

PENGARUH METODE PEMBUATAN DAN KOMPOSISI *ALKALI ACTIVATOR* TERHADAP KARAKTERISTIK BETON GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR *FLY ASH* TIPE C

Michael Benjamin Honny¹, Joshua Wilson Thiofilus², Djwantoro Hardjito³, Antoni⁴

ABSTRAK : Penggunaan *fly ash* tipe C pada pembuatan beton geopolimer dapat menyebabkan terjadinya *flash set*. Untuk mengatasi hal tersebut, penelitian ini membahas mengenai pengaruh metode pembuatan, perbandingan komposisi *alkali activator* serta metode *curing* terhadap karakteristik beton geopolimer berbahan dasar *fly ash* tipe C. *Alkali activator* yang digunakan berupa larutan Na_2SiO_3 dan larutan NaOH dengan molaritas sebesar 8M. Perbandingan *alkali activator* yang digunakan sebesar 0.66, 1.5, dan 2.5. Pengujian yang dilakukan yaitu *initial setting time*, *workability*, dan kuat tekan beton geopolimer. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa metode pembuatan dan perbandingan komposisi *alkali activator* mempengaruhi *initial setting time* dan *workability* beton geopolimer. Pembuatan beton geopolimer dengan metode pencampuran terpisah yaitu mencampurkan larutan NaOH dengan *fly ash* terlebih dahulu dapat mengatasi *flash set*. Selain itu semakin kecil perbandingan *alkali activator* hingga 0.66, maka akan semakin lama *initial setting time* yang terjadi. Penggunaan *curing oven* dapat meningkatkan kuat tekan beton geopolimer. Akan tetapi *curing* tanpa menggunakan oven masih dapat menghasilkan kuat tekan beton geopolimer yang cukup tinggi sebesar 29 MPa pada umur 28 hari.

KATA KUNCI: *flash setting*, *initial setting time*, *workability*, kuat tekan, *alkali activator*, metode pembuatan, metode *curing*

1. PENDAHULUAN

Pembuatan beton geopolimer berbahan dasar *fly ash* tipe F yang dilakukan oleh Hardjito et al. (2005) yaitu dengan mencampurkan agregat dan *fly ash* terlebih dahulu, kemudian *alkali activator* dimasukkan. Metode ini tidak dapat digunakan untuk pembuatan geopolimer berbahan dasar *fly ash* tipe C karena dapat menyebabkan *flash set*. *Flash set* yang terjadi dikarenakan *fly ash* tipe C memiliki kandungan kalsium yang tinggi (Antoni et al., 2016). Untuk mengatasi masalah tersebut perlu dilakukan perubahan metode pembuatan dengan mencampurkan *fly ash* dengan larutan NaOH terlebih dahulu seperti yang dilakukan oleh Surja et al. (2017) pada kondisi mortar.

Perbandingan *alkali activator* juga mempengaruhi *initial setting time* dan kekuatan mortar geopolimer. Semakin kecil perbandingan *alkali activator* menyebabkan bertambahnya *initial setting time* sekaligus meningkatkan kuat tekan mortar geopolimer (Surya & Lairenz, 2019). Larutan *alkali activator* yang

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, michaelbenjamin9726@gmail.com

²Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, joshua11wilson@gmail.com

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

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

banyak digunakan adalah campuran larutan sodium hidroksida (NaOH) dan larutan sodium silikat (Na_2SiO_3) (Hardjito & Rangan, 2005).

