

PENGARUH SUBSTITUSI LIMBAH MARMER TERHADAP NILAI KUAT TEKAN DRY GEOPOLYMER MORTAR METODE WET MIXING BERBAHAN DASAR ABU TERBANG KAPUR DAN NaOH 14 M

Dika Arizona

Progam Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Dikaarizona94@gmail.com

Arie Wardhono, S.T.,M.MT.,MT.,Ph.D

Progam Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
ariewardhono@unesa.ac.id

Abstrak

Pada era globalisasi ini, pembangunan infrastruktur semakin meningkat hal tersebut mengakibatkan permintaan bahan konstruksi juga semakin meningkat salah satunya *Portland semen* yang berfungsi sebagai pengikat dalam suatu konstruksi. *Semen Portland* tidak ramah lingkungan karena dalam proses pembuatan semen 1 ton menghasilkan karbondioksida(CO₂) sebanyak 1 ton yang dilepaskan ke atmosfer dengan bebas sehingga dapat merusak lingkungan diantaranya menyebabkan pemanasan global maka diperlukan material lainnya sebagai pengganti *Portland semen*. Temuan ini dinamakan *geopolymer* karena merupakan sintesa bahan alam nonorganik lewat proses polimerisasi.

Mortar geopolymer dibuat menggunakan bahan dasar *fly ash* tipe C tanpa menggunakan semen. Dengan komposisi tertentu, *fly ash* tipe C akan menjadi bahan pengikat setelah dicampur dengan bubuk *aktivator* kering, pasir, dan *aquades* lalu menjadi *dry geopolymer* mortar. Bubuk *aktivator* kering dibuat dengan mencampurkan larutan NaOH 14M dan kapur hingga membentuk pasta. Lalu, dimasukan dalam oven dengan suhu 110°C selama 24 jam. Setelah itu, dilakukan penumbukan hingga menjadi bubuk *aktivator* kering.

Hasil penelitian dengan penambahan limbah marmer 0%, 5%, 10%, 15%, 20%,25% menunjukkan bahwa, berat volume mortar terbesar yaitu 2,18 gram/cm³ dan nilai kuat tekan tertinggi yaitu 9,61 MPa didapat pada variasi dengan penambahan limbah marmer 10% pada usia 28 hari. Dibandingkan dengan mortar variasi limbah marmer < 10% dan variasi limbah marmer > 10% berat volume dan kuat tekan yang dihasilkan lebih rendah, sedangkan nilai porositas nilai terendah 17,38% pada variasi 10% Substitusi limbah marmer terhadap *fly ash* terbukti dapat menambah kuat tekan, karena adanya reaksi kimia antara Ca dan H₂O yang menghasilkan reaksi kimia CaCO₃ yang bersifat keras

Kata kunci : *Dry Geopolymer* Mortar, *Fly ash* tipe C, Limbah Marmer Bubuk *Aktivator* Kering, Berat Volume, Kuat Tekan, Porositas.

Abstract

In this globalization era, infrastructure development is increasing. This requires building materials to increase. Portland cement is used as a binder in a construction. Portland cement is not environmentally friendly because in the process of making 1 ton of cement produces 1 ton of carbon dioxide (CO₂) which is released into the atmosphere freely can cause environmental damage that causes global so that other matrices are needed as portland cement. This finding is called geopolymer because it is a synthesis of natural inorganic materials through the polymerization process.

Geopolymer mortars are made using the basic material fly ash type C without using cement. With certain compositions, fly ash type C will become a binding material after it is mixed with dry activator powder, sand, and distilled water and then becomes dry geopolymer mortar. Dry activator powder is made by mixing 14 M NaOH solution and lime to form a paste. Then, put It in the oven with a temperature of 1100C for 24 hours. After that, the collision is made into a dry activator powder

The results of research with the addition of marble waste 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% showed that the largest volume of mortar weight was 2.18 gram/cm³ and the highest compressive strength value of 9.61 MPa was obtained in variations with the addition of marble waste 10% at 28 days. Compared to the mortar variation of marble waste <10% and marble waste variation > 10% by volume weight and compressive strength produced is lower, while the lowest porosity value of 17.38% at 10% variation of marble waste substitution to fly ash is proven to increase compressive strength , because of the chemical reaction between Ca and H₂O which produces a chemical reaction of CaCO₃ which is hard

Keywords : *Dry Geopolymer* Mortar, *Fly ash* type C, Marble Waste Dry Activator Powder, Heavy Volume, Compressive Strength, Porosity

PENDAHULUAN

Pada era globalisasi saat ini, pembangunan infrastruktur semakin meningkat, hal tersebut mengakibatkan permintaan akan bahan dan material konstruksi juga ikut meningkat. Salah satunya yaitu *Portland cement* 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).

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan solusi yang tepat agar produksi Karbon dioksida (CO_2) sebagai dampak negatifnya dapat diminimalisir serta pembangunan di dunia konstruksi tetap berjalan sebagaimana mestinya. Davidovits (1994) menamakan temuannya yaitu *geopolymer* karena merupakan sintesa bahan-bahan alam non organik lewat proses polimerisasi. Mortar *geopolymer* merupakan mortar dengan material yang memiliki kandungan oksida silika dan alumina yang tinggi.

Selain itu juga pengolahan batu marmer dalam jumlah besar dan terus-menerus menimbulkan permasalahan pada besarnya limbah yang dihasilkan. Sistem penampungan limbah pada lahan terbuka disekitar tempat pengolahan kurang efektif dan kurang memperhatikan konservasi lahan. Karenanya perlu dilakukan penanganan masalah limbah ini. Kegiatan pengolahan batu marmer menghasilkan limbah berupa pecahan batu marmer dan serbuk marmer sekitar 40% dari produk akhir industri marmer (Shirule, dkk. 2012). Maka dari itu penelitian ini memanfaatkan limbah marmer tersebut agar memiliki nilai guna serta mengurangi permasalahan pada banyaknya limbah marmer. Marmer memiliki unsur kimia utama yaitu silikon dioksida/silikat (SiO_2), Kalsium Oksida (CaO) dan Magnesium Oksida (MgO) kandungan kimia yang dimiliki marmer ini juga ada di semen, selain unsur kimia tersebut marmer juga memiliki keunggulan yaitu kuat tekan yang cukup tinggi, diharapkan setelah mejadi serbuk kekuatan butiranya tetap tinggi.

