

PENGARUH WATER-BINDER RATIO (W/B) PADA NILAI KUAT TEKAN MORTAR DRY GEOPOLYMER BERBAHAN DASAR FLY ASH, KAPUR DAN NAOH 10 MOLAR

Elsa Karunia

Progam Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

elsakarunia36@gmail.com

Abstrak

Pada saat ini banyak peneliti yang tertarik pada bidang geopolimer karena sifatnya yang ramah lingkungan. Pada umumnya binder geopolimer memanfaatkan material pozzolan seperti *fly ash*, *slag*, *rice husk ash* yang mengandung *silika* (Si) dan *alumina* (Al) yang tinggi, larutan *sodium hidroksida* (NaOH) sebagai pereaksi *silika alumina* pada material pozzolan dan larutan *sodium silikat* (Na_2SiO_3) sebagai bahan untuk mempercepat proses geopolimerisasi. Pada penelitian ini memanfaatkan *fly ash* kelas C sebagai material pozzolan, *sodium hidroksida* dengan konsentrasi 10 Molar sebagai pereaksi *silika alumina* pada *fly ash* dan kapur untuk mempercepat proses pengerasan. Penelitian ini tidak memanfaatkan *sodium silikat* sebagai material yang berguna untuk mempercepat proses geopolimerisasi.

Penelitian ini membuat benda uji mortar *dry geopolimer* dengan variabel bebas *water-binder ratio* (w/b) sebanyak 7 variasi (0,25 hingga 0,55 dengan range 0,05) dan variabel terikat kuat tekan mortar *dry geopolimer*. *Dry geopolimer* terdiri dari campuran *fly ash* dan aktivator kering. Aktivator kering terdiri dari campuran larutan *sodium hidroksida* dan kapur. Pembuatan aktivator kering diawali dengan melarutkan pellet *sodium hidroksida* (NaOH) dengan air hingga mencapai konsentrasi 10 Molar. Setelah itu larutan *sodium hidroksida* dicampurkan dengan *kalsium karbonat* (CaCO_3) dengan perbandingan 0,06 NaOH : 0,1 CaCO_3 hingga menjadi pasta, kemudian dikeringkan pada suhu 110°C selama 24 jam dan diikuti dengan penumbukan untuk menghasilkan ukuran partikel yang halus. *Dry geopolimer* dengan penambahan air, proses geopolimerisasi dimulai. Setelah *dry geopolimer* dan air tercampur, lalu campurkan pasir dengan rasio 2,75 hingga menjadi mortar *dry geopolimer*. Diharapkan dalam pembuatan aktivator kering dapat mempermudah pekerjaan di lapangan dimana saat aplikasi di lapangan sudah tidak memainkan unsur kimia lagi sehingga dianggap lebih praktis. Selain itu *dry geopolimer* diharapkan dapat menjadi alternatif pengganti semen Portland.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa prosentase optimum *water-binder ratio* (w/b) sebesar 0,40 menghasilkan kuat tekan sebesar 10,29 MPa pada umur 28 hari dengan berat volume $2,44\text{ gram/cm}^3$. Nilai kuat tekan tersebut lebih rendah daripada mortar semen sebagai kontrol dengan kuat tekan sebesar 29,27 MPa. Ada beberapa faktor penyebab rendahnya kuat tekan yang dihasilkan, diantaranya yaitu kandungan *silika* (Si) dan *alumina* (Al) yang rendah pada *fly ash* dan tidak memanfaatkan *sodium silikat*, karena pada geopolimer unsur utamanya yaitu *silika* (Si) dan *alumina* (Al). Pada penelitian ini dilakukan pengujian dengan metode XRF pada material penyusun mortar *dry geopolimer*, diantaranya kapur, *fly ash* dan bubuk aktivator kering.

Kata Kunci : Geopolimer, mortar, aktivator kering, *dry geopolimer*, *water-binder ratio* (w/b), kuat tekan.

Abstract

Nowadays, there are a number of researchers who tend to more concern on the geopolimer fields because of its eco-friendly characteristic. Generally, the geopolimer is produced from a mixture of pozzolan materials such as *fly ash*, *slag*, *fly ash*, *rice husk ash* containing high *silica-alumina*. An alkaline activator *sodium hydroxide* (SH) liquid is useful as a reactant of *alumina-silica* in the materials of pozzolan and *sodium silicate* (SS) liquid that also used to accelerate of geopolimerization process. In this research was used *fly ash* class C as a pozzolan, *sodium hydroxide* with 10 molar concentration as the reactant of *alumina* in the *fly ash* and lime to accelerate the stiffening process. In this case, this research didn't use *sodium silicate* as a useful material to accelerate the geopolimerization process.

In this research was made a specimen *dry geopolimer* mortar with 7 variations of *water-binder ratio* (0,25 until 0,55 with range 0,05) as independent variable and compressive strength *dry geopolimer* mortar as dependent variable. The *dry geopolimer* is a mixture of *fly ash* and dried activator. The dried activator produced is obtained from a mixture of *sodium hydroxide* and lime. In creating the dry activator, it started by dissolving the *sodium hydroxide* (SH) pellet with water until it reached 10 molar of the concentration. Afterward, *Sodium hydroxide* (SH) liquid was blended with the *calcium carbonate* (CC) with a ratio of 0.06 NaOH : 0.1 CaCO_3 until it becomes a paste. Furthermore, it must be dried at 110°C for 24 hours and then followed by pulverization to produce a smooth particle

size (powder). The dry activator powder should be blended with the fly ash to produce the geopolymer cement powder (dry geopolymer) and also by adding much of water, the geopolymerization process would be started. Moreover, after the dry activator, fly ash and water have mixed into one, then blend it homogeneously with the sand until it becomes a dry geopolymer mortar. Hopefully, by creating the dried activator, it makes the job on the ground easier. If it has been applied, it won't use the chemical elements anymore. Thus, it is more practical. Additionally, it also hoped that the dry geopolymer could be used as an alternative to Portland cement.

The results of this study showed that the optimum percentage of water-binder ratio is 0,40 with a compressive strength of 10.29 MPa. That result is highly below, if it's compared to the cement mortar as a control with a compressive strength of 29.27 MPa. In this case, there are several factors causing the lower of compressive strength, such as; the silica (Si) and alumina (Al) content which is low in the fly ash and didn't use alkali activator sodium silicate. In fact, the main element in the geopolymer is the silica (Si) and the alumina (Al). In addition, this research would also conduct a testing with XRF method in the materials of the dry geopolymer mortar, such as fly ash, lime, and dry activator powder.

