

PENGARUH PENAMBAHAN LARUTAN ASAM TERHADAP *SETTING TIME* DAN KUAT TEKAN GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR *FLY ASH* TIPE C

Jason Ghorman Herianto¹, Evelin Anastasia², Antoni³, Djwantoro Hardjito⁴

ABSTRAK : Perkembangan *fly ash* sebagai bahan pengganti semen saat ini sudah banyak digunakan khususnya pada beton geopolimer. *Fly ash* tipe C dengan kandungan CaO yang tinggi bila digunakan sebagai material dasar geopolimer dapat menyebabkan terjadinya *flash setting* atau pengerasan beton yang sangat cepat namun juga dapat meningkatkan kekuatan tekan pada beton geopolimer. Hal ini dapat menimbulkan masalah apabila digunakan sebagai bahan dasar beton geopolimer dalam skala yang besar yang memerlukan *setting time* yang cukup lama. Kandungan CaO dapat diindikasikan dengan nilai pH *fly ash* sehingga penelitian ini menggunakan larutan asam untuk menurunkan nilai pH awal dari *fly ash*. Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan bahwa penambahan larutan asam pada *fly ash* dapat menyebabkan pH awal *fly ash* berkurang namun *initial setting time* yang didapatkan justru bertambah cepat $\pm 40-60\%$. *Initial setting time* yang paling cepat dialami *fly ash* yang ditambahkan dengan larutan asam klorida (HCl). Selain itu, penggunaan larutan asam pada *fly ash* dapat menyebabkan kekuatan mortar geopolimer menurun. Dengan demikian, penggunaan larutan asam dapat menurunkan pH *fly ash* tetapi tidak dapat membuat *setting time* geopolimer berbahan dasar *fly ash* tipe C menjadi lebih lama.

KATA KUNCI : *fly ash*, *flash setting*, *setting time*, kuat tekan, larutan asam, nilai pH, penurunan pH awal.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan dunia konstruksi saat ini sangat pesat. Hal ini membuat bahan konstruksi seperti semen sangat diperlukan untuk mengimbangi perkembangan tersebut. Namun, penggunaan semen cukup mahal dikarenakan proses produksinya yang cukup panjang. Selain itu, tingginya jumlah karbon dioksida yang dilepaskan selama proses produksi dapat menyebabkan terjadinya pemanasan global. Hal ini yang menyebabkan munculnya inovasi lain untuk menggantikan semen, salah satunya dengan menggunakan *fly ash*. Penggunaan *fly ash* sebagai material dasar beton sangat menguntungkan karena *fly ash* merupakan sisa hasil pembakaran yang kebanyakan tidak digunakan kembali dan emisi gas CO₂ yang dihasilkan 80% lebih rendah daripada semen Portland (Duxson, Provis, Lukey, & van Deventer, 2007). Salah satu penggunaan *fly ash* yang dikembangkan yakni sebagai material dasar beton geopolimer. *Fly ash* dengan tipe F atau C merupakan material yang kaya akan unsur silika (Yildirim, Sümer, Akyüncü, & Gürbüz, 2011) bila dicampurkan dengan larutan alkali berupa sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat akan teraktivasi membentuk geopolimer. Namun, penggunaan *fly ash* dengan tipe C dapat menyebabkan *flash setting* sehingga dapat menjadi masalah bila digunakan dalam pengecoran dalam skala yang besar (Antoni, Wijaya, Satria, Sugiarto, & Hardjito, 2016). Hal ini disebabkan oleh kandungan kalsium (CaO) dalam *fly ash* tipe C yang lebih tinggi dibandingkan

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

²Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, anas.evelin@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

dengan tipe F (Junaid, Kayali, Khennane, & Black, 2015). Davidovits (2008) mengindikasikan tingkat pH *fly ash* yang tinggi menyebabkan kandungan CaO juga tinggi. Selain itu, penelitian sebelumnya juga menemukan bahwa tingkat pH *fly ash* yang semakin tinggi dapat menyebabkan terjadinya *flash setting* (Purwantoro & Suyanto, 2016).

Penggunaan senyawa asam HCl untuk *treatment* diketahui dapat mengurangi kadar Ca pada *fly ash* tipe F (Lieberman, Querol, Moreno, Mastai, & Cohen, 2016). Hal ini kemudian menimbulkan kemungkinan bahwa penggunaan asam dapat digunakan untuk mencegah terjadinya *flash setting* sekaligus menambah waktu *setting time* pada *fly ash* tipe C dengan menurunkan tingkat pH. Pada penelitian ini, *fly ash* yang digunakan diambil di PLTU Paiton, Probolinggo, Jawa Timur. Penelitian ini diutamakan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan larutan asam terhadap *setting time* dan kekuatan tekan geopolimer berbahan dasar *fly ash* tipe C.