Abu terbang (*fly ash*) merupakan salah satu bahan dasar utama dalam pembuatan mortar *geopolymer* karena memiliki kandungan oksida silika dan alumina. Menurut ASTM C618 (ASTM, 1995:304), abu terbang (*fly ash*) adalah material yang halus yang berasal dari sisa peleburan besi baja dan batu bara, abu terbang (*fly ash*) diklasifikasikan sebagai limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) sehingga dengan memanfaatkan abu terbang (*fly ash*) merupakan upaya untuk mengurangi

volume dan tingkat bahaya limbah yang keluar ke lingkungan sebagai bahan pengganti semen, penggunaan *geopolymer* berbahan dasar abu terbang (*fly ash*) dapat menurunkan produksi gas CO_2 yang dihasilkan selama proses produksi semen. Namun abu terbang (*fly ash*) tidak memiliki kemampuan mengikat seperti semen tetapi dengan adanya air dan *alkaline activator* (sodium silikat dan sodium hidroksida), oksida silika yang dikandung oleh abu terbang (*fly ash*) akan bereaksi secara kimia.

Namun kendala utama *geopolymer* adalah pada proses perawatannya. Proses perawatan *geopolymer* membutuhkan suhu yang tinggi untuk mempercepat reaksi *polymer* yang terjadi selama proses pengerasan (Wardhono, dkk. 2012). Rendahnya kandungan kalsium (Ca) pada *geopolymer* menyebabkan proses pengerasan yang lambat. Namun hal ini dapat diatasi dengan menggunakan bahan tambahan yang memiliki kandungan Ca yang cukup tinggi. Dari itulah dipilih bahan yang memiliki kandungan Ca yang tinggi yaitu kapur. Meskipun sudah banyak hasil riset para ahli yang menunjukkan bahwa jenis mortar ini memiliki mutu yang baik. Dalam penelitian tugas akhir ini, digunakan sodium hidroksida dengan kadar 14 M dengan tujuan sebagai pembanding antara penelitian ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya, karena pada penelitian sebelumnya disebutkan bahwa menggunakan kadar NaOH sebesar 14 M tetapi tidak menggunakan limbah marmer. Karena limbah marmer memiliki kandungan Ca yang tinggi diharap dapat menambah kuat tekan pada mortar.

Berdasarkan uraian latar belakang diatas adapun rumusan masalah yang dapat diambil sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh substitusi limbah marmer dan penambahan *fly ash* terhadap kuat tekan pada pembuatan dry *geopolymer* mortar?
2. Bagaimana hasil penambahan substitusi limbah marmer dengan NaOH 14 M terhadap kuat tekan pada pembuatan *dry geopolymer* mortar dengan metode *wet mixing* ?

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini berdasarkan uraian rumusan masalah diatas antara lain :

1. Untuk mengetahui mengetahui pengaruh sub limbah marmer dengan NaOH 14M terhadap kuat tekan pada pembuatan dry *geopolymer* mortar.
2. Untuk mengetahui mengetahui pengaruh sub limbah marmer dengan NaOH 14M terhadap kuat tekan pada pembuatan dry *geopolymer* mortar..

Penelitian ini dibatasi oleh beberapa hal, sebagai berikut :

1. Material pembentuk beton *geopolymer* :
 - a) Fly ash kelas C dari CV. Dwi Mitra Surya.
 - b) Aktivator *Sodium Hidroksida* (NaOH) dalam bentuk pellet.

- c) Marmer dari Tulungagung
 - d) Air yang digunakan adalah Air suling dari PT. Brataco.
 - e) Pemeriksaan tekan dilakukan pada umur 7, 14, 28 hari
 - f) Variasi limbah marmer sebesar 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dari *Fly ash*.
2. Benda uji yang digunakan berbentuk mortar dengan ukuran 5x5x5 cm³ dengan sampel 72 buah mortar.
 3. Pemeriksaan kuat tekan mortar dilakukan pada umur 3, 7, dan 28 hari.
 4. Tidak memperhitungkan biaya dalam pembuatan *dry geopolymer* mortar.
Manfaat dari penelitian ini antara lain :
 1. Memberikan pengetahuan mengenai variasi abu terbang (*fly ash*) sebagai pengganti semen/agregat halus pada pembuatan mortar *geopolymer*.
 2. Menambah alternatif bahan penyusun mortar geopolimer sebagai bahan pengganti semen yang lebih ramah lingkungan .
 3. Mengurangi limbah PLTU dan memberikan solusi terhadap polusi udara yang diakibatkan proses pembuatan *Portland cement*.
 4. Memberikan rujukan/referensi bagi kalangan akademisi untuk keperluan studi dan penelitian selanjutnya mengenai topik permasalahan yang sama.

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang akan dilakukan adalah uji laboratorium (*experimental*), merupakan penelitian yang berasal dari beberapa sumber yang sudah ada melalui jurnal ilmiah untuk selanjutnya dilakukan pengembangan lebih lanjut dengan merancang komposisi penambahan variasi molaritas NaOH pada *dry geopolymer* mortar berbahan dasar abu terbang (*fly Ash*) dan kapur.

B. Lokasi dan Waktu Penelitian

Untuk memperoleh data, maka pada penelitian ini dilakukan pada :

1. Lokasi penelitian :
Laboratorium Teknologi Bahan dan Beton Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.
2. Waktu Penelitian :
Bulan Agustus 2018 – November 2018.

