

PENGARUH URUTAN PENCAMPURAN DAN KOMPOSISI ALKALI ACTIVATOR TERHADAP KARAKTERISTIK MORTAR GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR FLY ASH TIPE C

Wempy Erlando¹⁾, Goey Frengki²⁾, Djwantoro Hardjito³⁾, dan Antoni⁴⁾

ABSTRAK : Geopolimer umumnya dibuat dengan mencampurkan *fly ash* dengan larutan *alkali activator*. Penggunaan *fly ash* tipe C yang memiliki kandungan kalsium yang tinggi menyebabkan *flash setting* dalam pembuatan geopolimer. Pada penelitian sebelumnya, sudah diperoleh solusi untuk menyelesaikan masalah ini yaitu mengubah urutan pencampuran mortar geopolimer. Namun, hal ini berakibat pada menurunnya kuat tekan dari mortar geopolimer. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh urutan pencampuran, lama waktu pencampuran, dan komposisi *alkali activator* terhadap *setting time* dan kuat tekan mortar geopolimer. Campuran dibagi menjadi 2 yaitu dengan rasio sodium silikat/NaOH sebesar 2.5 dan dengan sodium silikat tetap. Konsentrasi NaOH yang digunakan dari 6M sampai 14M. Berdasarkan hasil penelitian, urutan pencampuran berpengaruh pada *initial setting time* dan kuat tekan. Pada rasio sodium silikat/NaOH sebesar 2.5, semakin tinggi konsentrasi NaOH yang digunakan, maka semakin lama *initial setting time* yang dihasilkan. Penggunaan konsentrasi NaOH lebih dari 10M bisa menyebabkan menurunnya kuat tekan mortar geopolimer. Campuran dengan komposisi sodium silikat tetap, semakin tinggi konsentrasi NaOH menyebabkan *initial setting time* menjadi semakin cepat, tetapi kuat tekannya bertambah.

KATA KUNCI : *fly ash* tipe C, *flash setting*, *initial setting time*, kuat tekan, urutan pencampuran, lama Pencampuran, *alkali Activator*, konsentrasi NaOH

1. PENDAHULUAN

Penggunaan *fly ash* pada beton geopolimer adalah strategi yang penting dalam membuat beton ramah lingkungan. Oleh karena itu, *fly ash* dipilih sebagai material dasar dengan tujuan memanfaatkan limbah industri (Hardjito et al., 2004). Prosedur pembuatan pada umumnya adalah mencampurkan larutan NaOH dengan larutan sodium silikat sebagai *alkali activator*, kemudian mencampurkannya dengan material kering seperti pasir dan *fly ash* (Hardjito et al., 2005). Pemakaian *fly ash* tipe C menimbulkan masalah berupa *flash set* karena memiliki kandungan kalsium yang tinggi. Pada penelitian sebelumnya, dilakukan perubahan prosedur pencampuran dalam pembuatan geopolimer dan hasilnya dapat memperlambat *initial setting time* yang terjadi. Lama pencampuran juga berpengaruh terhadap *initial setting time* yang terjadi (Surja et al., 2017). Namun masalah yang muncul yaitu menurunnya kuat tekan dari geopolimer yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh urutan pencampuran dan konsentrasi NaOH dengan perbandingan sodium silikat/NaOH sebesar 2.5 dan komposisi sodium silikat tetap.

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, wempyerlando17@gmail.com

²⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, gfrenz20@yahoo.com

³⁾Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, djwantoro.h@petra.ac.id

⁴⁾Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, antoni@petra.ac.id

2. STUDI LITERATUR

2.1. Beton Geopolimer

Beton geopolimer dibuat tanpa menggunakan OPC. Oleh sebab itu penggunaan beton geopolimer tidak hanya mengurangi emisi CO₂ akibat industri semen, namun juga memanfaatkan material sisa yang tidak terpakai lagi seperti *fly ash* (Hardjito et al., 2004). Reaksi geopolimer menghasilkan gas CO₂ yang lebih rendah tetapi memiliki sifat yang sama atau bahkan lebih baik daripada semen Portland. Dalam hal emisi karbon dioksida yang identik (sama), geopolimer memungkinkan pembuatan semen 5 sampai 10 kali lebih banyak dibanding semen Portland, dengan investasi serupa dan biaya energi yang lebih rendah sehingga dapat disimpulkan beton geopolimer sangat ramah lingkungan (Davidovits, 1994). Silikon dan aluminium dalam *fly ash* diaktivasi oleh kombinasi larutan NaOH dan sodium silikat untuk membentuk pasta geopolimer yang mengikat agregat dan bahan lain yang tidak bereaksi (Hardjito et al., 2005).