2. STUDI LITERATUR

2.1 Geopolimer

Pada umumnya kita mengenal semen Portland (OPC) sebagai bahan pengikat untuk membentuk beton. Akan tetapi, pada dasarnya penggunaan semen dapat menghasilkan polusi terhadap lingkungan dan dapat mengurangi sumber daya alam khususnya batuan sedimentasi (Mustafa Al Bakri, Mohammed, Kamarudin, Niza, & Zarina 2011). Selain itu, proses pembuatan semen OPC membutuhkan pembakaran dengan menggunakan energi dan sumber daya alam yang besar sehingga menghasilkan emisi gas CO₂ yang signifikan (Kong & Sanjayan, 2008). Reaksi geopolimer diperkenalkan pertama kali oleh Prof. J. Davidovits sebagai alternatif untuk mengatasi masalah-masalah di atas. Perkembangannya dilanjutkan dengan temuan bahwa beton geopolimer memiliki hasil yang bagus seperti kekuatan tekannya tinggi, susut dan rangkai yang rendah, dan ketahanan terhadap sulfat (Lodeiro, Palomo, & Jiménez, 2007). Sementara itu, pembuatan beton geopolimer membutuhkan bahan yang kaya akan alumina (Al³⁺) dan silika (Si⁴⁺) (Xie & Ozbakkaloglu, 2015) dan direaksikan dengan larutan alkali. Salah satu bahan yang sering dipakai adalah *fly ash* dimana material ini kaya akan senyawa alumina dan silika (Lloyd & Rangan, 2010).

2.2 Fly Ash

Fly ash merupakan limbah yang berasal dari abu bekas pembakaran batu bara. Partikel *fly ash* biasanya berbentuk bulat serta lebih halus dari semen Portland dan kapur dengan diameter mulai kurang dari 1 µm hingga tidak lebih dari 150 µm (Hardjito, 2005). Kandungan kimia dalam *fly ash*, ukuran partikel dari *fly ash* dan *degree of vitrification* pada saat pendinginan memberi pengaruh yang besar pada pembuatan beton geopolimer (Diaz, Allouche, & Eklund, 2010). Selain itu, perbedaan karakteristik fisik maupun kimiawi *fly ash* juga tergantung dari metode pembakaran, sumber batubara dan bentuk partikel (Hardjito, 2005). Salah satu hal yang mempengaruhi hasil kuat tekan yaitu kadar kalsium dari *fly ash*.

2.3 Larutan Alkali

Larutan Alkali yang digunakan adalah sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat. Perbandingan dari campuran alkali ini juga merupakan hal yang penting yang dapat mempengaruhi beton geopolimer. Penelitian sebelumnya juga membuktikan bahwa semakin meningkatnya perbandingan antara NaOH dan sodium silikat maka kekuatan tekannya akan berkurang signifikan (Aliabdo, Elmoaty, Elmoaty, & Salem, 2016). Selain itu, Hardjito (2005) mendapatkan bahwa perbandingan massa sodium silikat dan sodium hidroksida yang paling efektif adalah 2.5.

Proses perawatan beton geopolimer juga memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan beton tersebut. Salah satunya adalah proses *curing* yang dilakukan. Proses *curing* pada beton geopolimer dilakukan dengan cara *steam curing*. Pada suhu tertentu, proses *curing* akan memberikan pengaruh yang signifikan pada kuat tekan beton geopolimer (Mustafa Al Bakri et al., 2011). Selain itu,

lama waktu dari proses *curing* juga memberi pengaruh terhadap kuat tekan beton (Hardjito, Wallah, Sumajouw, & Rangan, 2004).

2.4 Flash Setting

Flash setting merupakan kondisi dimana proses pengerasan atau *setting time* yang terjadi sangat cepat hanya beberapa menit setelah penambahan larutan alkali. Hal ini menyebabkan masalah apabila penggunaan beton geopolimer dalam skala yang besar dan *setting time* yang lama sangat perlu dipastikan (Antoni et al., 2016). Peneliti sebelumnya mengatakan jika *fly ash* yang memiliki kadar kalsium yang tinggi dan konsentrasi larutan NaOH yang digunakan juga tinggi dapat menyebabkan *flash setting* (Junaid et al., 2015). Davidovits, (2008) mengindikasikan tingkat pH *fly ash* yang tinggi menyebabkan kandungan CaO juga tinggi dan ini yang menyebabkan terjadinya *flash setting*.

Upaya untuk mengatasi *flash setting* sudah dilakukan dengan menggunakan *superplasticiser* (Chindaprasirt, Chareerat, & Sirivivatnanon, 2007), dan sukrosa atau gula (Kusbiantoro, Ibrahim, Muthusamy, & Alias, 2013). Penggunaan *superplasticiser* dan sukrosa dapat menambah waktu *setting time*. Penelitian berikutnya ditemukan bahwa penambahan boraks dapat memperlama *setting time* dan kesimpulan bahwa tingkat pH *fly ash* yang tinggi, sebagai bahan dasar geopolimer, menjadi indikator terjadinya *flash setting* (Antoni et al., 2016). Penelitian lainnya juga menemukan indikasi yang sama bahwa tingkat pH *fly ash* yang tinggi dapat menyebabkan *setting time* yang lebih cepat (Purwantoro, & Suyanto, 2016).