C. Populasi dan Sampel

1. Populasi

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

2. Sampel

Penelitian ini digunakan sampel dari semua populasi dikarenakan jumlah populasi bersifat data hasil pengujian di Laboratorium dengan sampel benda uji dengan jumlah 72 buah ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm.

D. Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas (*Independent Variable*)

Variabel bebas adalah variabel yang akan diuji pengaruhnya terhadap tingkah laku yang terjadi Dalam penelitian ini, variabel bebasnya adalah *Water Binder Ratio* (W/B).

2. Variabel Terikat (*Dependent Variable*)

Variabel terikat adalah variabel yang menjadi akibat dari variabel bebas Dalam penelitian ini, variabel terikatnya adalah kuat tekan *dry geopolymer* mortar.

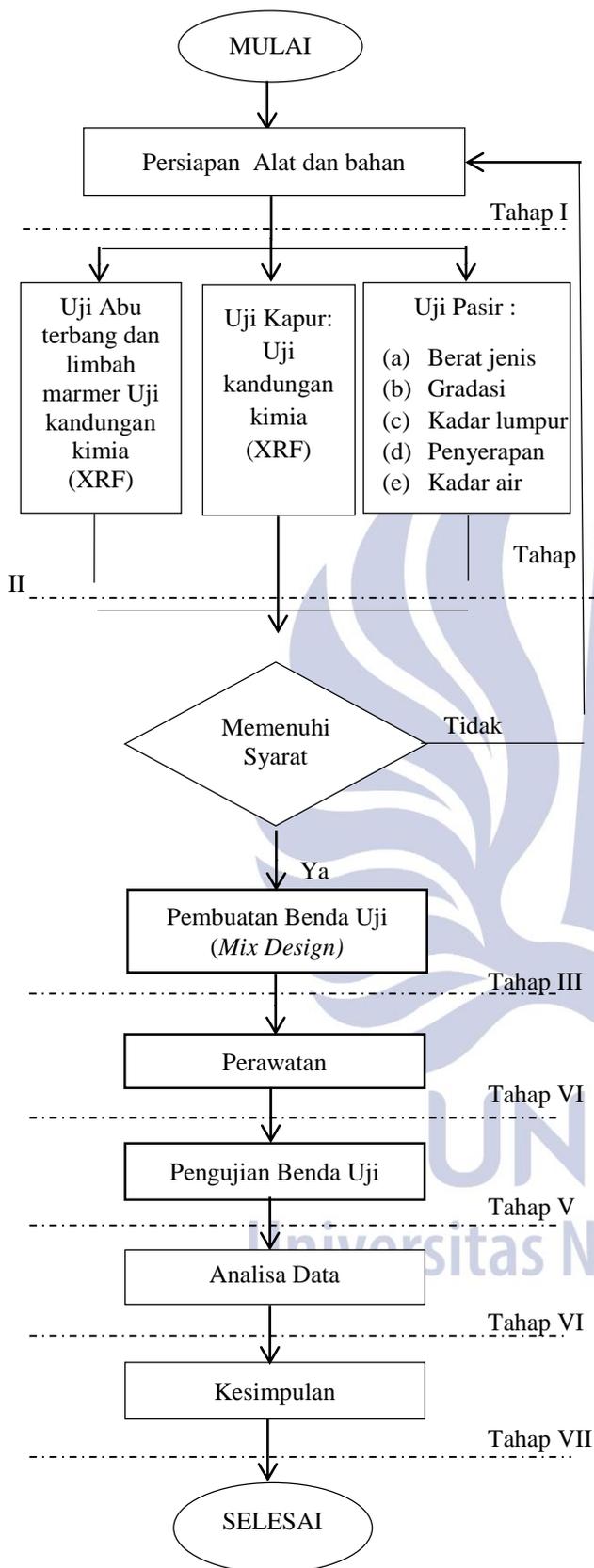
3. Variabel kontrol (*Control Variable*)

Variabel kontrol adalah variabel konstan yang digunakan untuk membandingkan variabel lain. Dalam penelitian ini, sebagai variabel kontrol antara lain:

- a. Abu terbang (*fly ash*) tipe C dari CV. Dwi Mitra Surya.
- b. Kapur yang digunakan adalah kapur yang diperoleh dari toko Galangan di Jalan Ketintang, Surabaya.
- c. Cairan *aktivator* yaitu cairan *Sodium hidroksida* (NaOH) konsentrasi 14M.
- d. Agregat halus yaitu pasir Lumajang
- e. Air yang digunakan adalah Air suling
- f. Pengujian kuat tekan mortar pada usia 7, 14, dan 28 hari.

E. Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara bertahap yang ditunjukkan pada *flowchart* rancangan penelitian sebagai berikut :



Gambar 1. Diagram Alir (Flow Chart) Penelitian

1. Tahap I (Persiapan)

Pada tahap ini merupakan tahap persiapan, dimana alat-alat (ayakan, timbangan kapasitas 10kg, *mixer*, alat uji vicat, oven, cetakan mortar, gelas ukur, tabung ukur, jangka sorong dan cawan) dan bahan-bahan (agregat halus, *fly ash* tipe C, kapur, *sodium hidroksida* (NaOH), dan Aquades) yang digunakan dipersiapkan sehingga memudahkan ketika penelitian dilaksanakan.

2. Tahap II (Pengujian Bahan)

- a) Agregat halus, meliputi : berat jenis, gradasi, kadar lumpur, penyerapan, dan kadar air.
- b) Pengujian XRF untuk material *fly ash* tipe C, kapur, limbah marmer dan bubuk aktivator kering.