2.2. Fly Ash

Hasil pembakaran batu bara pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) ini banyak digunakan sebagai bahan tambahan untuk memperbaiki kinerja beton (Putra et al., 2014). *Fly ash* dikelompokkan ke dalam kelompok kalsium rendah dan kalsium tinggi, untuk membedakan reaksi hidrasi dan reaksi *pozzolanic* dengan kalsium hidroksida. *Fly ash* yang rendah kalsium menyebabkan *setting time* yang lebih mudah diprediksi. Geopolimer dengan *fly ash* yang rendah kalsium umumnya memiliki *setting time* yang lama dan membutuhkan panas untuk proses *curing*. Di sisi lain, *fly ash* dengan kalsium tinggi menciptakan tantangan bila digunakan untuk membuat beton geopolimer. Kekuatan yang lebih tinggi biasanya didapat bila menggunakan *fly ash* dengan kadar kalsium tinggi, namun proses *setting time* yang cepat dapat menghambat aplikasinya dalam volume besar (Satria et al., 2017).

2.3. Alkali Activator

Kombinasi larutan sodium silikat dan larutan NaOH dipilih sebagai cairan alkali (Hardjito & Rangan, 2005). Pada penelitian geopolimer dengan *fly ash* tipe F, Semakin tinggi perbandingan larutan sodium silikat/larutan NaOH, maka kuat tekan yang dihasilkan meningkat (Hardjito et al., 2005). Semakin tinggi tingkat perbandingan sodium silikat/larutan NaOH, maka semakin lama *setting time* pasta geopolimer yang terjadi (Satria et al., 2017). Semakin tinggi konsentrasi larutan NaOH yang digunakan berakibat pada semakin besarnya kuat tekan beton geopolimer yang dihasilkan (Hardjito et al., 2005). Tetapi semakin tinggi rasio kandungan cairan terhadap padatan menyebabkan penurunan kekuatan dikarenakan jumlah *fly ash* yang tidak terlarut semakin banyak (Pavithra et al., 2016).

2.4. Flash Setting

Kandungan kalsium pada *fly ash* mempengaruhi *setting time* dan *workability* campuran geopolimer (Jaarsveld et al., 2003). Dengan mengubah urutan pencampuran dalam pembuatan geopolimer dapat mempengaruhi *initial setting time* yang terjadi. Pada campuran *fly ash*-silikat masih terjadi *flash setting* dengan *setting time* selama 9 menit. Sedangkan campuran *fly-ash*-NaOH tidak menghasilkan *flash setting* yaitu 165 menit (Surja et al., 2017).

2.5. Prosedur Pembuatan Geopolimer

Pada umumnya tahap pembuatan geopolimer dilakukan dengan cara mencampurkan larutan NaOH dan larutan sodium silikat terlebih dahulu, berikutnya semua material kering seperti *fly ash* dan agregat dicampurkan selama kurang lebih 3 menit dengan *mixer* dan terakhir menambahkan *alkali activator* ke dalam material kering dan melanjutkan pencampuran selama 4 menit (Hardjito, 2005).

2.6. Curing

Dari penelitian sebelumnya, hasil perbandingan kuat tekan mortar geopolimer yang dibedakan menjadi 2 yaitu memakai *curing* biasa dan *curing oven*. Data kuat tekan geopolimer kelompok *fly ash* yang dilarutkan dengan larutan NaOH terlebih dahulu adalah yang terendah, oleh sebab itu dilakukan *curing oven* untuk meningkatkan kuat tekannya. Prosedur dengan *curing oven* ternyata meningkatkan kuat tekan secara signifikan tetapi seiring bertambahnya umur mortar, tidak ada peningkatan kuat tekan yang

berarti. Suhu *curing* dan lama *curing* mempengaruhi kekuatan yang dihasilkan (Chindaprasirt & Rattanasak, 2017).