Keywords: geopolymer, mortar, dry activator, dry geopolymer, water-binder ratio (w/b), compressive strength.

PENDAHULUAN

Pada era globalisasi saat ini, pembangunan infrastruktur semakin meningkat, hal tersebut mengakibatkan permintaan akan bahan dan material konstruksi juga ikut meningkat. Meningkatnya penggunaan material semen membuat para perusahaan memproduksi semen secara besar-besaran. *Portland Cement* merupakan salah satu material yang berfungsi sebagai pengikat dalam suatu konstruksi yang tidak ramah lingkungan karena pada proses pembuatan semen sebanyak 1 ton menghasilkan emisi gas rumah kaca (karbon dioksida/ CO_2) sebanyak 1 ton dan dilepaskan ke atmosfer dengan bebas sehingga dapat merusak lingkungan, diantaranya menyebabkan pemanasan global (Davidovits 1991). Diprediksikan hingga tahun 2030, kebutuhan dan persediaan semen portland seluruh dunia hanya mampu memenuhi 67,42% kebutuhan. Bahan bersifat semen atau bahan pozzolan menjadi opsi untuk mereduksi kebutuhan semen portland 20-30% dari kebutuhan normal, namun tetap saja hal itu hanya mampu mengubah ke angka pemenuhan 83,29% kebutuhan (*Portland Cement Association*, 2013).

Seiring dengan munculnya isu pemanasan global (*global warming*) dan hadirnya penerapan konsep pembangunan hijau (*green building*), dalam bidang rekayasa bahan material terus diupayakan berbagai inovasi ramah lingkungan dengan melakukan penelitian yang intensif, salah satunya penelitian yang dilakukan oleh Josep Davidovits (1991) mengenai *geopolymer*. *Geopolymer* adalah teknologi bahan pengikat menggunakan aktivator alkali dimana aktivator alkali mampu bereaksi dengan bahan pozzolan yang mengandung Silika (Si) dan Alumina (Al) tinggi melalui proses polimerisasi.

Salah satu jenis bahan pozzolan yang paling banyak tersedia dan dimanfaatkan adalah abu terbang (*fly ash*)

dengan jumlah 2260 juta ton per tahun atau 12 kali lipat dari jumlah ketersediaan semen portland (*Global Mining Investment Conference*, 2010). Menurut ASTM C618 (ASTM, 1991:304), *fly ash* adalah material halus yang berasal dari sisa peleburan batu bara. *Fly Ash* memiliki beberapa kelas yaitu *fly ash* kelas F, *fly ash* kelas C dan *fly ash* kelas N. Setiap kelas memiliki kandungan kimia yang berbeda-beda, namun, *fly ash* tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen. Tetapi dengan adanya alkali aktivator dan ukuran partikelnya yang halus, oksida silika yang terkandung pada *fly ash* akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat.

Binder geopolimer merupakan salah satu inovasi dalam menggantikan binder semen portland dikarenakan memiliki beberapa keunggulan, yakni salah satunya lebih ramah lingkungan (dalam proses pembuatannya tanpa melepas emisi CO_2 ke atmosfer). Pada umumnya, pembuatan binder geopolimer menggunakan metode pencampuran basah, yaitu menggabungkan bahan pozzolan dan larutan alkali aktivator dengan komposisi perbandingan molaritas kimia tertentu. Larutan alkali aktivator yang digunakan yaitu NaOH dan Na_2SiO_3 (*water glass*). Namun dalam aplikasinya di kalangan masyarakat luas, binder geopolimer metode basah memiliki menjadi salah satu kelemahan karena kurang praktis. Dibandingkan dengan binder semen portland yang mudah diterima masyarakat karena untuk menggunakannya sebagai adonan pasta, mortar, maupun beton sangatlah mudah. Selain itu, kelemahan binder geopolymer lainnya adalah pada proses perawatan *geopolymer* membutuhkan suhu tinggi untuk mempercepat reaksi *polymer* selama proses pengerasan (Wardhono et al. 2012).

Kendala dalam aplikasi geopolimer metode basah yang juga melibatkan perhitungan kimia di lapangan

dapat diatasi dengan *geopolymer* metode kering. Dimaksudkan bahwa *dry geopolymer* bertujuan untuk mendapatkan pengganti *Portland Cement* dengan menggunakan campuran fly ash dan aktivator kering, dianggap bahwa aktivator kering lebih praktis dalam proses pencampuran di lapangan. Menurut penelitian H.A Abdel-Gawwad dan S.A. Abo El-Enein menunjukkan bahwa untuk mendapatkan aktivator kering dapat dilakukan dengan melarutkan padatan *Sodium Hidroksida* (NaOH) dalam molaritas tertentu dalam air dan ditambahkan Kapur (*Calcium Carbonat*/CaCO₃) lalu dikeringkan (kering oven 80°) selama 8 jam, setelah itu ditumbuk dan menghasilkan aktivator dalam bentuk bubuk, sehingga dalam pelaksanaan di lapangan lebih mudah untuk diaplikasikan.

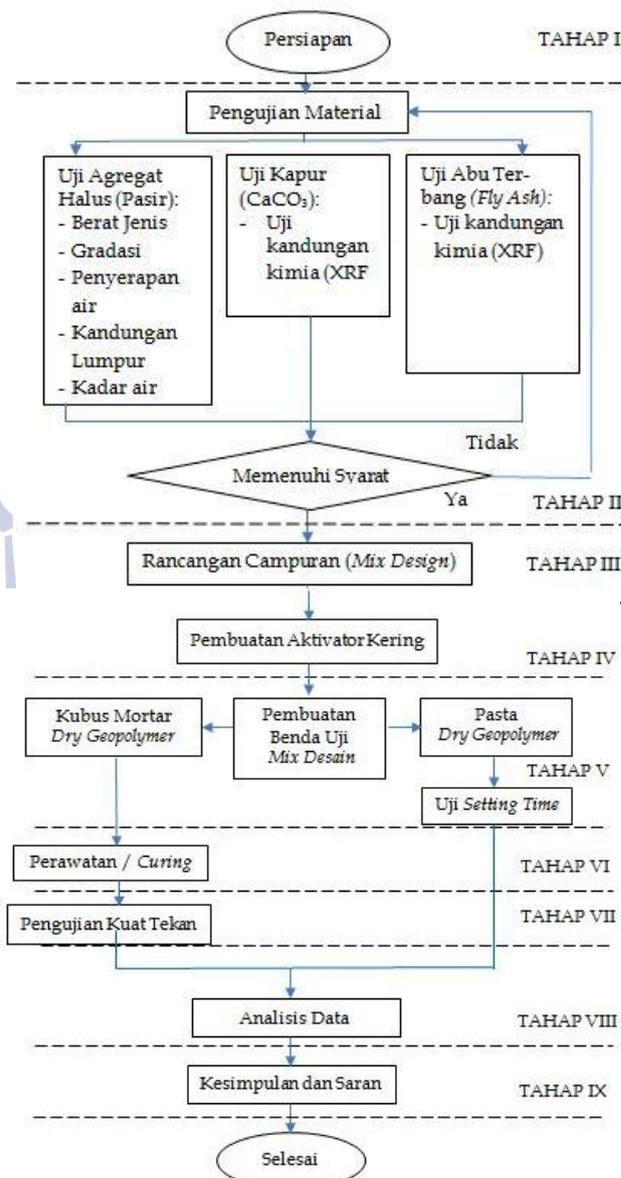
Lamanya reaksi *polymer* selama proses pengerasan dan rendahnya kandungan calcium (Ca) pada binder geopolimer dapat diatasi dengan menggunakan material penyusun yang memiliki kandungan Ca yang cukup tinggi. Dari itulah dipilih material penyusun yang memiliki kandungan Ca yang tinggi yaitu kapur dan bahan pozzolan *fly Ash* kelas C.

