik geopolimer dan *fly ash* sendiri. Berdasarkan hasil penelitian (Wijaya, 2015), bahwa nilai pH yang semakin tinggi mengakibatkan kadar CaO pada *fly ash* dan kuat tekan geopolimer yang semakin tinggi juga.

2.2 Beton Geopolimer

Dalam pembuatan geopolimer dibutuhkan larutan alkali yang berfungsi sebagai pengaktif reaksi polimerisasi dari silika (Si) dan alumina (Al) yang terkandung dalam *fly ash*. Larutan alkali yang umum digunakan adalah natrium hidroksida (NaOH) atau kalium hidroksida (KOH) dengan natrium silikat (Na_2SiO_3) atau kalium silikat (Lloyd & Rangan, 2010).

Peneliti (Hardjito & Rangan, 2005), menyebutkan bahwa semakin tinggi konsentrasi (molaritas) dari larutan natrium hidroksida maka dapat menyebabkan kuat tekan beton geopolimer meningkat. Perbandingan ratio 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 dibanding dengan kandungan NaOH yang lebih banyak. Selain itu, variasi perbandingan Na_2SiO_3 dengan NaOH juga dapat menyebabkan perbedaan pada *setting time* beton geopolimer. Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil penelitian (Nath & Sarker, 2014), perbandingan Na_2SiO_3 dengan NaOH yang semakin banyak menyebabkan *initial* dan *final setting* yang lebih lama. Tetapi, data ini hanya meninjau perbandingan Na_2SiO_3 dengan NaOH saja, yaitu dengan menggunakan jumlah cairan alkalin yang sama pada setiap geopolimer.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Material

Fly ash diambil sebanyak sepuluh sekali, delapan (FA 1, FA 2, FA 3, FA 4, FA 5, FA 6, FA 7, & FA 10) berasal dari SCG Jayamix yang sumber pengambilan *fly ash* nya berasal dari *power plant* PJB di Paiton dan dua sisanya (FA 8 & FA 9) berasal dari *power plant* YTL di Paiton. Untuk uji XRF hanya

dilakukan pada FA 2, FA 3, FA 4, & FA 5 karena *fly ash* tersebut sudah bervariasi nilai pH nya. Untuk uji *fineness* dan pH dilakukan pada tiap-tiap *fly ash*. Uji XRF dilakukan di Sucofindo, uji *fineness* dengan uji ayakan no #325, dan uji pH dengan menggunakan alat ukur pH digital. Pasir yang digunakan merupakan pasir lumajang.

3.2 Larutan Alkali

Larutan alkali yang digunakan adalah natrium silikat (Na_2SiO_3) dan natrium hidroksida (NaOH). Dengan perbandingan Na_2SiO_3 dengan NaOH adalah 2, 2.5, & 3. Larutan NaOH yang digunakan pada penelitian ini dengan kadar molaritas 8M.

3.3 Mix Design

Mix design yang digunakan untuk masing-masing *fly ash* dapat dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Mix Design yang Digunakan dalam Penelitian

$\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$	NaOH (gr)	Water/ Fly Ash	Air (gram)	Pasir (gram)	Fly Ash (gram)	Curing ($^{\circ}\text{C}$)
2	24	0.25	75	600	300	60
2.5	24	0.25	75	600	300	60
3	24	0.25	75	600	300	60

3.4 Pengujian Sampel

Sampel geopolimer yang diuji adalah *setting time* dan kuat tekan. Uji *setting time* dengan menggunakan *vicat needle* dan uji kuat tekan geopolimer dengan umur 7, 14, dan 28 hari dengan menggunakan alat tes tekan pada Laboratorium Beton Universitas Kristen Petra.

4. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Material

Analisa material ini dilakukan pada material *fly ash*, hal ini bertujuan untuk menganalisa karakteristik dari kesepuluh *fly ash*. Analisa material *fly ash* berupa pengujian pH, pengujian *fineness*, dan pengujian *x-ray fluorescence* (XRF).