2.5 Penambahan Asam

Secara umum *fly ash* bersifat basa, *fly ash* tipe C memiliki pH sekitar 10-12 sedangkan tipe F sekitar 8-9. Penggunaan senyawa asam pada beton geopolimer masih jarang sekali. Hal ini dikarenakan sifat asam yang dapat mengakibatkan kerusakan, khususnya apabila digunakan pada beton dengan tulangan baja. Akan tetapi, asam berpotensi digunakan sebagai *retarder*. Penggunaan asam mulai digunakan sebagai *retarder* untuk memperlambat proses hidrasi pada semen (Tinnea & Young, 1977). Pada penelitian berikutnya mulai dikembangkan penggunaan asam sitrit sebagai *retarder* proses hidrasi pada semen Portland (Möschner, Lothenbach, Figi, & Kretzschmar, 2009). Selain itu, Tinnea & Young (1978) juga menemukan bahwa penambahan kadar asam sitrit juga dapat memperlambat proses hidrasi sehingga mencegah terjadinya pengerasan yang terlalu cepat pada beton konvensional. Peneliti lainnya juga memastikan bahwa asam sitrit dapat memperlambat *setting time* pada beton konvensional dan menemukan indikasi kekuatan tekan beton pada umur awal sangat rendah (Velazco, Almanza, Cortés, & Escobedo, 2014). Dalam penelitian Lieberman et al. (2016), penggunaan asam HCl dapat mengurangi kadar Ca pada *fly ash*. Dengan demikian, penambahan berbagai macam larutan asam pada *fly ash* dapat menyebabkan penurunan nilai pH dan mengurangi kadar CaO bebas pada *fly ash* sehingga *setting time* dapat diperlambat.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Material

Fly ash yang digunakan adalah *fly ash* tipe C yang diambil dari PLTU Paiton, Probolinggo, Jawa Timur. Penelitian ini menggunakan 2 sampel *fly ash* (F1 & F2) yang diambil pada waktu berbeda. Pengukuran pH dan pengujian XRF dilakukan pada semua sampel *fly ash*. Pengukuran pH menggunakan dua cara yaitu ASTM D 5239 (2004) dan menggunakan cara Davidovits (2008). Pengujian XRF dilakukan di PT. Sucofindo. Analisa ayakan dilakukan menggunakan ayakan no #325 berdasarkan ASTM C 311 (2005). Pasir yang digunakan merupakan pasir Lumajang. Asam yang digunakan dalam penelitian ini meliputi asam klorida (HCl) 10.5M, asam sulfat (H₂SO₄) 16.9 M, asam nitrat (HNO₃) 16.3M dan asam asetat (CH₃COOH) 17.2M.

3.2 Larutan Alkali

Larutan alkali yang digunakan dalam penelitian ini adalah sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat tipe 52. Perbandingan massa larutan sodium silikat dan larutan sodium hidroksida adalah 2,5 dengan kadar molaritas NaOH 8 M.

3.3 Mix Design

Mix design yang digunakan dibagi ke dalam dua tahap. Komposisi *mix design* dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 1**. *Mix design* digunakan untuk satu bekisting yang berisi tiga kubus dengan ukuran satu kubus 5x5x5 cm. Penggunaan asam merupakan penambah terhadap presentase berat *fly ash* yakni 1.67% dari berat *fly ash*. Penambahan asam sebanyak 1.67% dari berat *fly ash* ini menyesuaikan dengan penelitian Kusbiantoro et al. (2013). Jumlah penambahan asam dibuat seragam pada setiap larutan asam agar dapat dilihat perbedaan pengaruh penambahan setiap larutan asam dengan jelas. Curing menggunakan curing oven dengan suhu 60°C selama 24 jam. Pemberian nama *mix design* dibuat berdasarkan jenis *fly ash* yang digunakan beserta asam yang ditambahkan. Sebagai contoh, F1H₂SO₄ yang digunakan adalah jenis *fly ash* F1 dan larutan asam yang ditambahkan yakni asam sulfat.

Tabel 1. Mix Design yang Digunakan dalam Penelitian

Fly Ash	Mix Design	HCl	H ₂ SO ₄	HNO ₃	CH ₃ COOH
		(%)	(%)	(%)	(%)
F1	Kontrol	-	-	-	-
	F1HCl	1.67	-	-	-
	F1H ₂ SO ₄	-	1.67	-	-
	F1HNO ₃	-	-	1.67	-
	F1CH ₃ COOH	-	-	-	1.67
F2	Kontrol	-	-	-	-
	F2HCl	1.67	-	-	-
	F2H ₂ SO ₄	-	1.67	-	-
	F2HNO ₃	-	-	1.67	-
	F2CH ₃ COOH	-	-	-	1.67

3.4 Pengujian Sampel

Pengujian yang dilakukan adalah *setting time* dan kuat tekan. Pengujian *setting time* menggunakan *vicat needle* dan pengujian kuat tekan menggunakan alat tes tekan beton di laboratorium beton Universitas Kristen Petra

4. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Material

Karakterisasi material dilakukan untuk menganalisa karakteristik *fly ash* yang digunakan. Dalam penelitian ini, karakterisasi material berupa analisa ayakan, pengujian pH *fly ash* sebelum dan sesudah penambahan asam, dan pengujian *X-ray fluorescence* (XRF) yang dilakukan di PT. Sucofindo. Selain itu, agregat halus yang digunakan, yaitu pasir Lumajang, terlebih dahulu juga dilakukan pengaturan gradasi berdasarkan ASTM C 778 (2009) sehingga pasir yang digunakan memiliki gradasi yang seragam. Hasil dari pengujian pH dengan dua cara dapat dilihat pada **Tabel 2**. Pengujian *fineness* pada *fly ash* dilakukan dengan *sieve shaker* selama 10 menit. Hasil pengujian dapat dilihat pada **Tabel 3**. Sementara itu, hasil pengujian pH *fly ash* setelah penambahan asam dapat dilihat pada **Tabel 4**. Penentuan senyawa kimia dari *fly ash* bisa ditentukan dengan menggunakan pengujian XRF.

Tabel 2. Nilai pH Fly Ash

Material	pH	
	ASTM 5239 (20/80)	J.Davidovits (10/100)
F1	11.3	11.2
F2	11.6	11.2

Tabel 3. Fly Ash Tertahan pada Ayakan #325

Fly Ash	F1	F2
% Tertahan Ayakan nomor #325	12%	8%

Tabel 4. pH Fly Ash setelah Ditambahkan Asam

Fly Ash	Larutan Asam	Persentase Asam (%)	pH	
			ASTM 5239 (20/80)	J.Davidovits (10/100)
F2	Kontrol	-	11.6	11.2
	Asam Klorida (HCl)	1.67	9.4	10.2
	Asam Sulfat (H ₂ SO ₄)		7.3	8.0
	Asam Nitrat (HNO ₃)		9.2	9.9
	Asam Asetat (CH ₃ COOH)		9.3	9.4

Tabel 4. menunjukkan bahwa penambahan asam dapat menyebabkan penurunan pH awal *fly ash* yang digunakan yaitu sebesar 24% untuk pengetesan menggunakan cara ASTM 5239 dan sebesar 16% untuk pengetesan menggunakan cara J. Davidovits. Davidovits (2008) mengatakan bahwa semakin tinggi nilai pH *fly ash* mengindikasikan kandungan CaO juga tinggi sehingga memungkinkan terjadi *flash setting*. Peneliti menduga kandungan CaO pada *fly ash* juga mengalami penurunan karena larutan asam berikatan dengan CaO bebas pada *fly ash*, ditandai dengan turunnya nilai pH. Namun, kesatuan antar partikel *fly ash* dan asam masih diragukan dikarenakan oleh kandungan asam yang sedikit. Hasil dari pengujian XRF dapat dilihat pada **Tabel 5.**

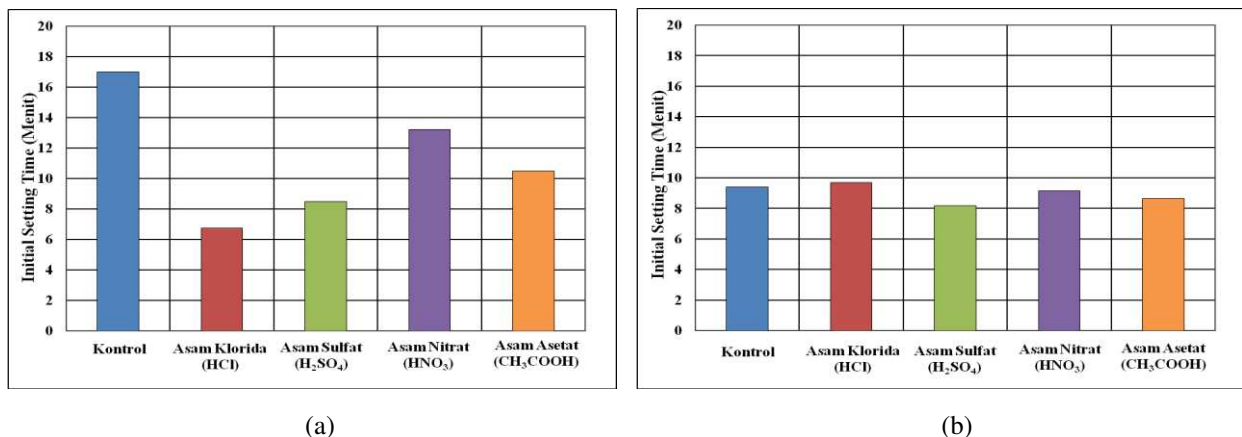
Tabel 5. Hasil Tes XRF

No.	Parameter	Unit	Test Result	
			F1	F2
1	SiO ₂	% wt	35.46	34.29
2	Al ₂ O ₃	% wt	16.91	16.62
3	Fe ₂ O ₃	% wt	15.43	15.38
4	TiO ₂	% wt	0.75	0.73
5	CaO	% wt	16.98	18.18
6	MgO	% wt	7.23	7.52
7	K ₂ O	% wt	1.32	1.35
8	Na ₂ O	% wt	2.83	2.97
9	SO ₃	% wt	1.72	1.63
10	MnO ₂	% wt	0.18	0.17
11	P ₂ O ₅	% wt	0.26	0.25
12	L O I	% wt	0.4	0.36

Dari hasil tes XRF dapat dilihat bahwa semua *fly ash* termasuk tipe C, dengan kandungan $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ lebih dari 50% dan kadar CaO yang di atas 10%.

