

PENGARUH KOMPOSISI ALKALI ACTIVATOR DAN URUTAN PENYAMPURAN TERHADAP KARAKTERISTIK MORTAR GEOPOLIMER HIGH CALCIUM FLY ASH

Kristella Nathania Lairenz¹, Ricky Surya², Djwantoro Hardjito³, Antoni⁴

ABSTRAK : Karakteristik beton geopolimer dipengaruhi oleh berbagai faktor, diantaranya ialah karakteristik material dasar, komposisi *alkali activator*, *mix design*, *mixing procedure*, dan prosedur *curing*. Penelitian ini berfokus pada komposisi perbandingan *alkali activator* dan urutan penyampuran yang diterapkan pada *high calcium fly ash*. *Alkali activator* yang dimaksud adalah perbandingan larutan sodium silikat dengan larutan NaOH. Perbandingan *alkali activator* yang digunakan sebesar 0.5, 1.0, 2.0, 2.5 dan 3.0. Konsentrasi larutan NaOH ditetapkan 8M. Pengujian yang dilakukan yaitu *initial setting time* pasta geopolimer dan kuat tekan mortar geopolimer. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh kesimpulan bahwa *initial setting time* dipengaruhi oleh variasi perbandingan *alkali activator* dan urutan penyampuran. Urutan penyampuran prosedur dengan menyampurkan alkali bersama dimana larutan sodium silikat dicampur terlebih dahulu dengan larutan NaOH, mengakibatkan *flash setting* untuk seluruh perbandingan *alkali* dan kuat tekan tertinggi pada perbandingan *alkali activator* sebesar 1.0. Sedangkan, prosedur dengan menyampurkan alkali terpisah dapat mengatasi *flash setting* dengan perbandingan *alkali activator* yang kecil, serta hasil kuat tekan tertinggi pada perbandingan *alkali activator* sebesar 0.5. Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar perbandingan *alkali activator*, maka kuat tekan cenderung menurun.

KATA KUNCI: *flash setting*, *initial setting time*, kuat tekan, urutan penyampuran, *alkali activator*

1. PENDAHULUAN

Karakteristik beton geopolimer dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti karakteristik *base material*, jenis dan komposisi *alkali activator*, *mix design*, *mixing procedure*, dan prosedur *curing*. *High Calcium Fly ash* memiliki kandungan CaO yang tinggi dengan pH sekitar lebih dari 10.5 mengakibatkan *flash setting* (Nugteren et al., 2009). Sementara itu, perbandingan *alkali activator* yang digunakan dalam penelitian Hardjito et al (2005) dan Leoindarto et al. (2006) menunjukkan bahwa perbandingan sodium silikat dan NaOH sebesar 2.5 memberikan hasil kuat tekan terbaik walaupun NaOH yang digunakan dalam wujud yang berbeda. Selain itu, Hardjito et al (2005) menemukan bahwa *curing oven* dapat meningkatkan kuat tekan mortar dibanding dengan *curing* suhu ruangan. Davidovits (1994a) menyatakan prinsip geopolimer yang benar ialah mencampurkan NaOH dengan larutan sodium silikat terlebih dahulu. Namun prosedur yang berbeda ditunjukkan oleh Rattanasak & Chindaprasirt (2009), dimana *fly ash* dicampur dengan NaOH terlebih dahulu menghasilkan kuat tekan yang tinggi. Hal ini menunjukkan adanya kontradiksi dan ketidakpastian tentang prosedur penyampuran terbaik untuk beton geopolimer. Oleh karena itu, penelitian kali ini berfokus pada

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

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

penelitian komposisi perbandingan *alkali activator* (larutan sodium silikat dan larutan NaOH) yang digunakan dan urutan prosedur penyampuran.

2. STUDI PUSTAKA

2.1. Beton Geopolimer

Geopolimer adalah sebuah senyawa silikat alumino anorganik, yang disintesis dari bahan – bahan produk sampingan seperti abu terbang (*fly ash*), abu kulit padi dan lainnya (Davidovits, 1994a). Pembuatan beton geopolimer menggunakan abu terbang (*fly ash*) sebagai bahan pengganti semen 100%. Beton geopolimer ini memanfaatkan reaksi pengikatan dari reaksi polimerisasi. Campuran beton geopolimer terdiri material kering dan material basah. Material kering ini terdiri dari bahan dasar berupa *fly ash*, agregat halus dan kasar. Sementara itu, material basah merupakan larutan *alkali activator* yang terdiri dari larutan NaOH dan larutan sodium silikat.