Dalam suatu adukan mortar *dry geopolymer* melibatkan material air dalam proses pembuatannya, namun untuk lingkup geopolimer sendiri belum ada standar *water-binder ratio* (w/b), berbeda dengan mortar semen dan beton yang telah memiliki standar komposisi air untuk masing-masing mutu yang diinginkan di dalam ASTM ataupun SNI. *Water-binder ratio* (w/b) memegang peranan penting dalam suatu campuran mortar jika ditinjau dari tingkat kemudahan pengadukan (*workability*) dan kuat tekan. Semakin besar *water-binder ratio* (w/b) semakin mudah dikerjakan dan sebaliknya, tetapi seiring dengan semakin mudahnya pekerjaan, maka akan menyebabkan beton atau mortar menjadi porous atau terdapat banyak rongga, maka kuat tekan beton itu sendiri akan menurun (Tjokrodinuljo, 2007).

Oleh karena itu, penulis akan melakukan penelitian yang berjudul “Pengaruh *Water-binder ratio* (W/B) Pada Nilai Kuat Tekan Mortar *Dry Geopolymer* Berbahan Dasar *Fly Ash*, Kapur dan NaOH 10 Molar”. Diharapkan penelitian ini dapat menjadi satu solusi untuk menutupi kelemahan binder geopolimer agar dapat lebih mudah diterima dan diaplikasikan oleh masyarakat luas.

METODE

Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen yang dilakukan di Laboratorium Bahan dan Beton Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya. Langkah-langkah dalam penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir (*flow chart*) penelitian pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Flow Chart Penelitian

1. Tahap I (Persiapan)

Pada tahap ini merupakan tahap persiapan seluruh peralatan dan bahan yang akan digunakan, agar penelitian bisa berjalan lancar. Material-material yang dibutuhkan untuk membuat benda uji, mulai dari *fly ash*, NaOH, kapur, aquades dan pasir.

2. Tahap II (Pengujian Material)

- Agregat Halus, meliputi: Uji Berat Jenis (*Specify Gravity*), Penyerapan Air (*Water Absorption*), Gradasi, *Fineness Modulus*, Kadar Lumpur dan Kadar Air.
- Pengujian XRF untuk material *Fly Ash*, kapur dan aktivator kering.

3. Tahap III (Rencana *Mix Design*)

Dalam penelitian ini membuat variasi komposisi kapur, NaOH dan *fly ash* sebagai bahan pengganti 100% *Portland Cement*. Benda uji kubus mortar ini kemudian diuji kuat tekan pada umur 7, 14 dan 28 hari sebanyak 72 buah benda uji dengan masing-masing umur pengujian sejumlah 3 sampel.

Variabel bebas yang digunakan yaitu komposisi *water-binder ratio* (w/b) dengan prosentase sebesar 0,25; 0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50 dan 0,55, variabel terikat yang digunakan yaitu kuat tekan mortar *dry geopolymer* dan variabel kontrol yang digunakan yaitu *fly ash* kelas C, pasir lumajang, kapur dari toko bangunan, larutan *sodium hidroksida* konsentrasi 10 Molar serta air suling (*aquades*). Berikut rencana *mix design* pada Tabel 1.

Tabel 1. Rencana *Mix Design* Mortar *Dry Geopolymer* 10 Molar

Tipe	<i>Mix Design</i>						Uji		
	PC	Pasir	<i>Fly Ash</i>	Kapur	NaOH	W/B	7	14	28
							Hari	Hari	Hari
MD K	1	2,75	-	-	-	0,50	3	3	3
MD 1	-	2,75	0,84	0,10	0,06	0,25	3	3	3
MD 2	-	2,75	0,84	0,10	0,06	0,30	3	3	3
MD 3	-	2,75	0,84	0,10	0,06	0,35	3	3	3
MD 4	-	2,75	0,84	0,10	0,06	0,40	3	3	3
MD 5	-	2,75	0,84	0,10	0,06	0,45	3	3	3
MD 6	-	2,75	0,84	0,10	0,06	0,50	3	3	3
MD 7	-	2,75	0,84	0,10	0,06	0,55	3	3	3
Jumlah							24	24	24
Jumlah Total							72		

4. Tahap IV (Pembuatan Aktivator Kering)

Pada mortar *dry geopolymer* ini menggunakan aktivator kering. Berikut merupakan tahapan dalam pembuatan aktivator kering.

a. Pembuatan Larutan NaOH 10 Molar

- 1) Menyiapkan peralatan dan bahan-bahan penyusun larutan NaOH 10 Molar yaitu NaOH dalam bentuk pellet serta air suling (*aquades*).
- 2) Menimbang bahan-bahan tersebut sesuai dengan rancangan perhitungan
- 3) Pembuatan larutan NaOH 10 Molar

Perhitungan 10 Molar NaOH (aq)

$$\begin{aligned} Mr \text{ NaOH} &= Ar \text{ Na} + Ar \text{ O} + Ar \text{ H} \\ &= 16 + 1 + 23 \\ &= 40 \end{aligned}$$

$$\text{Molaritas} = \frac{\text{mol}}{\text{volume}} ; \text{mol} = \frac{\text{gram}}{Mr} ;$$

sehingga:

$$\text{Molaritas} = \frac{\text{massa (gram)}}{Mr} \times \frac{1}{\text{Volume (liter)}}$$

$$10 \text{ Molar} = \frac{\text{massa (gram)}}{40} \times \frac{1}{1 \text{ liter}}$$

$$\text{Massa} = (40 \times 10) \times \frac{1}{1}$$

$$\text{Massa} = 400 \text{ gram/liter}$$

Jadi, untuk membuat larutan NaOH 10 Molar membutuhkan massa pellet NaOH seberat 400 gram 1 liter air suling.