4.2 Pengujian *Setting Time* Pasta Geopolimer

Pengujian *setting time* menggunakan alat *vicat needle* dilakukan berdasarkan ASTM C 191 (2004). *Initial setting time* mengindikasikan waktu terjadinya pengerasan awal pada beton. **Gambar 1** menunjukkan hasil pengujian *setting time* pasta geopolimer dengan penambahan berbagai macam asam dengan persentase asam yang ditambahkan sebesar 1.67% dari berat *fly ash*. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa penambahan asam justru mempercepat *setting time*. Hal ini terlihat jelas penambahan asam pada F1 dapat mempercepat *initial setting time* ± 40-60% bila dibandingkan dengan F1 kontrol. Selain itu, **Gambar 1** juga menunjukkan penambahan asam pada F2 juga mengalami percepatan dibandingkan dengan F2 kontrol. Namun, penambahan asam pada F2 tidak menyebabkan percepatan sebesar penambahan asam pada F1 yakni ± 8% dibandingkan F2 kontrol.



Gambar 1. Initial Setting Time pada Pasta Geopolimer (a) F1 , (b) F2

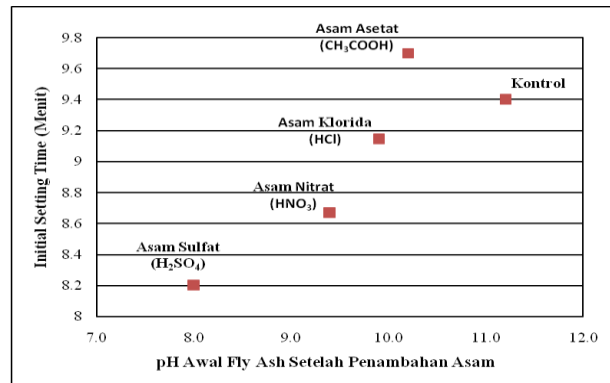
Hasil - hasil ini tidak selaras dengan penelitian-penelitian sebelumnya, dimana asam sitrit berperan sebagai *retarder* proses hidrasi pada semen (Möschner et al., 2009) dan beton konvensional (Tinnea & Young, 1977). Hasil yang tidak sama dikarenakan penelitian ini menggunakan jenis asam yang berbeda yakni asam klorida, asam sulfat, asam nitrat, dan asam asetat namun dengan komposisi yang sama yakni 1.67 % dari berat *fly ash*. Selain itu, penggunaan asam juga diterapkan pada jenis yang berbeda yaitu geopolimer. Akan tetapi, hasil *setting time* yang bertambah cepat juga dialami pada penelitian sebelumnya dengan penambahan asam sitrit pada pasta geopolimer (Kusbiantoro et al., 2013).

Gambar 1 juga menunjukkan bahwa terjadi perbedaan yang besar pada *initial setting time* F1 dan F2. *Initial setting time* yang terjadi pada F2 lebih cepat ± 8 menit daripada F1. Hal ini disebabkan oleh indikasi kandungan CaO pada F2 yang lebih besar 2% daripada F1. Selain itu, dengan adanya penambahan asam pada *fly ash* kering dapat menyebabkan terjadinya reaksi di dalam *fly ash* sehingga *initial setting time* menjadi lebih cepat. Peneliti mengindikasikan hal ini disebabkan oleh *fly ash* kering tersebut menjadi panas saat asam ditambahkan ke dalam *fly ash*. Kusbiantoro et al. (2013) menduga reaksi yang terjadi saat *fly ash* ditambahkan dengan asam sitrit adalah pembentukan C_3A yang dapat menyebabkan pengerasan terjadi lebih cepat. Pada beton konvensional, reaksi C_3A atau *tricalcium aluminate* menyebabkan terjadinya percepatan hidrasi yang menyebabkan terbentuknya *calcium hydroaluminate* ($3\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Ca}(\text{OH})_2 - n\text{H}_2\text{O}$ atau hydroxy-AFm), yang membuat pasta beton mengeras lebih cepat (Pourchet, Regnaud, Perez, & Nonat, 2009).