2.2. Fly Ash

Komposisi kimia dari *fly ash* ini tergantung dari tipe batu bara (Hardjito, 2005). *Fly ash* dikelompokkan ke dalam kelompok kalsium rendah dan kalsium tinggi. *Fly ash* dengan kalsium tinggi memiliki kadar CaO lebih dari 10 persen, sedangkan *fly ash* dengan kalsium rendah memiliki kadar CaO kurang dari 10 persen (Hardjito, 2005). *Fly ash* kalsium tinggi umumnya memiliki pH lebih dari 10.5, dimana pH diatas 11 memiliki kemungkinan yang besar untuk mengalami *flash setting* yang menyebabkan campuran akan mengeras setelah 5 menit penyampuran (Davidovits, 2008).

2.3. Alkali Activator

Alkali activator berfungsi sebagai salah satu bahan pengikat unsur aluminium dan silikat yang terkandung dalam *fly ash*. Polimerisasi akan berlangsung cepat apabila larutan sodium silikat yang digunakan banyak. Namun hal ini mengakibatkan penurunan kekuatan beton itu sendiri dikarenakan adanya retakan antar mikrostruktur (Skavara et al., 2006). Sementara itu, campuran *fly ash* dengan sodium hidroksida membentuk ikatan yang kurang kuat tetapi menghasilkan ikatan yang lebih padat dan tidak ada retakan seperti pada campuran sodium silikat dan *fly ash* (Fitriani, 2010). Konsentrasi NaOH 8M menunjukkan hasil kuat tekan terbaik untuk beton geopolimer (Leoindarto et al., 2006).

2.4. Urutan Prosedur Penyampuran Geopolimer

Pada umumnya, geopolimer dibuat dengan mencampurkan larutan *alkali activator* (larutan sodium silikat dan larutan NaOH) yang dimasukkan ke dalam material kering berupa *fly ash* dan pasir (Hardjito et al., 2005). Penelitian yang dilakukan oleh Rattanasak & Chindaprasirt (2009) menggunakan dua prosedur, *separate mixing* dan *normal mixing*. *Separate mixing* yaitu *fly ash* dicampur dengan larutan NaOH terlebih dahulu, kemudian dilanjutkan larutan sodium silikat dan terakhir pasir. Sedangkan, *normal mixing* ialah *fly ash*, larutan sodium silikat, dan larutan NaOH dicampur bersamaan. Sedangkan penelitian oleh Junaid et al. (2015) menggunakan 3 urutan penyampuran dalam pembuatan mortar geopolimer berbahan dasar *fly ash* tipe F. Pertama, memasukkan *alkali activator* yang sudah didiamkan 24 jam kedalam agregat dan *fly ash*. Kedua, *fly ash* dan larutan NaOH dicampurkan terlebih dahulu, lalu sodium silikat ditambahkan dan kemudian agregat ditambahkan. Ketiga, pasir dicampur dengan *fly ash* dalam keadaan kering, kemudian larutan sodium silikat ditambahkan, terakhir larutan NaOH. Pasta geopolimer akan mengalami *flash setting* apabila larutan NaOH dicampur terlebih dahulu dengan larutan sodium silikat. Durasi penyampuran *fly ash* dan NaOH menunjukkan bahwa semakin lama durasi penyampuran, maka *initial setting time* cenderung semakin panjang dan kuat tekan semakin turun, namun hal tersebut tidak signifikan perbedaannya (Erlando et al., 2018).

2.5. Curing

Hardjito et al (2005) menunjukkan bahwa kuat tekan mortar geopolimer dapat meningkat ketika dilakukan dengan *curing oven*. Suhu yang lebih tinggi menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi, namun *curing oven* suhu di atas 60°C tidak memberikan kenaikan yang signifikan.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Material

Material yang digunakan selama penelitian ini antara lain agregat halus berupa pasir silika, air mineral, *high calcium fly ash* berasal dari PLTU Paiton, larutan sodium silikat dan larutan NaOH. Larutan sodium silikat yang digunakan memiliki kadar air sebesar 60.47%. Hal yang perlu diperhatikan adalah saat penyampuran padatan NaOH ke dalam air harus dilakukan secara hati-hati karena dapat langsung bereaksi dan menghasilkan panas yang tinggi. Penyampuran dilakukan dimana padatan NaOH yang dimasukkan ke dalam air bukan sebaliknya. Larutan NaOH dibiarkan sehari untuk mencapai suhu ruang dahulu sebelum dilakukan *mixing*.