Hasil dari pengujian pH dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. pH Variasi Fly Ash

FA	FA 1	FA 2	FA 3	FA 4	FA 5	FA 6	FA 7	FA 8	FA 9	FA 10
pH	10,9	11,1	10,4	11,8	10,6	10,8	10,6	11,7	11,4	11,2

Pengujian *fineness* pada *fly ash* dilakukan selama 10 menit. Jumlah *fly ash* yang tertahan pada ayakan nomor #325 tidak boleh melebihi 34% (ASTM C618). Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Fly Ash Tertahan pada Ayakan #325

Fly Ash (pH)	FA 1 (10,9)	FA 2 (11,1)	FA 3 (10,4)	FA 4 (11,8)	FA 5 (10,6)	FA 6 (10,8)	FA 7 (10,6)	FA 8 (11,7)	FA 9 (11,4)	FA 10 (11,2)
% Tertahan Ayakan Nomor #325	16%	12%	24%	12%	20%	16%	16%	12%	8%	16%

Dari **Tabel 3** dapat dilihat bahwa persentase *fly ash* yang tertahan pada ayakan nomor #325 tidak ada yang melebihi 34%.

Pengujian yang juga menentukan dari karakteristik *fly ash* khususnya dari kandungan senyawa kimia yaitu pengujian XRF. Hasil dari pengujian XRF dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil Tes XRF

No.	Parameter	Unit	Test Result			
			FA 2 (11,1)	FA 3 (10,4)	FA 4 (11,8)	FA 5 (10,6)
1	SiO ₂	% wt	43,74	43,36	32,47	42,26
2	Al ₂ O ₃	% wt	22,03	29,74	14,92	24,43
3	Fe ₂ O ₃	% wt	14,68	7,33	16,50	12,91
4	TiO ₂	% wt	1,28	1,00	0,71	1,01
5	CaO	% wt	9,40	13,30	20,42	11,19
6	MgO	% wt	4,33	1,80	7,95	3,69
7	Cr ₂ O ₃	% wt	0,14	0,00	0,14	0,01
8	K ₂ O	% wt	1,55	0,42	1,32	0,80
9	Na ₂ O	% wt	1,56	1,88	2,92	1,85
10	SO ₃	% wt	0,53	0,40	1,88	0,91
11	Mn ₂ O ₃	% wt	0,15	0,14	0,18	0,24
12	LOI	% wt	0,80	0,60	0,43	0,44
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃		% wt	80,45	80,43	63,89	79,60
SiO ₂ /Al ₂ O ₃		% wt	1,99	1,46	2,18	1,73

Pengujian *fly ash* dilakukan pada FA 2, FA 3, FA 4, dan FA 5. Dari hasil tes XRF dapat dilihat bahwa FA 2, FA 3, dan FA 5 termasuk tipe F dan FA 4 termasuk tipe C. Menurut (ASTM C618), kandungan SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ lebih dari 70% adalah *fly ash* tipe F sedangkan kandungan SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ lebih dari 50% adalah *fly ash* tipe C.

4.2 Kuat Tekan Mortar Geopolimer

Mortar geopolimer dibuat sesuai dengan *mix design* pada **Tabel 1**. Pengujian kuat tekan mortar geopolimer dilakukan pada umur 7, 14, & 28 hari. Pengujian kuat tekan ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh umur mortar geopolimer, pengaruh pH *fly ash*, dan pengaruh perbandingan larutan alkali (Na₂SiO₃/NaOH) terhadap kuat tekan mortar geopolimer. Hasil kuat tekan mortar dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Pengujian kuat tekan mortar geopolimer mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan umurnya. Kuat tekan mortar pada umur 28 hari memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dibanding kuat tekan mortar pada umur 7 dan 14 hari. Hasil kuat tekan mortar 14 hari cenderung memiliki kuat tekan yang lebih besar dari kuat tekan mortar umur 7 hari, tetapi tidak semua umur mortar 14 hari kuat tekannya lebih besar melainkan ada yang sama atau lebih kecil.