4.3 Pengaruh pH Awal *Fly Ash* pada *Initial Setting Time* Geopolimer

Dalam penelitian sebelumnya dikatakan bahwa nilai pH mempengaruhi *initial setting time* pasta geopolimer (Purwantoro, Suyanto, & Hardjito, 2016). Nilai pH yang semakin tinggi menyebabkan

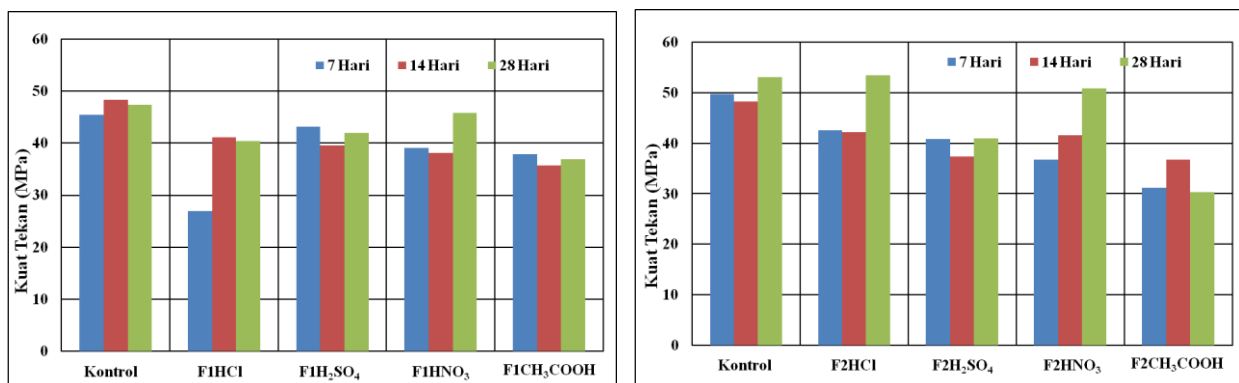
setting time yang sangat cepat dikarenakan kandungan CaO dalam *fly ash* juga sangat tinggi (Davidovits, 2008). **Gambar 2** menunjukkan hasil pengujian pH awal *fly ash* setelah dilakukan berbagai macam penambahan asam dengan Davidovits (2008) terhadap *initial setting time* yang dihasilkan. Berdasarkan hasil penelitian dapat dilihat bahwa penambahan larutan asam sulfat menyebabkan penurunan pH awal paling besar dibandingkan larutan asam lainnya. Akan tetapi, *initial setting time* yang terjadi pada pasta justru lebih cepat dibandingkan dengan penambahan asam lainnya.



Gambar 2. Nilai pH Awal *Fly Ash* setelah Penambahan Asam terhadap *Initial Setting Time*

4.4 Pengujian Kuat Tekan Mortar Geopolimer

Penambahan asam sebanyak 1.67 % dari berat *fly ash* ini menyesuaikan dengan penelitian Kusbiantoro et al. (2013), dimana asam yang digunakan sebanyak 1.5 % dari berat *fly ash*. Selain itu, jumlah yang seragam dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh penambahan berbagai macam larutan asam terhadap kekuatan tekan mortar. Pertimbangan lainnya dalam pemilihan jumlah asam yang digunakan yakni penggunaan asam yang banyak dapat menyebabkan kerusakan pada beton, khususnya pada beton yang menggunakan tulangan baja. Pengujian kuat tekan menggunakan mortar yang berbentuk kubus dengan ukuran 5x5x5 cm, dan diuji setelah mortar berumur 7, 14 dan 28 hari. **Gambar 3** menunjukkan kuat tekan mortar geopolimer dengan penambahan asam. Hasil kuat tekan merupakan rata-rata dari 3 buah benda uji.



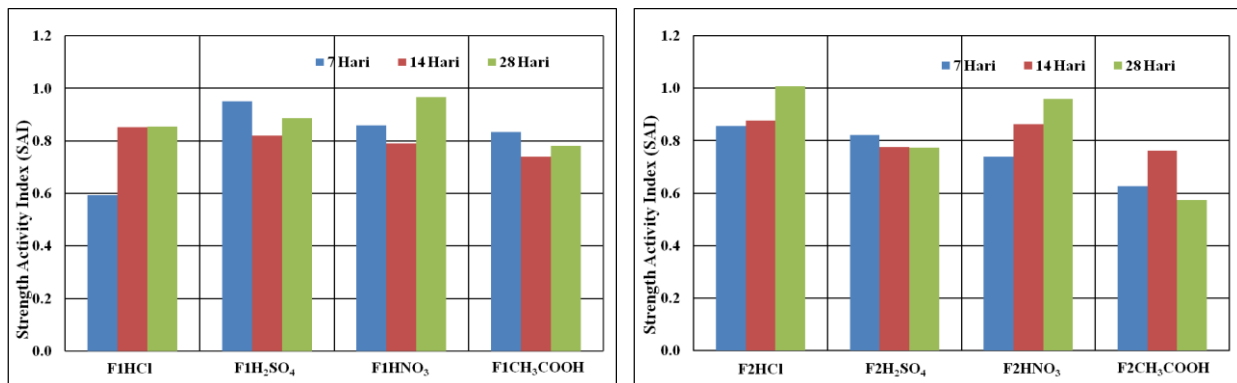
Gambar 3. Grafik Kuat Tekan Mortar Geopolimer (a) F1 , (b) F2

Pada **Gambar 3** terlihat bahwa penambahan asam pada mortar geopolimer berbahan dasar *fly ash* F1 sebanyak 1.67% relatif menurunkan hasil kekuatan tekan dibanding dengan mortar geopolimer tanpa penggunaan asam. Pada penambahan asam klorida sebanyak 1.67% terlihat bahwa mortar geopolimer berumur 7 hari mengalami penurunan yang cukup drastis dengan selisih lebih dari 40% dari mortar tanpa penambahan asam. Hasil ini sama dengan penelitian tentang penggunaan asam sitrit pada beton

konvensional yang menyebabkan kuat tekan beton pada umur awal sangat rendah (Velazco et al., 2014).

