

PENGARUH VARIASI NaOH DAN Na₂SiO₃ TERHADAP KUAT TEKAN DRY GEOPOLYMER MORTAR PADA KONDISI RASIO FLY ASH TERHADAP AKTIFATOR 2,5 : 1

Irfan Prasetyo Loekito

Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
irfanprasetyo1937@gmail.com

Arie Wardhono

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
ariewardhono@unesa.ac.id

Abstrak

Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam dunia konstruksi. Penggunaan semen sebagai material utama dalam pembuatan beton pun ikut meningkat dan akibatnya adalah kondisi lingkungan yang semakin tercemar. Berbagai inovasi terus dikembangkan untuk mengurangi dampak ini, salah satunya adalah dengan metode *dry geopolymer*. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan kuat tekan tertinggi *dry geopolymer mortar* menggunakan bahan *fly ash*, sodium hidroksida dan sodium silikat dengan komposisi tertentu.

Rasio *fly ash* terhadap aktivator yang digunakan sebesar 2.5:1. Perbandingan komposisi aktivator kering yang terdiri dari sodium hidroksida (NaOH) padat dan sodium silikat (Na₂SiO₃) padat yang digunakan adalah 1:1, 1:1,5, 1:2, 1:2,5, 1:3, 1:3,5, kemudian aktivator ini digiling bersama dengan *fly ash* tipe C menghasilkan semen geopolimer. Kemudian semen ini dicampur dengan air sebesar 0,4 dan juga pasir. Setelah mortar homogen, mortar tersebut disimpan pada suhu ruangan dengan metode *polyethene curing*.

Hasil yang didapatkan bahwa kuat tekan tertinggi berada pada variasi NaOH terhadap Na₂SiO₃ sebesar 1:3,5 dengan nilai kuat tekan 23,21 MPa. Hasil uji waktu pengikatan tercepat didapatkan pada variasi NaOH terhadap Na₂SiO₃ sebesar 1:3,5. Kandungan sodium silikat berpengaruh besar terhadap nilai kuat tekan dan waktu pengikatan mortar.

Kata Kunci: *Dry geopolymer mortar, dry mixing, kuat tekan, uji vicat, aktivator kering.*

Abstract

Concrete is one of the most widely used construction materials in the world of construction. The use of cement as the main material in making concrete also increases and the result is increasingly polluted environmental conditions. Various innovations continue to be developed to reduce this impact, one of which is the *dry geopolymer* method. This study aims to find the highest compressive strength of *dry geopolymer mortar* using materials of *fly ash*, sodium hydroxide and sodium silicate with certain compositions.

The *fly ash* ratio of activators used is 2.5:1. Comparison of dry activator composition consisting of solid sodium hydroxide (NaOH) and solid sodium silicate (Na₂SiO₃) used is 1:1, 1:1.5, 1:2, 1:2.5, 1:3, 1:3.5, then this activator is milled together with type C *fly ash* to produce geopolymer cement. Then the cement is mixed with water of 0.4 and also sand. After the homogenous mortar, the mortar is stored at room temperature using the *polyethene curing* method.

The results showed that the highest compressive strength was in the variation of NaOH to Na₂SiO₃ 1:3.5 with a compressive strength of 23.21 MPa. The fastest binding time test results obtained in the variation of NaOH to Na₂SiO₃ 1:3.5. The content of sodium silicate has a big effect on the value of compressive strength and binding time of mortar.

Keywords: *Dry geopolymer mortar, dry mixing, compressive strength, vicat test, dry activator.*

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kebutuhan semen akan terus meningkat seiring dengan berkembangnya pembangunan infrastruktur di dunia. Diperkirakan pada tahun 2030, kebutuhan semen yang akan terpenuhi hanya mencapai 67,42% kebutuhan (*Portland Cement Association*, 2013).

Geopolimer adalah solusi alternatif yang gencar dikembangkan karena beton ini 100% tidak menggunakan semen. Semen digantikan oleh material dari bahan alami yang digunakan sebagai pengikat.