Pada pengujian kuat tekan juga dilihat pengaruh dari pH *fly ash*. Mortar dengan *fly ash* yang memiliki pH lebih tinggi cenderung memiliki hasil kuat tekan yang lebih tinggi juga. FA 4 yang memiliki pH paling tinggi, kuat tekan mortar geopolimer dapat mencapai 106 MPa pada umur 28 hari. Hasil kuat tekan mortar tersebut merupakan yang paling tinggi diantara yang lain, hal itu dikarenakan kandungan CaO yang tinggi yang dimiliki FA 4. Selain pH, kandungan CaO juga turut mempengaruhi hasil kuat tekan mortar geopolimer.

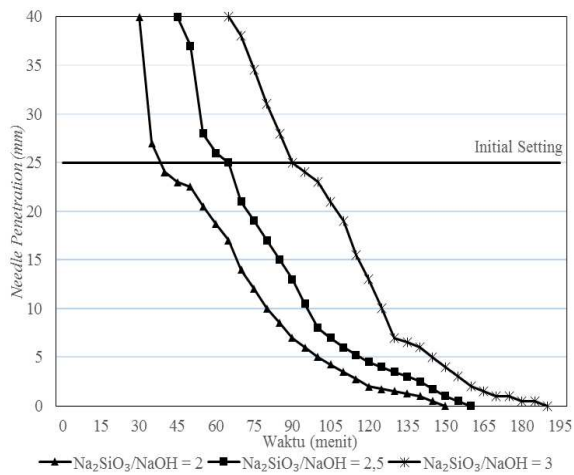
Perbandingan larutan alkali (Na₂SiO₃/NaOH) sebesar 2; 2,5; dan 3 tidak memiliki selisih hasil kuat tekan yang berbeda jauh (<20 MPa).

Tabel 5. Kuat Mortar Geopolimer

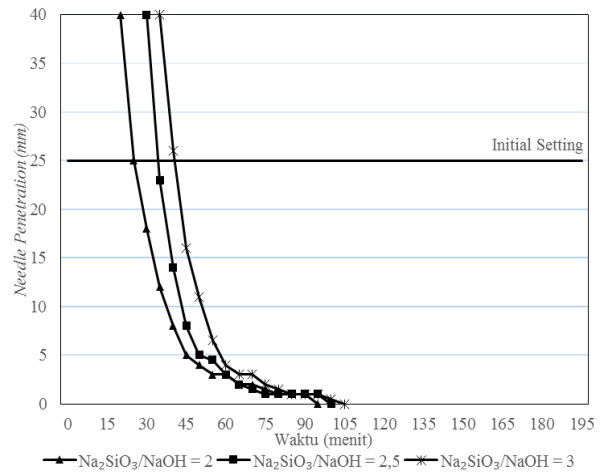
Fly Ash	pH	Fly ash : Pasir	Konsentrasi NaOH	w/FA	Na ₂ SiO ₃ /NaOH	Umur 7 hari	Umur 14 hari	Umur 28 hari
						(MPa)	(MPa)	(MPa)
FA 1	10.9	1 : 2	8 M	0.25	2	61.2	62.7	67.2
					2.5	56.2	65.8	68.2
					3	56.0	57.6	60.5
FA 2	11.1	1 : 2	8 M	0.25	2	62.2	63.3	77.8
					2.5	59.1	61.7	79.6
					3	54.8	55.7	78.1
FA 3	10.4	1 : 2	8 M	0.25	2	66.7	63.4	71.1
					2.5	57.8	58.4	63.7
					3	58.5	64.3	69.7
FA 4	11.8	1 : 2	8 M	0.25	2	68.8	73.3	81.9
					2.5	72.6	67.4	85.0
					3	66.6	65.3	76.0
FA 5	10.6	1 : 2	8 M	0.25	2	60.5	64.3	67.2
					2.5	58.1	60.7	68.1
					3	61.1	58.1	65.9
FA 6	10.8	1 : 2	8 M	0.25	2	61.1	57.6	67.0
					2.5	59.0	56.6	66.0
					3	57.1	54.4	64.0
FA 7	10.6	1 : 2	8 M	0.25	2	56.0	57.3	58.4
					2.5	54.4	59.2	64.0
					3	57.3	64.0	65.2
FA 8	11.7	1 : 2	8 M	0.25	2	53.9	60.3	77.2
					2.5	61.8	62.4	73.6
					3	61.3	56.3	72.5
FA 9	11.4	1 : 2	8 M	0.25	2	54.4	70.0	69.2
					2.5	55.6	67.2	76.0
					3	54.1	66.6	71.2
FA 10	11.2	1 : 2	8 M	0.25	2	54.0	56.0	60.0
					2.5	67.0	64.0	69.7
					3	62.0	60.0	58.0