3.2. Pengujian *Initial Setting Time* Pasta dan Kuat Tekan Mortar

Pengujian *initial setting time* pasta geopolimer dilakukan dengan menggunakan alat *vicat needle*. Pengujian ini dilakukan pada suhu ruangan dan terlebih dahulu dilakukan pencatatan waktu yaitu saat larutan alkali mulai ditambahkan ke dalam campuran *fly ash*. Sedangkan, pengujian kuat tekan mortar geopolimer dilakukan setelah mortar mencapai umur 7 dan 28 hari, dengan menggunakan alat tes tekan di Laboratorium Beton dan Konstruksi Universitas Kristen Petra berdasarkan ASTM:C109M-02 (2007).

3.3. *Mix Design*

Mix design mengacu pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Erlando et al (2018). Namun, penelitian ini hanya menggunakan kadar molaritas 8M, perbandingan massa larutan sodium silikat dengan larutan NaOH yang digunakan adalah 0.5, 1, 2, 2.5 dan 3.0 untuk tahap pertama, perbandingan sebesar 0.5, 1, dan 2 untuk tahap kedua. Urutan penyampuran pada dasarnya dilakukan dalam dua kondisi penyampuran *alkali activator* yaitu alkali yang dicampur bersama dan alkali yang dicampur terpisah. Urutan penyampuran yang digunakan untuk mortar geopolimer ada tiga prosedur penyampuran. Prosedur pertama menggunakan penyampuran alkali terpisah dengan kode (FH)SP yang berarti *fly ash* dicampur larutan NaOH terlebih dahulu, kemudian dicampur larutan sodium silikat dan terakhir dicampur pasir. Kedua menggunakan prosedur penyampuran alkali bersama dan penyampuran pasir diawal yang diberi kode FP(HS) yang berarti *fly ash* dicampur pasir terlebih dahulu, kemudian dicampur larutan NaOH yang telah dicampur larutan sodium silikat. Ketiga menggunakan prosedur penyampuran alkali bersama dan penyampuran pasir diakhir yang diberi kode F(HS)P yang berarti *fly ash* dicampur dengan larutan NaOH yang telah dicampur larutan sodium silikat dan terakhir dicampur pasir. Sementara itu, urutan penyampuran untuk pasta geopolimer menggunakan dua prosedur penyampuran. Prosedur pertama dengan penyampuran alkali bersama diberi kode F(HS) yang berarti *fly ash* dicampur dengan larutan NaOH yang telah dicampur larutan sodium silikat. Kedua dengan penyampuran alkali terpisah yang diberi kode (FH)S yang berarti *fly ash* dicampur larutan NaOH terlebih dahulu dan terakhir dicampur larutan sodium silikat. Semua *mix design* untuk pembuatan pasta geopolimer dapat dilihat pada **Tabel 1** dan **Tabel 2**, untuk mortar terlihat pada **Tabel 3** dan **Tabel 4**.

Tabel 1. *Mix Design* Prosedur Penyampuran Pasta Geopolimer Tahap 1 (w/b = 0.35)

Material	Perbandingan larutan sodium silikat : larutan NaOH				
	0.5	1.0	2.0	2.5	3.0
<i>Fly ash</i>	350 gr	350 gr	350 gr	350 gr	350 gr
Lar. Sodium silikat	58.84 gr	91.1 gr	125.54 gr	135.8 gr	143.64 gr
Lar. NaOH	117.67 gr	91.1 gr	62.77 gr	54.32 gr	47.88 gr

Tabel 2. Mix Design Prosedur Penyampuran Pasta Geopolimer Tahap 2

Material	Perbandingan larutan sodium silikat : larutan NaOH					
	w/b = 0.25			w/b = 0.45		
	0.5	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0
<i>Fly ash</i>	350 gr	350 gr	350 gr	350 gr	350 gr	350 gr
Lar. Sodium silikat	42.03 gr	65.08 gr	89.68 gr	75.65 gr	117.15 gr	161.4 gr
Lar. NaOH	84.05 gr	65.08 gr	44.84 gr	151.3 gr	117.15 gr	80.7 gr

Tabel 3. Mix Design Prosedur Penyampuran Mortar Geopolimer Tahap 1

Material	Perbandingan larutan sodium silikat : larutan NaOH				
	0.5	1.0	2.0	2.5	3.0
Pasir	600 gr	600 gr	600 gr	600 gr	600 gr
<i>Fly ash</i>	300 gr	300 gr	300 gr	300 gr	300 gr
Lar. Sodium silikat	50.43 gr	78.1 gr	107.6 gr	116.4 gr	123.12 gr
Lar. NaOH	100.86 gr	78.1 gr	53.8 gr	46.56 gr	41.04 gr