Material tersebut mengalami reaksi polimerisasi dalam proses pengerasannya. Pada pembuatan geopolimer, *fly ash* dipilih sebagai material utama karena mengandung oksida silika dan alumina yang tinggi.

Geopolimer merupakan salah satu inovasi dalam menggantikan semen portland dikarenakan memiliki beberapa keunggulan, yakni lebih ramah lingkungan (dalam proses pembuatannya tanpa melepas emisi CO₂ ke atmosfer), tingkat workabilitas yang tinggi (mudah mengalir atau *self leveling*), lebih tahan terhadap serangan kimia (sulfat, asam, dan klorida), dan lebih tahan terhadap temperatur tinggi (Provis dan

Deventer, 2009; Abdullah et al, 2013). Namun dalam aplikasinya di kalangan masyarakat luas, geopolimer belum sebanyak semen Portland karena masih memiliki kelemahan, yaitu: desain campuran yang melibatkan perhitungan perbandingan bahan kimia (larutan alkali aktivator) dan bahan pozzolan (pemahaman secara *scientific* masyarakat awam masih sangat terbatas dan butuh pengawasan teknisi khusus yang paham tentang geopolimer) (Abdullah et al, 2013). Semen portland mudah diterima masyarakat karena untuk menggunakannya sebagai adonan pasta, mortar, maupun beton sangatlah mudah. Tinggal mencampurkan air dengan semen portland dengan rasio air terhadap semen tertentu, maka jadilah adonan pasta, mortar, maupun beton..

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan digunakan metode pencampuran kering dimana aktivator dan fly ashnya akan diolah menjadi seperti bubuk semen yang nantinya hanya perlu ditambahkan air dan agregat dengan rasio air terhadap semen geopolimer tertentu.

Pada penelitian ini, yang ingin diteliti lebih lanjut adalah berapa rasio optimum SH/SS yang menjadi aktivator beton geopolimer untuk mendapatkan kuat tekan yang tinggi pada beton geopolimer dengan metode pencampuran kering.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka yang menjadi masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh rasio SH/SS terhadap kuat tekan mortar geopolimer kering pada kondisi rasio abu terbang : aktivator sebesar 2,5 : 1?
2. Berapa standart optimum SH/SS untuk menghasilkan kuat tekan optimum pada mortar geopolimer kering pada kondisi rasio abu terbang : aktivator sebesar 2,5 : 1?

KAJIAN PUSTAKA

A. Mortar

Mortar didefinisikan sebagai campuran material yang terdiri dari agregat halus (pasir), bahan perekat (tanah liat, kapur, semen Portland) dan air dengan komposisi tertentu (SNI 03-6825-2002).

B. Geopolimer

Geopolimer dalam pembuatan beton atau mortar adalah campuran beton atau mortar di mana penggunaan material semen Portland sebagai bahan pengikat digantikan oleh bahan lain seperti abu terbang (*fly ash*), abu kulit padi, dan lain-lain yang

banyak mengandung silika dan aluminium (Davidovits, 1999).

C. Metode Geopolymer

1. Geopolymer Metode Basah

Metode pencampuran basah adalah metode yang pada umumnya digunakan dalam proses pembuatan beton geopolimer. Maksudnya adalah bahan kimia alkali aktivator yang digunakan disajikan sendiri dalam bentuk larutan. Padatan NaOH (Natrium Hidroksida) dilarutkan sesuai konsentrasi molar yang diinginkan dan Na_2SiO_3 (Natrium Silikat) berwujud larutan atau biasa disebut *water glass*. larutan tersebut kemudian dicampur dengan bahan pozzolan yang disiapkan dalam wadah tersendiri sebelumnya (Abdul Karim, 2017).

2. Geopolymer Metode Kering

Metode pencampuran kering merupakan metode dimana bahan kimia alkali aktivator digiling bersamaan dengan bahan pozzolan dengan komposisi tertentu, sehingga menghasilkan suatu butiran halus mirip semen (semen geopolimer). Semen geopolimer ini cukup ditambahkan air saja dalam aplikasi penggunaannya (Abdul Karim, 2017).

D. Bahan Penyusun Mortar Dry Geopolymer

Dalam pembuatan mortar *dry geopolymer* dibutuhkan bahan sebagai berikut :

1. Abu Terbang (*Fly Ash*)

Fly Ash merupakan material hasil sampingan (*by-product*) industri salah satunya adalah sisa hasil proses pembakaran batubara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Material ini mempunyai kadar bahan semen yang tinggi dan mempunyai sifat pozzolanik, yaitu dapat bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen saat proses hidrasi dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat pada temperatur normal dengan adanya air (Himawan, dan Darma, 2000).

2. Aktivator

Aktivator yang biasanya digunakan untuk membuat geopolimer diantaranya adalah kombinasi antara sodium hidroksida (NaOH) dengan sodium silikat (Na_2SiO_3) atau potassium hidroksida (KOH) dengan potassium silikat (K_2SiO_3) (Davidovits, 1999).

Alkali aktivator memiliki fungsi dalam menghasilkan geopolimerisasi dan meningkatkan laju reaksi. NaOH biasa digunakan sebagai alkali

aktivator karena murah, memiliki viskositas rendah, dan tersedia dalam jumlah banyak. Selain itu, ion OH⁻ di dalam NaOH merupakan elemen penting dalam proses geopolimerisasi. Ion ini sangat penting dalam meningkatkan laju reaksi dari penguraian ikatan alumina dan silika (Arjunan P, dkk, 2001).

3. Agregat Halus

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0mm. Persyaratan yang dilakukan terhadap pasir meliputi berat satuan, kadar lumpur, dan modulus kehalusan pasir (FM), umumnya modulus kehalusan pasir untuk beton berkisar antara 1,5-3,8 (Mulyono, 2003).

4. Air

Air sangat berpengaruh terhadap kuat tekan beton apabila kelebihan air maka akan menyebabkan penurunan pada kekuatan beton itu sendiri. Selain itu yang terjadi apabila kelebihan air saat pembuatannya akan mengakibatkan beton mengalami *bleeding*, yaitu air bersama semen akan bergerak keatas permukaan beton segar yang baru saja dituang, hal ini akan menyebabkan kurangnya lekatan beton yang ada dibawahnya.

5. Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah besarnya beban maksimum persatuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat tekan beton ditentukan oleh perbandingan semen, agregat halus, air, dan berbagai jenis bahan tambahan (Tjokrodinuljo, 1996).

Kuat tekan beton dapat dihitung dengan :

$$\sigma = \frac{P}{A} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Keterangan:

σ = Kuat tekan beton (N/mm²)

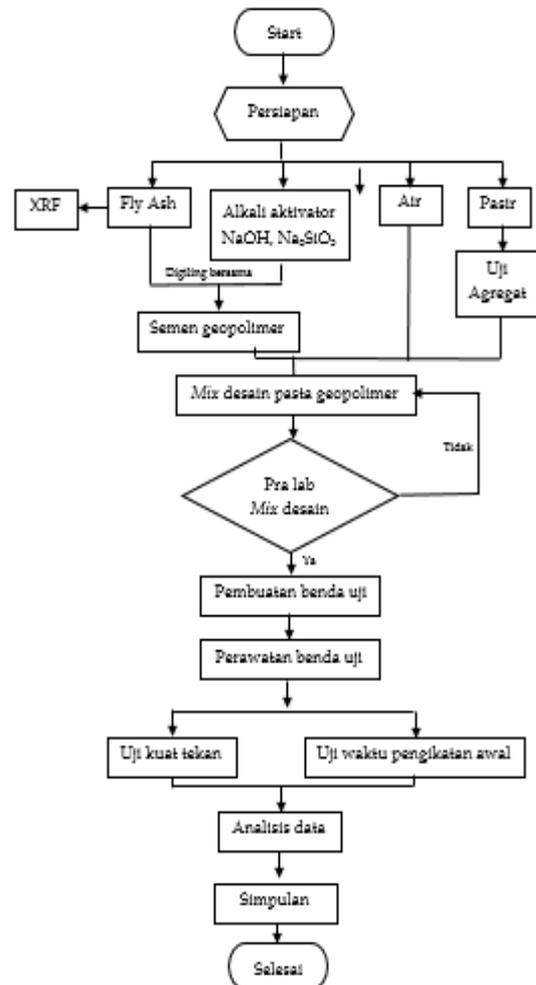
P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm²)

METODE

A. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan kali ini adalah penelitian eksperimental. Penelitian uji laboratorium ini dilakukan dengan membuat mortar geopolimer berbahan dasar abu terbang dengan kondisi rasio antara abu terbang terhadap aktivator adalah 2,5:1. Selain itu, penelitian ini mengamati pengaruh variasi NaOH terhadap Na₂SiO₃ dan mengukur hasil eksperimen dalam perhitungan kuat tekan dan waktu pengikatan semen. *Flowchart* penelitian disajikan dalam gambar 1 di bawah ini



Gambar 1 Bagan Alir penelitian

B. Lokasi dan Waktu Penelitian

Kegiatan pembuatan benda uji serta proses pengujian pada penelitian ini dilakukan pada:

1. Waktu Penelitian

Alokasi waktu penelitian bahan dan material dilakukan pada bulan Februari 2018 sampai selesai.

2. Lokasi Penelitian

Pelaksanaan penelitian eksperimental mortar *dry geopolimer* dan pengujian kuat tekan

mortar *dry geopolymer* dengan benda uji kubus ukuran 5cm x 5cm x 5cm dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Bahan dan Beton Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya, sedangkan pengujian material *fly ash* yang berkaitan dengan uji XRF dilakukan di Laboratorium Sentral FMIPA Universitas Negeri Malang.

C. Populasi dan Sampel

1. Populasi

Populasi dalam penelitian ini adalah data hasil pengujian mortar *dry geopolymer* berbentuk kubus dengan ukuran 5cm x 5cm x 5cm berupa data kuat tekan mortar *dry geopolymer*.

2. Sampel

Penelitian ini digunakan sampel dari semua populasi dikarenakan jumlah populasi bersifat data hasil pengujian di laboratorium dengan sampel benda uji berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm berjumlah 72 buah. Berikut ini rancangan sampel (*mix design*) mortar *geopolymer* sebagai berikut:

Tabel 1 Rencana *Mix Design Dry Geopolymer*

Mix Design	Kebutuhan					
	PC	NaOH	Na ₂ SiO ₃	Fly Ash C	Pasir	Air (W/C)
1 (Kontrol)	1	-	-	-	2,75	0,48
2	-	0,200	0,200	1	2,75	0,4
3	-	0,160	0,240	1	2,75	0,4
4	-	0,133	0,267	1	2,75	0,4
5	-	0,114	0,375	1	2,75	0,4
6	-	0,100	0,300	1	2,75	0,4
7	-	0,089	0,311	1	2,75	0,4

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pemeriksaan Material Abu Terbang (*Fly Ash*)

1. Abu Terbang (*Fly Ash*)

Pengujian untuk *fly ash* adalah pengujian *X-Ray Fluorecence* (XRF), pengujian *fly ash* tujuannya adalah untuk mengetahui kandungan kimia apa saja yang terkandung dalam *fly ash* tersebut.

Pemeriksaan material abu terbang (*fly ash*) dilakukan di Laboratorium Sentral FMIPA Universitas Negeri Malang. Pemeriksaan meliputi uji XRF (*X Ray Fluorescence*) untuk mengetahui karakteristik dan kandungan kimia di dalam

material tersebut. Berikut ini adalah tabel hasil pengujiannya

Tabel 2 Tabel Hasil Pengujian XRF *Fly Ash*

Komponen	Kadar (%)	Komponen	Kadar (%)
Al	9.80	Ni	0.08
Si	25.70	Cu	0.09
S	0.40	Sr	0.47
K	2.26	Mo	1.00
Ca	13.50	In	0.07
Ti	1.62	Ba	0.34
V	00.56	Eu	0.60
Cr	0.14	Yb	0.06
Mn	0.46	Hg	0.35
Fe	44.41		

(Sumber: Uji XRF Laboratorium Sentral FMIPA Universitas Negeri Malang)

B. Analisis Kuat Tekan Mortar *Dry Geopolymer* Berdasarkan Perbandingan Rasio SH/SS.

Dibawah ini disajikan tabel kuat tekan semua sampel dan grafik kuat tekan mortar *dry geopolymer* serta umur pengujian 7, 14 dan 28 hari.

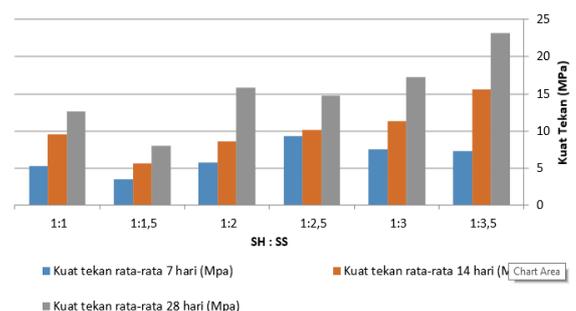
Tabel 3 Hasil Kuat Tekan Rata-Rata Mortar

NO.	Tipe <i>Mix Desgin</i>	Kuat Tekan (Mpa)		
		7 Hari	14 Hari	28 Hari
1	MD 1 (SH:SS = 1:1)	5.33	9.56	12.63
2	MD 2 (SH:SS = 1:1.5)	3.46	5.60	7.99
3	MD 3 (SH:SS = 1:2)	5.75	8.56	15.83
4	MD 4 (SH:SS = 1:2.5)	9.31	10.19	14.79
5	MD 5 (SH:SS = 1:3)	7.52	11.31	17.20
6	MD 6 (SH:SS = 1:3.5)	7.30	15.61	23.21

Sumber : Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil kuat tekan penambahan komposisi sodium silikat tidak selalu menambah kuat tekan dari mortar. Hal ini terlihat pada kondisi 1 : 1,5 dan 1 : 2,5 kuat tekan mortar mengalami penurunan dari variabel sebelumnya. Kuat tekan tertinggi terjadi pada kondisi SH/SS 1 : 3,5 dan kuat tekan terlemah terjadi pada kondisi SH/SS 1 : 1,5.

Berikut ini adalah Grafik rata-rata kuat tekan mortar *dry geopolymer*:



Gambar 2 Grafik Rata-Rata Kuat Tekan Mortar *Dry Geopolymer* 7, 14, dan 28 Hari.

Selanjutnya akan dijelaskan hasil berat volume mortar dan kuat tekan masing masing variabel. Berikut adalah hubungan antara nilai berat volume dengan kuat tekan pada pengujian 7, 14 dan 28 hari.

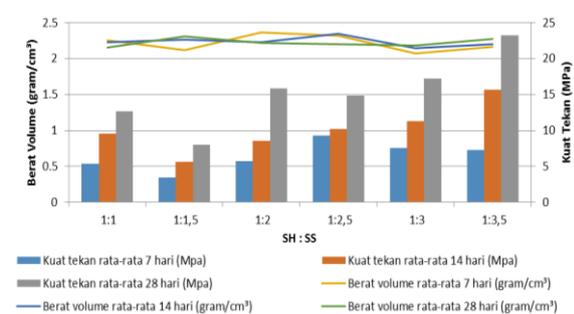
Tabel 4 Nilai Berat Volume, Umur dan Kuat Tekan Mortar *Dry Geopolymer*

Tipe <i>Mix Design</i>	Umur 7 Hari		Umur 14 Hari		Umur 28 Hari	
	BV	KT	BV	KT	BV	KT
MD 1	2.25	5.33	2.23	9.56	2.15	12.63
MD 2	2.12	3.46	2.26	5.60	2.31	7.99
MD 3	2.36	5.75	2.23	8.56	2.22	15.83
MD 4	2.32	9.31	2.34	10.19	2.20	14.79
MD 5	2.07	7.52	2.14	11.31	2.18	17.20
MD 6	2.16	7.30	2.20	15.61	2.27	23.21

Sumber : Hasil Penelitian

Keterangan : BV = Berat Volume (gram/cm³)
KT = Kuat Tekan (MPa)

Hubungan Umur Mortar, Berat Volume dan Kuat Tekan



Gambar 3 Hubungan Berat Volume, Umur dan Kuat Tekan Mortar *Dry Geopolymer*

Berdasarkan hasil di atas dapat dilihat pada usia mortar 7 hari berat tertinggi sebesar 2,36 gram/cm³ terdapat pada mortar komposisi SH/SS 1 : 2, sedangkan kuat tekan tertinggi pada usia 7 hari terdapat pada mortar komposisi SH/SS 1 : 2,5 dengan nilai kuat tekan sebesar 9,31 MPa. Untuk usia mortar 14 hari berat tertinggi sebesar 2,34 gram/cm³ terdapat pada mortar komposisi SH/SS 1 : 2,5, sedangkan kuat tekan tertinggi pada usia 14 hari terdapat pada mortar komposisi SH/SS 1 : 3,5 dengan nilai kuat tekan sebesar 15,61 MPa. Untuk usia mortar 28 hari berat tertinggi sebesar 2,31 gram/cm³ terdapat pada mortar komposisi SH/SS 1 : 1,5, sedangkan kuat tekan tertinggi pada usia 28 hari terdapat pada mortar komposisi SH/SS 1 : 3,5 dengan nilai kuat tekan sebesar 23,21 MPa.

Berdasarkan hasil pengujian tersebut dapat diambil kesimpulan, bahwa berat volume mortar tidak begitu mempengaruhi nilai kuat tekannya. Hal ini dikarenakan rongga yang terdapat di dalamnya. Meskipun berat volumenya besar tidak menjamin

rongga dalam mortar tersebut kecil. Rongga yang terdapat pada mortar akan mempengaruhi kepadatan mortar tersebut sehingga jika terdapat banyak rongga dalam mortar maka kuat tekan juga semakin kecil.

C. Analisis *Setting Time* Pasta *Dry Geopolymer* Terhadap Kuat Tekan Mortar *Dry Geopolymer*

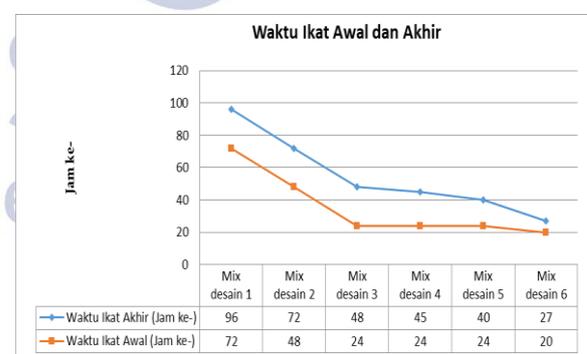
Pengujian waktu ikat pasta *dry geopolymer* ini bertujuan untuk menentukan waktu yang diperlukan pasta untuk mengeras. Waktu ikat terbagi 2 yaitu waktu ikat awal (*initial time*) dan waktu ikat akhir (*final time*). Waktu ikat awal adalah waktu yang dibutuhkan sejak semen bercampur dengan air dari kondisi plastis menjadi tidak plastis sedangkan waktu ikat akhir adalah waktu yang dibutuhkan sejak semen bercampur dengan air dari kondisi plastis menjadi keras.

Dibawah ini disajikan tabel dan grafik waktu ikat awal (*initial time*) dan waktu ikat akhir (*final time*) pasta *dry geopolymer*.

Tabel 5 Hubungan Waktu Ikat Pasta *Dry Geopolymer* Terhadap Kuat Tekan dan

Type	Kuat Tekan 28 Hari (MPa)	Waktu Ikat Awal (Jam ke-)	Waktu Ikat Akhir (Jam ke-)
MD 1	12.63	72	96
MD 2	7.99	48	72
MD 3	15.83	24	48
MD 4	14.79	24	45
MD 5	17.20	24	40
MD 6	23.21	24	27

Sumber: Hasil Penelitian

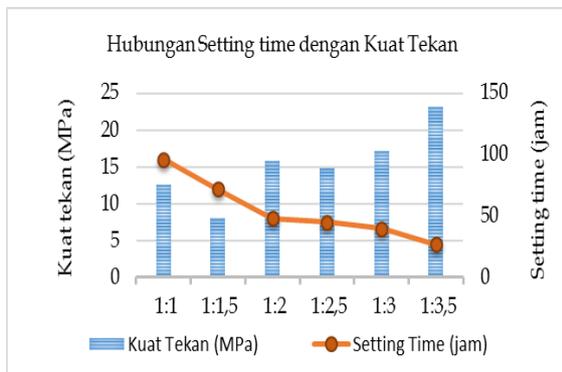


Gambar 4 Grafik Waktu Ikat Awal dan Waktu Ikat Akhir Pasta *Dry Geopolymer*

Berdasarkan hasil di atas *mix design* 1 memiliki waktu pengikatan terlama, yaitu mencapai 96 jam untuk terjadi pengikatan akhir. Sedangkan pengikatan tercepat adalah *mix design* 6 yang membutuhkan waktu 27 jam untuk mencapai waktu pengikatan akhir. Hal ini disebabkan oleh kandungan sodium silikat

pada *mix design* 6 adalah yang terbanyak dengan perbandingan SS/SH sebesar 3,5 : 1. Sebaliknya, *mix* desain 1 memiliki kandungan sodium silikat paling sedikit dengan perbandingan SS/SH sebesar 1 : 1.

Di bawah ini akan dijelaskan pengaruh kuat tekan dengan setting time pada grafik berikut:



Gambar 4 Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Setting Time Mortar Dry Geopolymer

Pada mortar *dry geopolymer* dengan waktu pengikatan tercepat terdapat pada mortar dengan komposisi SH/SS 1 : 3,5 dengan waktu ikat akhir 27 jam. Pada komposisi ini juga memiliki kuat tekan tertinggi yang mencapai nilai 23,21 MPa. Untuk waktu ikat terlama terdapat pada mortar dengan komposisi SH/SS 1 : 1 dengan waktu ikat akhir 96 jam. Namun untuk kuat tekan terendah dimiliki oleh mortar dengan komposisi 1 : 1,5 dengan nilai 7,99 MPa dan memiliki waktu ikat akhir selama 72 jam.

Berdasarkan hasil ini dapat diambil kesimpulan bahwa semakin tinggi nilai kuat tekannya, maka semakin cepat waktu pengikatannya. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Fitriani (2010) yang menyatakan bahwa pada dasarnya reaksi terjadi secara lebih cepat pada alkali yang banyak mengandung larutan sodium silikat dan peningkatan kandungan sodium silikat sampai batas tertentu akan mengakibatkan penambahan kuat tekan mortar. Namun dalam komposisi tertentu, sodium silikat juga dapat menurunkan nilai kuat tekan mortar.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Kuat tekan *dry geopolymer* mortar dipengaruhi oleh banyaknya kandungan sodium silikat di dalamnya. Semakin tinggi sodium silikat dapat membuat kuat tekan pada mortar semakin tinggi. Namun sodium silikat pada kondisi perbandingan

antara SH dan SS sebesar 1 : 1,5 dapat memperkecil kuat tekan. Faktor kesalahan manusia selama proses pembuatan juga memiliki pengaruh terhadap kuat tekan yang dihasilkan.

2. Hasil kuat tekan optimum pada kondisi rasio abu terbang terhadap aktivator sebesar 2,5 : 1 adalah 23,21 MPa yang terdapat pada mortar dengan komposisi rasio sodium hidroksida (NaOH) terhadap sodium silikat (Na₂SiO₃) sebesar 1 : 3,5.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Gawwad, H.A., & Abo-El-Enein, S.A. 2016. "A Novel Methode to Produce Dry Geopolymer Cement Powder". *Jurnal Housing and Building National Research Center (HBRC)*. No. 12: hh 13-24.
- Abdullah, M. M., et al, dkk. 2013. Asas Geopolimer.
- ASTM. 2003. *Standard Spesification for Mortar Cement*. United States.
- Badan Standar Nasional. 2002. *Uji Kuat Tekan Mortar*. Jakarta.
- Badan Standar Nasional . 2008. *Cara Uji Bera Jenis dan Peyerapan Air Agregat Halus*. Jakarta.
- Bayuaji, Ridho, Yasin, Abdul Karim, Susanto, Tri Eddy, & Darmawan, M. Sigit. 2017. "A Review in Geopolymer Binder with Dry Mixing Method (Geopolimer Cement)". College Park: American Institute of Physics.
- Bayuseno, Anthanisius P, Susilo Adi Wiyanto, Juwantonono. 2010. "Sintesis Semen Geopolimer Berbahan Dasar Abu Vulkanik dari Erupsi Gunung Merapi". *ROTASI*. Vol.12 (4).
- Davidovits, J. 2013. *Geopolymer Cement, a review*. Saint-Quentin: Institut Geopolymere.
- Davidovits, J. 2016. *Webinar Spring 2016 Special Focus on Geopolymer Cements*. France: Recorded from live session 19-20 April 2016. 135mins.
- Ekaputri, Januarti Jaya, Triwulan, dan Oktavina Damayanti. 2007. "Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly ash Jawa Power Paiton sebagai Material Alternatif". *Jurnal Pondasi*. Vol.13 (2).
- Fathurrahman, Gilang, Amun Amri, Chairul. 2018. "Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Jumlah Grafena Oksida pada Geopolimer Berbasis Limbah Fly ash Pabrik Kelapa Sawit". *Jom FTEKNIK*. Vol. 5 (1).
- Fitriani, Dian Rahma. 2010. *Pengaruh Modulus Alkali dan Kadar Aktivator terhadap Kuat Tekan Fly ash Based Geopolymer Mortar*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.

- Hardjito, D., & Rangan, B.V. (2005). *Development and Properties of Low-Calcium Fly ash-Based Geopolymer Concrete*. Australia: Faculty of Engineering Curtin University of Technology.
- Manuahe, Riger, Sumajouw, Marthin D.J., & Windah, Reky S. 2014. "Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly ash)". *Jurnal Sipil Statik*. Vol.2 (6).
- Murali, Kallempudi, Meena T, Chaitanya Srikrishna T, Peta Purnachandra Sai. 2018. "An Experimental Study on Factors Influencing the Compressive Strength of Geopolymer Mortar". *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*. Vol 9 Issue 1.
- NagrendraReddy, K, K Surya Narayana, Damodhar Reddy, B Sarath Chandra, dan Y Himath Kumar. 2017. "Effect of Sodium Hydroxide and Sodium Silicate Solution on Compressive Strength of Metakaolin and GGBS Geopolymer". *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*. Vol 8 Issue 4.
- Portland Cement Association, 2013. *USGS Mineral Resource Program*.
- Provis dan Deventer, 2009, "The Effect of Aggregate Particle Size on Formation of Geopolymeric Gel"
- Sugiyono, 2013. *Metode Penelitian Pendidikan (Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D)*. Bandung: Alfabeta.
- Surja, Reiner Tirtamulya, Ricard Mintura, Antoni, Djwantoro Hardjito. *Perbandingan Beberapa Prosedur Pembuatan Geopolimer Berbahan Dasar Fly ash Tipe C*. Surabaya: Universitas Kristen Petra.
- Umboh, Alfian Hendri, Sumajouw, D.J., & Windah, Recky S. 2014. "Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang (Fly ash) dari PLTU II Sulawesi Utara sebagai Substitusi Parsial Semen terhadap Kuat Tekan Beton". *Jurnal Sipil Statik*. Vol 2 (7).
- Veliyati. 2010. *Pengaruh Faktor Air Binder terhadap Kuat Tekan dan Workability Fly ash Based Geopolymer Mortar*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Wallah, S.E., & Rangan, B. V. (2006). *Low Calcium Fly ash Based Geopolymer Concrete: Long-Term Properties*. Perth: Faculty of Engineering Curtin University of Technology.
- Yasin, Abdul Karim. 2017. *Rekayasa Beton Geopolimer Berbasis Fly ash*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.