- 4) Setelah massa pellet NaOH diketahui, selanjutnya dicampurkan dengan air suling sebanyak 1 liter dan diaduk hingga homogen selama 3 menit. Penggunaan larutan sodium hidroksida minimal 24 jam hingga suhu larutan sama dengan suhu ruangan dan larutan NaOH disimpan dalam keadaan tertutup untuk mencegah larutan bereaksi dengan oksigen pada udara bebas.

b. Pembuatan aktivator kering

- 1) Menyiapkan peralatan dan bahan-bahan penyusun aktivator kering yaitu aktivator larutan NaOH 10 Molar dan kapur.
- 2) Menimbang bahan-bahan tersebut sesuai dengan rancangan yang telah direncanakan.
- 3) Mencampur larutan NaOH + Kapur hingga membentuk pasta, lalu dikeringkan dalam oven dengan suhu 110° selama 24 jam.
- 4) Setelah itu ditumbuk menggunakan palu atau bisa menggunakan mesin penggiling hingga menjadi bubuk (aktivator kering). Sebelum dilakukan penumbukan, simpan aktivator kering yang baru dikeluarkan dari oven selama ±24 jam agar suhu aktivator kering sama dengan suhu ruangan.
- 5) Mengayak aktivator kering yang telah ditumbuk tersebut menggunakan ayakan no. 100.

5. Tahap V (Pembuatan Benda Uji)

a. Pasta *Dry Geopolymer*

Pada pembuatan pasta *dry geopolymer* ini bertujuan untuk dilakukan uji *setting time* (waktu ikat). Dalam hal ini, *Portland cement* digantikan sepenuhnya (100%) oleh campuran dari bubuk aktivator kering (kapur+NaOH) *fly ash* dan air.

b. Mortar *Dry Geopolymer*

Tahapan pengecoran mortar *dry geopolymer* adalah sebagai berikut:

- 1) Pengecoran mortar *dry geopolymer* dimulai dengan mencampurkan aktivator kering dan *fly ash* kedalam *mixer* selama ± 2 menit.
- 2) Kemudian menambahkan air dan diaduk selama ± 2 menit hingga membentuk pasta.
- 3) Setelah terbentuk pasta, campurkan pasir dan diaduk lagi selama ± 5 menit.

- 4) Mortar dicetak pada cetakan berbentuk kubus dengan ukuran 5cm x 5cm x 5cm.
6. Tahap VI (Curing/Perawatan)
Tahap *curing* mortar *dry geopolymer* dilakukan pada suhu ruangan.
7. Tahap VII (Pengujiuan KuatTekan)
Pengujiuan kuat tekan mortar *dry geopolymer* dilakukan pada saat mortar berumur 7, 14 dan 28 hari dengan menggunakan *Hidraulic Universal Testing Machine WE – 600B, 360 V*, produksi China.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengujian Material

a. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini adalah pasir lumajang dan pasir yang digunakan dalam keadaan kering permukaan (SSD). Hasil dari beberapa pengujian pasir, dapat dipastikan bahwa pasir tersebut telah memenuhi syarat sebagai agregat halus. Pada Tabel 2 disajikan hasil uji karakteristik agregat halus (pasir):

Tabel 2. Hasil uji agregat halus

No.	Uraian	Pasir Lumajang	Standart SNI
1	Berat Jenis	2,75 gr/cm ³	Min. 2,5 gr/cm ³
2	Penyerapan Air	4,17%	< 5%
3	Analisa Ayakan	Lapangan= Zona 2, FM=2,72 Campuran mortar = Zona 3, FM=2,0	<i>Fineness Modulus</i> (FM) = 1,50-3,80
4	Berat Volume	1,76 gr/cm ³	1,5 – 2,0 gr/cm ³
6	Kadar Lumpur	4,17%	< 5%

Rincian gradasi pasir yang digunakan dalam campuran mortar yaitu tertahan ayakan no.8 sebanyak 5%, ayakan no.16 sebanyak 5%, ayakan no.30 sebanyak 10%, ayakan no.50 sebanyak 50%, ayakan no.100 sebanyak 25% dan pan sebanyak 5%. Persen tersebut nantinya akan dikalikan dengan berat pasir keseluruhan yang dibutuhkan dalam satu *mix design*.

b. Fly Ash

Pengujian *fly ash* dilakukan di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju, Universitas Negeri Malang. Hasil pengujian kandungan kimia dapat dilihat pada Tabel 3.

Dari hasil pengujian XRF dalam Gambar 1 diatas, menunjukkan bahwa kandungan yang terbesar dalam *fly ash* adalah Fe (besi) sebesar 51,17%, Ca (kapur) sebesar 24,00%, Si sebesar 13,1%, dan Al sebesar 4,6%. Hasil XRF tersebut termasuk bahwa *fly ash* kelas C, dimana besar kandungan $Fe_2O_3 + SiO_2 + Al_2O_3$ (51,17%+13,1%+4,6%=68,7%) > 50% dan kandungan Ca=24% > 10% sesuai dengan ASTM C168.

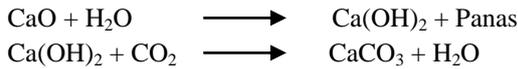
Tabel 3. Kandungan Fly Ash

Komposisi Kimia	Kandungan (%)
Al	4,6
Si	13,1
S	0,4
Eu	0,4
K	0,97
Ca	24,0
Ti	0,92
V	0,05
Cr	0,099
Mn	0,76
Fe	51,17
Ni	0,02
Cu	0,068
Sr	0,80
Mo	1,00
Ba	0,71
Ln	0,07
Yb	0,1
Hg	0,54

c. Kapur

Pengujian kapur dilakukan di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju, Universitas Negeri Malang. Limbah marmer yang digunakan didapat dari Toko Bangunan Ketintang. Hasil pengujian kandungan kimia dapat dilihat pada Tabel 4.

Hasil uji XRF kapur menunjukkan bahwa kandungan terbesar dari kapur adalah Ca yaitu sebesar 94,95%. CaO yang bereaksi dengan air akan menghasilkan kapur padam atau Ca(OH)₂ atau juga biasa disebut dengan mortar air. Mortar air akan menyerap CO₂ di udara bebas dengan proses kimia yang akan menghasilkan CaCO₃. CaCO₃ ini lah yang memiliki sifat yang padat dan keras.