Tabel 4. Mix Design Prosedur Penyampuran Mortar Geopolimer Tahap 2

Material	Perbandingan larutan sodium silikat : larutan NaOH					
	w/b = 0.25			w/b = 0.45		
	0.5	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0
Pasir	600 gr	600 gr	600 gr	600 gr	600 gr	600 gr
<i>Fly ash</i>	300 gr	300 gr	300 gr	300 gr	300 gr	300 gr
Lar. Sodium silikat	36.03 gr	55.78 gr	76.86 gr	64.84 gr	100.42 gr	138.36 gr
Lar. NaOH	72.06 gr	55.78 gr	38.43 gr	129.68 gr	100.42 gr	69.18 gr

Perbedaan tahap pertama dan kedua terletak pada perbandingan *water-to-binder* yang digunakan, dimana pada tahap pertama menggunakan *water-to-binder* sebesar 0.35, sedangkan pada tahap kedua sebesar 0.25 dan 0.45. Perbandingan *water to binder* dilakukan berdasarkan kandungan air yang terdapat dalam larutan NaOH dan larutan sodium silikat. *Curing* yang digunakan seluruhnya menggunakan *curing oven* dengan suhu 60 °C selama 24 jam. Prosedur penyampuran dengan menyampurkan *alkali activator* terlebih dahulu, waktu penyampuran dilakukan selama 1 hingga 2 menit dikarenakan akan mengalami *flash setting*. Sementara itu, prosedur yang menyampurkan NaOH terlebih dahulu menggunakan durasi penyampuran 5 menit.

4. ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakterisasi Material

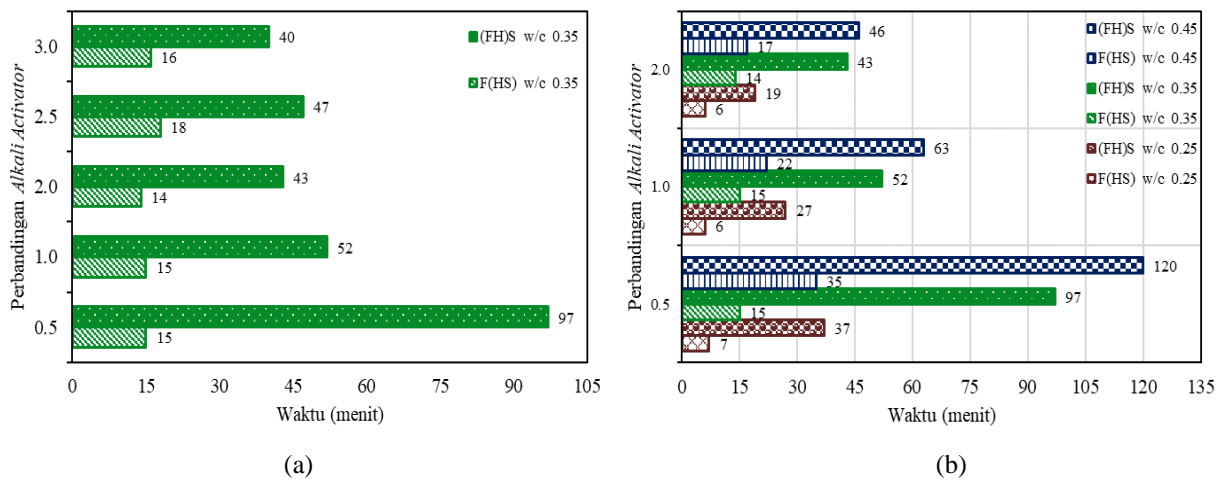
Karakterisasi material pada penelitian ini dilakukan pada *fly ash* dan pasir. Pasir yang digunakan adalah pasir silika lolos mesh 20 dan tertahan mesh 40, berasal dari Tuban. *Specific gravity* dari pasir silika yaitu 2.612. *Fineness modulus* yang didapat adalah 2.67 dengan kadar air sebesar 0.15%. *Alkali activator* yang digunakan adalah larutan NaOH dan larutan sodium silikat dengan 60.47% H₂O, 9.28% Na₂O dan 30.25% SiO₂. *Fly ash* yang digunakan berwarna coklat dan berasal dari PLTU Paiton unit 9. *Specific gravity* dari *fly ash* yaitu 2.625. Kadar pH dari *fly ash* yang digunakan sebesar 12.6. Dari analisa *passing sieve #325* diperoleh *fly ash* yang lolos ayakan sebesar 82.56%. Pengujian X-Ray *Fluorescence* (XRF) dilakukan untuk mengukur kandungan yang ada di dalam *fly ash*. Hasil XRF dapat dilihat pada **Tabel 5**. Berdasarkan ASTM C 618, (2010), tipe *fly ash* dikategorikan sebagai *high calcium fly ash*.