3. METODE PENELITIAN

3.1. Material

Dalam penelitian ini, *fly ash* yang digunakan adalah *fly ash* tipe C yang berasal dari PLTU Paiton di Probolinggo, Jawa Timur. Agregat yang digunakan dalam penelitian ini berupa agregat halus, yaitu pasir Lumajang. Pengaturan gradasi diterapkan untuk setiap sampel mortar benda uji. Selain itu, pasir yang digunakan juga dipastikan dalam keadaan SSD (*Saturated Surface Dry*). Larutan *alkali activator* yang digunakan yaitu kombinasi larutan NaOH 6M sampai 14M dan sodium silikat. Larutan NaOH dibiarkan untuk mencapai suhu ruang dahulu sebelum dilakukan *mixing*. Oleh karena itu kami membuat larutan NaOH sehari sebelum di gunakan.

3.2. Mix Design

Mix design mengacu pada penelitian sebelumnya (Surja et al., 2017), tetapi dengan konsentrasi larutan NaOH yang berbeda. *Alkali activator* yang digunakan adalah larutan NaOH 6M sampai 14M dan sodium silikat. Perbandingan massa larutan sodium silikat dengan NaOH (padat) adalah 2.5. Perbandingan *fly ash* dengan pasir sebesar 0.5 (Surja et al., 2017). *Mix design* mortar geopolimer yang digunakan untuk semua prosedur pencampuran dapat dilihat pada **Tabel 1**. Selain itu kami juga menggunakan komposisi sodium silikat tetap sebesar 60 gram dan prosedur nya dapat dilihat pada **Tabel 2**. Semua *mix design* mortar sama, hanya dibedakan menjadi 2 metode *curing* yaitu dengan menggunakan *curing* oven dan *curing* biasa. Pada penelitian ini kami melakukan *curing* oven dengan suhu 60 °C selama 1 hari.

Tabel 1 Prosedur Pembuatan *Mix Design* Mortar Geopolimer

Kode	Prosedur Pembuatan <i>Mix design</i> Mortar Geopolimer (Urutan pengerjaan dari kiri ke kanan)			
FP(HS)/ FP(HS)- O	(<i>Fly ash</i> + Pasir)	>	(NaOH + sodium silikat)*	
	<i>dry mix</i>		mix 5 min	
(FH)PS/ (FH)PS- O	(<i>Fly ash</i> + NaOH)	>	Pasir	> sodium silikat
	mix 5 min		mix 1 min	mix 1 min
(FH)SP/ (FH)SP- O	(<i>Fly ash</i> + NaOH)	>	sodium silikat	> Pasir
	mix 5 min		mix 1 min	mix 1 min
(FH)(PS)/ (FH)(PS)-O	(<i>Fly ash</i> + NaOH)	>	(Pasir + sodium silikat)**	
	mix 5 min		mix 1 min	

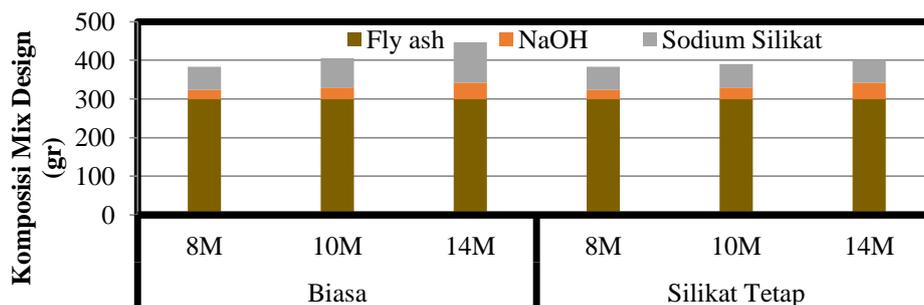
Tabel 2 Prosedur *Mix Design* Silikat Tetap

Kode	Prosedur Pembuatan <i>Mix design</i> Mortar Geopolimer (Urutan pengerjaan dari kiri ke kanan)			
FP(HS)-S/ FP(HS)-OS	(<i>Fly ash</i> + Pasir)	>	(NaOH + sodium silikat)*	
	<i>dry mix</i>		mix 5 min	
(FH)SP-S/ (FH)SP-OS	(<i>Fly ash</i> + NaOH)	>	Sodium silikat	> Pasir
	mix 5 min		mix 1 min	mix 1 min