3. Tahap III (Pembuatan Benda Uji)

a) Larutan Aktivator (NaOH)

NaOH yang berupa pellet dilarutkan dengan *aquades* sebanyak 1000 ml. Dalam hal ini, menggunakan NaOH dengan kepekatan 14 M, dengan perhitungan sebagai berikut :

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

$$\text{Molaritas} = \frac{\text{Mol}}{\text{Volume}} \text{ dimana Mol} = \frac{\text{gram}}{\text{Mr}}$$

Sehingga,

$$\text{Molaritas} = \frac{\text{gram}}{\text{Mr}} \times \frac{1}{\text{Volume}}$$

$$\begin{aligned} 14 \text{ Mol} &= \frac{\text{gram}}{40} \times \frac{1}{1} \\ &= 14 \times 40 \\ &= 560 \text{ gram} \end{aligned}$$

Jadi, dibutuhkan 560 gram *sodium hidroksida* (NaOH) dan 1 liter *aquades* untuk membuat 1 liter cairan *sodium hidroksida* (NaOH) 14 M.

b) Rencana *Mix Design*

Berikut ini rencana *mix design* mortar 14 M yang digunakan untuk membuat benda uji mortar yaitu

Tabel 1. Rencana *Mix Design* Mortar 14 M

Mix Design	PC	NaOH (gram)	Kapur (gram)	Limbah marmer (gram)	<i>Fly Ash</i> (gram)	Pasir (gram)	Air (gram)
MDK (Kontrol)	1	-	-	-	-	2,75	0,50
Mix1	-	0,08	0,10	-	0,820	2,75	0,40
Mix2	-	0,08	0,10	0,041	0,779	2,75	0,40
Mix3	-	0,08	0,10	0,082	0,738	2,75	0,40
Mix4	-	0,08	0,10	0,123	0,697	2,75	0,40
Mix5	-	0,08	0,10	0,164	0,656	2,75	0,40
Mix6	-	0,08	0,10	0,205	0,615	2,75	0,40

Setelah pembuatan rancangan *mix design*, perlu dilakukan perhitungan kebutuhan *mix design* dalam pembuatan *dry geopolymmer* mortar 14 M. Berikut ini merupakan perhitungan kebutuhan yang digunakan yaitu :

Tabel 2. Kebutuhan *Mix Design* Mortar 14 M

Mortar Geopolymer								
Mix	w/s	Jml Mortar	Berat (gram)					
			PC	Pasir	Fly ash	NaOH	Limbah marmar	Kapur
A	-	9	1125	3093,75	-	-	-	-
B	0,40	9	0	3093,75	922,50	90	-	112,5
C	0,40	9	0	3093,75	876,375	90	46,125	112,5
D	0,40	9	0	3093,75	830,250	90	92,250	112,5
E	0,40	9	0	3093,75	784,125	90	138,375	112,5
F	0,40	9	0	3093,75	738,000	90	184,500	112,5
G	0,40	9	0	3093,75	691,875	90	230,625	112,5

c) Pembuatan Aktivator Kering.

- 1) Menyiapkan alat dan bahan (kapur dan larutan NaOH 14M) yang digunakan.
- 2) Melakukan pemilahan kapur.
- 3) Menimbang bahan-bahan yang digunakan sesuai perhitungan yang ditentukan.
- 4) Mencampurkan kapur dan NaOH 14 M hingga membentuk pasta. Lalu, membentuk kecil-kecil pasta *aktivator* agar dalam proses pengeringan bisa kering merata.
- 5) Memasukkan pasta aktivator tersebut kedalam oven dengan suhu 110°C selama 24 jam.
- 6) Menumbuk *aktivator* kering dalam bentuk bongkahan hingga menjadi bubuk *aktivator* kering.
- 7) Mengayak bubuk aktivator kering tersebut menggunakan ayakan no. 100

d) Pembuatan Benda Uji

1) Pasta *Dry Geopolymer*.

Pada pembuatan pasta *dry geopolymer* ini bertujuan untuk dilakukan setting time. Dalam hal ini, *Portland Cement* digantikan sepenuhnya (100%) oleh bubuk *aktivator* kering, *fly ash* tipe C, dan *aquades*. Berikut ini langkah-langkah pembuatan pasta *dry geopolymer* yaitu:

- a. Menyiapkan alat dan bahan.
- b. Menimbang bahan sesuai perhitungan yang telah ditentukan.
- c. Memasukkan *fly ash* tipe C dan bubuk *aktivator* kering kedalam cawan/baskom dan mencampurkan sampai benar-benar homogen.
- d. Lalu, memasukkan *aquades* kedalam cawan dan mencampur seluruh bahan sampai benar-benar homogen.
- e. Menuangkan adonan kedalam tempat yang telah disediakan dan meratakannya.

- f. Melakukan pengujian dengan cara menjatuhkan jarum selama 30 detik, 15 menit, dan 30 menit, dan seterusnya

2) *Dry Geopolymer* Mortar.

Langkah-langkah pembuatan *dry geopolymer* mortar adalah sebagai berikut:

- a. Menyiapkan alat dan bahan (*fly ash* tipe C, bubuk aktivator kering, pasir lumajang, dan *aquades*) yang digunakan.
- b. Menimbang seluruh material yang digunakan sesuai kebutuhan *mix design* yang telah dihitung.
- c. Dalam waktu bersamaan dapat melakukan pekerjaan melapisi dengan oli pada cetakan dan mengunci cetakan mortar tersebut dengan kawat bendrat.
- d. Memasukkan *fly ash* tipe C dan bubuk *aktivator* kering kedalam *mixer*. Lalu, mencampurkan sampai homogen.
- e. Memasukkan *aquades* kedalam *mixer* dan mencampurkan sampai benar-benar homogen.
- f. Lalu, memasukkan pasir kedalam *mixer* dan mencampurkan sampai benar-benar homogen.
- g. Setelah pengadukan adonan mortar selesai. Kemudian, adonan mortar beserta tempat pengadukan dipindahkan mendekati cetakan mortar yang telah disiapkan. Ketika penuangan mortar ke cetakan, adonan mortar diaduk terus agar tidak mengeras.
- h. Adukan yang telah homogen kemudian dimasukkan ke dalam cetakan kubus berdimensi 5cm x 5cm x 5cm yang telah dilapisi oli, hal ini bertujuan agar mortar tidak melekat pada cetakan.