Penurunan kekuatan tekan ini tidak hanya terjadi pada mortar geopolimer berumur 7 hari namun juga terjadi pada mortar geopolimer berumur 14 hari dan 28 hari bila dibandingkan dengan tanpa penggunaan asam. Selain itu, **Gambar 4** juga menunjukkan bahwa penambahan asam pada mortar geopolimer berbahan dasar *fly ash* F1 dan F2 juga mengalami penurunan hasil kekuatan tekan dibanding dengan mortar geopolimer tanpa penambahan asam baik diumur 7 hari, 14 hari ataupun 28 hari. Hal ini terlihat dari nilai *strength activity index* (SAI) dari beberapa variasi asam yang memiliki nilai dibawah 1. Nilai *strength activity index* (SAI) yaitu nilai yang menunjukkan perbandingan kuat tekan suatu spesimen dibandingkan dengan hasil kuat tekan kontrol pada umur yang sama (Ekaputri et al., 2015)

Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa pada umur yang sama mortar geopolimer yang mengandung asam memiliki nilai kuat tekan lebih rendah dibandingkan dengan mortar geopolimer tanpa penambahan asam. Pada penambahan asam klorida (HCl) dan asam nitrat (HNO₃), nilai kuat tekan mortar geopolimer dari umur 7 hari hingga 28 hari mengalami peningkatan yang cukup signifikan, namun hal ini tidak berlaku untuk penambahan asam sulfat (H₂SO₄) dan asam asetat (CH₃COOH) yang memiliki nilai kuat tekan dari umur 7 hari hingga 28 hari yang menurun.



(a) (b)
Gambar 4. Grafik Strength Activity Index (SAI) Mortar Geopolimer (a) F1 , (b) F2

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan larutan asam pada *fly ash* menyebabkan pH awal *fly ash* mengalami penurunan sehingga ada kemungkinan kandungan senyawa dalam *fly ash* seperti CaO bebas juga berikatan dengan asam.
2. Pada penelitian ini, penurunan pH awal *fly ash* tidak menyebabkan pertambahan *initial setting time* tetapi yang terjadi sebaliknya. Hal ini memungkinkan tidak adanya kaitan antara pH awal dengan *initial setting time* bila digunakan penambahan asam. Penambahan larutan asam justru menyebabkan percepatan *initial setting time* pasta geopolimer. *Initial setting time* paling cepat terjadi bila dilakukan penambahan larutan asam klorida (HCl).
3. Penambahan larutan asam menyebabkan kekuatan tekan pada geopolimer lebih rendah bila dibandingkan kontrol. Pada penelitian ini, penambahan asam sulfat (H₂SO₄), dan asam asetat (CH₃COOH) menghasilkan kekuatan tekan yang paling rendah. Selain itu, penurunan kekuatan tekan juga terjadi pada pertambahan umur mortar geopolimer. Hal ini berkebalikan dengan mortar geopolimer yang ditambahkan dengan asam klorida (HCl) dan asam nitrat (HNO₃) yang mengalami peningkatan kekuatan seiring pertambahan umurnya.

