

# PENGARUH VARIASI NaOH TERHADAP Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> TERHADAP NILAI KUAT TEKAN DRY GEOPOLYMER MORTAR METODE DRY MIXING PADA KONDISI RASIO ABU TERBANG TERHADAP AKTIVATOR 2:1

**Fahmi Fernando**

Progam Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
[fernandoalfahmanalhafidz@gmail.com](mailto:fernandoalfahmanalhafidz@gmail.com)

**Arie Wardhono**

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
[ariewardhono@unesa.ac.id](mailto:ariewardhono@unesa.ac.id)

## Abstrak

Pembangunan di bidang konstruksi saat ini mengalami kemajuan yang sangat pesat, sehingga dibutuhkan material struktur yang kuat yaitu beton. Penggunaan beton dengan bahan utama semen portland mengalami pelepasan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) sehingga berkontribusi pada emisi gas rumah kaca di atmosfer. Beton geopolimer dapat menjadi solusi karena tidak menggunakan semen portland sebagai bahan pengikatnya melainkan menggunakan *fly ash* dan aktivator melalui proses polimerisasi sehingga ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi NaOH terhadap Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> terhadap nilai kuat tekan *dry* geopolimer mortar metode *dry mixing* pada kondisi rasio abu terbang terhadap aktivator 2:1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan tertinggi didapat pada kondisi abu terbang terhadap aktivator 2:1 adalah 34,05 MPa, dengan variasi campuran NaOH terhadap Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> yaitu 1:2,5. Kuat tekan *dry* geopolimer mortar dipengaruhi banyaknya komposisi Na<sub>2</sub>O pada Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>. Namun jika komposisi Na<sub>2</sub>O terlalu tinggi dibanding dengan komposisi NaOH maka menyebabkan menurunnya kuat tekan mortar.

**Kata Kunci** : mortar geopolimer, metode *dry mixing*, binder geopolimer.

## Abstract

*Development in the construction sector is experiencing rapid progress, so it require a strong structural material namely concrete. Concrete with the main material of portland cement release carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) which contribute to greenhouse gas emissions in the atmosphere. Geopolymer concrete can be a solution, because it does not use portland cement as a binding material but using fly ash and activators through a polymerization process that is environmentally friendly. This study aims to determine the effect of variations NaOH on Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> on the compressive strength of dry geopolymer mortar with dry mixing method on the condition of the ratio fly ash to activator 2:1. The results showed that the highest compressive strength in the condition of fly ash on activator 2:1 is 34,05 MPa, with mix design NaOH on Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> is 1:2,5. Compressive strength of dry geopolymer mortar depend on composition Na<sub>2</sub>O on Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>. But if the composition of Na<sub>2</sub>O is too high than the composition of NaOH cause decrease the compressive strength mortar.*

**Keywords** : geopolymer mortar, dry mixing method, geopolymer binder.

## PENDAHULUAN

Pembangunan di bidang konstruksi saat ini mengalami kemajuan yang sangat pesat. Hal ini tidak lepas dari tuntutan dan kebutuhan masyarakat terhadap infrastruktur yang semakin maju, seperti pembangunan jalan, jembatan serta gedung bertingkat dan fasilitas lainnya. Dalam membangun suatu infrastruktur, material struktur yang kuat dipilih sebagai komponen penyusunnya. Material yang umum digunakan dalam struktur bangunan ialah beton. Dalam milenial yang ketiga ini manusia tidak pernah

jauh dari bangunan yang strukturnya terbuat dari beton karena beton merupakan material bangunan yang paling banyak digunakan di bumi ini. Dengan adanya beton dapat dibangun beberapa konstruksi seperti bendungan, pipa saluran, fondasi dan basement, bangunan gedung maupun jalan raya (Nugraha & Antoni, 2004).

Beton mempunyai bahan pengikat utama di dalamnya yaitu semen portland. Dalam proses produksi semen portland terjadi pelepasan karbon

dioksida (CO<sub>2</sub>) yang merupakan kontributor utama pada emisi gas rumah kaca di atmosfer. Produksi setiap ton *Clinker* semen mengakibatkan terjadinya pelepasan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) sebesar satu ton ke atmosfer. Secara keseluruhan, produksi semen dunia memberikan kontribusi 1,6 juta ton karbon dioksida atau sekitar 7% dari pelepasan CO<sub>2</sub> ke atmosfer (Metha, 2001).