4. Tahap IV (Perawatan).

Benda uji yang telah dibuat, akan dilakukan perawatan yaitu dengan cara benda uji diangin-anginkan selama 24 jam disuhu ruangan. Hal ini bertujuan untuk menjaga suhu dan material benda uji agar tetap stabil.

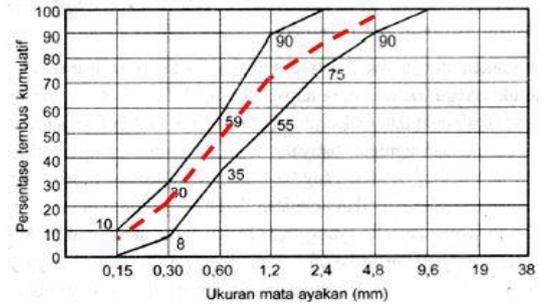
5. Tahap V (Pengujian Benda Uji).

a) Uji Vicat

Pada penelitian ini, pengujian vicat dilakukan untuk mengetahui waktu ikat awal dan akhir pada pasta *dry geopolymer* berdasarkan SNI 03-6827-2002.

b) Uji Kuat Tekan

Pada tahap ini dilakukan pengujian kuat tekan yang dilakukan oleh sampel dengan umur rencana 7, 14, dan 28 hari. Pengujian kuat tekan dilakukan di Laboratorium beton Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya dengan menggunakan alat uji tekan yaitu *Universal Testing Machine*. Setiap umur pengujian diwakili oleh 3 buah benda uji.



Gambar 2. Grafik Analisa Ayakan Pasir Zona 2

6. Tahap VI (Analisa Data).

Teknik analisa data ini, dilakukan dengan cara menelaah data yang diperoleh dari eksperimen, dimana hasilnya berupa data kuantitatif yang akan dibuat dalam bentuk tabel dan ditampilkan dalam bentuk grafis.

7. Tahap VII (Kesimpulan dan Saran).

Setelah semua data diolah maka, pada tahap ini diambil kesimpulan. Yang bertujuan untuk mengetahui dan menjawab tujuan dari peneliti ini. Selanjutnya perlu diberikan rekomendasi dan saran guna peneliti selanjutnya.

Tabel 4. Hasil Pengujian Analisa Ayakan Lapangan

Ayakan No.	Tertinggal		Komulatif	
	Gram	%	Tertinggal	Lolos
4	36	3,6	3,6	96,4
8	101	10,1	13,7	86,3
16	152	15,2	28,9	71,1
30	254	25,4	54,3	45,7
50	243	24,3	78,6	21,4
100	139	13,9	92,5	7,5
Pan	75	7,5	0	0
Jumlah	1000	100	271,6	328,4

HASIL DAN PEMBAHASAN

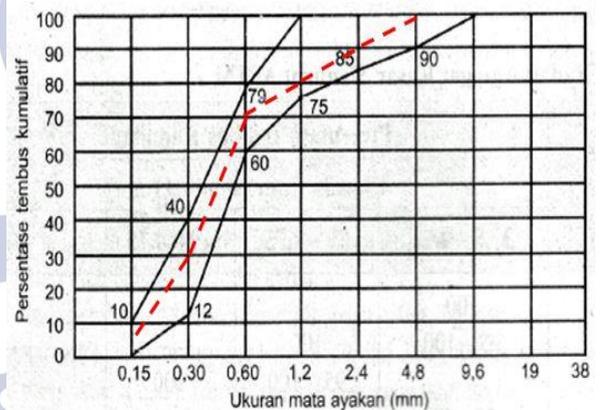
A. Hasil Pengujian Material

1. Hasil Pengujian Agregat Halus (Pasir)

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dengan menggunakan ayakan. Berikut ini

Tabel 3. Hasil Pengujian Analisa Ayakan.

Ayakan No.	Tertinggal		Komulatif	
	Gram	%	Tertinggal	Lolos
4	0 (0%)	0	0	100
8	155 (5%)	155	5	95
16	155 (5%)	310	10	90
30	309 (10%)	619	20	80
50	1547 (50%)	2166	70	30
100	773 (25%)	2939	95	5
Pan	155 (5%)	3094	100	0
Jumlah	3094			



Gambar 3. Grafik Analisa Ayakan Pasir Zona 3

a) Berat Jenis dan Penyerapan Pasir

Berikut adalah data hasil pengujian pasir Lumajang dilakukan di Laboratorium beton.

- 1) Berat pasir kering oven (A) = 246 gram
- 2) Berat pasir dalam keadaan SSD = 250 gram
- 3) Berat piknometer + air suling (B) = 338 gram
- 4) Berat piknometer + air + pasir (C) = 497 gram
- 5) Berat jenis pasir SSD

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis pasir SSD} &= \frac{250}{B + 250 - C} \\ &= \frac{250}{338 + 250 - 497} \\ &= 2.75 \text{ gram/cc} \end{aligned}$$

6) Penyerapan

$$\text{Penyerapan} = \frac{250 - A}{A} \times 100$$

$$= \frac{250 - 246}{246} \times 100\%$$

$$= 1,62\%$$

Berat jenis kering permukaan jenuh sebesar 2,75 gram/cc menunjukkan hasil yang cukup baik karena mempunyai berat jenis antara 2,0 – 3,0 gram/cc. Sedangkan untuk hasil penyerapan sebesar 1.62% merupakan hasil yang baik karena nilai penyerapan yang baik adalah dibawah 2%.

b) Pengujian Kadar Lumpur dalam Pasir

- 1) Berat pasir mula-mula (A) = 500 gram
- 2) Berat pasir bersih oven (B) = 482 gram
- 3) Kadar lumpur

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{A-B}{B} \times 100\%$$

$$= \frac{500 - 482}{482} \times 100\%$$

$$= 3,73 \% < 5\%$$

Dari hasil perhitungan data hasil pengujian diatas dapat diketahui bahwa hasil diatas dapat diketahui bahwa hasil kadar lumpur yang terkandung dalam pasir yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 3,73%. Kadar lumpur yang didapat < 5%. Hal tersebut menunjukkan bahwa pasir dalam digunakan dalam penyerapan beton.

2. Hasil Pengujian Kapur

Material kapur yang dipakai didapat dari toko bangunan jalan Ketintang, Surabaya. Material kapur diuji dengan tes XRF (*X-Ray Fluorescence*) di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju FMIPA Universitas Negeri Surabaya (UM). Berikut ini merupakan Hasil Uji XRF kapur yang disajikan pada Tabel 5 yaitu:

Tabel 5 : Hasil Uji XRF Kapur

No.	Senyawa	Presentasi (%)
1	Mg	3.3
2	Ca	94.95
3	Fe	0.32
4	Sr	0.69
5	Tm	0.54
6	Lu	0.18

3. Hasil Pengujian Limbah Marmer

Material limbah marmer yang dipakai didapat dari Cv. Gupit Indah Desa Besole Tulungagung, material marmer diuji dengan Tes XRF (*X-Ray Fluorescence*) di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju FMIPA Universitas Negeri Surabaya (UM).

Tabel 6. Hasil Uji XRF Limbah marmer

Compound	Conc (%)	Compound	Conc (%)
Ca	97.74	Na	2,1
Ti	0.04	Mg	0.1
Mn	0.02	Al	0.1
Fe	1.02	Si	0.42
Cu	0.04	Ca	97.25
Sr	0.29	Eu	0.2
Mo	0.28	Lu	0.2
Ba	0.2		

4. Hasil Pengujian Abu terbang (Fly ash)

Pengujian abu terbang dimaksudkan untuk mengetahui kandungan kimia yang terkandung didalam abu terbang tersebut. Material abu terbang (*fly ash*) yang dipakai yaitu kelas C, yang didapat dari CV. Dwi Mitra Surya, Menganti, Gresik. Material Abu terbang (*Fly ash*) diuji dengan tes XRF (*X-Ray Fluorescence*) di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju FMIPA Universitas Negeri Malang (UM). Berikut ini merupakan Hasil Uji XRF Abu terbang yang disajikan pada Tabel 6 yaitu:

Tabel 7. Hasil Uji XRF Abu terbang tipe C

Compound	Conc (%)	Compound	Conc (%)
Al	9,90	Ni	0,05
Si	23,4	Cu	0,95
Rb	0.25	Zn	0,06
K	17,0	Mo	2,3
Ca	24.00	In	0,07
Ti	1,37	Ba	0.,55
V	0.07	Eu	0,40
Cr	0.97	Yb	0,40
Mn	0.51	Hg	0,29
Fe	40,65		

5. Hasil Pengujian bubuk Aktivator Kering

Material bubuk *aktivator* kering diuji dengan Tes XRF (*X-Ray Fluorescence*) di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju FMIPA Universitas Negeri Surabaya (UM). Berikut ini merupakan Hasil Uji XRF Bubuk *Aktivator* Kering yang disajikan pada Tabel 8 yaitu:

Tabel 8. Hasil Uji XRF Bubuk *Aktivator Kering*

No.	Senyawa	Presentasi (%)
1	Ca	97.65
2	Fe	0.52
3	Cu	0.064
4	Sr	1.1
5	Yb	0.56
6	Lu	0.1

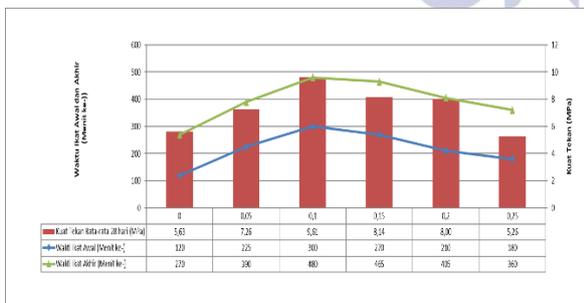
Hasil pengujian diatas menunjukkan bahwa ada peningkatan prosentase Ca yang lebih tinggi dibandingkan dengan prosentase kapur alami sebelum menjadi aktivator kering. Kandungan Ca dalam bubuk aktivator kering sebesar 97,65%.

B. Hasil Pengujian Vicat dan Hubungan vicat dengan Kuat Tekan *mortar dry Geopolymer 14M*

Berikut ini merupakan hasil pengujian waktu pengikatan awal dan akhir semen dengan *geopolymer* molaritas 14 M.

Tabel 9. Hasil Pengujian Vicat Pasta *Dry Geopolymer 14 M*

Mix Design	Kuat Tekan Rata-rata 28 hari	Waktu Ikat Awal	Waktu Ikat Akhir
	(MPa)	(Menit ke-)	(Menit ke-)
0%	5,63	120	270
5%	7,26	225	390
10%	9,61	300	480
15%	8,14	270	465
20%	8,00	210	405
25%	5,26	180	360



Gambar 4. Grafik Hasil Pengujian Vicat dengan Pasta *Dry Geopolymer 14 M*.

Dari hasil tes vicat diatas menunjukkan bahwa untuk variasi *mix design* semen sesuai dengan pasta semen beton konvensional dengan besarnya waktu ikat awal menunjukkan waktu 120 menit > 60 menit yang disyaratkan dan waktu ikat akhir < 480 menit

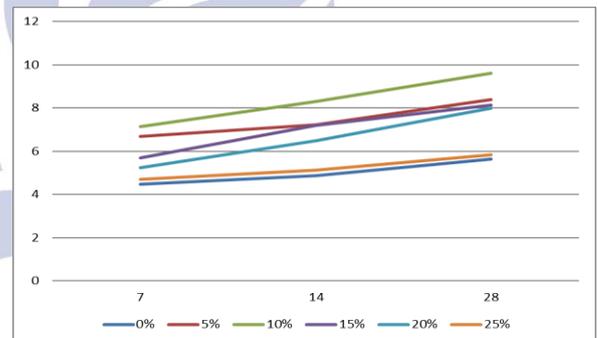
hal itu menunjukkan bahwa hasil tersebut tidak berada jauh dari kajian teori yang sekitar ikat awal minimal 60 menit dan ikat akhir maksimal 480 menit, untuk pengikatan paling cepat terjadi pada variasi limbah marmer 0% dan paling lambat pada variasi limbah marmer 10%

C. Hasil pengujian dan Hubungan Kuat Tekan Dengan Variasi Limbah marmer Usia 7, 14, dan 28 Hari

Berikut ini merupakan hasil pengujian kuat tekan rata-rata pada usia pengujian 7, 14 dan 28 hari yaitu disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil Pengujian Kuat Tekan Rata-rata

Mix Design	Kuat Tekan Rata-rata 7 hari (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata 14 hari (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata 28 hari (MPa)
0%	4,47	4,87	5,63
5%	6,68	7,22	8,38
10%	7,14	8,29	9,61
15%	5,70	7,19	8,14
20%	5,23	6,50	8,00
25%	4,69	5,10	5,80



Gambar 5. Grafik Kuat Tekan Rata-Rata pada Usia 7,14 dan 28 Hari.

Dari Tabel 10 dan Gambar 5 nilai kuat tekan rata-rata pada *dry geopolymer* mortar dengan NaOH 14 M pada usia 7, 14, dan 28 hari, menunjukkan grafik kenaikan kuat tekan setiap umurnya. Dapat diketahui bahwa nilai kuat tekan tertinggi sebesar 9,61 MPa didapat pada variasi limbah marmer 10% pada usia 28 hari. Substitusi maksimum limbah marmer terjadi pada mix desain 3, yaitu substitusi limbah marmer sebesar 10% dari *fly ash*. Peningkatan kekuatan ini terjadi karena kandungan CaO yang tinggi, yang terdapat pada limbah marmer. Hasil uji laboratorium menunjukkan kandungan CaO pada limbah marmer sebesar 97,74%. Pujiyanto, As'at dkk (2013) menjelaskan bagaimana CaO bisa meningkatkan kuat tekan pada beton *geopolymer*. CaO yang bereaksi dengan air akan menghasilkan

kapur padam atau $\text{Ca}(\text{OH})_2$ atau juga biasa disebut dengan mortar air. Mortar air akan menyerap CO_2 di udara bebas dengan proses kimia yang akan menghasilkan CaCO_3 . CaCO_3 ini lah yang memiliki sifat yang padat dan keras. Pendapat tersebut diperkuat dengan hasil dari penelitian Septia G. Pugar (2011) yang menunjukkan hasil tes kuat tekan terhadap $\text{NaOH}:\text{Na}_2\text{SiO}_3$ Beton Geopolimer dengan *fly ash* tipe C dan F pada Tabel 11 yaitu :

Tabel 11. Hasil Pengujian Kuat Tekan beton geopolimer dengan *fly ash* tipe C dan F

NaOH	NaOH : Na ₂ SiO ₃	Air/Pre kursor	Pasir/Fly Ash	Suhu Curing	Waktu Curing (Jam)	Umur Mortar (hari)	Kuat Tekan (Mpa)	
							FA tipe C	FA tipe F
8 M	1:01	0,3	2	90° C	24 + 6	7	54,87	31,42
8 M	1:02	0,3	2	90° C	24 + 6	7	72,23	61,69
8 M	1:2,5	0,3	2	90° C	24 + 6	7	63,71	62,11
8 M	1:03	0,3	2	90° C	24 + 6	7	59,3	54,44
8 M	1:3,5	0,3	2	90° C	24 + 6	7	54,66	59,44

Tabel 12. Kandungan *fly ash* tipe C dan F

Oksida	<i>Fly Ash</i> Tipe C (%)	<i>Fly Ash</i> Tipe F (%)
SiO ₂	46,39	54
Al ₂ O ₃	20,08	29,12
Fe ₂ O ₃	13,32	9,81
CaO	13,07	1,33
SO ₃	2,16	0,65
MgO	1,09	0,81
Mn ₂ O ₃	0,15	0,04
Cr ₂ O ₃	0,01	---
Na ₂ O	0,17	<0,01
K ₂ O	0,77	0,96

Hasil uji kimia dari *fly ash* tipe C dan F menunjukkan kandungan CaO pada *fly ash* tipe C lebih besar dibandingkan dengan tipe F. CaO dengan kadar terlalu besar juga akan berdampak pada menurunnya kuat tekan beton geopolimer.

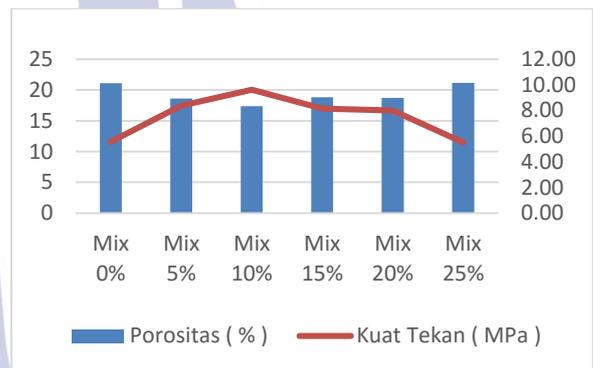
Sifat CaO yang mudah melepaskan air ketika bereaksi dengan CO_2 menjadi penyebab nilai porositas akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya persentase substitusi limbah marmer. Semakin besar substitusi limbah marmer, jumlah *fly ash* juga akan semakin berkurang, begitu juga dengan kandungan silika yang berfungsi sebagai perekat yang terkandung di dalamnya juga akan semakin sedikit

D. Hasil Pengujian dan Hubungan Porositas dengan Kuat Tekan *Dry Geopolymer* Mortar 14M.

Berikut ini merupakan hasil pengujian porositas dan hubungan porositas dengan kuat tekan rata-rata pada usia pengujian 28 hari yaitu disajikan pada Tabel 13 yaitu :

Tabel 13. Hasil Hubungan Kuat Tekan dan Porositas Rata-rata 28 Hari

Benda Uji	Porositas (%)	Kuat Tekan (MPa)
Mix 0%	21,11	5,56
Mix 5%	18,61	8,38
Mix 10%	17,38	9,61
Mix 15%	18,83	8,14
Mix 20%	18,71	8,00
Mix 25%	21,17	5,50



Gambar 6. Hasil Pengujian Hubungan Kuat Tekan Rata-rata dan Porositas

porositas berbanding terbalik terhadap kuat tekan porositas paling kecil adalah pada variasi limbah marmer 10% maka dari itu porositas dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai kuat tekan maka semakin kecil porositas disebabkan karena semakin banyak rongga pada mortar maka nilai kuat tekan kecil dan nilai porositas besar CaO dengan kadar terlalu besar juga akan berdampak pada menurunnya kuat tekan beton geopolimer. Sifat CaO yang mudah melepaskan air ketika bereaksi dengan CO_2 menjadi penyebab nilai porositas akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya persentase substitusi limbah marmer. Semakin besar substitusi limbah marmer, jumlah *fly ash* juga akan semakin berkurang, begitu juga dengan kandungan silika yang berfungsi sebagai perekat yang terkandung didalamnya semakin sedikit. Limbah marmer yang bereaksi dengan H_2O akan menggumpal dan mengeras nantinya akan mengisi pori-pori yang lebih kecil dari material lainnya sehingga beton lebih padat. Namun kepadatan maximum hanya pada substitusi

10% Limbah marmer yang memiliki karakteristik mudah menggumpal berdampak pada gradasi butirannya yang semakin buruk dimana gradasi butiran merupakan salah satu indikator yang bisa mempengaruhi porositas beton.

E. Analisis Hasil Kuat Tekan Mortar Dry Geopolymer Mortar Terhadap Penelitian Terkait Pada Skripsi Krisna Hidayat Rahman

Skripsi yang akan dianalisis yaitu penelitian yang berjudul Pengaruh *Water-binder ratio* Terhadap *Dry Geopolymer Mortar* 14 Molar oleh krisna hidayat Rahman penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *water cement ratio* (w/c) sehingga mendapatkan *water cement ratio* (w/c) yang optimum dan kuat tekan yang paling maksimum dari pembuatan mortar *dry geopolymer* rasio *fly ash* digunakan sebesar 0,84 dari volume benda uji. Rasio activator kering yaitu *sodium hidroksida* (NaOH) dan kapur 0,16 dari volume benda uji yang terdiri dari 0,06 NaOH dan kapur sebesar 0,10 dan *water cement ratio* (w/c) yang digunakan 0,25; 0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55 untuk hasil kuat tekan yang maksimum yaitu dengan *water cement ratio* (w/c) yaitu pada 0,40 dengan kuat tekan 9,03 MPa

Sedangkan yang penulis lakukan penelitian yaitu dengan mensubstitusikan limbah marmer pada *fly ash*, dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dan hasil kuat tekan yg paling optimum dengan penambahan limbah marmer 10% yaitu 9,61 MPa, sehingga terbukti dengan mensubstitusikan limbah marmer dapat menambah kuat tekan karena limbah marmer mengandung Ca yang tinggi, meskipun hasilnya tidak terlalu signifikan.

SIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Substitusi limbah marmer terhadap *fly ash* terbukti dapat menambah kuat tekan, karena adanya reaksi kimia antara Ca dan H₂O yang menghasilkan reaksi kimia CaCO₃ yang bersifat keras
2. Pada penelitian ini untuk pengaruh substitusi limbah marmer variasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% untuk kuat tekan yang paling optimum dengan variasi 10% karena memiliki kuat tekan paling tinggi yaitu 9,61 Mpa

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, M. M., et al, dkk. 2013. *Asas Geopolimer (Teori & Amali)*. Perlis: Unit Penerbitan Universiti Malaysia Perlis

American Standarts of Testing Material (ASTM). 1995. *Standart Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use Mineral Admixture Volume 04 02*. ASTM C618 (304-306).

American Standarts of Testing Material (ASTM). 1996. *Concrete and Agregats Volume 04 02*. ASTM C618 Davidovits, J (1991). *Geopolymer: Inorganic Polymeric New Materials*. Geopolymer Institut. France.

Anonim (2002). SNI 03-6414-2002. *Tentang Agregat Halus*. Badan Standarisasi Nasional SNI 03-6414-2002.

Anonim (2002). SNI 03-6827-2002 *Tentang Metode Pengujian Waktu Ikat Awal Semen Portland dengan Menggunakan Alat Vicat untuk Pekerjaan Sipil*. Badan Standarisasi Nasional.

Davidovits, J (1991). *Geopolymer. Inorganic Polymeric New Materials*. Geopolymer Institute, France.

H.A. Abdel-Gawwad. dkk. 2014. *A novel method to produce dry geopolymer cement powder*. Cairo : Ain Shams University.

Tjokrodinuljo, K. 1996. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada.

Wardhono, Arie, dkk. 2012. *Strength of Alkali Activated Slag and Fly Ash-based Geopolymer Mortar*. Japan: Japan Concrete Institute.