4.3 Setting Time Pasta Geopolimer

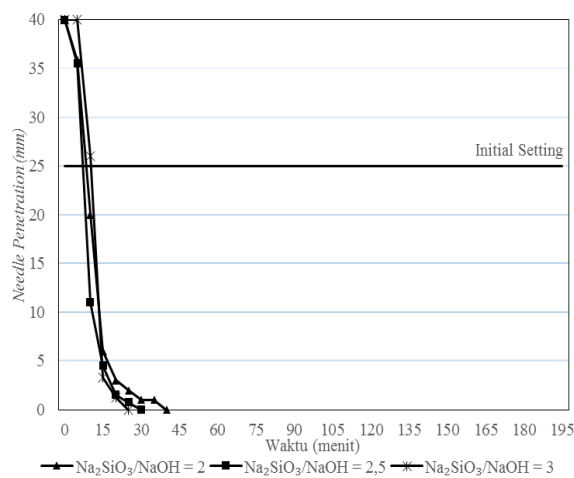
Pengujian *setting time* pada pasta geopolimer ini dilakukan pada enam *fly ash* yaitu FA 2, FA 3, FA 4, FA 5, FA 8, dan FA 10. Pengujian ini juga bertujuan untuk mengetahui pengaruh pH dan CaO *fly ash* serta pengaruh perbandingan larutan alkali (Na₂SiO₃/NaOH) terhadap *setting time* pasta geopolimer. Pengujian *setting time* dilakukan pada suhu ruangan yang berkisar 30° C. Hasil dari pengujian *setting time* dapat dilihat pada **Gambar 1**.



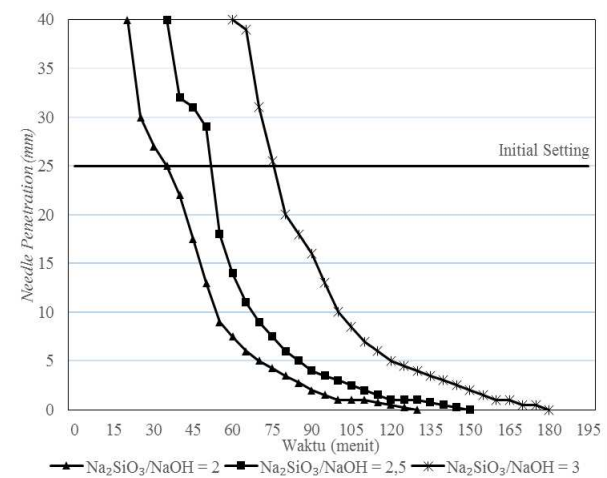
(a)