6. DAFTAR REFERENSI

- Aliabdo, A. A., Elmoaty, A., Elmoaty, M. A., & Salem, H. A. (2016). Effect of Water Addition , Plasticizer and Alkaline Solution Constitution on Fly Ash Based Geopolymer Concrete Performance. *Construction and Building Materials*, 121, 694–703. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.062>
- Antoni, Wijaya, S. W., Satria, J., Sugiarto, A., & Hardjito, D. (2016). The Use of Borax in Deterring Flash Setting of High Calcium Fly Ash Based Geopolymer. *Materials Science Forum*, 857, 416–420. <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.857.416>
- ASTM C 191. (2004). Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle. *Annual Book of ASTM Standards*. Retrieved from www.astm.org
- ASTM C 311. (2005). Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete. *Annual Book of ASTM Standards*, 04.02, 204–212. <http://doi.org/10.1520/C0311-13.2>
- ASTM C 778. (2009). Standard Specification for Standard Sand. *Annual Book of ASTM Standards*, 14, 15–17. Retrieved from www.astm.org
- ASTM D 5239. (2004). Standard Practice for Characterizing Fly Ash for Use in Soil Stabilization. *Annual Book of ASTM Standards*, 4, 98–100. Retrieved from www.astm.org
- Chindaprasirt, P., Chareerat, T., & Sirivivatnanon, V. (2007). Workability and Strength of Coarse High Calcium Fly Ash Geopolymer. *Cement and Concrete Composites*, 29(3), 224–229. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.11.002>
- Davidovits. (2008). *Geopolymer Chemistry and Applications*. Retrieved from www.geopolymer.org. France: Institut Géopolymère.
- 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. <http://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.09.012>
- Duxson, P., Provis, J. L., Lukey, G. C., & van Deventer, J. S. J. (2007). The Role of Inorganic Polymer Technology in the Development of “Green Concrete.” *Cement and Concrete Research*, 37(12), 1590–1597. <http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.08.018>
- Ekaputri, J. J., Bahrul Ulum, M., Triwulan, Ridho, B., Susanto, T. E., & Al Bakri Abdullah, M. M. (2015). A Comprehensive Characterization and Determination of Fly Ashes in Indonesia Using Different Methods. *Applied Mechanics and Materials*, 754–755, 320–325. <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.754-755.320>
- Hardjito, D. (2005). *Studies on Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*. Retrieved from http://espace.library.curtin.edu.au/cgi-bin/espace.pdf?file=/2008/09/16/file_1/18580
- Hardjito, D., Wallah, S. E., Sumajouw, D. M. J., & Rangan, B. V. (2004). Factors Influencing the Compressive Strength of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. *Civil Engineering Dimension*, 6(2), 88–93.
- Junaid, M. T., Kayali, O., Khennane, A., & Black, J. (2015). A Mix Design Procedure for Low Calcium Alkali Activated Fly Ash-Based Concretes. *Construction and Building Materials*, 79, 301–310. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.01.048>
- Kong, D. L. Y., & Sanjayan, J. G. (2008). Damage Behavior of Geopolymer Composites Exposed to Elevated Temperatures. *Cement and Concrete Composites*, 30(10), 986–991. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.08.001>
- Kusbiantoro, A., Ibrahim, M. S., Muthusamy, K., & Alias, A. (2013). Development of Sucrose and Citric Acid as the Natural Based Admixture for Fly Ash Based Geopolymer. *Procedia Environmental Sciences*, 17, 596–602. <http://doi.org/10.1016/j.proenv.2013.02.075>
- Lieberman, R. N., Querol, X., Moreno, N., Mastai, Y., & Cohen, H. (2016). Physical and Chemical Changes in Coal Fly Ash during Acidic or Neutral Wastes Treatment, and its' Effect on the Fixation Process. *Fuel*, 184, 69–80. <http://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.06.107>
- Lloyd, N. a, & Rangan, B. V. (2010). Geopolymer Concrete with Fly Ash. *Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*, 3, 1493–1504.
- Lodeiro, G., Palomo, A., & Jiménez, F. A. (2007). Alkali – Aggregate Reaction in Activated Fly Ash

- Systems. *Cement and Concrete Research*, 37(2), 175–183. <http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.11.002>
- Möschner, G., Lothenbach, B., Figi, R., & Kretzschmar, R. (2009). Influence of Citric Acid on the Hydration of Portland Cement. *Cement and Concrete Research*, 39(4), 275–282. <http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.01.005>
- Mustafa Al Bakri, A. M., Kamarudin, H., Bin Hussain, M., Khairul Nizar, I., Zarina, Y., & Rafiza, A. R. (2011). The Effect of Curing Temperature on Physical and Chemical Properties of Geopolymers. *Physics Procedia*, 22, 286–291. <http://doi.org/10.1016/j.phpro.2011.11.045>
- Pourchet, S., Regnaud, L., Perez, J. P., & Nonat, A. (2009). Early C3A Hydration in the Presence of Different Kinds of Calcium Sulfate. *Cement and Concrete Research*, 39(11), 989–996. <http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.07.019>
- Purwanto, A., Suyanto, W., & Hardjito, D. (2016). Pengaruh Penambahan Boraks dan Kalsium Oksida terhadap Setting Time dan Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Tipe C. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 5(2), 1–8. Retrieved from <http://studentjournal.petra.ac.id/index.php/teknik-sipil/article/view/4901/4509>
- Tinnea, J., & Young, J. F. (1977). Influence of Citric Acid on Reactions in the System $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 = \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{H}_2\text{O}$. *Journal of The American Ceramic Society*, 60(9–10), 387–389.
- Velazco, G., Almanza, J. M., Cortés, D. A., & Escobedo, J. C. (2014). Effect of Citric Acid and the Hemihydrate Amount on the Properties of a Calcium Sulphoaluminate Cement. *Materiales de Construcción*, 64(316), 1–8. <http://doi.org/10.3989/mc.2014.03513>
- Xie, T., & Ozbakkaloglu, T. (2015). Behavior of Low-Calcium Fly and Bottom Ash-Based Geopolymer Concrete Cured at Ambient Temperature. *Ceramics International*, 41(4), 5945–5958. <http://doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.01.031>
- Yildirim, H., Sümer, M., Akyüncü, V., & Gürbüz, E. (2011). Comparison on Efficiency Factors of F and C Types of Fly Ashes. *Construction and Building Materials*, 25(6), 2939–2947. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.12.009>