Tabel 4. Kandungan Kapur

Komposisi Kimia	Kandungan (%)
Ca	94,95
Fe	0,32
Mg	3,3
Sr	0,69
Tm	0,54
Lu	0,18

d. Aktivator Kering

Pengujian aktivator kering dilakukan di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju, Universitas Negeri Malang. Hasil pengujian kandungan kimia dapat dilihat pada Tabel 5 berikut:

Tabel 5. Kandungan Aktivator Kering

Komposisi Kimia	Kandungan (%)
Ca	97,65
Fe	0,52
Mg	0,064
Sr	1,2
Tm	0,56
Lu	0,1

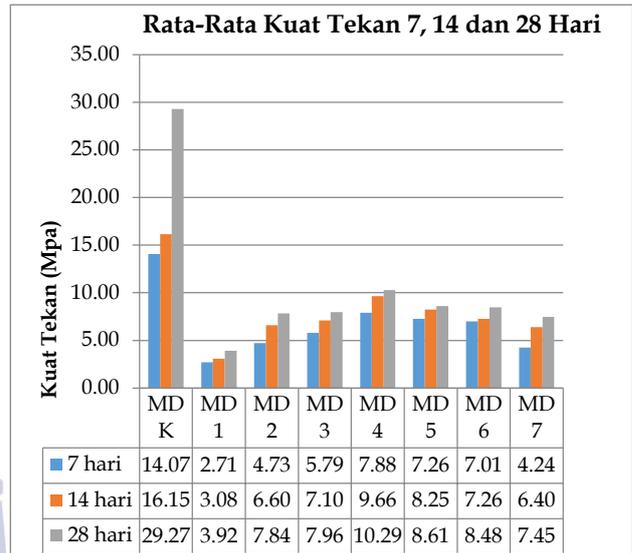
Hasil uji XRF aktivator kering menunjukkan bahwa kandungan terbesar dari aktivator kering adalah Ca yaitu sebesar 97,65%.

2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar *Dry Geopolymer*

Hasil pengujian kuat tekan mortar *dry geopolymer* dapat digunakan untuk mengetahui mutu atau kualitas dari mortar tersebut. Pengujian mortar *dry geopolymer* ini dilakukan pada umur 7, 14 dan 28 hari. Hasil pengujian pada umur 7, 14 dan 28 hari dapat dilihat pada Tabel 6 dan Gambar 2.

Tabel 6. Kuat Tekan Umur 7, 14 dan 28 Hari

Tipe Mix Design	Kuat Tekan (Mpa)		
	7	14	28
MD K (W/B=0,25)	14.07	16.15	29.27
MD 1 (W/B=0,30)	2.71	3.08	3.92
MD 2 (W/B=0,30)	4.73	6.60	7.84
MD 3 (W/B=0,35)	5.79	7.10	7.96
MD 4 (W/B=0,40)	7.88	9.66	10.29
MD 5 (W/B=0,45)	7.26	8.25	8.61
MD 6 (W/B=0,50)	7.01	7.26	8.48
MD 7 (W/B=0,55)	4.24	6.40	7.45

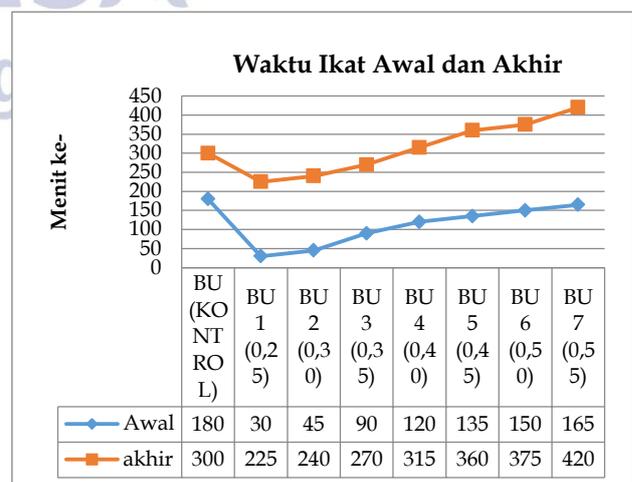


Gambar 2. Grafik kuat tekan mortar *dry geopolymer* umur 7, 14 dan 28 hari

Kuat tekan optimum mortar *dry geopolymer* terjadi pada prosentase *water-binder ratio* (w/b) sebesar 0,40.

3. Hasil Pengujian Vicat (*Setting Time*) Pasta *Dry Geopolymer*

Uji waktu ikat ada 2 macam yaitu waktu ikat awal dan waktu ikat akhir. Waktu ikat awal didapatkan bertujuan untuk mengetahui seberapa cepat waktu dari mortar memulai reaksi pengikatan dan waktu ikat akhir didapatkan untuk mengetahui seberapa lama mortar terjadi pengerasan. Pengujian vicat mortar dilakukan menggunakan alat uji vicat dengan ukuran diameter atas 60 mm, diameter bawah 70 mm dan tinggi 40 mm. Pada Gambar 3 disajikan grafik hasil waktu ikat awal dan waktu ikat akhir pasta semen (BU K) sebagai kontrol dan pasta *dry geopolymer* (BU 1 hingga BU 7).



Gambar 3. Grafik Hasil Waktu Ikat Awal dan Waktu Ikat Akhir Pasta *Dry Geopolymer*

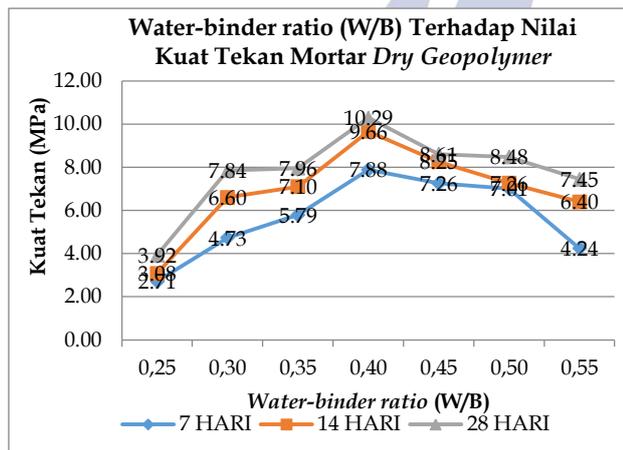
Hasil uji vicat menunjukkan prosentase *water-binder ratio* (w/b) mempengaruhi waktu ikat awal dan waktu ikat akhir pasta *dry geopolimer*, dimana semakin besar w/b, waktu ikat awal dan waktu ikat akhir juga semakin lama.