Tabel 5. Komposisi *Fly Ash* dari PLTU Paiton, Unit 9

No.	Oksida	%	No.	Oksida	%
1	SiO ₂	36.57	7	K ₂ O	1.35
2	Al ₂ O ₃	19.06	8	Na ₂ O	2.45
3	Fe ₂ O ₃	11.32	9	SO ₃	1.30
4	TiO ₂	0.75	10	MnO ₂	0.15
5	CaO	19.50	11	P ₂ O ₅	0.21
6	MgO	6.21	12	L O I	0.63
SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃					66.95

4.2. Hasil Pengujian *Setting Time* Pasta Geopolimer

Initial setting time tahap pertama menunjukkan durasi tercepat pada prosedur F(HS) terdapat pada campuran dengan perbandingan *alkali activator* sebesar 2 dan terpanjang pada perbandingan 2.5. Sedangkan, untuk prosedur (FH)S durasi tercepat ditunjukkan pada perbandingan 3 dan durasi terpanjang pada perbandingan 0.5. Risdanareni et al (2015) menyatakan bahwa semakin tinggi kadar sodium silikat yang digunakan maka semakin cepat waktu *setting time* yang dihasilkan. Berbeda halnya dengan pada penelitian yang dilakukan, dimana prosedur F(HS) memiliki durasi *initial setting time* yang kurang lebih sama untuk semua variasi perbandingan *alkali activator*. Hal ini diduga akibat penggunaan material dasar yang berbeda, dimana penelitian sebelumnya menggunakan *low calcium fly ash*. Gambar 1 menunjukkan hasil *initial setting time* pasta geopolimer tahap pertama dan tahap kedua. Hasil penelitian tahap kedua mendukung penelitian yang dilakukan oleh Dewi, (2010), dimana semakin tinggi *water-to-binder ratio* maka semakin lama *setting time* yang dihasilkan.



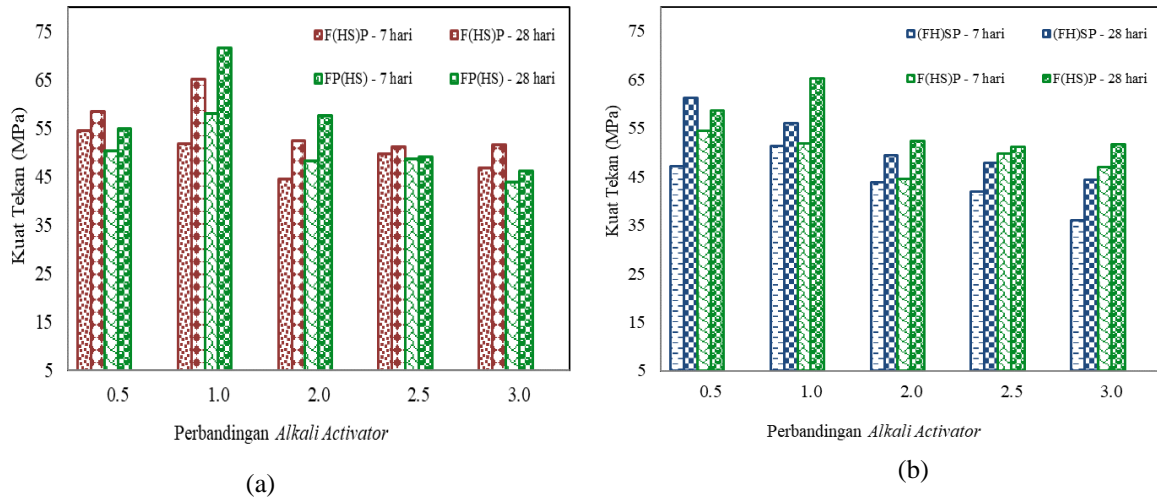
Gambar 1. Perbandingan *Initial Setting Time* Pasta Geopolimer, (a) Tahap Pertama; (b) Tahap Kedua

Berdasarkan hasil analisa tersebut, prosedur F(HS) dan (FH)S memiliki durasi *initial setting time* tercepat pada *water-to-binder ratio* 0.25 dan durasi terpanjang pada *ratio* 0.45. Variasi *water-to-binder* tetap akan menghasilkan *initial setting time* yang lebih cepat pada prosedur F(HS) daripada prosedur (FH)S. Selain itu, secara keseluruhan prosedur (FH)S memiliki durasi *initial setting time* lebih lama dari prosedur F(HS) untuk semua variasi perbandingan *alkali activator*.