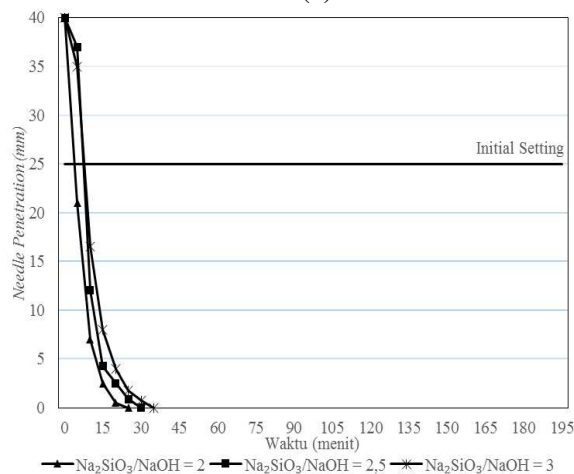
(b)



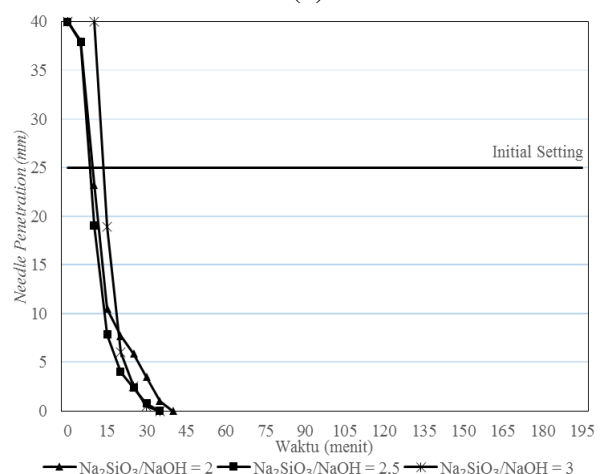
(c)



(d)



(e)



(f)

Gambar 1. Setting Time Pasta Geopolimer pada 6 Fly Ash yaitu: a) FA 2, b) FA 3, c) FA 4, d) FA 5, e) FA 8, f) FA 10

Pada **Gambar 2** dapat dilihat bahwa *setting time* dari FA 2, FA 3, FA 5, dan FA 8 semakin lama seiring dengan semakin besarnya nilai perbandingan larutan alkali. Hal ini disebabkan karena perbandingan larutan alkali yang semakin besar membuat bertambahnya jumlah cairan *alkaline activator* sehingga *setting time* menjadi lebih lama (Nath & Sarker, 2014). Untuk FA 4 dan FA 10,

semakin besarnya nilai perbandingan larutan alkali membuat *final setting* menjadi lebih lama. Hal tersebut diakibatkan dari pasta yang perbandingan larutan alkalinya lebih besar memiliki pori-pori lebih banyak sehingga pasta menjadi lebih cepat kering.

Nilai pH *fly ash* yang semakin tinggi membuat *setting time* pasta geopolimer semakin cepat. FA 4, FA 8 dan FA 10 hanya membutuhkan waktu 35 menit untuk mencapai *final setting*. Hal ini disebabkan karena ketiga *fly ash* menyebabkan *flash setting*. *Flash setting* dalam penelitian ini adalah kondisi dimana mortar/pasta memiliki *initial setting* kurang dari 5 menit. Selain pH *fly ash*, kandungan CaO dari *fly ash* juga mempengaruhi *setting time* dari pasta geopolimer. Hal tersebut dapat dilihat dari **Tabel 6**, dimana FA 3 dan FA 5 memiliki waktu *initial* dan *final setting* yang jauh berbeda meskipun selisih pH dari kedua *fly ash* hanya 0,2.