4. Pembahasan

Hasil penelitian dilakukan analisis kuat tekan mortar *dry geopolimer* sesuai umur 7, 14 dan 28 hari. Kuat tekan merupakan besarnya beban maksimum yang diberikan persatuan luas, yang menyebabkan benda uji hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu.

a. Analisis kuat tekan mortar *dry geopolimer* berdasarkan *water-binder ratio* (w/b).

Pada Gambar 4 disajikan grafik kuat tekan semua sampel terhadap umur pengujian 7, 14 dan 28 hari.



Gambar 4. Hubungan *Water-binder ratio* (W/B) Terhadap Kuat Tekan Mortar *Dry Geopolymer*

Pada pengujian mortar tipe MD K (Kontrol/mortar semen) menghasilkan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 29,27 MPa, MD1 sebesar 3,92 MPa, MD2 sebesar 7,84 MPa, MD3 sebesar 7,96 MPa, MD4 sebesar 10,29 MPa, MD5 sebesar 8,90 MPa, MD6 sebesar 8,45 MPa dan MD7 sebesar 7,41 MPa. Kuat tekan optimum terjadi pada mortar tipe MD4 dengan penggunaan *water-binder ratio* (w/b) 0,40 pada umur 28 hari. Untuk w/b < 0,40 (0,25 hingga 0,35 dengan range 0,05) menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah dari 10,29 MPa. Hal ini disebabkan air semen yang terlalu kecil akan dapat mengakibatkan kesulitan dalam pematatan mortar, walaupun pematatan dapat dilakukan namun dalam mortar akan terjadi rongga-rongga yang banyak sehingga dapat mengurangi kuat tekan. Untuk w/b > 0,40 (0,45 hingga 0,55) juga mengalami penurunan kuat tekan, hal ini dikarenakan air terlalu banyak, maka

mortar juga akan terjadi penyusutan lebih banyak pada proses *curing* dan pasta semen banyak hilang bersamaan dengan merembesnya air, keadaan ini tentunya juga akan meningkatkan porositas.

Diantara ketujuh variasi *mix design* mortar *dry geopolimer* dengan penggunaan NaOH 10 Molar, ada 3 *mix design* dengan kuat tertinggi yaitu pada MD4 (W/B=0,40), MD5 (W/B=0,45), dan MD6 (W/B=0,50). Namun kuat tekan yang dihasilkan masih jauh dari mortar semen (kontrol) sebesar 29,27 MPa. Selain dipengaruhi oleh *water-binder ratio*, beberapa faktor yang mengakibatkan kuat tekan yang dihasilkan lebih rendah daripada mortar semen sebagai kontrol antara lain, pertama, pada penelitian ini total kandungan Silika (Si) dan Alumina (Al) dalam *fly ash* berprosentase kecil (17,7%) dibandingkan dengan kandungan Ca yang berprosentase sebesar 24% padahal unsur utama dalam proses geopolimerasi adalah Silika (Si) dan Alumina (Al) yang mana unsur tersebut seharusnya berprosentase lebih dari 50% dan kandungan Si dan Al pada *fly ash* ini berpengaruh terhadap pembentukan silika gel yang menghasilkan senyawa AlO_4 dan SiO_4 . Kedua, dalam penelitian ini tidak memanfaatkan *sodium silikat* (Na_2SiO_3) sebagai alkali aktivator sehingga kandungan Silikat (Si) dan Alumina (Al) prosentasenya sangat kecil, peran *sodium silikat* (Na_2SiO_3) pada geopolimer adalah mempercepat reaksi polimerisasi. Dikutip dari beberapa penelitian geopolimer, diketahui bahwa penggunaan campuran NaOH dan Na_2SiO_3 sebagai larutan alkali aktivator menghasilkan kekuatan yang terbaik.

b. Analisis berat volume dan kuat tekan mortar *dry geopolimer* berdasarkan *water-binder ratio* (w/b)

Untuk membuktikan bahwa pada penelitian ini terjadi porositas pada mortar dapat diketahui dari besarnya berat volume mortar tiap *water-binder ratio*. Semakin besar berat volume, kuat tekan yang dihasilkan cenderung besar pula. Berikut disajikan nilai berat volume dan kuat tekan per umur pengujian 7, 14 dan 28 hari pada Tabel 7.

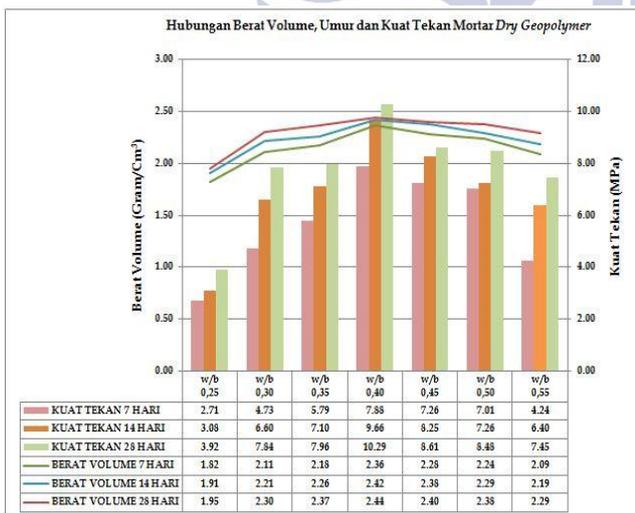
Dilihat pada Tabel 7 dan Gambar 5, kuat tekan mortar *dry geopolimer* dengan tipe MD 1 hingga MD 3 memiliki kuat tekan yang rendah, w/b yang digunakan kecil yaitu 0,25-0,35 yang mengakibatkan pasta *dry geopolimer* tidak dapat mengikat agregat halus dengan sempurna, hal ini menyebabkan porositas (banyak titik kosong yang pada akhirnya tidak dapat memikul beban) dan mengakibatkan mortar menjadi keropos.

Porositas menggambarkan tingkat kepadatan dari mortar itu sendiri. Kepadatan sendiri juga mempengaruhi berat volume yang dihasilkan oleh mortar.