Tabel 3 Prosedur Pembuatan *Mix Design* Pasta Geopolimer

Prosedur Pembuatan <i>Mix design</i> Pasta Geopolimer			
Kode	(Urutan pengerjaan dari kiri ke kanan)		
F(HS)	<i>Fly ash</i>	>	(NaOH + sodium silikat)*
(FH)S	(<i>Fly ash</i> + NaOH)	>	sodium silikat

Sedangkan *mix design* pasta dapat dilihat pada **Tabel 3**. *Mix design* ini digunakan untuk membuat pasta geopolimer yang diuji *setting time*. Kami menambahkan variabel waktu pencampuran ke dalam *mix design fly ash*-NaOH yang memiliki rata-rata kuat tekan yang lebih tinggi. Perbandingan komposisi *mix design* prosedur biasa dengan prosedur silikat tetap dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Komposisi *Mix Design* yang Dipakai

4. HASIL DAN ANALISA

4.1. Analisa Material

Analisa yang kami lakukan pada *fly ash* yaitu analisa massa jenis, analisa *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan analisa *Particle Size Analysis* (PSA). Massa jenis dari *fly ash* adalah 2.734. Sedangkan analisa yang kami lakukan pada pasir yaitu analisa *fineness modulus*, penyerapan air dan analisa berat jenis. FM yang didapat adalah 1.991, *wc* adalah 0.486%, dan massa jenisnya adalah 2.923. **Tabel 4** menunjukkan hasil X-RF dan **Tabel 5** menunjukkan hasil PSA.

Tabel 4 Komposisi *Fly ash* dari PLTU Paiton, Jawa Timur

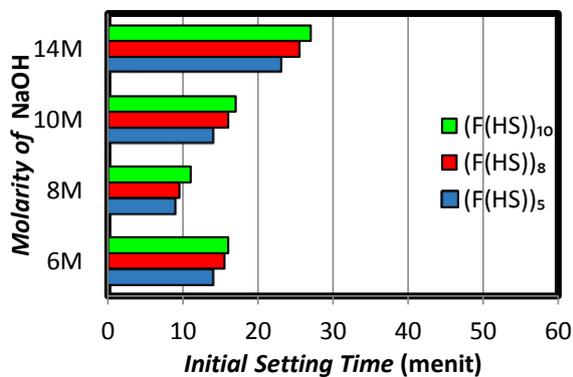
No.	Oksida	%	No.	Oksida	%
1	SiO ₂	31.24	7	K ₂ O	0.88
2	Al ₂ O ₃	15.92	8	Na ₂ O	2.85
3	Fe ₂ O ₃	17.53	9	SO ₃	1.72
4	TiO ₂	0.65	10	MnO ₂	0.21
5	CaO	19.52	11	P ₂ O ₅	0.26
6	MgO	8.41	12	L O I	0.26
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃					64.69

Tabel 5 *Particle Size Analysis*

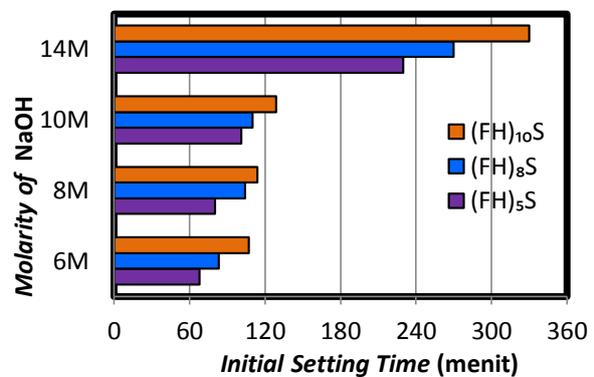
<i>Particle Size Analysis</i>	
Diameter at 10%	: 0.71 μm
Diameter at 50%	: 9.58 μm
Diameter at 90%	: 43.35 μm

