

PERBANDINGAN BEBERAPA PROSEDUR PEMBUATAN GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR *FLY ASH* TIPE C

Reiner Tirtamulya Surja¹, Ricard Mintura², Antoni³, Djwantoro Hardjito⁴

ABSTRAK : *Fly ash* merupakan limbah industri yang sering digunakan untuk menggantikan *Portland Cement* dalam pembuatan beton. *Fly ash* tersedia dalam jumlah banyak dan penggunaannya masih terbatas. Namun penggunaan *fly ash* tipe C dengan kandungan kalsium yang tinggi bisa menyebabkan terjadinya *flash set* dimana beton geopolimer mengeras dengan sangat cepat. Penelitian sebelumnya membuat prosedur pembuatan mortar geopolimer berbahan dasar *fly ash* tipe C dengan urutan yang berbeda dan menghasilkan beton yang sedikit lebih baik jika dibandingkan dengan prosedur pada umumnya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh prosedur *mix design* terhadap karakteristik mortar geopolimer. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan dengan mencampurkan *fly ash* terlebih dahulu dengan larutan NaOH selama 5 menit dan kemudian ditambahkan dengan larutan sodium silikat akan menghasilkan mortar dengan kuat tekan yang tinggi setelah dilakukan *curing oven* pada suhu 60 °C selama 24 jam. Begitu pula dengan prosedur ini *initial set* yang didapatkan bertambah dengan signifikan dari 9 menit hingga 165 menit.

KATA KUNCI : *fly ash*, geopolimer, *flash setting*, *setting time*, kuat tekan, prosedur pencampuran

1. PENDAHULUAN

Penggunaan *Portland Cement* (PC) dalam pembuatan beton dapat digantikan dengan menggunakan *fly ash* yang merupakan salah satu bahan sisa limbah industri (Rattanasak & Chindaprasirt, 2009). Beton geopolimer umumnya dibuat dengan mencampurkan *fly ash* dengan larutan *alkali activator*. Prosedur pembuatan yang umum digunakan adalah dengan mencampurkan larutan NaOH dengan larutan sodium silikat sebagai *alkali activator* (Hardjito, 2005). Namun penggunaan *fly ash* tipe C dengan kadar kalsium yang tinggi dapat menyebabkan terjadinya *flash set*. Penelitian sebelumnya membuat prosedur pembuatan mortar geopolimer berbahan dasar *fly ash* tipe C dengan langkah yang berbeda seperti mengubah urutan pencampuran. Contohnya *fly ash* dilarutkan terlebih dahulu dengan larutan NaOH dan kemudian ditambahkan dengan pasir dan larutan sodium silikat. Beton geopolimer yang dihasilkan dengan prosedur pencampuran ini sedikit lebih baik daripada beton geopolimer yang dibuat dengan prosedur pencampuran pada umumnya (Rattanasak & Chindaprasirt, 2009). Penelitian yang lain juga membuat beton geopolimer dengan prosedur yang berbeda dengan cara mencampurkan *fly ash* dan pasir kemudian baru ditambahkan dengan larutan sodium silikat dan terakhir dimasukkan larutan NaOH (Junaid et al., 2015). Pada penelitian ini, *fly ash* yang digunakan diambil dari PLTU Paiton, Probolinggo, Jawa Timur. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh prosedur *mix design* terhadap karakteristik mortar geopolimer dan membandingkan beberapa prosedur *mix design* beton geopolimer.

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

²Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, ricardmintura94@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. Beton Geopolimer

Beton geopolimer merupakan salah satu alternatif pengganti beton konvensional (Bakrie et al., 2011). Beton geopolimer dibuat tanpa menggunakan OPC oleh sebab itu penggunaan beton geopolimer tidak hanya mengurangi emisi CO₂. Namun beton geopolimer juga memanfaatkan penggunaan material sisa seperti *fly ash* (Hardjito et al., 2004). Beton geopolimer memiliki dua komponen utama yaitu material dasar dan larutan *alkali activator*. Material dasar beton geopolimer harus kaya akan unsur Si dan Al. Bentuknya dapat berupa tanah liat, *fly ash*, *silica fume*, *slag*, *rice-husk ash*, *red mud*. Larutan *alkali activator* yang digunakan bisa berupa larutan NaOH atau larutan KOH dan larutan sodium silikat atau potassium silikat (Lloyd & Rangan, 2010).

2.2. Fly Ash

Fly ash merupakan partikel halus yang dihasilkan dari proses pembakaran batu bara (Tikalisky et al., 2002). Partikel *fly ash* berbentuk bulat, lebih halus dari semen *Portland* dan kapur, berdiameter antara kurang dari 1 µm sampai 150 µm. *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 (Hardjito, 2005). *Fly ash* tipe C biasanya dihasilkan dari pembakaran batu bara sub bitumen yang memiliki sifat *pozzolan* dan sifat *cementitious* (ASTM C 618, 2010). Karakteristik lain dari *fly ash* yang pada umumnya dilihat adalah *Loss on Ignition* (LOI), kehalusan dan juga keseragaman partikel. *Fly ash* tipe C menghasilkan kuat tekan yang tinggi dikarenakan memiliki kadar CaO yang tinggi. Hal ini dikarenakan *fly ash* dengan kadar CaO yang tinggi dapat mengalami reaksi hidrasi dan reaksi polimerisasi secara bersamaan. Reaksi hidrasi akan menghasilkan panas sedangkan beton geopolimer membutuhkan suhu awal yang rendah agar tidak terjadi *flash setting* (Antoni, Wijaya, & Hardjito, 2016).

2.3. Alkali Activator

Larutan *alkali activator* yang digunakan merupakan campuran dari larutan NaOH 8M dan larutan sodium silikat. Semakin meningkatnya perbandingan antara NaOH padat dan larutan sodium silikat akan berdampak pada kuat tekannya yang akan berkurang secara signifikan (Aliabdo, Elmoaty, & Salem, 2016). Perbandingan massa larutan sodium silikat dan NaOH padat yang efektif adalah 2.5 (Abdullah et al., 2011).

2.4. Flash Setting

Fly ash tipe C yang memiliki banyak kandungan CaO cenderung mengalami *set* yang lebih cepat. Kondisi ini disebut dengan *flash setting* (Junaid et al., 2015). Selain itu ada berbagai faktor lain yang mempengaruhi *flash setting* seperti reaktivitas dari *fly ash*, ukuran dari partikel, temperatur saat dicetak dan volume campuran yang terlalu banyak. Semakin tinggi rasio dari silikat yang digunakan juga dapat mempercepat reaksi polimerisasi yang ditandai dengan bertambahnya kuat tekan dan di saat yang sama mempercepat *setting time*. Upaya untuk mengatasi *flash setting* sudah dilakukan oleh penelitian sebelumnya dengan menambahkan boraks sebesar 5% dari berat *fly ash* yang digunakan yang dapat menambah *setting time* secara signifikan (Wijaya et al., 2016). Selain itu nilai pH *fly ash* yang tinggi dapat menyebabkan *setting time* yang cepat (Purwantoro & Suyanto, 2016). Telah dilakukan percobaan untuk menurunkan pH *fly ash* agar dapat memperlambat *setting time*. Hasil menunjukkan bahwa penambahan larutan asam ke dalam *fly ash* yang bertujuan untuk menurunkan pH awal *fly ash* justru menyebabkan percepatan *initial setting time* pada pasta geopolimer (Ghorman & Anastasia, 2016). Cara lain untuk memperlambat *initial setting time* adalah dengan menurunkan suhu awal campuran. Terbukti bahwa dengan menurunkan suhu awal campuran, *initial setting time* bisa menjadi lebih lama (Antoni et al., 2016).

2.5. Metode Pembuatan Geopolimer

Umumnya tahap pembuatan geopolimer dilakukan dengan cara mencampurkan larutan NaOH dan larutan sodium silikat sebagai *alkali activator*, kemudian kedalam *fly ash* dan pasir ditambahkan larutan *alkali activator* (Hardjito, 2005). Junaid et al. mencoba 3 metode pencampuran geopolimer berbahan dasar *fly ash* tipe F. metode 1 dengan mencampurkan *fly ash* dan pasir dalam keadaan kering kemudian ditambahkan dengan larutan *alkali activator* dan air lalu diaduk selama 3-5 menit. metode 2 mencampurkan *fly ash* dengan larutan NaOH terlebih dahulu selama 3 menit selanjutnya ditambahkan larutan sodium silikat dan diaduk selama 2 menit dan terakhir ditambahkan agregat beserta air dan diaduk selama 2 menit. metode 3 dimana agregat dalam keadaan SSD dicampurkan dengan *fly ash* dalam keadaan kering kemudian ditambahkan larutan sodium silikat dan diaduk selama 3 menit terakhir ditambahkan larutan NaOH beserta air dan diaduk selama 2 menit. hasil menunjukkan bahwa ketiga metode pencampuran ini tidak berpengaruh secara signifikan terhadap kuat tekan geopolimer (Junaid et al., 2015).

Rattanasak dan Chindaprasirt membuat geopolimer berbahan dasar *fly ash* tipe C dengan dua cara yang berbeda. cara yang pertama dengan mencampurkan secara bersamaan *fly ash*, pasir, larutan NaOH dan larutan sodium silikat kemudian diaduk selama 1 menit. cara kedua *fly ash* dilarutkan dengan larutan NaOH terlebih dahulu selama 10 menit dan dibiarkan untuk mengalami *leaching of ions*, berikutnya ditambahkan larutan sodium silikat selama 1 menit dan kemudian ditambahkan pasir dan diaduk selama 1 menit. urutan pencampuran ini ternyata berpengaruh terhadap kuat tekan beton geopolimer, dimana pencampuran yang terpisah menghasilkan beton geopolimer yang sedikit lebih baik dari pencampuran biasa (Rattanasak & Chindaprasirt, 2009).

3. METODA PENELITIAN

3.1. Material

Dalam penelitian ini *fly ash* yang digunakan berasal dari sisa pembakaran batu bara PLTU di Paiton, Jawa Timur. *fly ash* yang digunakan merupakan *fly ash* tipe C. Agregat yang digunakan berupa agregat halus yakni pasir Lumajang. pasir yang didapat terlebih dulu dikeringkan, lalu dilakukan pengaturan gradasi berdasarkan ASTM (ASTM C778-13, 2014). sebelum dilakukan pengecoran pasir diayak terlebih dahulu dan ditimbang sesuai presentase dari ASTM 778. Pasir dalam keadaan SSD. larutan *alkali activator* yang digunakan yaitu larutan NaOH 8M dan larutan sodium silikat tipe 52. perbandingan massa larutan sodium silikat dengan massa padat NaOH adalah 2.5 (Antoni et al., 2017).

3.2. Mix Design

mix design mengacu pada penelitian sebelumnya (Antoni et al., 2017). Digunakan *fly ash* sebanyak 300 gram. Perbandingan *fly ash*/pasir sebesar 0.5 maka didapatkan berat pasir sebanyak 600 gram. Alkali aktivator yang digunakan adalah larutan NaOH 8M dan untuk perbandingan larutan sodium silikat dengan NaOH padat adalah 2.5. Dari perbandingan tersebut didapat larutan NaOH sebanyak 75 mL dan larutan sodium silikat sebanyak 60 gram.

3.3. Prosedur Pembuatan Mortar Geopolimer

Ada 8 prosedur untuk pembuatan mortar geopolimer seperti tertulis pada **Tabel 1**. Pemberian kode pada setiap prosedur berdasarkan pada urutan pencampuran dari tiap material yang digunakan. Kode FP(HS)-C dapat diartikan menjadi *fly ash* yang dicampurkan terlebih dahulu dengan pasir kemudian ditambahkan dengan larutan NaOH 8M dan larutan sodium silikat yang telah dicampur terlebih dahulu dan huruf C diartikan sebagai prosedur ini menggunakan proses *curing oven* pada suhu 60°C selama 24 jam. Sedangkan huruf D dapat diartikan bahwa prosedur ini dibuat dengan menurunkan suhu awal material hingga 0°C kemudian baru dilakukan proses pencampuran.

Tabel 1. Prosedur Pembuatan *Mix Design* Geopolimer

Prosedur Pembuatan <i>Mix Design</i> Beton Geopolimer (Urutan pengerjaan dari kiri ke kanan)	
FP(HS) / FP(HS)-D	(<i>Fly ash</i> + Pasir) > (NaOH + Na ₂ SiO ₃)* dry mix mix 5 min
FPHS	(<i>Fly ash</i> + Pasir) > NaOH > Na ₂ SiO ₃ dry mix mix 5 min mix 1 min
FHPS / FHPS-C	(<i>Fly ash</i> + NaOH) > Pasir > Na ₂ SiO ₃ mix 5 min mix 1 min mix 1 min
FHSP / FHSP-C	(<i>Fly ash</i> + NaOH) > Na ₂ SiO ₃ > Pasir mix 5 min mix 1 min mix 1 min
FH(PS)/ FPHS-C	(<i>Fly ash</i> + NaOH) > (Pasir + Na ₂ SiO ₃)** mix 5 min mix 1 min
FSPH	(<i>Fly ash</i> + Na ₂ SiO ₃) > Pasir > NaOH mix 1 min mix 1 min mix 1 min
FSHP	(<i>Fly ash</i> + Na ₂ SiO ₃) > NaOH > Pasir mix 1 min mix 1 min mix 1 min
FS(PH)	(<i>Fly ash</i> + Na ₂ SiO ₃) > (Pasir + NaOH)** mix 1 min mix 1 min

*Larutan (NaOH + Na₂SiO₃) dicampur terlebih dahulu dan dibiarkan untuk mencapai suhu ruang sebelum

**spesimen dicampur terlebih dahulu sebelum dilakukan pencampuran

3.4. Pengujian Sampel

Pengujian yang dilakukan adalah *setting time* dan kuat tekan. pengujian *setting time* dilakukan dengan menggunakan alat *vicat needle* dan pengujian kuat tekan menggunakan alat tes tekan di Laboratorium Beton dan Konstruksi Universitas Kristen Petra

4. HASIL DAN ANALISIS

4.1. Analisa Material

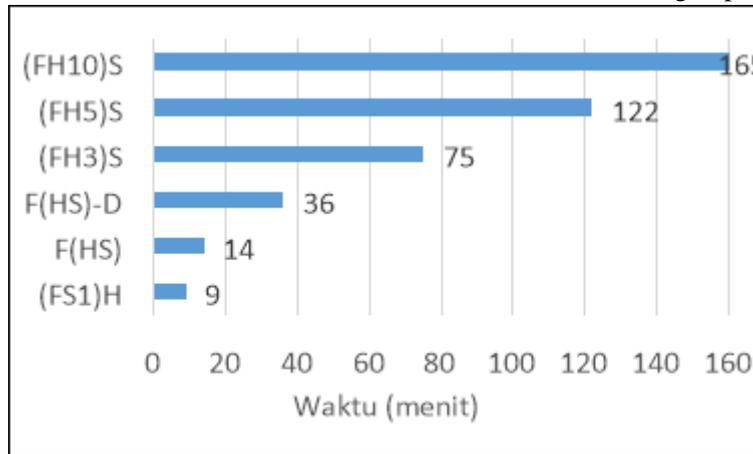
Dalam penellitian ini dilakukan analisa material seperti analisa ayakan, pengujian pH, pengujian GS dan pengujian XRF. *fly ash* yang digunakan memiliki nilai pH 11.2, GS 2.753 dan untuk pengujian XRF dapat dilihat pada **Tabel 2**. dari hasil tes XRF dapat dilihat bahwa *fly ash* yang digunakan termasuk *fly ash* tipe C dengan kandungan SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ lebih dari 50% dan kadar CaO diatas 10%

Tabel 2. Komposisi *Fly Ash* dari PLTU Paiton, Jawa Timur

No.	Parameter	%
1	SiO ₂	34.29
2	Al ₂ O ₃	16.62
3	Fe ₂ O ₃	15.38
4	TiO ₂	0.73
5	CaO	18.18
6	MgO	7.52
7	K ₂ O	1.35
8	Na ₂ O	2.97
9	SO ₃	1.63
10	MnO ₂	0.17
11	P ₂ O ₅	0.25
12	L O I	0.36
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃		66.29

4.2. Hasil Pengujian *Setting Time* Pasta Geopolimer

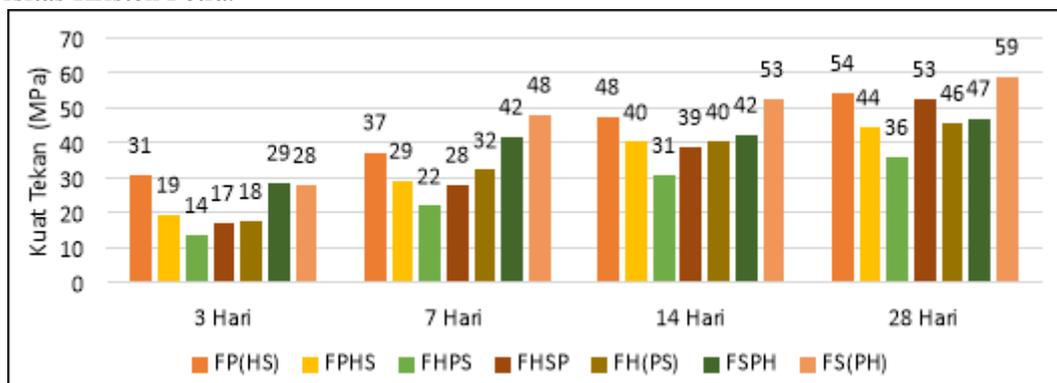
Berikut hasil pengujian *initial setting time* dari semua prosedur dan dapat dilihat pada **Gambar 1**. Kode (FH10)S dapat diartikan *fly ash* yang ditambahkan dengan larutan NaOH 8M dan diaduk selama 10 menit kemudian ditambahkan larutan sodium silikat selama 1 menit. Waktu *initial set* tercepat adalah 9 menit dengan prosedur (FS1)H dan waktu *initial set* terlama adalah 165 dengan prosedur (FH10)S.



Gambar 1. Hasil Pengujian *Initial Setting Time* Pasta Geopolimer

4.3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar Geopolimer

Pengujian kuat tekan mortar geopolimer dilakukan berdasarkan standar (ASTM C109M-02, 2007) dan dilakukan pada usia 3, 7, 14 dan 28 hari dengan alat tes tekan Laboratorium Beton dan Konstruksi Universitas Kristen Petra.

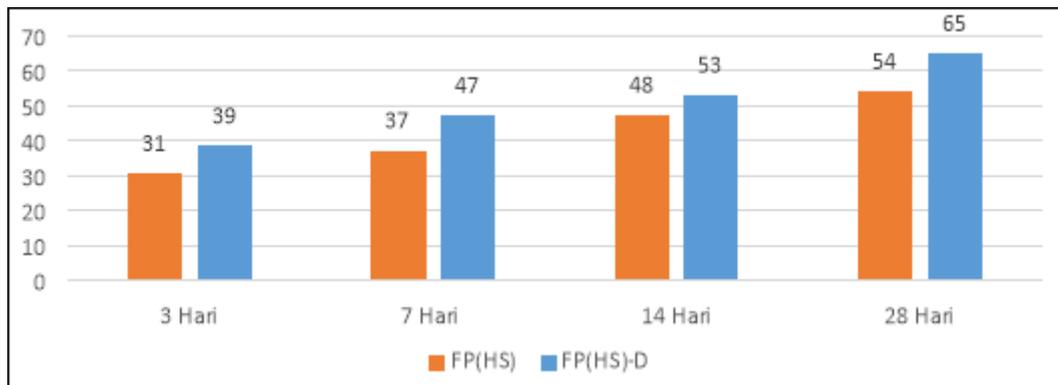


Gambar 2. Perbandingan Kuat Tekan Beberapa Mortar Geopolimer dengan Prosedur Pembuatan Berbeda

Gambar 2 menunjukkan hasil percobaan dari beberapa prosedur pencampuran dengan mengganti urutan pencampuran material geopolimer. Kode FP(HS) dapat diartikan sebagai urutan pencampuran yang dimulai dari *fly ash* dicampurkan terlebih dahulu dengan pasir kemudian baru dicampurkan dengan larutan NaOH yang sudah dicampurkan terlebih dahulu dengan larutan sodium silikat. Hasil menunjukkan bahwa kuat tekan tertinggi dihasilkan dari metode FS(PH) dan kuat tekan terendah dihasilkan dari metode FHPS.

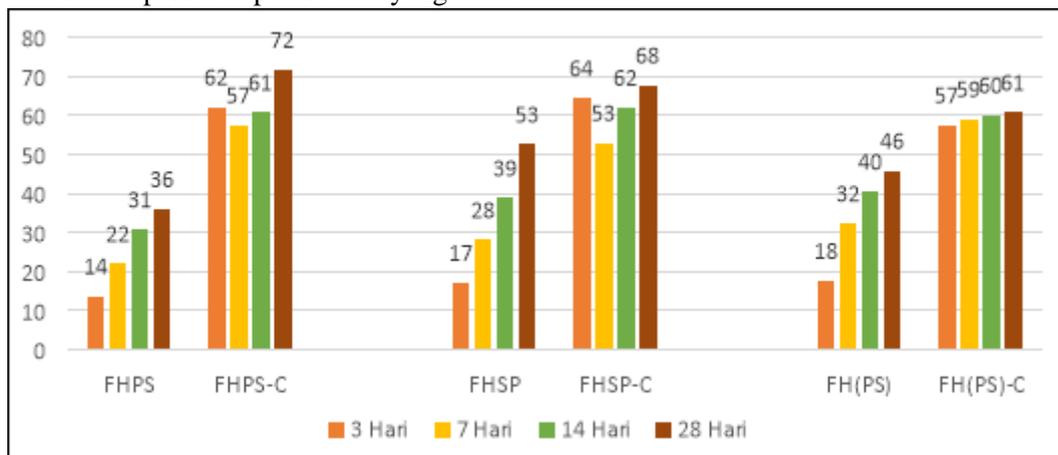
Selain mengubah urutan pencampuran dalam pembuatan mortar geopolimer, dilakukan juga prosedur pencampuran dengan suhu awal material yang berbeda. Prosedur FP(HS) dilakukan dengan mencampurkan material dengan suhu awalnya adalah suhu ruang. Sedangkan prosedur FP(HS)-D dilakukan dengan cara menurunkan suhu awal material seperti *fly ash*, pasir dan larutan alkali yang terdiri dari larutan NaOH dan larutan sodium silikat hingga mencapai suhu 0 °C. Selanjutnya segera dilakukan pencampuran material untuk membuat mortar geopolimer dan dilakukan *curing* pada suhu ruang. Dapat dilihat pada **Gambar 3** bahwa hasil kuat tekan yang dihasilkan oleh prosedur FP(HS)-D

menunjukkan hasil kuat tekan yang lebih tinggi daripada prosedur FP(HS) namun tidak terlalu signifikan.



Gambar 3. Perbandingan Kuat Tekan dari Prosedur dengan Suhu Awal yang Berbeda

Dari perbandingan data kuat tekan prosedur yang telah dilakukan, data kuat tekan kelompok *fly ash* yang dilarutkan dengan larutan NaOH terlebih dahulu seperti prosedur FHPS, FHSP dan FH(PS) adalah yang terendah. Oleh sebab itu dilakukan *curing* oven untuk meningkatkan kuat tekannya. Dapat dilihat pada **Gambar 4** bahwa hasil perbandingan kuat tekan prosedur dengan *curing* suhu ruang terjadi peningkatan selama 3 hingga 28 hari, sedangkan untuk prosedur dengan *curing* oven untuk umur 3 hari telah mencapai kuat tekan diatas 50 MPa dan tidak terjadi peningkatan seiring dengan bertambahnya umur mortar. Namun secara keseluruhan metode *curing* dengan oven ini menghasilkan kuat tekan yang paling tinggi dari semua prosedur pembuatan yang telah dilakukan.



Gambar 4. Perbandingan Kuat Tekan dari Prosedur dengan Curing yang Berbeda

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pasta geopolimer akan mengeras dengan cepat (*flash setting*) bila larutan sodium silikat dicampurkan terlebih dahulu dengan *fly ash* tipe C dan kemudian ditambahkan larutan NaOH.
2. Semakin lama *fly ash* tipe C dilarutkan ke dalam larutan NaOH antara 3 sampai dengan 10 menit maka semakin lama pula *initial set* yang terjadi yaitu dari 75 menjadi 165 menit.
3. *Initial setting time* dan kuat tekan dari geopolimer akan bertambah apabila suhu awal material diturunkan.
4. Prosedur terbaik dari segi *initial set* dan kuat tekan adalah prosedur dimana *fly ash* dilarutkan dengan larutan NaOH terlebih dahulu kemudian dilakukan *curing* oven untuk meningkatkan kuat tekan mortar.
5. Berdasarkan data *density* yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa *density* tidak berhubungan dengan kuat tekan mortar geopolimer apabila dibuat dengan prosedur yang berbeda.

6. DAFTAR REFERENSI

- Abdullah, M. M. A., Kamarudin, H., Mohammed, H., Nizar, I. K., Rafiza, A. R., & Zarina, Y. (2011). The relationship of NaOH Molarity, Na₂SiO₃/NaOH Ratio, Fly Ash/Alkaline Activator Ratio, and Curing Temperature to the Strength of Fly Ash-Based Geopolymer. *Advanced Materials Research*, 328–330, 1475–1482. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.328-330.1475>
- Aliabdo, A. 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. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.062>
- Antoni, A., Wijaya, S. W., & Hardjito, D. (2016). Factors Affecting the Setting Time of Fly Ash-Based Geopolymer. *Materials Science Forum*, 841(January), 2–8. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.841.90>
- Antoni, Satria, J., Sugiarto, A., & Hardjito, D. (2017). Effect of Variability of Fly Ash Obtained from the Same Source on the Characteristics of Geopolymer. *MATEC Web Conferences*, 97(February), 9–13. <https://doi.org/https://doi.org/10.1051/mateconf/20179701026>
- ASTM C109M-02. (2007). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars. *Annual Book of ASTM Standards*, 4, 1–6. <https://doi.org/10.1520/C0109>
- ASTM C778-13. (2014). *Standard Specification for Sand*. 65.198.187.10 (Vol. 14). <https://doi.org/10.1520/C0778-13.2>
- ASTM C 618. (2010). Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. *Annual Book of ASTM Standards*, 3–6. <https://doi.org/10.1520/C0618>
- Bakrie, A. M. M., Kamarudin, H., BinHussain, M., & Nizar, I. K. (2011). The Effect of Curing Temperature on Physical and Chemical Properties of Geopolymers. *2011 International Conference on Physics Science and Technology*, 286–291. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2011.11.045>
- Ghorman, J., & Anastasia, E. (2016). *Pengaruh Penambahan Larutan Asam terhadap Setting Time dan Kuat Tekan Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash tipe C* (No. 11012132/SIP/2016).
- Hardjito, D. (2005). *Studies on Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*. Curtin University. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.11937/634>
- 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(July 2015), 88–93. Retrieved from <http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/civ/article/view/16116>
- 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(March), 301–310. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.01.048>
- Lloyd, N. A., & Rangan, B. V. (2010). Geopolymer Concrete with Fly Ash. *Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, Ancona, Italy*, 3(Juni).
- Purwanto, A., & Suyanto, W. (2016). *Pengaruh Penambahan Boraks dan Kalsium Oksida terhadap Setting Time dan Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash tipe C* (No. 11012095/SIP/2016).
- 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>
- Tikalsky, P. J., Ehmke, B. A., Ellis, W. E., Weber, J. W., & Werner, O. R. (2002). *Use of Fly Ash in Concrete* (Vol. 96).
- 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. *Material Science Forum*, 857(May), 416–420. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.857.416>