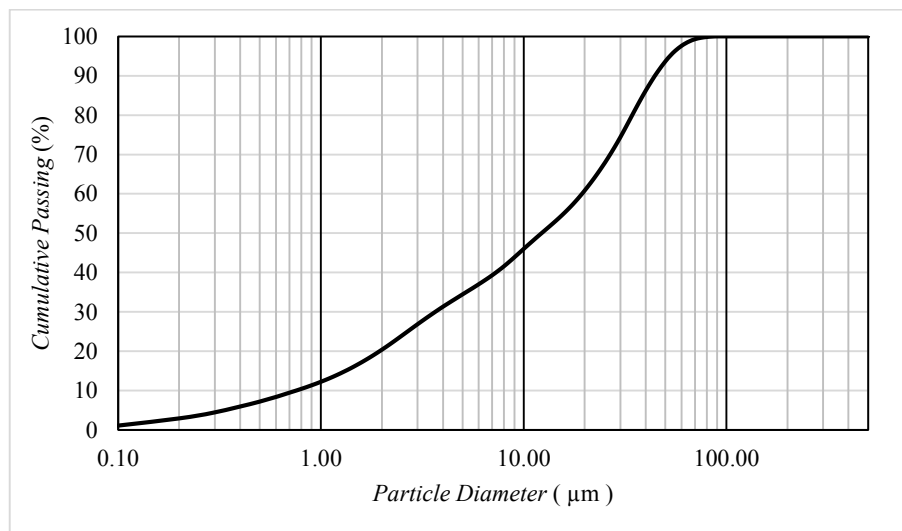
Penggunaan *curing oven* pada pembuatan mortar geopolimer b *fly ash* tipe F bertujuan agar mortar dapat *set*. Berbeda dengan mortar berbahan dasar *fly ash* tipe C yang tidak memerlukan *curing oven* untuk terjadinya *set* karena telah terjadi *flash set* pada suhu ruangan (Antoni et al., 2016). Namun pada penelitian mortar geopolimer berbahan dasar *fly ash* tipe C yang dilakukan oleh Guo, Shi, & Dick (2010) menunjukkan temperatur *curing* dapat mempengaruhi kuat tekan mortar geopolimer.

Sejauh ini penelitian mengenai geopolimer dengan bahan dasar *fly ash* tipe C masih dilakukan dalam skala pasta dan mortar. Mengingat karakteristik pada mortar tidak dapat disamakan dengan karakteristik pada beton, sehingga perlu dilakukan penelitian dalam skala beton. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan dalam skala beton mengenai pengaruh metode pembuatan, perbandingan *alkali activator*, dan metode *curing* terhadap *setting time*, *workability* dan kuat tekan beton geopolimer dengan *fly ash* tipe C.

2. MATERIAL DAN METODE PENELITIAN

2.1 Material

Fly ash yang digunakan adalah *fly ash* tipe C yang berasal dari PLTU Paiton unit 9 dengan nilai *specific gravity* sebesar 2.501. Pengujian kadar pH yang dilakukan menggunakan pH meter *digital* sesuai standar ASTM D 5239 – 12 (2004) menunjukkan nilai pH dari *fly ash* sebesar 11.4. **Gambar 1** menunjukkan hasil pengujian *particle size distribution fly ash* dengan diameter 44.5 μm lolos sebanyak 90%, diameter 12.27 μm lolos sebanyak 50%, dan diameter 0.75 μm lolos sebanyak 10%. *Specific surface area* dari *fly ash* tipe C Paiton unit 9 sebesar 14752.76 cm^2/g .



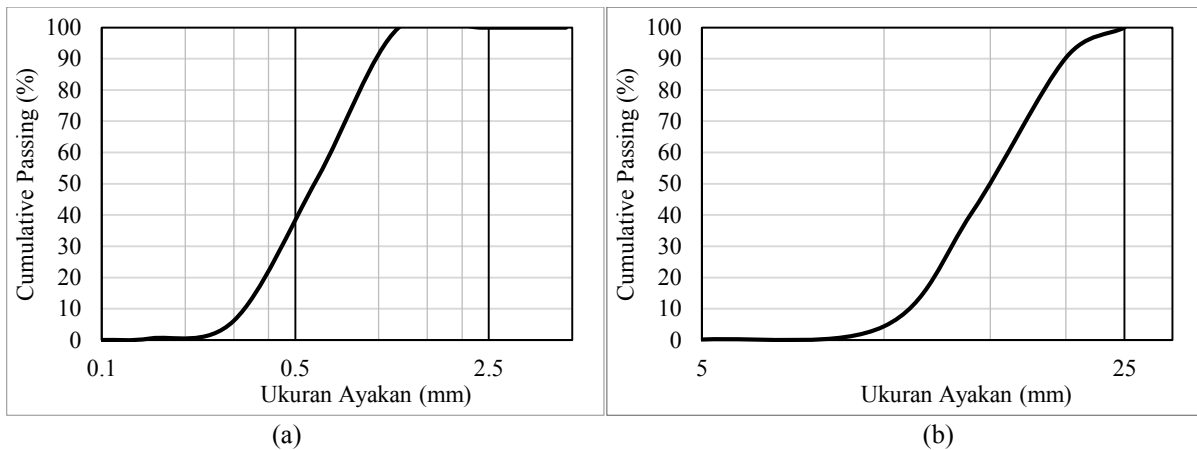
Gambar 1. Hasil Pengujian Particle Size Distribution