4.2. Hasil Pengujian *Setting Time* Pasta Geopolimer

Dari hasil pengujian *initial setting time*, konsentrasi NaOH berpengaruh terhadap *initial setting time* pada prosedur *fly ash* ditambahkan *alkali activator* atau F(HS) walaupun tidak signifikan. Dari hasil pengujian *setting time* didapatkan waktu terlama yaitu 27 menit dengan menggunakan konsentrasi larutan NaOH 14M, namun hal ini masih dinilai kurang lama untuk penerapan dilapangan yang biasanya membutuhkan waktu kurang lebih 1-2 jam. Sedangkan *initial setting time* tercepat pada prosedur ini yaitu dengan menggunakan konsentrasi larutan NaOH 8M. **Gambar 2** adalah grafik hasil pengujian *initial setting time* F(HS). Hasil *initial setting time* prosedur (FH)S menunjukkan bahwa pada prosedur ini semakin tinggi konsentrasi larutan NaOH yang dicampurkan dengan *fly ash* terlebih dahulu maka semakin lama pula *initial setting time* yang dihasilkan. Selain itu, semakin lama waktu pencampuran pada prosedur ini juga dapat memperlambat *initial setting time* yang dihasilkan. Hasil ini juga mendukung hasil dari penelitian sebelumnya bahwa prosedur pencampuran (FH)S dan lama waktu pencampuran pasta geopolimer dapat mempengaruhi *initial setting time* pasta geopolimer yang terjadi (Surja et al., 2017). Untuk hasil pengujian *initial setting time* prosedur (FH)S terlihat pada **Gambar 3**.

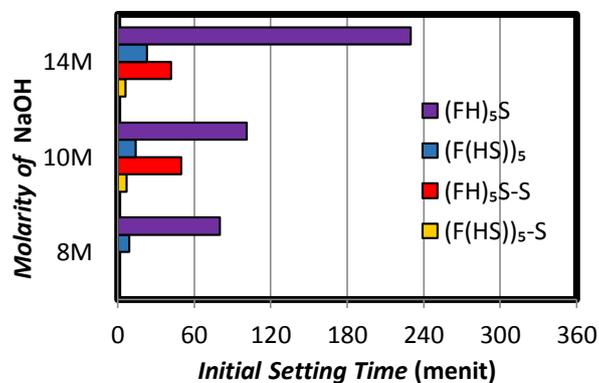


Gambar 2 Initial Set (F(HS))



Gambar 3 Initial Set (FH)S

Prosedur pasta dengan komposisi sodium silikat tetap kami lakukan dengan prosedur F(HS)₅-S dan (FH)₅S-S dengan waktu pencampuran selama 5 menit. Dari grafik didapatkan bahwa semakin tinggi konsentrasi NaOH yang digunakan dengan komposisi sodium silikat yang tetap, maka semakin cepat *initial setting time* yang terjadi. Hal ini diduga karena semakin tinggi konsentrasi NaOH digunakan menghasilkan campuran yang lebih reaktif. Dari hasil pada **Gambar 4**, didapatkan bahwa prosedur yang menggunakan komposisi sodium silikat tetap memiliki *initial setting time* yang lebih cepat daripada prosedur awal. Hasil ini juga mendukung percobaan sebelumnya bahwa semakin tinggi ratio sodium silikat/NaOH, maka semakin lama *initial setting time* yang terjadi (Satria et al., 2017).

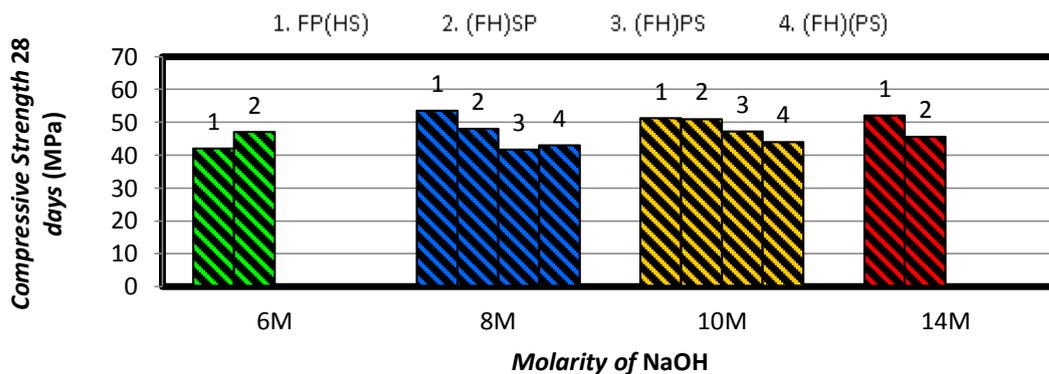


Gambar 4 Perbandingan Initial Set Prosedur Awal dengan Silikat Tetap

4.3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar Geopolimer dengan Rasio Sodium Silikat/NaOH