4.3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar Geopolimer

Kuat tekan mortar geopolimer prosedur F(HS)P dan FP(HS) menunjukkan hasil yang tidak berbeda secara signifikan dan keduanya mengalami *flash setting*. Hasil perbandingan prosedur tersebut dapat dilihat pada Gambar 2(a). Hasil analisa menunjukkan kuat tekan tertinggi pada umur 7 dan 28 hari untuk kedua prosedur ini sama-sama dihasilkan pada perbandingan *alkali activator* sebesar 1.0 dan mengalami penurunan kekuatan apabila perbandingan *alkali activator* kurang dari atau lebih besar dari

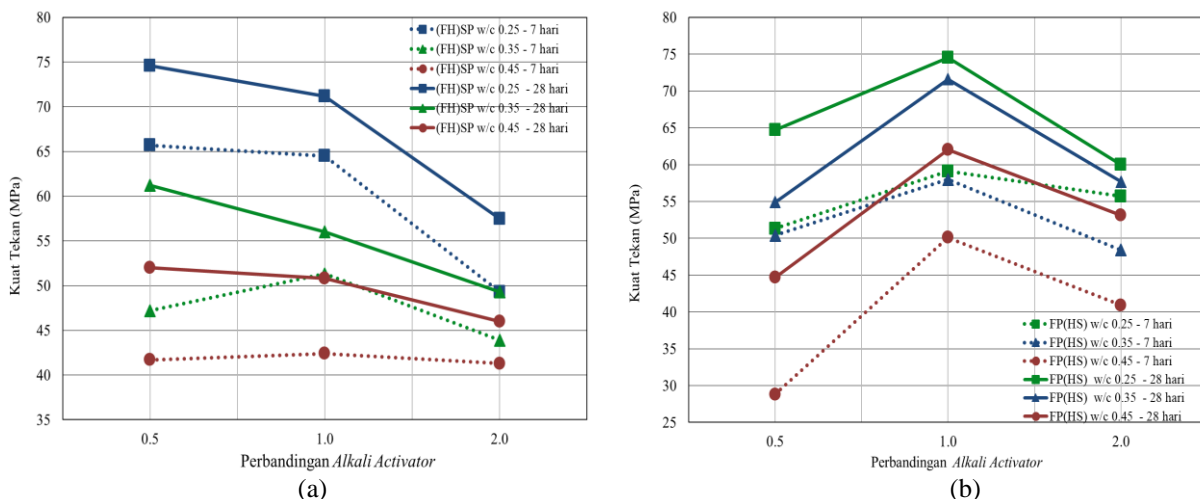
1.0. Penurunan dimungkinkan terjadi karena sodium silikat yang berlebihan bisa menghambat proses geopolimerisasi (Barbosa et al., 1999). Pada prosedur FP(HS) dan F(HS)P penambahan kuat tekan



Gambar 2. Perbandingan Kuat Tekan Mortar Geopolimer dengan *Water-to-Binder* 0.35, (a) Prosedur FP(HS) dan F(HS)P; (b) Prosedur (FH)SP dan F(HS)

paling signifikan terjadi pada mortar dengan perbandingan *alkali activator* sebesar 1.0. Hal ini dapat diindikasikan adanya proses hidrasi di samping proses geopolimerisasi. Sedangkan, penambahan kuat tekan yang rendah pada perbandingan *alkali activator* sebesar 2.5 dapat terjadi karena senyawa silika dan alumina yang terkandung dalam *fly ash* terlarut segera setelah bertemu dengan *alkali activator* sehingga hal tersebut mempercepat proses geopolimerisasi (Morsy et al., 2014).

Prosedur (FH)SP memberikan hasil analisa yang berbeda dari kedua prosedur lainnya. Prosedur (FH)SP lebih mudah dikerjakan seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya dibandingkan dengan prosedur F(HS)P yang mengalami *flash setting*. Namun dari segi kuat tekan yang terlihat pada **Gambar 2(b)**, prosedur F(HS)P menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan prosedur (FH)SP terkecuali pada perbandingan *alkali activator* sebesar 0.5. Hal ini terlihat pada kuat tekan umur 28 hari prosedur (FH)SP yang lebih tinggi dari pada prosedur F(HS)P. Hasil ini serupa dengan penelitian yang dilakukan Erlando et al. (2018) dimana metode FP(HS) menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi.