Selain itu dilakukan pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui kandungan yang ada di dalam *fly ash*. Hasil pengujian XRF dapat dilihat pada **Tabel 1**. Dari hasil XRF yang telah dilakukan, *fly ash* tipe C (*high calcium fly ash*) memiliki kandungan $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ sebesar 66.95 dan kadar CaO sebesar 19.5.

Tabel 1. Hasil Pengujian X-Ray Fluorescence (XRF)

No.	Oksida	%wt	No.	Oksida	%wt
1	SiO ₂	29.67	7	K ₂ O	1.20
2	Al ₂ O ₃	14.86	8	Na ₂ O	1.33
3	Fe ₂ O ₃	24.89	9	SO ₃	1.03
4	TiO ₂	1.18	10	MnO ₂	0.30
5	CaO	19.07	11	Cr ₂ O ₃	0.02
6	MgO	4.96	12	L O I	-
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃					69.42

Agregat halus yang digunakan merupakan pasir silika dengan tujuan untuk menjaga konsistensi dari beton karena memiliki keseragaman yang baik. Nilai *specific gravity* yang didapat sebesar 2.66 dan nilai *fineness modulus* sebesar 2.452. Selain itu, agregat kasar yang digunakan berupa batu pecah lolos ayakan 25 mm dengan gradasi nomor 6 ASTM C33 (1993) dengan *specific gravity* sebesar 2.504 dan *fineness modulus* sebesar 7.05. Analisa gradasi ayakan pasir dan kerikil dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Hasil Analisa Ayakan : (a) Pasir Silika; (b) Kerikil

Alkali activator yang digunakan dalam pembuatan beton geopolimer ini menggunakan larutan NaOH dan larutan Na₂SiO₃. NaOH yang digunakan berbentuk padatan atau *flakes* dengan kemurnian 98%. Larutan NaOH yang digunakan memiliki molaritas sebesar 8M dengan kandungan NaOH padatan sebesar 26.23% dan H₂O sebesar 73.77%. Sedangkan larutan Na₂SiO₃ yang digunakan berbentuk cairan kental dengan komposisi kimia dapat dilihat pada hasil *certificate of analysis* pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Hasil Certificate of Analysis Larutan Na₂SiO₃

Parameter	Standard Provision	Analysis Result
H ₂ O	-	46.06 %
Na ₂ O	15.85 – 17.50	16.10 %
SiO ₂	31.70 – 42.00	37.84 %
Ratio SiO ₂ / Na ₂ O	2.00 – 2.40	2.35
Baume	57 – 59	58

2.2 Metode Penelitian

Terdapat 2 komposisi campuran yang digunakan untuk pembuatan beton geopolimer ini, yaitu *mix design 1* dan *mix design 2*. Komposisi campuran beton geopolimer per m³ dapat dilihat pada **Tabel 3**. *Mix design 1* digunakan untuk pengujian *initial setting time*, *workability*, dan kuat tekan terhadap

perbandingan *alkali activator*. Penentuan komposisi campuran *mix design* 1 didasari dari penelitian sebelumnya pada kondisi mortar yang dilakukan oleh Surya & Lairenz (2019). Sedangkan *mix design* 2 hanya digunakan untuk membandingkan *initial setting time* terhadap metode pembuatan campur dan terpisah. Penggunaan *water-to-fly ash ratio* dibatasi sebesar 0.35 dan menggunakan perbandingan massa *alkali activator* ($\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$) sebesar 0.66, 1.5, dan 2.5 dalam kondisi *liquid-to-liquid*.