Namun terdapat juga beberapa penelitian tentang bahan pengikat tanpa menggunakan semen portland, yaitu dengan teknologi bahan pengikat menggunakan activator alkali. Dimana aktivator alkali ini bereaksi dengan material yang mengandung Si dan Al tinggi dengan melalui proses polimerisasi atau saat ini disebut *geopolymer* (Abdullah, et al., 2013).

Istilah dan penelitian *geopolymer* diciptakan oleh ilmuwan asal perancis yaitu Prof. Joseph Davidovits pada tahun 1979, hingga berdirinya *Institute Geopolymere* yang bermarkas di Prancis yang berdiri hingga saat ini. Tidak hanya Davidovits, banyak peneliti di dunia yang mengembangkannya. Peningkatan jumlah penelitian tersebut ialah semakin sadarnya akan pentingnya menjaga lingkungan dengan cara melakukan pembangunan berbasis *green building* mengingat teknologi geopolimer ini 100% tanpa menggunakan semen portland. Fakta dalam penggunaan teknologi geopolimer ini ialah konstruksi bangunan *Queensland University*. Dengan demikian material ini sangat berpotensi untuk menjadi salah satu solusi dalam meningkatkan kelestarian lingkungan dan kekurangan binder semen portland apabila terjadi kekurangan persediaan.

Didalam bidang teknik sipil, beton polimer diartikan sebagai suatu campuran beton yang terdiri dari pasta (sebagai bahan pengikat) geopolimer dan aggregate kasar dan halus sebagai pengisi. Pada umumnya pembuatan binder geopolimer menggunakan dengan metode pencampuran basah, yaitu menggabungkan bahan pozzolan dan larutan alkali aktivator dengan komposisi perbandingan molaritas kimia tertentu (Bayuaji, Yasin, Susanto, & Darmawan, 2017).

Binder semen portland dengan binder geopolimer merupakan salah satu inovasi yang tepat dikarenakan memiliki beberapa keunggulan, yakni: lebih ramah lingkungan (dalam proses pembuatannya tanpa melepas emisi CO<sub>2</sub> ke atmosfer), tingkat workabilitas yang tinggi (mudah mengalir atau *self leveling*), lebih tahan terhadap serangan kimia (sulfat, asam dan klorida), dan lebih tahan temperatur tinggi (Abdullah, et al., 2013). Tetapi dalam praktek dikalangan masyarakat luas, binder geopolimer belum digunakan dibandingkan dengan binder semen

portland karena beberapa kesulitan, diantaranya: desain campuran yang membutuhkan perhitungan perbandingan bahan kimia (larutan alkali aktivator) dan pozzolan (pemahaman secara scientific masyarakat awam masih sangat terbatas dan butuh pengawasan teknis khusus yang paham tentang geopolimer) (Abdullah, et al., 2013). Sedangkan binder semen portland mudah diterima masyarakat dikarenakan untuk membuat adonan pasta, mortar atau beton sangatlah mudah, hanya dengan mencampurkan air dengan semen portland dengan rasio air terhadap semen tertentu.

Menurut Wallah dan Rangan (2006) abu terbang merupakan limbah yang memiliki potensial tertinggi sebagai bahan dasar geopolimer. *Fly Ash* batubara adalah material yang memiliki ukuran butiran yang halus berwarna keabu-abuan dan diperoleh dari hasil pembakaran batubara. Palomo et. Al., (1999) melaporkan penelitian mengenai abu terbang sebagai bahan dasar geopolimer. Mereka menggunakan kombinasi antara sodium hidroksida dengan potasium hidroksida memberikan kuat tekan tertinggi. Di Indonesia, produksi limbah abu terbang dari tahun ke tahun meningkat sebanding dengan konsumsi penggunaan batubara sebagai bahan baku industri PLTU (Wallah & Rangan, 2006).

Abu terbang dipilih sebagai bahan dasar yang harus diaktifkan oleh geopolimerisasi. Prosesnya dijadikan sebagai pengikat beton, untuk benar-benar menggantikan penggunaan semen Portland. Pengikatnya adalah satu-satunya perbedaan pada beton semen portland biasa. Untuk mengaktifkan Silikon dan Kandungan Aluminium dalam *fly ash*, digunakan kombinasi larutan sodium hidroksida dan larutan natrium silikat. (Hardjito & Rangan, 2005). Dengan demikian penggunaan abu terbang menjadi alternatif yang tepat sebagai bahan pembuatan mortar geopolimer.