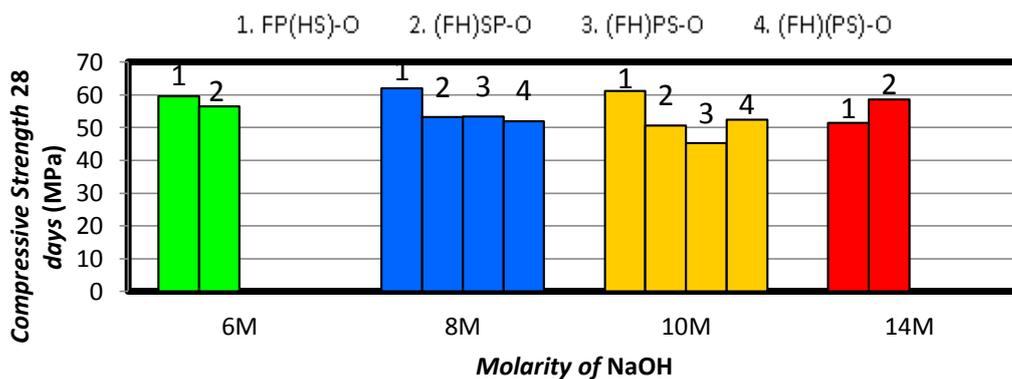
sebesar 2.5

Pada prosedur ini kuat tekan tertinggi adalah prosedur dengan konsentrasi larutan NaOH 8M yaitu 53.5 MPa. Untuk prosedur (FH)SP, dari konsentrasi NaOH 6M sampai 10M terjadi peningkatan kuat tekan. Kuat tekan tertinggi pada prosedur ini adalah mortar dengan konsentrasi NaOH 10M sebesar 51 MPa. Sedangkan pada konsentrasi NaOH 14M pada prosedur ini mengalami penurunan kekuatan tekan. Untuk prosedur (FH)PS dan (FH)(PS), kami lakukan dengan 2 variasi konsentrasi NaOH yaitu 8M dan 10M. Hasilnya, kuat tekan dengan konsentrasi larutan NaOH 10M lebih tinggi dari kuat tekan dengan konsentrasi larutan NaOH 8M. Hasil Prosedur (FH)(PS) juga menunjukkan hasil yang sama seperti prosedur (FH)PS. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi NaOH yang digunakan akan meningkatkan kuat tekan tetapi penggunaan konsentrasi NaOH yang terlalu tinggi menyebabkan kuat tekan mortar menjadi turun. Penggunaan maksimal yang masih meningkatkan kuat tekan mortar dalam penelitian ini adalah konsentrasi NaOH 10M. Hasil kuat tekan 28 hari dari beberapa prosedur yang menggunakan *curing* biasa seperti terlihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5 Kuat Tekan Beberapa Prosedur Umur 28 Hari dengan *Curing* Biasa

Sedangkan untuk prosedur yang memakai *curing* oven dapat dilihat pada **Gambar 6**. Dapat dilihat, sebagian besar prosedur yang menggunakan *curing* oven memiliki kuat tekan yang lebih tinggi daripada kuat tekan yang menggunakan *curing* biasa. Kuat tekan yang dihasilkan rata-rata melebihi 50 MPa.