Tabel 3. Komposisi Campuran Dalam Pembuatan 1 m³ Beton Geopolimer

<i>Mix Design</i>	1			2		
Kerikil (Kg)	1124			1305		
Pasir (Kg)	959			734		
Fly ash (Kg)	460			495		
W/FA	0.35					
Molaritas	8M					
Perbandingan Na₂SiO₃/NaOH	0.66	1.5	2.5	0.66	1.5	2.5
Na₂SiO₃ (Kg)	101.4	168.8	212.8	109.3	182	229.8
NaOH (Kg)	154.6	112.5	85.1	166.7	121.3	91.7

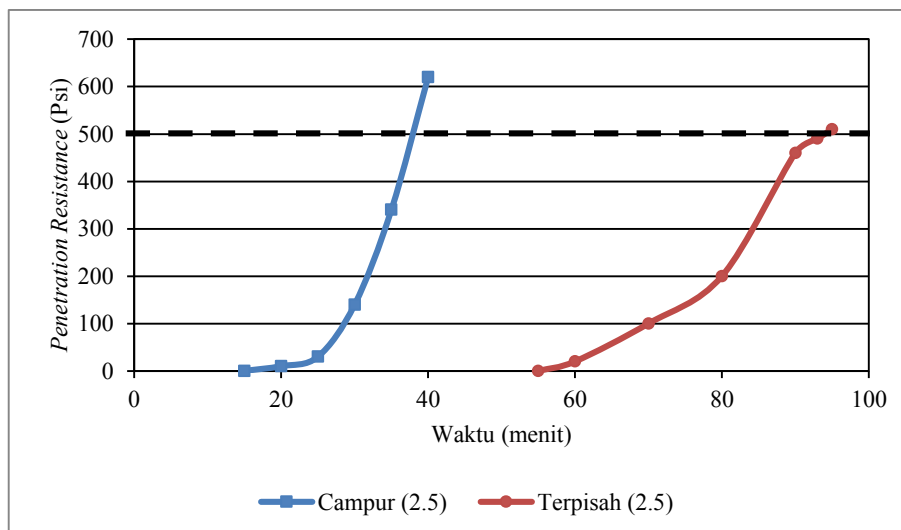
Metode pembuatan beton geopolimer pada penelitian ini menggunakan 2 metode yaitu, metode pembuatan campur dan metode pembuatan terpisah. Metode pembuatan campur merupakan metode dengan tahapan larutan NaOH dan larutan Na_2SiO_3 dicampurkan terlebih dahulu hingga merata kurang lebih selama 5 menit. Setelah itu, larutan *alkali activator* tersebut dicampurkan ke dalam *fly ash* selama 5 menit, lalu agregat halus dan agregat kasar dimasukkan secara bersamaan ke dalam campuran dan diaduk hingga merata selama 5 menit. Sedangkan metode pembuatan terpisah diawali dengan mencampur *fly ash* dengan larutan NaOH terlebih dahulu selama 5 menit, kemudian ditambahkan larutan Na_2SiO_3 dan diaduk selama 10 menit, lalu agregat halus dan kasar dimasukkan terakhir dan diaduk selama 5 menit. Untuk metode pembuatan campur, pengujian yang dilakukan hanya berupa *initial setting time* saja. Sedangkan untuk metode pembuatan terpisah dilakukan pengujian *initial setting time*, *workability*, dan kuat tekan.