Tabel 7. Nilai Berat Volume, Umur dan Kuat Tekan Mortar *Dry Geopolymer*

Tipe Mix Design	Umur 7 Hari		Umur 14 Hari		Umur 28 Hari	
	BV	KT	BV	KT	BV	KT
MD 1 (0,25)	1.82	2.71	1.91	3.08	1.95	3.92
MD 2 (0,30)	2.11	4.73	2.21	6.60	2.30	7.84
MD 3 (0,35)	2.18	5.79	2.26	7.10	2.37	7.96
MD 4 (0,40)	2.36	7.88	2.42	9.66	2.44	10.29
MD 5 (0,45)	2.28	7.26	2.38	8.25	2.40	8.61
MD 6 (0,50)	2.24	7.01	2.29	7.26	2.38	8.48
MD 7 (0,55)	2.09	4.24	2.19	6.40	2.29	7.45

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



Gambar 5. Hubungan Kuat Tekan dan Berat Volume Mortar *Dry Geopolymer* Umur 7, 14 dan 28 Hari

Pada mortar *dry geopolymer* tipe MD 4 dengan w/b 0,40 memiliki kuat tekan optimum sebesar 10,29 Mpa, pada w/b 0,40 mortar *dry geopolymer* memiliki pori tertutup lebih banyak daripada MD lainnya. Tipe MD5, MD6 dan MD7 yang menggunakan w/b lebih besar dari 0,40 (0,45 hingga 0,55) terjadi penurunan kuat tekan, hal ini

disebabkan oleh w/b yang digunakan lebih besar. Dengan penggunaan w/b yang besar, pada saat mortar sudah kering, ruang yang terisi oleh air akan membentuk pori/rongga sehingga mortar menjadi porous, porous ini berdampak pada besarnya berat volume dan kuat tekan.

Berat volume tertinggi sebesar 2,49 gram/cm³ terjadi pada w/b 0,40 dengan kuat tekan optimum sebesar 10,29 MPa, dibandingkan dengan w/b < 0,40 dan w/b > 0,40, berat volume yang dihasilkan lebih rendah dari 2,44 gram/cm³ dan kuat tekan yang dihasilkan pun juga lebih rendah. Dapat disimpulkan bahwa besarnya berat volume berbanding lurus dengan kuat tekan yang dihasilkan.

c. Analisis kuat tekan mortar *dry geopolymer* berdasarkan *setting time* pasta *dry geopolymer*

Dibawah ini disajikan tabel dan grafik antara *water-binder ratio* terhadap waktu ikat awal (*initial time*) dan waktu ikat akhir (*final time*) pasta *dry geopolymer*.

Tabel.8. Hubungan *Water-binder ratio* (W/B) Terhadap Kuat Tekan dan Waktu Ikat Pasta *Dry Geopolymer*

Type	Kuat Tekan 28 Hari (MPa)	WaktuIkat Awal (Menit ke-)	WaktuIkat Akhir (Menit ke-)
BU K	29,27	180	300
BU 1	3,92	30	225
BU 2	7,84	45	240
BU 3	7,96	90	270
BU 4	10,29	120	315
BU 5	8,61	135	360
BU 6	8,45	150	375
BU 7	7,41	165	420

Pengujian waktu ikat pasta *dry geopolymer* ini bertujuan untuk menentukan waktu yang diperlukan pasta untuk mengeras, terhitung dari mulai bereaksi dengan air dan menjadi pasta semen hingga pasta semen cukup kaku untuk menahan tekanan. Waktu ikat semen terbagi atas 2 yaitu waktu ikat awal dan waktu ikat akhir. 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. Yang dimaksud keras pada waktu ikat akhir adalah hanya bentuknya saja yang sudah kaku,

tetapi pasta semen tersebut belum boleh dibebani, baik oleh berat sendiri maupun berat dari luar.

Dari ketujuh pasta *dry geopolymer* (tipe BU1, BU2, BU3, BU4, BU5, BU6, BU7) yang memiliki waktu ikat awal (>60 menit) dan waktu ikat akhir sesuai dengan SNI (<480 menit) terjadi pada tipe BU3, BU4, BU5, BU6 dan BU7. Pada pasta tipe BU1 dan BU2 pada pengikatan awalnya lebih cepat (<60 menit) diasumsikan bahwa pada tipe BU1 dan BU2 memiliki w/b yang lebih rendah dibandingkan tipe lainnya, sehingga pada proses pengerasannya lebih cepat, namun pada hasil kuat tekannya memiliki kuat tekan yang rendah dibandingkan tipe lainnya. Pada mortar *dry geopolymer* penggunaan w/b 0,40 memiliki kuat tekan yang optimum, hal ini berbanding lurus dengan hasil uji vicat w/b 0,40 yang mengalami waktu ikat akhir yang hampir sama dengan pasta semen (kontrol). Waktu ikat akhir pada pasta *dry geopolymer* cenderung lebih lama dibandingkan semen kontrol karena pada geopolimer salah satu alkali aktivator yang digunakan yaitu Na_2SiO_3 yang dapat mempercepat reaksi geopolimerisasi dan mengarah pada waktu pengerasan pasta itu sendiri. *Setting time* pasta *dry geopolymer* tidak berpengaruh pada nilai kuat tekan namun berpengaruh pada laju peningkatan kuat tekan dan berpengaruh pada cepat atau lambatnya suatu pasta mengalami pengerasan. Pada pasta *dry geopolymer* dengan w/b diatas 0,40 mengalami waktu ikat awal dan waktu ikat akhir semakin lama, hal ini bergantung pada prosentase *water-binder ratio*.

- d. Analisis hasil kuat tekan mortar *dry geopolymer* terhadap penelitian yang terkait pada jurnal internasional

Jurnal internasional yang akan dianalisis yaitu penelitian yang berjudul “*A Novel Method To Produce Dry Geopolymer Cement Powder*” oleh H.A. Abdel-Gawwad dan S.A. Abo-El-Enein. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan serbuk semen campuran, dimana campurannya terdiri dari aktivator kering dan bahan pozzolan. Aktivator kering dihasilkan dari campuran *sodium hidroksida* pada konsentrasi tertentu dan *kalsium karbonat*. Selain itu bahan lain yang dibutuhkan yaitu *water/cement ratio* (w/c) dan GBFS (*Granulated blast furnace slag*) sebagai bahan pozzolan yang mengandung Silika dan Alumina.

Kuat tekan optimum pasta terletak pada pasta dengan komposisi SH 4%, CC 5%, GBFS 91% dan rasio w/c 0,27. Jika dikaitkan hasil penelitian

terhadap kuat tekan mortar *dry geopolymer*, berikut disajikan pada Tabel 9 mengenai perbedaan penelitian dari jurnal internasional yang berjudul “*A Novel Method To Produce Dry Geopolymer Cement Powder*” dan penelitian penulis “Pengaruh *Water-binder ratio* (W/B) Terhadap Nilai Kuat Tekan Mortar *Dry Geopolymer* Berbahan Dasar *Fly Ash*, Kapur dan NaOH10 Molar.

Tabel 9. Perbedaan Penelitian Skripsi dan Penelitian Terkait (Jurnal Internasional)

Perbedaan	<i>A Novel Method To Produce Dry Geopolymer Cement Powder</i>	Pengaruh <i>Water-binder ratio</i> Pada <i>Dry Geopolymer Mortar 10 Molar</i>
Jenis Benda Uji	Pasta <i>Dry Geopolymer</i>	<i>Mortar Dry Geopolymer</i>
Pengujian	Kuat Tekan Pasta <i>Dry Geopolymer</i>	Kuat Tekan Mortar <i>Dry Geopolymer</i>
Prosentase Bahan Penyusun	CC 6% SH 10% GBFS 84% W/B 0,27%	CC 6% SH 10% Fly Ash 84% W/B 0,40% PASIR 2,75
Kandungan Kimia (XRF)	CC : CaO 55,91% GBFS : SiO ₂ 37,81%, Al ₂ O ₃ 13,14% dan CaO 38,70%	CC = Ca 94,95% <i>Fly Ash</i> = Al 4,6%, Si 13,1%, Ca 24%
Suhu dan Lama Pemanasan Campuran CC+SH	80°selama 8 jam	110° selama 24 jam
<i>Setting Time</i>	Initial 23 menit Final 69 menit	Initial 135 menit Final 315 menit
Hasil Kuat Tekan	52,97 Mpa	10,29 MPa

Pada penelitian jurnal internasional dilakukan uji kuat tekan pada pembuatan pasta dari campuran aktivator kering dan bahan pozzolan, berbeda pada penelitian skripsi yang penulis lakukan uji kuat tekan pada pembuatan mortar dari campuran aktivator kering bahan, pozzolan dan pasir. Jenis benda uji berpengaruh pada kuat tekan yang dihasilkan, pada jurnal terkait hanya pasta

dan tidak terdapat pasir dalam benda ujinya sehingga juga berpengaruh terhadap w/c yang dibutuhkan untuk mencapai kuat tekan optimum Hasil kuat tekan dari jurnal internasional lebih tinggi karena kandungan kimia yang terdapat pada CC dan GBFS, yang mana total kandungan Si dan Al lebih dari 50% pada GBFS dan kandungan CaO pada CC tidak terlalu besar. Dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan penulis dengan menggunakan *fly ash* yang memiliki kandungan Si dan Al tidak lebih dari 50% dan kandungan Ca yang sangat tinggi pada CC. Pada penelitian jurnal internasional ini tidak disebutkan besarnya konsentrasi dari *sodium hidroksida* yang digunakan.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan:

1. Pada pengujian mortar *dry geopolymer* umur 7, 14 dan 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan. Hal ini menunjukkan umur mortar *dry geopolymer* berpengaruh terhadap besarnya kuat tekan.
2. Kuat tekan optimum mortar *dry geopolymer* didapatkan sebesar 10,29 MPa pada umur 28 hari dengan penggunaan *water-binder ratio* (w/b) sebesar 0,40.
3. Besarnya berat volume berbanding lurus dengan besar kuat tekan yang dihasilkan mortar *dry geopolymer*. Berat volume tertinggi sebesar 2,44 gram/cm³ terjadi pada mortar tipe MD 4 dengan kuat tekan optimum sebesar 10,29 MPa.
4. Kuat tekan optimum yang terjadi pada mortar *dry geopolymer* tipe MD4 sebesar 10,29 MPa dihasilkan lebih rendah dari mortar semen (kontrol) yaitu sebesar 29,27 MPa. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya:
 - a. Kandungan Si dan Al yang rendah pada *fly ash*.
 - b. Tidak menambahkan *sodium silikat* sebagai alkali aktivator.
 - c. Kandungan Ca yang tinggi pada kapur padam kering (94,95%) dan *fly ash* kelas C (24,0%) sebagai bahan penyusun mortar *dry geopolymer*.
 - d. Tinggi suhu dan lamanya pemanasan pasta aktivator kering yang berpengaruh pada kemampuan *sodium hidroksida* sebagai bahan pengikat bahan pozzolan (*fly ash*).

Saran

Hasil dari kesimpulan diatas dan merujuk kepada hasil penelitian, maka untuk mendapatkan hasil penelitian yang lebih baik disarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian mortar *dry geopolymer* dengan memilih pozzolan dengan kandungan Ca yang lebih rendah.
2. Perlu dilakukan penelitian mortar *dry geopolymer* dengan memanfaatkan *fly ash* kelas C yang memiliki kandungan Si dan Al lebih dari 50%.
3. Diharapkan penelitian tentang *dry geopolymer* berikutnya dapat dilakukan *treatment* yang berbeda pada variasi pada suhu oven dan lama pemanasannya.
4. Perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh lamanya penyimpanan aktivator kering terhadap kuat tekan mortar *dry geopolymer*.
5. Perlu dilakukan uji pada material aktivator kering yang lebih detail seperti XRD, SEM untuk mengetahui senyawa yang terbentuk.
6. Diharapkan penelitian tentang *dry geopolymer* berikutnya dapat meneliti aspek selain kuat tekan, seperti porositas atau keausan.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C 618-93. "Standard Test Method for Fly Ash and Row or calcined Natural Pozzolan for Use as a mineral Admixture in Portland Cement Concrete," American Society for Testing of Concrete's,1991
- Badan Standarisasi Nasional . (1990). *SNI 03-1968-1990. Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional . (1990). *SNI 03-1970-1990. Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional . (2002). *SNI 03-6825-2002 Metode Pengujian Kuat Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- Davidovits, J (1991). *Geopolymer: Inorganic Polymeric New Materials*. Geopolymer Institute, France.
- H.A. Abdel-Gawwad., & S.A. Abo-El-Enein., (2014). *A novel method to produce dry geopolymer cement powder*" Cairo : Ain Shams University.
- Portland Cement Association. (1994). *Concrete Technology Today : High-Strength Concrete. High Strength Concrete , 15 (1),1-8*.
- Tjokrodinuljo, K. 2007. *Teknologi Beton*, Biro Penerbit KMTS FT UGM. Yogyakarta.
- Wardhono, Arie, David W. Law, dan Thomas C. K. Molyneaux. 2012. "Strength of Alkali Activated Slag and Fly Ash-based Geopolymer Mortar". *Japan:Japan Concrete Institut*.