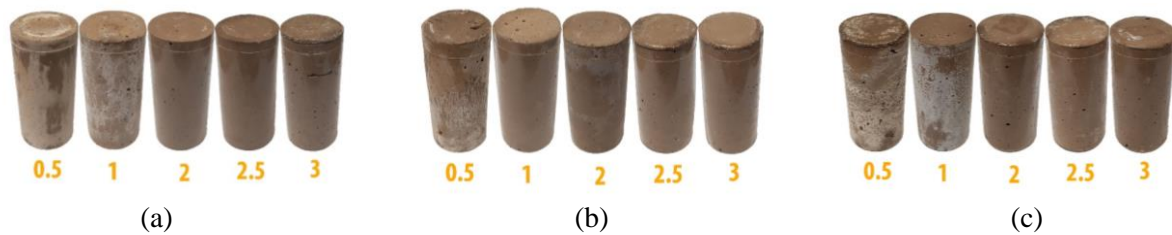
Gambar 3. Perbandingan Kuat Tekan Mortar Geopolimer dengan Variasi *Water-to-Binder*, (a) Prosedur (FH)SP; (b) Prosedur FP(HS)

Perbandingan kuat tekan mortar geopolimer tahap kedua, *water-to-binder ratio* sebesar 0.25, 0.35, dan 0.45 terlihat pada **Gambar 3**. Hasil yang diperoleh yaitu dengan *water-to-binder ratio* yang lebih

rendah menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi baik di umur 7 maupun 28 hari. Hal ini terjadi dikarenakan semakin tinggi kadar air dalam suatu beton akan menurunkan kuat tekannya. Penurunan kuat tekan dengan meningkatnya perbandingan *alkali activator* terjadi secara signifikan seiring dengan *water-to-binder ratio* yang semakin rendah untuk pada prosedur (FH)SP.

4.4. Tampilan Fisik Mortar Geopolimer

Terdapat dua variasi tampilan fisik mortar geopolimer, yaitu munculnya bercak putih pada permukaan silinder dan permukaan silinder yang mengkilap. Variasi perbedaan yang dipengaruhi oleh prosedur penyampuran dan perbandingan *alkali activator*. **Gambar 4** berikut ini menunjukkan tampilan fisik mortar geopolimer pada tahap pertama.



Gambar 4. Tampilan Fisik Mortar Geopolimer Tahap Pertama dengan Variasi Alkali Activator, (a) Prosedur (FH)SP; (b) Prosedur FP(HS); (c) Prosedur F(HS)P

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa hasil dan pembahasan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Variasi perbandingan *alkali activator* dengan material dasar *high calcium fly ash* menunjukkan durasi *initial setting time* yang kurang lebih sama untuk pasta geopolimer prosedur F(HS) dengan kelecakan campuran yang rendah. Sementara itu, prosedur (FH)S menunjukkan adanya percepatan *initial setting time* pada pasta geopolimer seiring bertambahnya perbandingan *alkali activator* untuk semua perbandingan *water-to-binder*.
2. Secara keseluruhan dengan material dasar *high calcium fly ash*, prosedur F(HS) menghasilkan durasi *initial setting time* pasta yang lebih cepat dibandingkan dengan prosedur (FH)S. Oleh karena itu, salah satu cara untuk mengatasi *flash set* pasta geopolimer ialah menggunakan prosedur (FH)S dengan perbandingan *alkali activator* yang kecil karena durasinya yang terpanjang.
3. Untuk prosedur alkali terpisah atau (FH)SP, kuat tekan umur 28 hari tertinggi mortar geopolimer dengan *high calcium fly ash* dihasilkan pada perbandingan *alkali activator* sebesar 0.5. Kemudian, semakin tinggi perbandingan *alkali activator*, kuat tekan umur 28 hari semakin menurun yaitu sebesar 61.2 MPa pada perbandingan *alkali activator* 0.5 dan 44.4 MPa pada perbandingan *alkali activator* 3.0.
4. Untuk prosedur alkali bersama, kuat tekan tertinggi mortar geopolimer dengan *high calcium fly ash* dihasilkan pada perbandingan *alkali activator* sebesar 1.0 yaitu 71.6 MPa untuk prosedur FP(HS) dan 65.1 MPa untuk prosedur F(HS)P.
5. Bercak putih pada tampilan fisik terjadi rata-rata pada sampel dengan perbandingan *alkali activator* yang kecil untuk semua prosedur penyampuran. Sedangkan, tampilan fisik berupa permukaan mengkilap terjadi rata-rata pada sampel dengan perbandingan *alkali activator* lebih besar dari 2 untuk semua prosedur penyampuran.