Dalam pembuatan mortar geopolimer terbagi beberapa jenis metode yaitu dengan metode *wet mixing* dan *dry mixing*. Dalam penelitian yang dilakukan Abdullah et al (2013) metode *wet mixing* cenderung sulit diterapkan oleh masyarakat luas, dikarenakan untuk menentukan komposisi campuran harus mengetahui terlebih dahulu karakteristik material dengan berbagai macam pengujian dan juga dalam menentukan komposisi kimia untuk bahan alkali aktivator harus menghitung perbandingan komposisi berdasarkan rasio molaritas yang telah diarsanakan pada penelitian sebelumnya. Sedangkan dalam pembuatan mortar geopolimer dengan metode *Wet Mixing* ketentuan campuran hanya berdasarkan rasio air terhadap semen geopolimer (*w/c ratio*).

Dalam penelitian ini penulis menggunakan metode *dry mixing* dengan komposisi *fly ash*:aktivator sebesar 2:1. Sedangkan parameter aktivator ( $\text{NaOH}:\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) akan dilakukan *trial and error*.

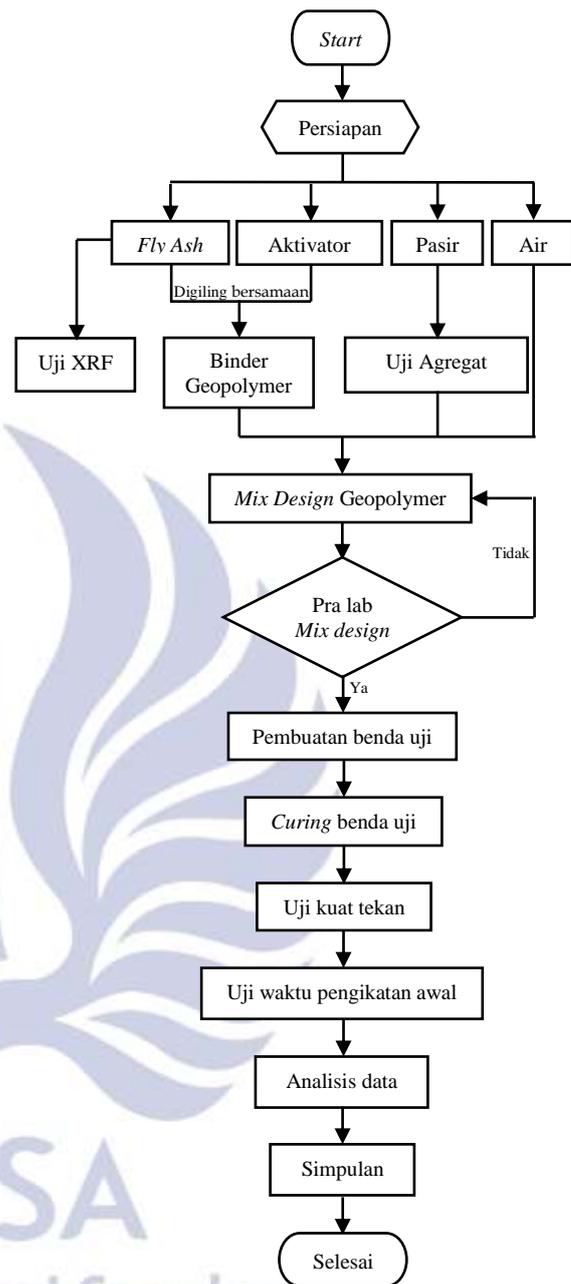
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi  $\text{NaOH}$  terhadap  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  terhadap nilai kuat tekan optimum *dry geopolymer* mortar metode *dry mixing* pada kondisi rasio abu terbang terhadap aktivator 2:1 berdasarkan standart w/c rasio. Batasan masalah pada penelitian ini adalah: (1) Metode yang digunakan adalah *dry mixing* dengan (2) Kondisi rasio abu terbang terhadap aktivator 2:1, (3) Menggunakan *fly ash* kelas C, (4) Pasir yang digunakan pasir Lumajang, (5) Pengujian bahan dasar abu terbang menggunakan XRF. (6)  $\text{NaOH}$  dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  berbentuk padat. (7) Variasi  $\text{NaOH}/\text{Na}_2\text{SiO}_3$  yang digunakan dari 1:1 hingga 1:3,5 dengan kelipatan 0,5. (8) Air yang digunakan merupakan air aquades. (9) Benda uji yang digunakan berbentuk kubus dengan ukuran 50mm x 50mm x 50mm. (10) Mortar diuji setelah berumur 7 hari, 14 hari dan 28 hari.

## METODOLOGI

Jenis metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif dengan penelitian, eksperimen dan survey. Tempat pengujian dilakukan di laboratorium dengan membuat mortar geopolymer yang berbahan dasar *fly ash* dengan kondisi rasio *fly ash* terhadap aktivator yaitu 2:1, dengan metode *Ambient Curing* atau disimpan dalam suhu ruangan (lingkungan) dan dibungkus dengan plastik (*polythene curing*). Penelitian ini mengamati nilai kuat tekan dari pengaruh variasi  $\text{NaOH}$  terhadap  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan waktu pengikatan awal semen.

Populasi penelitian benda uji mortar berukuran 50 mm x 50 mm x 50 mm dengan jumlah 9 x 8 benda uji. Variabel penelitian ini terdapat variabel bebas yaitu berupa variasi  $\text{NaOH}$  terhadap  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  sebesar 1:1; 1:1,5; 1:2; 1:2,5; 1:3; 1:3,5, variabel terikat yaitu kuat tekan dan uji pengikatan awal serta variabel kontrol berupa *fly ash* dan pasir. Langkah-langkah penelitian ini terdapat pada diagram alir di bawah ini:

Terdapat dua teknik pengumpulan data dalam penelitian kali ini yaitu, dengan metode uji laboratorium, uji literatur dan uji kepustakaan. Untuk teknik analisa data yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Uji XRF (*X-Ray Fluorescence*) *Fly Ash*

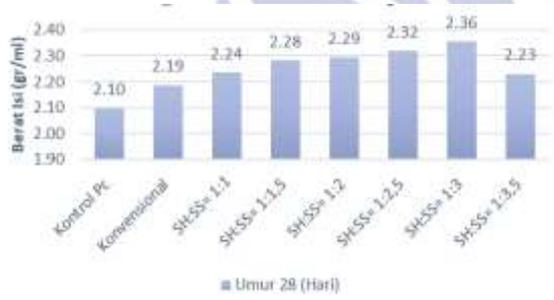
Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju FMIPA Universitas Negeri Malang. *Fly ash* yang digunakan berasal dari CV. Karunia Berkat Tunggal yang berlokasi di Simo Kwagean Kuburan nomor 10-12, Surabaya, Jawa Timur dengan hasil pengujian pada gambar 2:

Sample ident														
E 458 (Fly ash C)														
Application <Standardless>														
Sequence 1 of 1														
Measurement time 05-jun-2018 11:40:53														
Position 6														
Compound	Al	Si	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Sr	Ba
Conc Unit	9,8 %	25,7 %	2,26 %	13,5 %	1,62 %	0,056 %	0,14 %	0,46 %	44,41 %	0,079 %	0,098 %	0,05 %	0,47 %	0,34 %
Compound	Eu	Yb	Re											
Conc Unit	0,60 %	0,06 %	0,35 %											

Gambar 2. Hasil uji XRF oleh Laboratorium Sentral Mineral dan Material FMIPA Universitas Negeri Malang

Dari hasil pengujian *fly ash* diketahui beberapa unsur kimia yaitu Besi (Fe) sebesar 44,41%, Silikon (Si) sebesar 25,7%, Kalsium (Ca) sebesar 13,5%, dan Aluminium (Al) sebesar 9,8%. Dari unsur-unsur tersebut mengindikasikan bahwa *fly ash* memiliki sifat pozzolan serta cementious seperti semen dan masuk kategori *fly ash* tipe C dimana kadar Kalsium (Ca) *fly ash* lebih dari sama dengan 10%.

### Hubungan Berat Isi Terhadap Umur Mortar



Gambar 3. Hubungan berat isi terhadap umur mortar

Dari gambar diatas dapat disimpulkan bahwa variasi SH:SS= 1:3 yang memiliki berat isi terbesar dibandingkan dengan variasi yang lainnya dengan berat isi 2.36 gr/ml dan juga terdapat kecenderungan kenaikan berat isi dimulai dari variasi SH:SS = 1:1 sampai dengan variasi SH:SS = 1:3 hal ini dikarenakan rasio NaOH (SH) dan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (SS) masih dalam keadaan seimbang, sehingga sodium hidroksida (NaOH) masih mampu mengikat unsur Aluminium dan silika yang terkandung dalam fly ash dan sodium silika. Sedangkan pada variasi SH:SS=1 : 3.5 terjadi penurunan berat isi hal ini dikarenakan rasio NaOH (SH) dan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (SS) terindikasi kurang seimbang, diakarenakan rasio Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (SS) terlalu besar sehingga NaOH (SH) tidak lagi mampu mengikat unsur aluminium dan silika dengan baik yang mengakibatkan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> terhidroskopis (mengikat udara bebas) yang menyebabkan adanya kemungkinan terjadinya pori yang lebih

besar dibanding variasi yang lain di dalam mortar sehingga mengakibatkan penurunan berat isi.

### Hubungan Berat Isi Terhadap Kuat Tekan

Tabel 1. Hubungan berat isi terhadap kuat tekan

Variabel	Berat isi	Kuat tekan rata-rata (MPa)
		28 (hari)
Kontrol PC	0,00210	24,86
Geopolimer konvensional/ <i>wet mixing</i>	0,00219	33,15
SH:SS = 1:1	0,00224	19,73
SH:SS = 1:1,5	0,00228	30,02
SH:SS = 1:2	0,00229	31,78
SH:SS = 1:2,5	0,00232	34,05
SH:SS = 1:3	0,00236	25,56
SH:SS = 1:3,5	0,00223	11,09

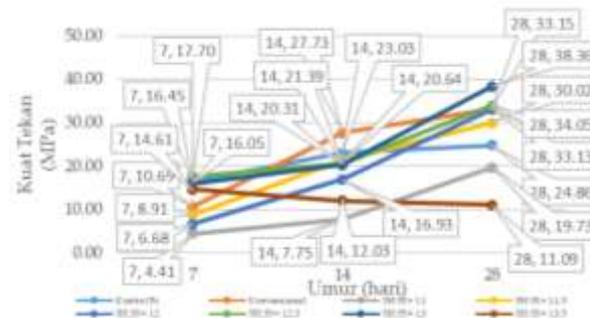
Berat isi diambil pada umur beton sudah mencapai 28 hari. Dari tabel 1 diketahui bahwa berat isi mortar konvensional lebih ringan dibandingkan dengan mortar geopolimer konvensional/*wet mixing* dan mortar *dry* geopolimer. Dikarenakan adanya kemungkinan perbedaan masa jenis dan rekasi kimia antara semen Portland dengan aktivator *wet* geopolimer dan aktivator *dry* geopolimer.

Kuat tekan terbesar mortar *dry* geopolimer terdapat pada variasi SH:SS = 1:2,5 dengan kuat tekan 34,05 MPa yang memiliki kuat tekan lebih besar dibandingkan dengan kuat tekan kontrol PC dan geopolimer *wet mixing*. Hal ini dikarenakan adanya kemungkinan reaksi kimia yang terjadi pada variasi ini berjalan dengan baik dan seimbang sehingga kemungkinan adanya pori-pori di dalam mortar lebih sedikit dibanding dengan variasi yang lain. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa rasio NaOH (SH) dan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (SS) sangat mempengaruhi berat isi dan kuat tekan sehingga dapat disimpulkan semakin besar berat isi/volume maka semakin besar pula kuat tekan. Akan tetapi semakin besar rasio SH:SS bukan berarti semakin besar berat isi dan meningkatnya kuat tekan dikarenakan adanya perbedaan tingkat kemampuan reaksi antara aktivator.

### Hubungan Umur Mortar Terhadap Kuat Tekan

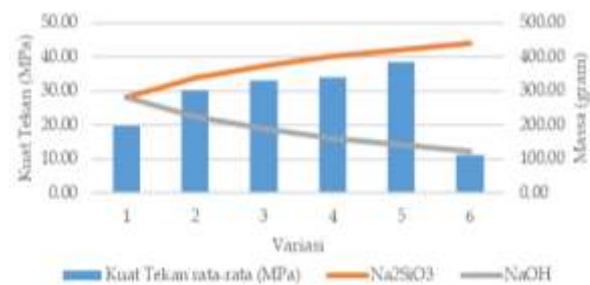
Berdasarkan gambar 4 dibawah, variasi mortar konvensional (*wet mixing geopolimer*) mengalami peningkatan nilai kuat tekan dari hari ke-7 sampai dengan hari ke-28 yang mana nilai kuat tekan terbesar 33,15 MPa. Sedangkan pada variasi *dry* geopolimer (variasi SH:SS=1:1 sampai variasi SH:SS=1:3,5) didapatkan nilai kuat tekan tertinggi 34.05 MPa yaitu pada variasi SH:SS=1:2,5 pada umur 28 hari. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa semakin

bertambahnya umur mortar maka nilai kuat tekan mortar yang dihasilkan semakin besar, tetapi harus sesuai dengan keseimbangan setiap rasio aktivator pada setiap variasi.



Gambar 4. Hubungan umur mortar terhadap kuat tekan

### Hubungan Masa Aktivator Terhadap Kuat Tekan



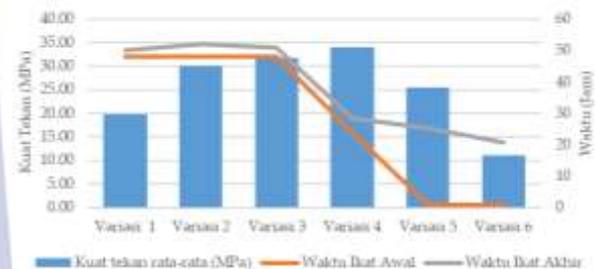
Gambar 5. Hubungan masa aktivator terhadap kuat tekan

Berdasarkan gambar 4 di atas dapat diketahui bahwa nilai kuat tekan pada variasi 4 dengan nilai kuat tekan rata-rata dalam 28 hari terbesar yaitu 34.05 MPa dengan massa aktivator NaOH 160.88 gram dan massa Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> 401.63 gram, hal ini dikarenakan adanya kemungkinan keseimbangan rasio aktivator antara NaOH dengan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>. begitu juga yang telah di jelaskan oleh Fitriani (2010) bahwa kandungan SiO<sub>2</sub> dan Na<sub>2</sub>O memberikan pengaruh terhadap sifat fisik dari geopolimer mortar. Kenaikan kandungan antara Na<sub>2</sub>O dan SiO<sub>2</sub> sampai batas kandungan Na<sub>2</sub>O tertentu akan mengakibatkan peningkatan kuat tekan geopolimer mortar. Kandungan Na<sub>2</sub>O yang sangat kecil akan memperlemah kuat tekan karena kecilnya komponen yang berperan untuk proses pelarutan unsur silika dan alumina dari *fly ash* untuk membentuk geopolimer mortar. Akan tetapi kandungan Na<sub>2</sub>O yang sangat tinggi juga dapat memperlemah kuat tekan geopolimer mortar. Sedangkan variasi 5 dan 6 mengalami penurunan kuat tekan secara signifikan yang mana menjadikan variasi 6 menjadi variasi yang memiliki nilai kuat tekan rata-rata terendah yaitu 11.09 MPa dengan massa aktivator NaOH terkecil yaitu 123.75 gram dan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> terbesar yaitu 438.75

gram. Hal ini menandakan kecilnya nilai kuat tekan yang dihasilkan pada variasi 6 dikarenakan kandungan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> yang terlalu besar sehingga NaOH (SH) tidak lagi mampu mengikat unsur aluminium dan silika dengan baik yang sehingga Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> terhidroskopis (mengikat udara bebas) yang menyebabkan adanya kemungkinan terjadinya pori yang lebih besar kemudia terdegradasi menjadi Na<sub>2</sub>O yang dibuktikan pada bagian tepi cetakan muncul serbuk berwarna coklat yang mana adalah sisa silikat dan *fly ash* yang tidak bereaksi karena komposisi sodium hidroksida (NaOH) yang terlalu sedikit begitu pula saat proses pelepasan mortar dari cetakan semakin mudah.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa Variasi 4 SH:SS=1:2,5 dengan kandungan NaOH 160.88 gram dan massa Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> 401.63 gram merupakan variasi yang seimbang sehingga menghasilkan kuat tekan tertinggi.

### Hubungan Setting Time Terhadap Kuat Tekan



Gambar 6. Hubungan setting time terhadap kuat tekan

Hubungan *setting time* dengan kuat tekan *dry geopolimer* mortar disajikan pada gambar 6 di atas dapat disimpulkan bahwa kuat tekan tertinggi pada *mix* desain variasi ke-4 dengan waktu pengikatan awal 48 jam setelah pembuatan dan waktu pengikatan akhir 50 jam setelah pembuatan. Kuat tekan terkecil berada pada *mix* desain variasi 6 dengan waktu ikat awal 1 jam setelah pembuatan dan waktu ikat akhir 27.25 jam setelah pembuatan. Hal ini disebabkan karena jumlah Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> yang ada dalam campuran binder lebih banyak jika dibandingkan dengan jumlah NaOH sehingga mempercepat reaksi polimerisasi (Djwantoro, 2005). Sodium silikat ini memiliki peran penting dalam proses polimerisasi karena sodium silikat mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi sehingga reaksi terjadi secara cepat ketika alkali banyak mengandung silikat seperti sodium silikat dibandingkan reaksi yang terjadi akibat alkali yang banyak mengandung hidroksida. Reaksi polimerisasi adalah reaksi pengikatan rantai monomer Si-O dan Al-O dalam yang terkandung dalam *fly ash* dan juga Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> yang kemudian akan mengkristal (Djwantoro, 2005). Jika terdapat banyak sodium

silikat dalam campuran maka proses pengristalan juga berjalan relatif lebih cepat. Berdasarkan grafik di atas, semakin besar kandungan sodium silikat dalam *mix* desain maka semakin cepat waktu pengikatan awal dan akhirnya (*setting time*). Semakin cepat waktu pengikatan awal dan akhirnya, maka semakin tinggi pula kuat tekannya. Akan tetapi berbede dengan *mix* desain variasi ke-5 dan 6, kuat tekan *dry* geopolimer mortar menurun berbanding linier dengan waktu *setting timenya*. Hal ini dikarenakan, karena *setting time* terjadi terlalu cepat maka proses geopolimerisasi yang terjadi tidak maksimal sehingga ketika mortar belum mencapai nilai kuat tekan tertinggi, mortar telah mencapai waktu pengikatan akhir, sehingga kuat tekannya menurun seiring penambahan sodim silikat. Mortar mencapai kuat tekan tertinggi yaitu pada *mix* desain variasi ke-4 dengan rasio sodium hidroksida terhadap sodium silikat adalah 1:2,5.

#### Perawatan Benda Uji Mortar Dry Geopolymer

Perawatan menggunakan metode *polythene curing* dikarenakan terdapat jamur atau serpihan berwarna putih diluar permukaan mortar. Cara yang dilakukan yaitu melapisi mortar dengan membran plastik supaya mortar tidak langsung terkontaminasi dengan udara bebas sehingga uap air tidak keluar dan disimpan dalam suhu ruangan.. Dengan menggunakan metode ini terbukti mortar tidak terdapat jamur atau serpihan putih.



Gambar 7. (a). *Curing* tanpa menggunakan plastik, (b) *Curing* dengan menggunakan *polythene curing*

#### Alat Pelindung Diri (APD)



Gambar 8. Proses pembuatan mortar dengan APD

Dalam penelitian ini APD yang wajib digunakan adalah kacamata, masker penutup mulut hidung dan sarung tangan plastik yang tahan panas sehingga tidak langsung tersentuh permukaan kulit yang dapat menyebabkan iritasi akibat serbuk hidroksida saat proses penggilingan maupun penumbukan saat penelitian berlangsung.

#### SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan di atas maka dapat disimpulkan sebagai berikut; Kuat tekan maksimum didapat pada kondisi rasio abu terbang terhadap aktivator 2:1 adalah 34,05 MPa, yaitu pada variasi 4 yaitu sodium hidroksida (NaOH) terhadap sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) sebesar 1:2,5. Kuat tekan *dry* geopolymer mortar dipengaruhi banyaknya komposisi  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ . Semakin tinggi kandungan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  maka reaksi yang terjadi akan semakin cepat dengan demikian kuat tekan yang dihasilkan semakin tinggi, tetapi selama kandungan  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Na}_2\text{O}$  dalam keadaan optimum. Jika kandungan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  terlalu tinggi dapat menyebabkan menurunnya kuat tekan mortar. Waktu ikat mortar *dry* geopolymer yang tercepat terdapat pada variasi 6 yaitu sodium hidroksida (NaOH) terhadap sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) sebesar 1:3,5 dengan waktu ikat yang dibutuhkan 27,25 jam dari waktu ikat awal 1 jam. Semakin banyak komposisi sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) menyebabkan sedikitnya pertumbuhan jamur (serpihan-serpihan putih) pada benda uji vicat yang dibiarkan pada keadaan udara terbuka. Waktu pengikatan *dry* geopolimer mortar cenderung lebih lambat dibandingkan dengan waktu pengikatan *Portland cement* dan geopolimer konvensional/*wet mixing* karena struktur kimia yang lebih kompleks.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. M., Razak, R., Yahya, Z., Hussin, K., Ming, L., & Yong, C. H. (2013). "Asas geopolimer (*teori & amali*)" (Vol. 1). Perlis: Unit Penerbitan Universiti Malaysia Perlis.
- ACI Commite 226. (1998). "Use of Fly Ash in Concrete", ACI 226.3R-87. "ACI Material Journal", 85, 381-408.
- Anonim. (1989). SK SNI S-04-1989-F "Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum, Yayasan LPMB.
- Anonim. (1990). SNI 03-1750-1990 "Mutu dan Cara Uji Agregat Beton". Jakarta: Departemen pekerjaan Umum.

- Anonim. (1991). *SK SNI T-15-1991-03 "Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bngunan Gedung"*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Anonim. (2002). *ASTM C 191-04 "Standard Test Method for Time of Setting Hydraulic Cement by Vicat Needle"*. United States: ASTM International.
- Anonim. (2002). *SNI 03-2834-2002 "Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal"*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Anonim. (2002). *SNI 03-6414-2002, "Pengertian dan Manfaat Fly Ash"*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum, Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan .
- Anonim. (2002). *SNI 03-6882-2002 "Spesifikasi Mortar Untuk Pekerjaan Pasangan"*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Anonim. (2002). *SNI-03-6825-2002, "Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil"*. Jakarta: BSN.
- Anonim. (2004). *SNI 15-2049-2004 "Semen Portland"*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Anonim. (2008). *ASTM C 109 "Standart Test Method for Compressive Strenght of Hydraulic Cement Mortars"*. United States: Annual Books of ASTM Standard.
- ArcelorMittal. (2018). *2018 Global Metals & Mining Conference*. Luxembourg: 2018.
- ATSM C618-12. (2014). *"Standard Spesification for Coal and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Conccrete"*. United States: ASTM.
- Balaguru, P., Kurtz, S., & Rudolph, J. (1997). "Geopolymer For Repair and Rehabilitation of Reinforced Concrete Beams". *Geopolymer Institute*, 5.
- Bayuaji, R., Yasin, A. K., Susanto, T. E., & Darmawan, M. S. (2017). "A Review in Geopolymer Binder with Dr Mixing Method (Geopolymer cement)". *AIP Conference Proceedings*, 1-6.
- Criado, M., Fernández Jiménez, A., & Palomo, A. (2010). "Alkali activation of fly ash. Part III: Effect of curing conditions on reaction and its graphocal description". *Elsevier*, 3185-3192.
- Davidovits, J. (1994). "High-Alkali Cements for 21<sup>st</sup> Century Concretes. in Concrete Technology, Past, Present and Future". (P. K. Metha, Ed.) *ACI SP-144*, 383-397.
- Fernandez-Jimenez, A., & Palomo, A. (2005). "Composition and Microstructure of Alkali Activated Fly Ash Binder". *Cement and Concrete Research*, 1984-1992.
- Hardjito, D. (2005). *"Studies on Fly Ash-Based Geopolymer Concrete"*. Curtin: Curtin University of Technology.
- Hardjito, D., & Rangan, B. (2005). *"Development and Properties of LOW-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete"*. Perth: Curtin University of Technology Perth, Australia.
- J, V. J., J, V. D., & G, L. (2003). "The characterisation of source materials in fly as-based geopolymers". *Material Letters*, 57, 1272-1280.
- JSIA. (2006). *"Safe Handling of Caustic Soda"*. Japan: JSIA.
- Malhotra, V. M. (199). "Making Concrete 'greener' with fly ash". *ACI Concrete International*, 61-66.
- Metha, P. (2001). "Reducing the environmental impact of concrete". *ACI concrete international*, 61-66.
- Mulyono, T. (2004). *"Teknologi Beton"*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- Nugraha, P., & Antoni. (2004). *"Teknologi Beton"*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Palomo, A., grutzeck, M., & Blanco, M. (1999). "Alkali-Activated Fly Ashes A Cement for the Future". *Cement and Concrete Result*, 1323-1329.
- PQCorporation. (2009). *Metso Sodium Merasilicate*. Nederland: PQ Corporation.
- Wallah, S., & Rangan, B. V. (2006). *"Low Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete; Long Term Properties"*. Perth: Curtin University Of Technology Perth, Australia.
- Yasin, A. K. (2017). *"Rekayasa Beton Geopolymer Berbasis Fly ASH"*. Surabaya: ITS Press.