Untuk pembuatan beton dengan metode terpisah, beton segar kemudian dituangkan kedalam cetakan silinder berukuran 10 cm x 20 cm dan dilakukan perojokan. Benda uji kemudian dilapisi dengan plastik agar menghindari penguapan berlebih, lalu benda uji dilakukan *curing*. *Curing* yang dilakukan berupa *curing oven* dengan suhu 60° C selama 24 jam dan *curing non oven* yang didiamkan pada suhu ruangan selama 24 jam. Setelah dilakukan *curing*, benda uji dilepaskan dari bekisting dan dilapisi dengan plastik untuk mengurangi penguapan berlebih.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perbandingan *Initial Setting Time* Metode Pembuatan Campur dan Terpisah

Tahap ini bertujuan untuk membandingkan *initial setting time* mortar geopolimer yang dibuat dengan metode campur dan dengan metode terpisah menggunakan *mix design* 2. Pengujian *initial setting time* beton geopolimer dilakukan pada kondisi mortar dengan cara menyaring agregat kasar pada campuran beton segar dan dilakukan pengetesan menggunakan penetrometer. Pengujian dilakukan sesuai dengan standar ASTM C403- 90 (1993). Pembuatan beton geopolimer pada tahap ini menggunakan konsentrasi larutan NaOH sebesar 8 Molar dan perbandingan *alkali activator* sebesar 2.5. Percobaan ini menghasilkan *initial setting time* yang dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Initial Setting Time Mortar Geopolimer Metode Campur dan Metode Terpisah Dengan Perbandingan Alkali Activator 2.5

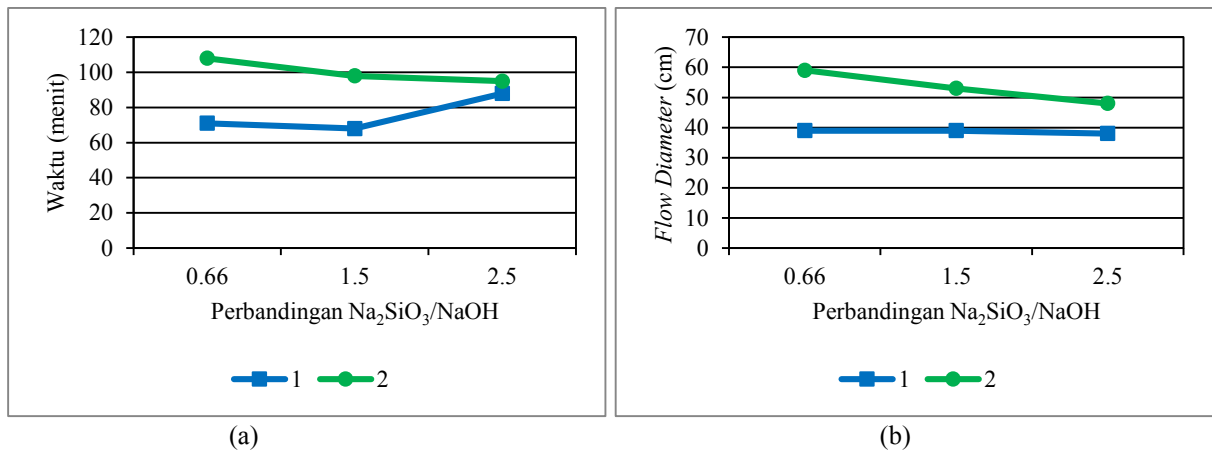
Dari gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa metode pembuatan campur memiliki *initial setting time* yang relatif sangat cepat bila dibandingkan dengan metode pembuatan terpisah dengan selisih waktu sekitar 50 menit. *Initial setting time* ditandai saat penetrometer menunjukkan angka *penetration resistance* sebesar 500 psi.

3.2 Initial Setting Time dan Workability Beton Geopolimer

Pengujian *initial setting time* dilakukan dengan cara yang sama seperti pada pengujian *initial setting time* terhadap metode pembuatan campur dan terpisah. *Initial setting time* yang terjadi pada *mix design* 1 menunjukkan hasil terlama pada perbandingan *alkali activator* 2.5 dengan waktu sekitar 85 menit. Hal ini menunjukkan bahwa hasil *initial setting time* yang didapat pada kondisi mortar berbeda dengan hasil penelitian yang dilakukan sebelumnya pada kondisi pasta oleh Surya & Lairenz (2019). Tren yang dihasilkan pada kondisi mortar berkebalikan dengan tren yang terjadi pada pasta. Hal ini diperkirakan karena adanya penggunaan agregat kasar. Sedangkan pengujian *workability* dilakukan dengan cara pengujian *slump test*. Dikarenakan beton memiliki ketinggian *slump* sebesar ± 26 cm, maka pengukuran dilakukan terhadap diameter *slump flow* beton tersebut.