Tabel 6. Pengaruh Kandungan CaO terhadap Setting Time

Sodium Silikat/NaOH = 2,5				
<i>Fly Ash</i>	pH	CaO(%wt)	<i>Initial Setting (menit)</i>	<i>Final Setting (menit)</i>
FA 2	11,1	9,4	70	190
FA 10	11,2	-	15	35
FA 3	10,4	13,3	35	95
FA 5	10,6	11,19	53	150
FA 4	11,8	20,42	7	28
FA 8	11,7	-	7	30

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Bedasarkan hasil analisa dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Variasi pengambilan *fly ash* yang berbeda-beda, dapat menyebabkan adanya perbedaan terhadap ukuran partikel, pH, dan kandungan kimia *fly ash* sehingga hal ini dapat menyebabkan terjadinya variasi pada kuat tekan dan *setting time* mortar geopolimer.
2. Nilai pH *fly ash* yang semakin tinggi memiliki kecenderungan membuat nilai kuat tekan mortar geopolimer semakin tinggi, baik untuk nilai perbandingan larutan alkali ($\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$) sebesar 2; 2,5; & 3.
3. Hasil dari uji ayakan no #325 menunjukkan bahwa masing-masing *fly ash* lolos uji ayakan dengan nilai rata-rata lebih besar dari 80%, ini menunjukkan bahwa masing-masing *fly ash* memiliki derajat kehalusan yang bagus karena syarat standar adalah 66%.
4. Kandungan Ca yang tinggi pada *fly ash*, dapat mempercepat *setting* yang terjadi dan menghasilkan nilai kuat tekan yang lebih tinggi jika dapat membuat mortar dengan baik. Seiring tingginya nilai Ca, maka besar kemungkinan menyebabkan *flash set*, sehingga membuat hasil dari mortar geopolimer kurang sempurna.
5. Kandungan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ sebesar 2; 2,5; & 3 tidak menyebabkan adanya perbedaan yang signifikan terhadap nilai kuat tekan mortar geopolimer. Akan tetapi, nilai kandungan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ sebesar 3 memiliki kecenderungan nilai kuat tekan yang lebih rendah.
6. Untuk *fly ash* yang tidak menyebabkan *flash set*, semakin tinggi kandungan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ maka membuat *setting time* menjadi lebih lama. Tetapi, untuk *fly ash* yang menyebabkan *flash set*, maka semakin tinggi kandungan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ membuat *setting time* lebih cepat.
7. Untuk *fly ash* yang menyebabkan *flash set*, perbandingan kandungan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ sebesar 2.5 & 3 lebih gampang untuk dicor karena mortar dapat dituang ke bekisting tanpa harus buru-buru. Sedangkan untuk perbandingan kandungan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ sebesar 2 menyebabkan mortar lebih cepat mengeras sehingga susah untuk dituang ke bekisting.

6. DAFTAR REFERENSI

- ASTM C618. *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use. Annual Book of ASTM Standards*, 3–6. doi:10.1520/C0618
- Diaz, E. I., Allouche, E. N., & Eklund, S. (2010). *Factors Affecting the Suitability of Fly Ash as Source Material for Geopolymers. Fuel*, 89(5), 992–996. doi:10.1016/j.fuel.2009.09.012
- Jamkar, S.S, Ghugal, Y.M, & Patankar, S.V. (2013). *Effect of Fineness of Fly Ash on Flow and Compressive Strength of Geopolymer Concrete. India*, (November 2015).
- Ekaputri, J. J., Priadana, K. A., Susanto, T. E., & Junaedi, S. (2013). *Physico-Chemical Characterization of Fly Ash. World Congress on Advances in Structural Engineering and Mechanics, Jeju, Korea*, 2988–2996.
- Hardjito, D., & 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
- Lloyd, N. A., & Rangan, B. V. (2010). *Geopolymer Concrete with Fly Ash. Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*, 3, 1493–1504.
- Nath, P., & 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. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.05.080
- Wijaya, S. W. (2015). *Faktor yang Mempengaruhi Setting Time Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash. Skripsi No: 01000202/MTS/2015. Universitas Kristen Petra, Surabaya*.
- Naik., & Singh, S. S. (1993). *Fly Ash Generation and Utilization - An Overview. Recent Trend in Fly Ash Utilization*, (June).