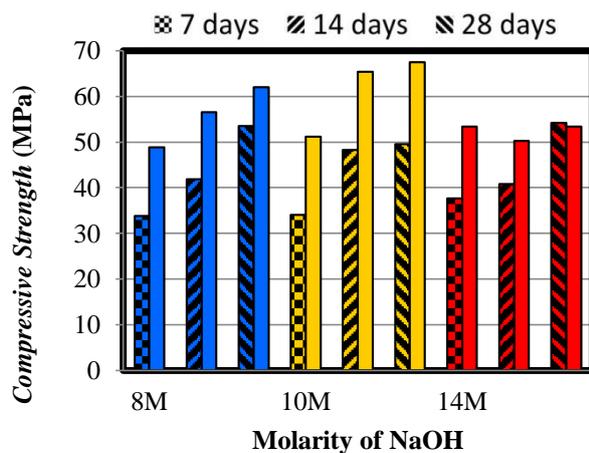


Gambar 6 Kuat Tekan Beberapa Prosedur Umur 28 Hari dengan *Curing* Oven

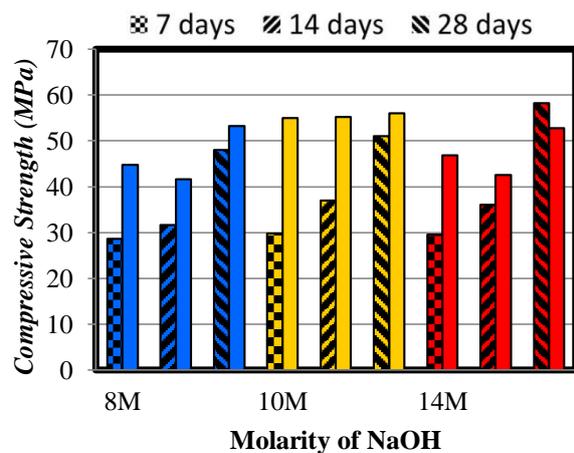
4.3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar Geopolimer dengan Komposisi Sodium Silikat Tetap

Hasil pada metode konvensional ini, kuat tekan mortar geopolimer yang didapat tidak mengalami kenaikan. Hal ini dapat diketahui dari nilai kuat tekan yang dihasilkan tidak berubah signifikan dari prosedur sebelumnya. Untuk prosedur (FH)SP-S Pada konsentrasi larutan NaOH 14M menunjukkan peningkatan kuat tekan yang cukup besar bahkan lebih baik daripada prosedur awal pada konsentrasi yang sama. Hasil kuat tekan mortar dari prosedur konvensional dengan komposisi sodium silikat yang tetap dapat dilihat pada **Gambar 7**. Sedangkan hasil kuat tekan mortar (FH)SP-S pada umur 28 hari

dapat dilihat pada **Gambar 8**. Warna dengan pattern menunjukkan prosedur dengan *curing* biasa, sedangkan warna solid menunjukkan prosedur yang menggunakan *curing* oven.