Dari hasil pengujian *slump flow* beton geopolimer pada *mix design* 1 tidak memiliki perbedaan *flow diameter* yang cukup signifikan antar perbandingan *alkali activator*. Hasil menunjukkan ketiga perbandingan *alkali activator* memiliki *flow diameter* berkisar 38 cm. Menurut pengamatan kami pada saat pengujian *slump flow*, campuran beton geopolimer *mix design* 1 terlihat kekurangan pasta. Sehingga kami juga melakukan pengujian *initial setting time* dan *workability* dengan menggunakan *mix design* 2.

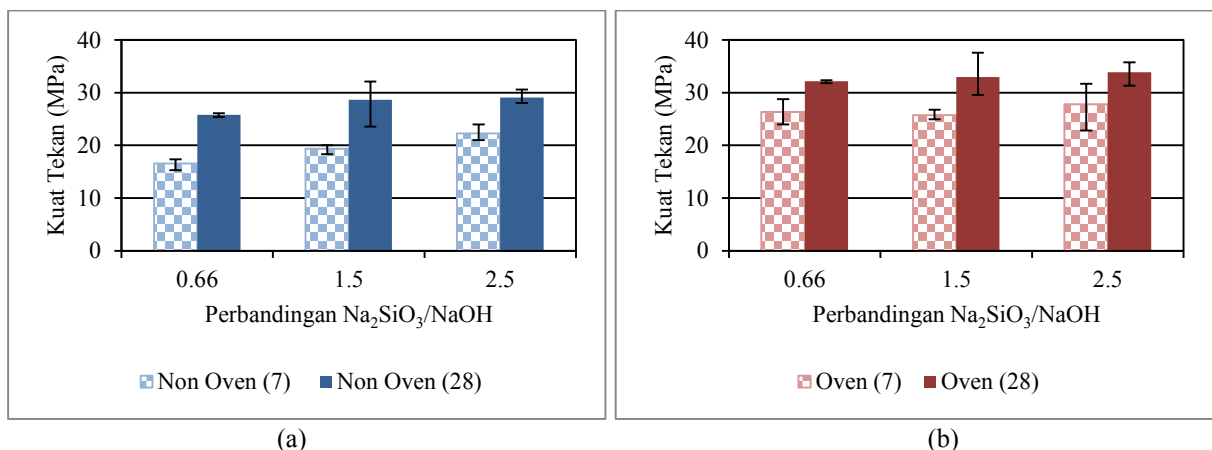
Hasil pengujian *initial setting time* dari campuran yang menggunakan *mix design* 2 memiliki tren yang sama dengan tren yang terjadi pada penelitian sebelumnya yang dilakukan pada kondisi pasta oleh Surya & Lairenz (2019). Semakin kecil perbandingan *alkali activator* menyebabkan bertambahnya *initial setting time* yang terjadi. Begitu pula pada pengujian *slump flow* bila dibandingkan dengan *mix design* 1, hasil diameter *slump flow* yang didapat memiliki tren dimana semakin kecil perbandingan *alkali activator*, maka akan semakin besar *slump flow diameter* yang dihasilkan. Hasil pengujian *slump flow* dan *initial setting time* dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Hasil Pengujian Beton Geopolimer Terhadap *Mix Design* dan Perbandingan *Alkali Activator* :
(a) *Initial Setting Time*; (b) *Slump Flow Diameter*

3.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Geopolimer

Pengujian kuat tekan dilakukan dengan menggunakan *mix design* 1 dengan membandingkan kuat tekan beton pada umur 7 dan 28 hari dengan *curing* berupa oven pada suhu 60°C selama 24 jam dan non oven yang didiamkan pada suhu ruang, serta perbandingan *alkali activator* sebesar 0.66, 1.5, dan 2.5. Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Hasil Penujian Kuat Tekan Beton Terhadap Perbedaan *Alkali Activator* dan Metode *Curing* :
(a) Non Oven; (b) Oven

