

PENGARUH PENAMBAHAN BORAKS DAN KALSIMUM OKSIDA TERHADAP *SETTING TIME* DAN KUAT TEKAN MORTAR GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR *FLY ASH* TIPE C

Austin Purwantoro¹, Widya Suyanto², Antoni³, Djwantoro Hardjito⁴

ABSTRAK : Beton geopolimer merupakan beton yang berbahan dasar material yang kaya akan unsure alumina (Al) dan silica (Si). Salah satu material yang bisa digunakan adalah *fly ash*. Namun, penggunaan *fly ash* dengan tipe C bisa berakibat pada situasi *flash set* di mana beton mengeras dengan cepat. Mengatasi masalah ini, digunakan boraks sebagai bahan tambahan dalam larutan alkali agar memperlambat *setting time* dan juga menggunakan kalsium oksida (CaO) agar membantu peningkatan kuat tekan beton geopolimer. Dari hasil penelitian, menunjukkan bahwa penambahan boraks pada larutan alkali memberi pengaruh terhadap *setting time*. Penambahan boraks bisa memperlambat *setting time* sesuai dengan jumlah kadar boraks yang ditambahkan. Penambahan boraks cenderung menurunkan kuat tekan beton namun, bergantung pada karakteristik *fly ash* yang digunakan. Penggantian sebagian *fly ash* dengan kalsium oksida (CaO) memberi pengaruh peningkatan kuat tekan pada beton geopolimer.

KATA KUNCI : *fly ash*, kalsium oksida, CaO, boraks, geopolimer, *setting time*, kuat tekan.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan *fly ash* sebagai material pengganti semen sudah menjadi hal yang lazim di dunia konstruksi (Rattanasak & Chindaprasirt, 2009). Salah satu penggunaan *fly ash* yaitu sebagai material dasar beton geopolimer karena *fly ash* dengan tipe F dan C merupakan materi yang kaya akan unsur silica (Yildirim, Sümer, Akyüncü, & Gürbüz, 2011). Geopolimer terbentuk dari hasil aktivasi *fly ash* oleh larutan alkali berupa sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat (Na₂SiO₃). Komposisi campuran dari kedua alkali tersebut akan menentukan karakteristik dari beton geopolimer (Bakri & Mohammed, 2011). Kandungan kalsium yang tinggi pada *fly ash* tipe C dapat menyebabkan *flash set* yaitu *setting time* yang terlalu cepat sekitar 15 - 25 menit sejak awal pengecoran. Penambahan boraks dengan kadar 1-3 % dari berat *fly ash* dapat memperlambat *setting time* dan juga dapat meningkatkan kuat tekan beton geopolimer, namun perlambatan *setting time* masih kurang signifikan. (Antoni et al, 2016). Penambahan *setting time* hanya menjadi 30-40 menit. Penambahan boraks yang semakin banyak terlihat bisa memperlambat *setting time* namun bisa berakibat pada menurunnya kuat tekan beton geopolimer (Mackenzie et al., 2005). Untuk meningkatkan kuat tekan dari beton geopolimer, bisa digunakan kalsium oksida (CaO) sebanyak 1-3% dari berat *fly ash* (Temuujin, Riessen, & Williams, 2009). Pada penelitian ini, peneliti akan menganalisa pengaruh penambahan boraks dan kalsium oksida terhadap karakteristik beton geopolimer yang menggunakan *fly ash* tipe C. *Fly ash* yang digunakan akan di ambil dari PLTU Paiton, Probolinggo, Jawa timur. Penelitian akan diutamakan terhadap kuat tekan beton dan juga *setting time* dari beton tersebut.

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

²Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, ilingws@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

2. STUDI LITERATUR

2.1 Fly Ash

Fly ash merupakan sisa hasil pembakaran batu bara dari mesin *boiler* yang kebanyakan berasal dari mesin pembangkit listrik tenaga uap. *Fly ash* merupakan material halus, berbentuk seperti bubuk dan biasanya memiliki kandungan silika yang banyak. *Fly ash* merupakan material yang bersifat *pozzolan*, sifat ini membuat *fly ash* bisa bereaksi dengan senyawa alkali dan bisa digunakan untuk pengganti semen dalam proses pembuatan beton. Ukuran dan distribusi partikel dari *fly ash* bisa mempengaruhi kondisi dari beton tersebut (Hardjito, 2005).

Perencanaan *mix design* memberi pengaruh terhadap pembuatan beton geopolimer. Namun, perlu dipertimbangkan juga beberapa hal yang terkait dengan karakteristik dari *fly ash* yang digunakan. Jenis dari *fly ash* bisa mempengaruhi kekuatan dari beton geopolimer. 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. Banyak hal yang dipengaruhi oleh jenis *fly ash* yang digunakan, Salah satu yang bermasalah adalah *setting time* yang cepat. Hal ini dikarenakan kadar CaO yang tinggi. Apabila ingin memperlambat *setting time* dengan cara menggunakan *fly ash* yang memiliki kadar CaO lebih rendah, maka akan mengakibatkan pengurangan pada kekuatan beton geopolimer (Diaz, Allouche, & Eklund, 2010).

2.2 Beton Geopolimer

Beton geopolimer merupakan hasil dari reaksi antara senyawa yang kaya akan alumina dan silika dengan alkali. Salah satu bahan yang sering dipakai adalah *fly ash* di mana material ini merupakan material yang kaya akan senyawa alumina dan silika (Lloyd & Rangan, 2010).

Larutan yang biasa digunakan adalah campuran dari sodium hidroksida dan alkali aktivator lainnya. Alkali aktivator lain yang sering digunakan adalah senyawa yang kaya akan kandungan silika, seperti sodium atau potassium silikat. Kandungan yang terdapat dalam senyawa alkali juga memberi dampak yang signifikan terhadap kekuatan dari beton geopolimer. Salah satu yang perlu diperhatikan adalah molaritas dari senyawa yang digunakan. Semakin tinggi molartias NaOH, terlihat bahwa kuat tekan beton geopolimer semakin meningkat (Arioz, Arioz, & Kockar, 2012). Selain perbandingan molaritas, perbandingan massa antara NaOH dan Sodium Silikat juga memberi pengaruh terhadap kuat tekan beton geopolimer. Lama proses *curing* juga berpengaruh terhadap kuat tekan beton (Hardjito, Wallah, Sumajouw, & Rangan, 2004).

2.3 Kalsium Oksida (CaO)

Kalsium Oksida merupakan material yang bisa digunakan untuk meningkatkan kuat tekan dalam pembuatan beton menggunakan semen ataupun *fly ash*. Dalam percobaan geopolimer, CaO bisa meningkatkan kuat tekan apabila digunakan pada beton yang di curing dalam suhu ruangan 20° dan bisa menurunkan kuat tekan apabila dicuring menggunakan steam curing 70° (Temuujin et al., 2009).

2.4 Boraks

Boraks merupakan senyawa yang bisa digunakan sebagai salah satu aktivator atau senyawa tambahan dalam pembuatan beton geopolimer. Perbandingan dari campuran boraks terhadap alkali aktivator lainnya memberi pengaruh terhadap kekuatan beton geopolimer yang dihasilkan. Boraks juga bisa digunakan untuk memperlambat *setting time* pada sebuah beton geopolimer (Mackenzie et al., 2005).

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* (FA1 & FA2) yang diambil pada waktu berbeda.. Pengukuran pH dan pengujian XRF dilakukan pada semua sampel *fly ash*. Pengukuran pH menggunakan dua cara yaitu ASTM D5239 dan menggunakan cara J. Davidovits. Pengujian XRF dilakukan di laboratorium sucofindo. Uji *fineness* dilakukan menggunakan ayakan no #325. Pasir yang

digunakan merupakan pasir Lumajang. Boraks yang digunakan adalah natrium tetraborate pentahydrate. Kalsium oksida (CaO) yang digunakan adalah yang lolos ayakan no #30 dan tertahan no #50.

3.2 Larutan Alkali

Larutan alkali yang digunakan dalam penelitian ini adalah sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat (Na_2SiO_3) tipe 52. Perbandingan massa solid sodium silikat dan sodium hidroksida adalah 2,5 dengan kadar molaritas NaOH 8M.

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* yang digunakan untuk satu bekisting berisi tiga kubus dengan ukuran satu kubus 5x5x5 cm. Penggunaan boraks merupakan penambahan terhadap presentase *fly ash* dan kalsium oksida merupakan penggantian terhadap persentase berat *fly ash*. Curing menggunakan curing oven dengan suhu 60°C selama 24 jam.

Tabel 1. Mix Design yang Digunakan dalam Penelitian

Fly Ash	Mix design	Boraks (%)	CaO (%)
FA1	F1B0	0	-
	F1B5	5	-
	F1B10	10	-
	F1B15	15	-
	F1B20	20	-
FA2	F2B0	0	-
	F2B5	5	-
	F2B10	10	-
	F2B15	15	-
	F2B20	20	-
FA2	F2C3B0	-	3
	F2C3B5	5	3
	F2C3B10	10	3
	F2C3B15	15	3
	F2C3B20	20	3

3.4 Pengujian Sampel

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

4. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Material

Fly ash dianalisa terlebih dahulu untuk mengetahui perbedaan komposisi dan sifat kimiawi dari *fly ash*. Analisa material *fly ash* berupa pengujian pH, pengujian *fineness*, dan pengujian *x-ray fluorescence* (XRF). 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**.

Penentuan senyawa kimia dari *fly ash* bisa ditentukan menggunakan pengujian XRF. Hasil dari pengujian XRF dapat dilihat pada **Tabel 4**.

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%.

Tabel 2. Nilai pH Fly Ash

Material	pH	
	20/80	10/100
	ASTM D 5239	J. Davidovits
FA1	11.3	11.2
FA2	11.6	11.5
F2C3	12.3	12.1

Tabel 3. Fly Ash Tertahan pada Ayakan #325

Fly Ash (pH)	FA1	FA2
% Tertahan Ayakan Nomor #325	12%	8%

Tabel 4. Hasil Tes XRF

No.	Parameter	Unit	Test Result	
			FA1	FA2
1	SiO_2	% wt	35.46	34.29
2	Al_2O_3	% wt	16.91	16.62
3	Fe_2O_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_2O	% wt	1.32	1.35
8	Na_2O	% wt	2.83	2.97
9	SO_3	% wt	1.72	1.63
10	MnO_2	% wt	0.18	0.17
11	P_2O_5	% wt	0.26	0.25
12	LOI	% wt	0.4	0.36

4.2 Kuat Tekan Mortar Geopolimer

Mortar geopolimer yang berbentuk kubus dengan ukuran 5x5x5 cm diuji setelah berumur 7, 14 dan 28 hari. Pengujian dilakukan dengan perbandingan kandungan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ ditetapkan sebesar 2,5 serta penambahan boraks sebanyak 5%, 10%, 15% dan 20% terhadap berat *fly ash*. Pengantian CaO sebanyak 3% juga diteliti menggunakan boraks dengan kadar 5%,10%,15% dan 20% . Hasil kuat tekan mortar dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Penambahan boraks terlihat cenderung menurunkan kuat tekan pada mortar geopolimer. Namun, semakin tinggi pH dari *fly ash* terlihat bahwa boraks yang bisa digunakan bisa semakin banyak sebelum mortar geopolimer mengalami penurunan kuat tekan yang cukup banyak.

4.3 Setting Time Pasta Geopolimer

Pengujian *setting time* dilakukan pada semua *mix design*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan boraks dan penggantian CaO terhadap *setting time* pasta geopolimer. Pengujian *setting time* dilakukan pada suhu ruangan yang berkisar 33°C.

Pada **Tabel 6** terlihat bahwa *setting time* dari pasta geopolimer mengalami perlambatan seiring dengan bertambahnya jumlah boraks yang ditambahkan ke dalam campuran alkali. Pada penambahan boraks 20% di FA1 dan FA2 terlihat tidak mengalami *final set* setelah 24 jam. Hal ini dikarenakan penambahan boraks yang terlalu banyak mengakibatkan campuran mengalami segregasi dan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mengeras. Untuk penambahan CaO, penambahan boraks hingga 20% tetap mengalami *final set* setelah kurang lebih 4 jam. menjadi lebih cepat kering.

Nilai pH *fly ash* yang semakin tinggi membuat *setting time* pasta geopolimer semakin cepat. Lama *setting time* terhadap penambahan boraks juga tergantung pada nilai pH dari *fly ash*. Hal tersebut dapat dilihat dari **Tabel 6**.

Tabel 5. Kuat Mortar Geopolimer

Fly Ash	pH		Mix Design	Pengujian hari ke 7	Pengujian hari ke 14	Pengujian hari ke 28
	ASTM	J. Davidovits		(MPa)	(MPa)	(MPa)
FA1	11.3	11.2	F1B0	61.33	60.93	68.00
			F1B5	63.87	66.27	69.73
			F1B10	46.13	54.53	57.73
			F1B15	43.2	50.4	52.40
			F1B20	46.53	47.07	49.20
FA2	11.6	11.5	F2B0	60.53	65.07	69.33
			F2B5	54.53	58.40	65.87
			F2B10	52.40	62.00	62.53
			F2B15	53.47	57.47	61.60
			F2B20	46.93	47.07	53.33
F2C3	12.3	12.1	F2C3B0	69	65.60	73.87
			F2C3B5	61.47	60.00	66.27
			F2C3B10	60.8	60.40	66.53
			F2C3B15	50.13	53.47	57.40
			F2C3B20	44.80	46.93	50.93

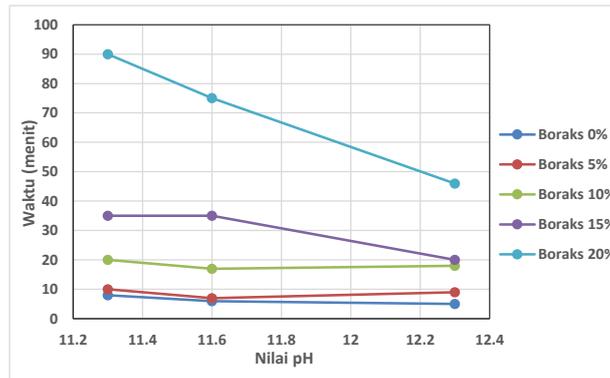
Tabel 6. Pengaruh Nilai pH terhadap Setting Time

Fly Ash	pH		Boraks (%)	Initial Setting time	Final Setting time
	ASTM	J. Davidovits		(menit)	(menit)
FA1	11.3	11.2	0	8	32
			5	10	43
			10	20	75
			15	35	100
			20	90	-
FA2	11.6	11.5	0	6	24
			5	7	55
			10	17	98
			15	35	126
			20	75	-
F2C3	12.3	12.1	0	5	28
			5	9	38
			10	18	63
			15	20	90
			20	46	230

Nilai pH *fly ash* yang semakin tinggi menyebabkan *setting time* yang terjadi juga semakin cepat. Peningkatan nilai pH merupakan tanda dari meningkatnya jumlah CaO bebas yang terkandung dalam

fly ash, oleh sebab itu penambahan CaO dapat meningkatkan nilai pH dan juga mempercepat *setting time*. Hubungan nilai pH dan *initial setting time* ditunjukkan pada **Gambar 1**.

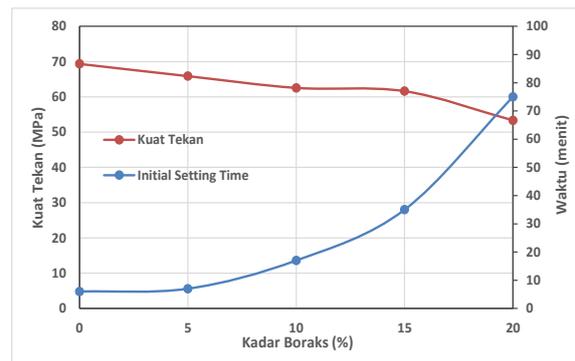
Peningkatan kadar boraks memberi dampak pada *setting time* yang terjadi semakin lama, namun di sisi lain memberikan sedikit pengaruh terhadap kuat tekan mortar geopolimer. Kuat tekan mortar cenderung menurun apabila ditambahkan jumlah boraks ke dalam mortar geopolimer. **Gambar 2** menunjukkan korelasi antara penambahan jumlah boraks terhadap kuat tekan dan *initial setting time* dari mortar geopolimer.



Gambar 1. Hubungan Nilai pH dan *Initial Setting Time*



(a)



(b)



(c)

Gambar 2. Korelasi antara Penambahan Boraks terhadap Kuat Tekan dan *Initial Setting Time* dari Mortar Geopolimer (a) FA1 , (b) FA2 , (c) F2C3

5. KESIMPULAN

Bedasarkan hasil analisa dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Peningkatan penambahan boraks dapat memperlambat *setting time*. Semakin banyak boraks yang ditambahkan, maka *setting time* yang terjadi juga semakin lama.
2. Peningkatan kuat tekan dengan penambahan boraks bergantung pada nilai pH *fly ash*. Semakin tinggi nilai *fly ash*, maka penambahan boraks tidak akan meningkatkan kuat tekan lagi. Namun, peningkatan pH dapat meningkatkan jumlah penambahan boraks pada campuran mortar sebelum mengalami penurunan kuat tekan yang cukup drastis.
3. Penambahan CaO dapat meningkatkan kuat tekan mortar geopolimer, namun dapat mempercepat *setting time*.

6. DAFTAR REFERENSI

- 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*, 875, 416-420. <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.857.416>
- Arioz, E., Arioz, O., & Kockar, O. M. (2012). An Experimental Study on the Mechanical and Microstructural Properties of Geopolymers. *Procedia Engineering*, 42(August), 100–105. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.399>
- ASTM D 5239. (2004). Standard Practice for Characterizing Fly Ash for Use in Soil Stabilization. *Annual Book of ASTM Standards*, 04, 98–100.
- Bakri, M. Al, & Mohammed, H. (2011). Review on Fly Ash-Based Geopolymer Concrete without Portland Cement. *Of Engineering and Technology Research*, 3(January), 1–4. Retrieved from http://www.researchgate.net/publication/232276374_Review_on_fly_ash-based_geopolymer_concrete_without_Portland_Cement/file/79e415080cb2db69f7.pdf
- 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>
- Hardjito, D. (2005). *Studies on Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*. Retrieved from http://espace.library.curtin.edu.au:80/R?func=dbin-jump-full&local_base=gen01-era02&object_id=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.
- Lloyd, N. a, & Rangan, B. V. (2010). Geopolymer Concrete with Fly Ash. *Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*, 3, 1493–1504.
- Mackenzie, K. J. D., Brew, D. R. M., Schmucker, M., Nicholson, C. L., Murray, B. J., & Fletcher, R. A. (2005). *Novel Geopolymer Materials Containing Borate and Phosphate Structural Units*, (January).
- Rattanasak, U., & Chindapasirt, P. (2009). Influence of NaOH Solution on the Synthesis of Fly Ash Geopolymer. *Minerals Engineering*, 22(12), 1073–1078. <http://doi.org/10.1016/j.mineng.2009.03.022>
- Temuujin, J., Riessen, A. Van, & Williams, R. (2009). *Influence of Calcium Compounds on the Mechanical Properties of Fly Ash Geopolymer Pastes*, 167, 82–88. <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.12.121>
- 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>