6. DAFTAR REFERENSI

- ASTM:C109M-02. (2007). "Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars". *Annual Book of ASTM Standards, 04*, 1–6. <https://doi.org/10.1520/C0109>
- ASTM C 618. (2010). "Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use". *Annual Book of ASTM Standards*, 3–6. <https://doi.org/10.1520/C0618>
- Barbosa, V. F. F., Mackenzie, K. J. D., & Thaumaturgo, C. (2000). *Synthesis and Characterisation of Materials Based on Inorganic Polymers of Alumina and Silica : Sodium Polysialate Polymers*, 2, 309–317.
- Davidovits, J. (1994a). "Properties of Geopolymer Cements". *First International Conference on Alkaline Cements and Concretes*, 1–19.
- Davidovits, J. (2008). *Geopolymer Chemistry and Applications* (2nd ed.). Institute Géopolymère , Saint-Quentin, France.
- Dewi, I. N. (2010). *Effect of Water-to-Binder Ratio and Activator Content on The Setting Time of Fly Ash Based Geopolymer*. Buku skripsi. Retrived from: <https://digilib.uns.ac.id/dokumen/download/22310/NDUxMzE=/Pengaruh-Faktor-Air-Binder-Dan-Kadar-Aktivator-Terhadap-Setting-Time-Fly-Ash-Based-Geopolymer-Effect-Of-Water-Binder-Ratio-And-Activator-Content-On-The-Setting-Time-Of-Fly-Ash-Based-Geopolymer-abstrak.pdf>
- Erlando, W., Frengki, G., & Hardjito, D. (2018). "Pengaruh Prosedur Urutan Pencampuran dan Komposisi Alkali Aktivator Terhadap Setting Time dan Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Tipe C". *Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 7(1), 350–357.
- Fitriani, D. R. (2010). *Pengaruh Modulus Alkali Dan Kadar Aktivator terhadap Kuat Tekan Fly Ash-Based Geopolymer Mortar*. Buku skripsi. Retrived from <https://eprints.uns.ac.id/6119/1/180191611201107491.pdf>
- Hardjito, D., Cheak, C. C., & Lee Ing, C. H. (2008). "Strength and Setting Times of Low Calcium Fly Ash-based Geopolymer Mortar". *Modern Applied Science*, 2(4), 3–11. <https://doi.org/10.5539/mas.v2n4p3>
- 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.
- Junaid, M. T., Kayali, O., Khennane, A., & Black, J. (2015). "A Mix Design Procedure For Low Calcium Alkali Activated Fly Ash-Based Concretes". *Construction & Building Materials*, 79(March), 301–310. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.01.048>
- Leoindarto C.Y., Sanjaya A., & Sugiharto H. (2006). *Penggunaan Fly Ash Sebagai Bahan Dasar Beton Geopolymer Mutu Tinggi*, 1. Buku skripsi. Retrieved from <http://lestarysnote.blogspot.co.id/2013/10/penelitian-komparatif.html>
- Morsy, M., Al-Salloum, Y., & Alsayed, S. (2014). *Effect of Sodium Silicate to Sodium Hydroxide Ratios on Strength and Microstructure of Fly Ash Geopolymer Binder*, 39(6), 4333-4339. <https://doi.org/10.1007/s13369-014-1093-8>
- Nugteren, H. W., Butselaar-Orthlieb, V. C. L., & Izquierdo, M. (2009). "High Strength Geopolymers Produced From Coal Combustion Fly Ash". *Global Nest Journal*, 11(2), 155–161.
- Rattanasak, U., & Chindaprasirt, P. (2009). "Influence of NaOH Solution on the Synthesis of Fly Ash Geopolymer". *Minerals Engineering*, 22(12), 1073–1078. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2009.03.022>
- Risdanareni, P., Ekaputri, J. J., & Abdullah, M. M. A. B. (2015). "Effect of Alkaline Activator Ratio to Mechanical Properties of Geopolymer Concrete with Trass as Filler". *Applied Mechanics and Materials*, 754–755(April), 406–412. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.754-755.406>
- Skavara, F., Kopecky, L., Nemecek, J., & Bittnar, Z. (2006). "Micro Structure of Geopolymer Materials Based on Fly Ash". *Ceramics*, 50(4), 208–215.