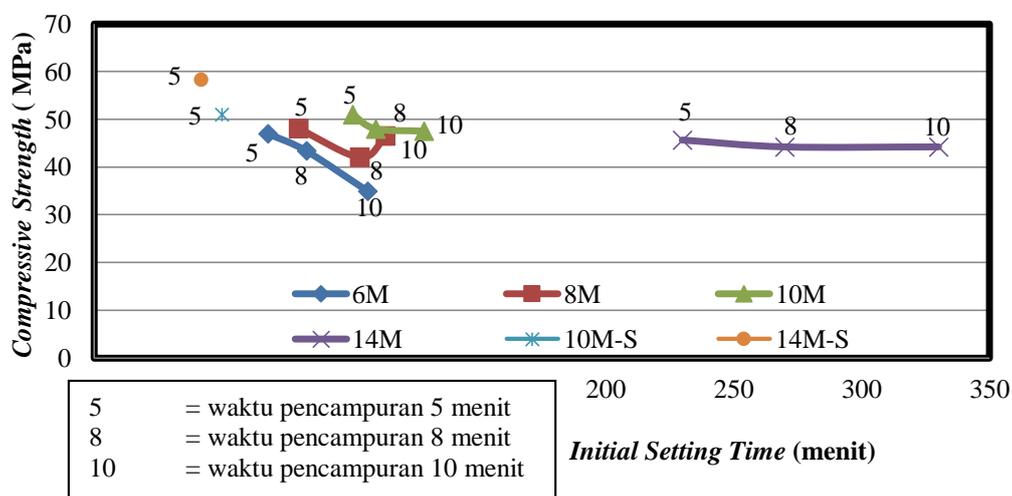
Gambar 7 Kuat Tekan FP(HS)-S



Gambar 8 Kuat Tekan (FH)SP-S

4.4. Hubungan antara Kuat Tekan dan *Initial Setting Time* Berdasarkan Lama Waktu Pencampuran dan Silikat Tetap

Prosedur dengan komposisi silikat tetap menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi daripada prosedur yang menggunakan rasio sodium silikat/NaOH sebesar 2.5 tetapi sayangnya memiliki *initial setting time* yang jauh lebih cepat. Dari grafik tersebut dapat dikatakan bahwa semakin lama waktu pencampuran yang dilakukan, maka *initial setting time* menjadi semakin lama tetapi rata-rata menghasilkan kuat tekan mortar geopolimer yang semakin rendah walaupun tidak terlalu signifikan kecuali pada konsentrasi larutan NaOH 6M. **Gambar 9** menunjukkan hubungan antara kuat tekan dan *initial setting time* berdasarkan lama waktu pencampuran.



Gambar 9 Hubungan Kuat Tekan Kuat Tekan dan *Initial Setting Time* Prosedur Fly ash-NaOH Berdasarkan Lama Waktu Pencampuran dan Silikat Tetap

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan analisa dapat disimpulkan bahwa :

1. Urutan pencampuran merupakan faktor yang paling berpengaruh pada lama *initial setting time*. Hal lain yang berpengaruh pada lama *initial setting time* adalah konsentrasi larutan NaOH, rasio sodium silikat/larutan NaOH, dan lama waktu pencampuran *fly ash*-NaOH.
2. Semakin tinggi konsentrasi larutan NaOH yang digunakan pada rasio sodium silikat/larutan NaOH sebesar 2.5, maka semakin lama pula *initial setting time* yang dihasilkan tetapi kuat tekannya menurun.
3. Semakin tinggi konsentrasi larutan NaOH pada komposisi silikat tetap, maka semakin cepat *initial setting time* yang terjadi, tetapi kuat tekan yang dihasilkan semakin tinggi.
4. Semakin lama waktu pencampuran *fly ash*-NaOH maka semakin lama pula *initial setting time* yang terjadi walaupun perbedaannya tidak signifikan. Namun kuat tekan mortar geopolimer yang dihasilkan mengalami penurunan yang tidak signifikan pula.

6. DAFTAR REFERENSI

- Chindaprasirt, P., & Rattanasak, U. (2017). Characterization of the High-calcium Fly Ash Geopolymer Mortar with Hot-weather Curing Systems for Sustainable Application. *Advanced Powder Technology*, 28(9), 2317–2324.
- Davidovits, J. (1994). *Properties of Geopolymer Cements*, Joseph Davidovits Geopolymer Institute, Saint-Quentin, France, 1–19.
- Hardjito, D. (2005). *Studies on Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*. Curtin University.
- Hardjito, D., & Rangan, B. V. (2005). Development and Properties of Low-calcium Fly Ash-based Geopolymer Concrete. *Research Report GC 1 Faculty of Engineering Curtin University of Technology Perth, Australia*.
- 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, 88–93.
- Hardjito, D., Wallah, S. E., Sumajouw, D. M. J., & Rangan, B. V. (2005). On the Development of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. *ACI Materials Journal*, 101(6), 467–472.
- Jaarsveld, J. G. S. Van, Deventer, J. S. J. Van, & Lukey, G. C. (2003). The Characterisation of Source Materials in Fly Ash-based Geopolymers. *Materials Letters*, 57, 1272–1280.
- Pavithra, P., Reddy, M. S., Dinakar, P., Rao, B. H., Satpathy, B. K., & Mohanty, A. N. (2016). A Mix Design Procedure for Geopolymer Concrete with Fly Ash. *Journal of Cleaner Production*, 133, 117–125.
- Putra, A. K., Wallah, S. E., & Dapas, S. O. (2014). Kuat Tarik Belah Beton Geopolymer Berbasis Abu Terbang (Fly ash). *Jurnal Sipil Statik*, 2(7), 330–336.
- Satria, J., Sugiarto, A., Hardjito, D., & Antoni, A. (2017). Effect of Variability of Fly Ash Obtained from the Same Source on the Characteristics of Geopolymer. *EDP Sciences*, 97(MATEC Web of Conferences), 9–13.
- Surja, R. T., Mintura, R., Antoni, & Hardjito, D. (2017). Perbandingan Beberapa Prosedur Pembuatan Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Tipe C. *Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 6(2), 185–191.