Hasil pengujian kuat tekan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa semakin tinggi perbandingan alkali activator akan menghasilkan kuat tekan yang semakin tinggi. Selain itu, metode *curing* mempengaruhi kuat tekan beton yang dihasilkan. Dengan *curing* dengan suhu yang lebih tinggi akan menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi pula. Hal ini dikarenakan suhu *curing* mempercepat proses geopolimerisasi (Chindaprasirt & Chareerat, 2010). Semakin lama umur beton geopolimer maka akan semakin tinggi pula kuat tekan yang dihasilkan dari beton tersebut. Hal ini diperkirakan karena *fly ash* tipe C yang digunakan pada penelitian ini memiliki kandungan CaO yang tinggi sehingga *fly ash* tipe C ini memiliki sifat *cementitious*. Berbeda dengan penelitian beton geopolimer dengan bahan dasar *fly ash* tipe F yang dilakukan oleh Hardjito, Wallah, Sumajouw, & Rangan (2004) yang tidak mengalami kenaikan kuat seiring bertambahnya umur beton. Pembuatan beton geopolimer dengan metode *curing* non oven masih dapat menghasilkan kuat tekan beton yang cukup tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa pembuatan beton geopolimer dengan menggunakan *fly ash* tipe C dapat dilakukan tanpa menggunakan *curing* oven.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelilitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Pembuatan beton geopolimer dengan menggunakan metode pembuatan terpisah menghasilkan *initial setting time* sekitar 50 menit lebih lama bila dibandingkan dengan metode pembuatan campur, sehingga masalah *flash set* dapat terselesaikan.
2. Semakin tinggi perbandingan *alkali activator* (larutan Na_2SiO_3 : larutan NaOH) dari 0.66 hingga 2.5 akan menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi, namun *initial setting time* akan semakin cepat dan *slump flow diameter* akan berkurang.
3. Pada pembuatan beton geopolimer berbahan dasar *fly ash* tipe C, semakin lama umur beton maka akan semakin tinggi pula kuat tekan yang dihasilkan. Berbeda dengan beton geopolimer berbahan dasar *fly ash* tipe F yang tidak mengalami kenaikan kuat seiring bertambahnya umur beton.
4. *Curing* dengan oven akan menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan *curing non oven*. Akan tetapi pembuatan beton geopolimer dengan metode *curing non oven* masih dapat menghasilkan kuat tekan beton yang cukup tinggi sehingga pembuatan beton geopolimer berbahan dasar *fly ash* tipe C dapat dilakukan tanpa menggunakan *curing oven*.

5. 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*, 857, 416–420. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.857.416>
- ASTM C33-90. (1993). In *Specification For Concrete Aggregates* (30th ed., p. 577). Baltimore.
- ASTM C403-90. (1993). In *Standart Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance* (30th ed., pp. 1130–1133). Baltimore.
- ASTM D 5239. (2004). Standard Practice for Characterizing Fly Ash for Use in Soil Stabilization. *Annual Book of ASTM Standards*, 04, 98–100.
- Chindaprasirt, P., & Chareerat, T. (2010). High-Strength Geopolymer Using Fine High-Calcium Fly Ash. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23(March), 264–271. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000161](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000161).
- Guo, X., Shi, H., & Dick, W. A. (2010). Compressive Strength and Microstructural Characteristics of Class C Fly Ash Geopolymer. *Cement and Concrete Composites*, 32(2), 142–147. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.11.003>
- 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. . (2004). Factors Influencing the Compressive Strength of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. *Civil Engineering Dimension*, 6(2), 88–93. <https://doi.org/10.9744/ced.6.2.pp.88-93>
- Hardjito, D., Wallah, S. E., Sumajouw, D. M. J., & Rangan, B. V. (2005). On The Development of Fly Ash-based Geopolymer Concrete On the Development of Fly Ash-Based. *ACI Materials Journal*, 101(6), 467–472.
- 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.
- Surya, R., & Lairenz, K. N. (2019). *Pengaruh Komposisi Alkali Activator Dan Urutan Penyampuran Terhadap Karakteristik Mortar Geopolimer High Calcium Fly Ash*. Tugas Akhir Prodi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya.