

PENGARUH SUBSTITUSI LIMBAH MARMER TERHADAP NILAI KUAT TEKAN DRY GEOPOLYMER MORTAR METODE WET MIXING BERBAHAN DASAR ABU TERBANG DAN NAOH 12 M

Din Dianing Kautsar Wijayanti

Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Dindiwijayanti2708@gmail.com

Arie Wardhono

Dosen Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya

ariewardhono@unesa.ac.id

Abstrak

Penggunaan semen sudah menimbulkan masalah karena adanya gas karbon dioksida yang dilepaskan ke udara saat produksi semen. Hal ini menyebabkan pemanasan global. Untuk mengurangi penggunaan semen maka dibuat agregat atau geopolimer yang ramah lingkungan

Mortar geopolimer 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 geopolimer mortar. Bubuk aktivator kering dibuat dengan mencampurkan larutan NaOH 12 M dan kapur hingga membentuk pasta. Lalu, dimasukkan dalam oven dengan suhu 1100C selama 24 jam. Setelah itu, dilakukan penumbukan hingga menjadi bubuk aktivator kering.

Tujuan dari penelitian yang dilakukan untuk mendapatkan nilai kuat tekan dari bahan-bahan substitusi pengganti semen dengan penambahan NaOH 12 M. Penelitian ini menggunakan bentuk cetakan kubus dengan ukuran 5x5x5 cm dengan variasi limbah marmer 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% uji kuat tekan yang dilakukan pada 7, 14, dan 28 hari dengan menggunakan mesin Universal Testing Mechine.

Hasil kuat tekan yang terbesar pada penelitian ini adalah 8,881 MPa pada variasi limbah marmer sebesar 15% pada 28 hari. Sedangkan hasil berat jenis volume yang paling besar adalah 2,028 g/cm³ dengan variasi limbah marmer sebesar 10%.

Kata Kunci: Dry geopolimer mortar, Limbah marmer, Fly ash tipe C, aktivator, Kuat Tekan, Berat Jenis

Abstract

The use of cement has caused problems because of the gas carbon dioxide released into the air when the production of cement. This causes global warming. To reduce its use of cement then made an aggregate or geopolimer environmentally friendly.

Mortar geopolimer is made using Fly ash type C base material without using cement. With certain compositions, Fly ash type C will become a binder after being mixed with dry activator powder, sand, and aquades then into dry geopolimer mortar. Dry activator powder is made by mixing a 12 M NaOH solution and lime to form a paste. Then, put in an oven with a temperature of 1100C for 24 hours. After that, the collision is done to a dry activator powder.

The purpose of this study is to determine the ratio and the highest standards marble waste substitution of compressive strength in the manufacture of geopolimer mortar cleaning with NaOH 12 M. The study design used is Specimens-shaped mortar with size of 5x5x5 cm³ For comparison sewage marble is 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% Testing compressive strength of the mortar is done at the age of 7, 14, and 28 days by using compressive strength test namely Universal Testing Machine.

The results showed that, the highest compressive strength value is 8,81 MPa obtained on variations of marble waste 15% at 28 days. And than the weight of the largest mortar volume is 2,028 g/cm³ on varition of marbel waste 10%.

Keywords : Dry Geopolimer Mortar, Marbel Wste, Fly ash type C, Activator, Compressive Strength , Volume Weight,

Marmer diperoleh dari alam melalui kegiatan penambangan. Hasil penambangan berupa bongkahan-bongkahan batu. Marmer memiliki unsur kimia utama

yaitu Silikon Dioksida/Silikat (SiO₂), Kalsium Oksida (CaO) dan magnesium Oksida (MgO). Kandungan kimia yang dimiliki marmer ini sebagian ada juga di semen. Selain unsur kimia tersebut marmer memiliki keunggulan yaitu kuat tekan yang cukup tinggi, diharapkan setelah menjadi serbuk kekuatan tekan butirannya tetap tinggi.

Dalam perkembangannya, beton semakin banyak digunakan sebagai bahan kontruksi dengan kebutuhan

PENDAHULUAN

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 40,00% dari produk akhir industri marmer (Shirule, dkk., 2012).

mutu yang tinggi. Pada proyek konstruksi beton terdiri dari agregat kasar (batu pecah atau krikil), agregat halus (pasir), air, dan portland semen yang dalam produksinya banyak mengandung gas CO₂.

Para pakar teknologi beton mulai melakukan riset pembuatan beton geopolimer. Geopolimer dapat didefinisikan sebagai material yang dihasilkan dari geosintesis aluminosilikat polimerik dan alkali-silikat yang menghasilkan kerangka polimer SiO₄ dan AlO₄ yang terikat secara tetrahedral (Davidovits dalam Septia, 2011). Dalam pembuatan beton geopolimer dapat memanfaatkan material alami. Bahan tersebut tidak dapat mengikat jadi perlu ditambah air dan bahan kimia lain yang dapat mengikat yaitu natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat Na₂SiO₃. Oksida silika pada bahan tersebut akan bereaksi secara kimia dan membentuk ikatan polimer.

Akhir-akhir ini beton yang kita kenal makin sering mendapatkan kritik, khususnya dari kalangan yang peduli dengan kelestarian lingkungan hidup. Hal pertama yang sering dijadikan sasaran perhatian adalah emisi gas rumah kaca (karbon dioksida) yang dihasilkan pada proses produksi semen. Gas ini dilepaskan ke atmosfer kita dengan bebas dan kemudian merusakkan lingkungan hidup kita, diantaranya menyebabkan pemanasan global.

Beton geopolimer merupakan beton yang menggunakan campuran seperti abu terbang (fly ash) yang banyak mengandung silika sebagai pengganti semen. Beton Geopolimer ini terbentuk dari reaksi kimia dan bukan dari reaksi hidrasi seperti pada beton biasa (Davidovits, 1999). Oleh karena itu, jenis aktivatornya harus sesuai dengan senyawa yang terkandung dalam fly ash dan juga komposisinya harus tepat sehingga bisa terjadi reaksi kimia. Aktivator yang umumnya digunakan adalah Sodium Hidroksida 8M sampai 14M dan Sodium Silikat (Na₂SiO₃) dengan perbandingan antara 0.4 sampai 2.5 (Hardjito, 2005).

Beton geopolimer ini adalah beton yang 100% tidak menggunakan semen. Karena itu digunakan material mengandung banyak oksida silika dan alumina yang diaktifkan dengan suatu larutan aktifator. Untuk menggantikan semen sebagai perekat agregat kasar maupun halus maka digunakan fly ash. Fly ash adalah limbah yang berasal dari abu pembakaran batu bara. Proses polimerisasi yang terjadi di dalam beton geopolimer meliputi reaksi kimia yang terjadi antara alkalin dengan mineral Si – Al sehingga menghasilkan rantai polimerik tiga – dimensi dan ikatan struktur Si – O – Al – O yang konsisten (Davidovits, 1999). Davidovits (1978) menyarankan penggunaan istilah 'poly (sialate)' sebagai nama kimia dari beton geopolimer yang berbahan dasar siliko-aluminate. Sialate adalah singkatan dari silicon-oxoaluminate.

Marmer yang biasanya digunakan sebagai salah satu penunjang dalam pembuatan furniture dan kerajinan, ternyata menghasilkan limbah tidak terpakai dalam pengelolaannya. Limbah marmer yang dihasilkan berbentuk serbuk, bongkahan, dan ada juga yang berbentuk cairan, dimana dalam proses pengelolaan marmer dengan cara batu marmer dipotong, dibelah dan dihaluskan. Marmer (CaCl) merupakan batuan metamorfosa dari batuan gamping atau dolomit (CaCO₃). Pengaruh suhu dan tekanan yang dihasilkan oleh gaya endogen menyebabkan terjadinya rekristalisasi pada batuan tersebut membentuk berbagai

foliasi maupun non foliasi (Istiqomah dan Kurnia Santi, 2013).

The Wet Mixing Methode adalah dimana alkali aktivator yang digunakan disajikan hanya dalam bentuk larutan. NaOH (Natrium Hidroksida) dilarutkan sesuai dengan konsentrasi molar yang diinginkan oleh Na₂SiO₃ (Natrium silika) disajikan dalam bentuk cair, atau disebut *water glass* (Ridho et al, 2017). Metode ini sulit diterapkan di lapangan karena pembuatannya hanya pihak-pihak tertentu yang paham dengan cara pembuatannya. Wet mixing adalah bahan kimia alkali aktivator yang disajikan dalam bentuk larutan. Padatan sodium hidroksida (NaOH) dilarutkan sesuai dengan konsentrasi molar yang diinginkan dan sodium silika (Na₂SiO₃) berwujud larutan atau yang biasa disebut *water glass*. Larutan tersebut kemudian dicampur dengan bahan pozzolon yang sudah disiapkan dalam wadah tersendiri sebelumnya (Abdullah et al., 2013).

Larutan yang biasa digunakan adalah campuran dari sodium hidroksida dan alkali aktivator lainnya. Alkali aktivator lain yang sering digunakan adalah senyawa yang kaya akan kandungan silika, seperti sodium atau potassium silikat. Kandungan yang terdapat dalam senyawa alkali juga memberi dampak yang signifikan terhadap kekuatan dari beton geopolimer. Salah satu yang perlu diperhatikan adalah molaritas dari senyawa yang digunakan. Semakin tinggi molartias NaOH, terlihat bahwa kuat tekan beton geopolimer semakin meningkat (Arioz, Arioz, & Kockar, 2012). Selain perbandingan molaritas, perbandingan massa antara NaOH dan Sodium Silikat juga memberi pengaruh terhadap kuat tekan beton geopolimer. Lama proses curing juga berpengaruh terhadap kuat tekan beton (Hardjito, Wallah, Sumajouw, & Rangan, 2004).

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

1. Bagaimana pengaruh sub limbah marmer dan penambahan *fly ash* terhadap kuat tekan pada pembuatan dry geopolymer mortar?
2. Bagaimana hasil penambahan NaOH 12M 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 pengaruh sub limbah marmer dan penambahan NaOH terhadap kuat tekan pada pembuatan dry geopolymer mortar.
2. Untuk mengetahui nilai standart optimum komposisi penambahan NaOH 12M terhadap kuat tekan pada pembuatan dry geopolymer mortar.

Penelitian ini dibatasi oleh beberapa hal, sebagai berikut:

1. Menggunakan abu terbang (*fly ash*) kelas C.
2. Cairan activator yaitu cairan Sodium Hidroksida (NaOH) konstrasi 12M
3. Untuk perbandingan variasi limbah marmer sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%
4. Limbah marmer yang digunakan dari limbah tambang marmer Tulungagung.
5. NaOH yang digunakan berbentuk padat.
6. Agregat halus yang dipakai yaitu pasir.
7. Air yang digunakan adalah air suling.
8. Benda uji yang digunakan berbentuk mortar dengan ukuran 5cm x 5cm x 5cm

9. Pemeriksaan kuat tekan dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari

KAJIAN PUSTAKA

Mortar *geopolymer* adalah mortar dengan bahan pengikat menggunakan material alami. Material alami yang digunakan adalah material yang memiliki kandungan oksida silika dan alumina tinggi.

Adapun penyusun *dry geopolymer* mortar sebagai berikut:

1. Abu Terbang (Fly Ash)

Fly ash merupakan material halus, berbentuk seperti bubuk dan biasanya memiliki kandungan silika yang banyak. *Fly ash* merupakan material yang bersifat pozzolan, sifat ini membuat *fly ash* bisa bereaksi dengan senyawa alkali dan bisa digunakan untuk pengganti semen dalam proses pembuatan beton.

2. Larutan Alkali

Adapun jenis aktivator yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu Natrium Silikat dan Natrium Hidroksida. Natrium hidroksida dalam bentuk serbuk terlebih dahulu harus dilarutkan dengan air 12 M.

3. Limbah Marmer

Limbah marmer adalah limbah yang dihasilkan dari proses pengolahan batu marmer menjadi furniture atau kerajinan lain. Pada proses pengolahannya batu marmur di potong, dibelah, dan dihaluskan, pada proses ini lah dihasilkan limbah marmer dengan bentuk yang berbeda-beda (Serbuk, bongkahan, dan ada juga yang berbentuk cairan).

4. Air

Air merupakan salah satu bahan dasar dalam pembuatan beton yang memiliki harga paling murah diantara bahan yang lain. Penggunaan air yang terlalu banyak mengakibatkan penurunan kuat tekan beton. Hal ini disebabkan karena pada saat beton sudah kering ruang yang diisi oleh air akan membentuk pori sehingga beton menjadi berpori dan berdampak pada kuat tekan beton.

5. Agregat Halus (Pasir)

Menurut Tjokrodilimo (1996), agregat halus adalah agregat yang berbutir kecil (antara 0,15 mm dan 5 mm). Agregat halus sering disebut dengan pasir, baik berupa pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai atau tanah galian maupun hasil pemecahan batu. Pada umumnya yang dimaksudkan dengan agregat halus adalah agregat dengan besar butir kurang dari 4,75 mm

6. Serbuk Kapur

Serbuk kapur dikenal sebagai bahan ikat, dalam

pembuatan mortar. Sifat-sifat serbuk kapur sebagai bahan bangunan (bahan ikat) yaitu:

- a. Mempunyai sifat plastis yang baik (tidak getas)
- b. Sebagai mortar, member kekuatan pada tembok.
- c. Dapat mengeras dengan cepat dan mudah.
- d. Mudah dikerjakan.
- e. Mempunyai ikatan yang bagus dengan batu atau bata.

Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Secara matematis kuat tekan beton dinyatakan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

σ = Kuat Tekan Beton (MPa)

P = Beban Maksimum (N)

A = Luas Penampang (mm²)

Pengujian kuat tekan mortar dilakukan untuk mengetahui kuat tekan hancur dari benda uji tersebut. Benda uji yang dipakai adalah silinder dengan ukuran 15 x 15 cm. pengujian kuat tekan mortar dilakukan saat mortar berumur 7, 14, 21 dan 28 hari. Jumlah mortar yang diuji yaitu terdiri dari 3 buah sampel untuk masing - masing campuran.

Uji Vicat

Pada penelitian ini pengujian vicat dilakukan untuk mengetahui waktu ikat awal pada *dry geopolymer*. Standart proses pengujian waktu ikat mengacu pada SNI 03-6827-2002. Waktu ikat awal adalah waktu yang diperlukan oleh pasta semen untuk mengubah sifatnya dari kondisi cair menjadi padat, biasanya ditandai dengan penurunan penetrasi jarum vicat sedalam 25 mm. sedangkan waktu ikat akhir adalah waktu dimana penetrasi jarum vicat tidak terlihat secara visual atau bacaan jarum masih menunjukkan angka 50 mm.

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penelitian yang dilakukan adalah uji eksperimental, di mana kondisi dibuat dan diatur oleh peneliti dengan mengacu pada peraturan SNI (Standar Nasional Indonesia) serta literatur yang berkaitan. Penelitian eksperimental merupakan kumpulan penelitian yang berasal dari berbagai sumber yang ada melalui jurnal ilmiah kemudian dilakukan pengembangan dengan merancang komposisi mortar *geopolymer* berbahan dasar abu

terbang dan marmer dengan menambahkan bahan pengikat berupa kapur dan larutan aktivator *sodium hidroksida* (NaOH).

B. Lokasi dan Waktu Penelitian

1. Lokasi Penelitian:

Lokasi penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya

2. Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan kurang lebih selama 5 bulan

C. Populasi dan Sampel

1. Populasi

Untuk populasi dalam penelitian ini adalah data hasil pengujian kuat tekan mortar *geopolymer* kubus berbahan dasar abu terbang (*fly ash*), kapur, limbah marmer, NaOH 12M.

2. Sempel

Pengujian mortar dengan sampel benda uji berukuran 5cmx5cmx50cm berjumlah 72 buah.

D. Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas

Variabel bebas yang dipakai pada penelitian ini adalah komposisi penggunaan limbah marmer dengan presentase sebesar 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% serta presentase penambahan kapur dengan NaOH 12M pada beton *geopolymer* dan pemakaian *fly ash* dengan komposisi yang bervariasi disesuaikan dengan jumlah penggunaan limbah marmer yang sesuai dengan presentase yang sudah direncanakan.

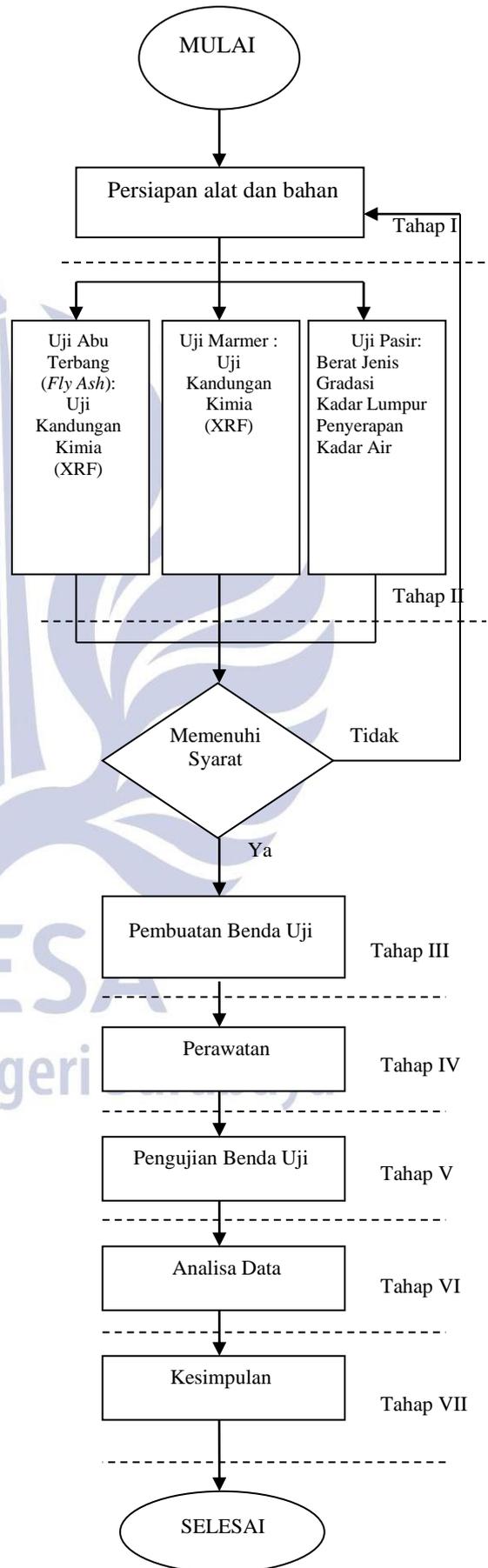
2. Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah pengaruh kuat tekan pada *drygeopolymer* mortar. Selain itu juga adanya pengaruh terhadap resapan dan berat jenis *drygeopolymer* mortar. Dengan adanya pengaruh dari variabel bebas dari presentase penambahan limbah marmer.

3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol yang digunakan adalah abu terbang (*fly ash*), limbah marmer dan pengujian beton pada usia 7, 14 dan 28 hari. Pengaruh molaritas NaOH 12 Molar yang ditambahkan pada kapur. Selain itu variabel kontrolnya antara lain *fly ash*, limbah marmer dan pasir. Uji XRF dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia yang terkandung dalam abu terbang sehingga abu terbang tersebut dapat diklasifikasikan ke dalam kategori kelas yang sesuai jenisnya.

E. Prosedur Penelitian



Gambar 1 Diagram alur (flow chat) penelitian

1. Tahap I (Persiapan)

Pada tahapan ini merupakan tahap persiapan alat da baha yag akan diguaka dalam proses peelitain. Alat-alat yang dibutuhkan (Timbangan, Cawan, Ayakan pasir, Mixer, Saringan, Cetok, Cetakan Mortar, Gelas Ukur, Pembersih Ayakan, Spatula Plastik, Keranjang plastik, Corong plastik, Tumbukan, Oven, Plastik Wrap, Sarung tangan, Masker, Penggaris ukur, dan Alat tulis). Sedangkan bahan-bahan yang digunakan (*Fly ash* tipe C, Kapur, Limbah marmer, Pasir, NaOH, Aquades)

2. Tahap II (Pengujian Bahan)

- a. Agregat Halus (Pasir) : Berat jenis, Gradasi, Kadar lumpur, Penyerapan, dan Kadar air
- b. Pengujian XRF untuk material *Fly ash* tipe C dan limbah marmer

3. Tahap III (Pembuatan Benda Uji)

a) Larutan Aktivator (NaOH)

Menyiapkan bahan penyusun larutan yaitu aktivator (NaOH) dalam bentuk serpihan dan air suling.. Menimbang bahan tersebut sesuai rancangan yang telah direncanakan. Pembuatan Sodium Hidroksida (NaOH) kedalam air dan diaduk selama 3 menit. Dalam pengujian ini digunakan NaOH 12 Molar.

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

$$\begin{aligned} \text{Molar} &= (\text{Massa NaOH})/\text{Mr} \\ \text{Molar} &= (\text{Massa NaOH})/(\text{Ar Na}+\text{Ar O}+\text{Ar H}) \\ 12 \text{ M} &= (\text{Massa NaOH})/(23+16+1) \\ 12 \text{ M} &= (\text{Massa NaOH})/40 \\ \text{Massa NaOH} &= 12 \text{ m} \times 40 = 480 \text{ gram} \end{aligned}$$

Maka, dalam pembuatan 1liter larutan NaOH dengan molaritas 12 molar membutuhkan larutan NaOH 480 gram/liter

b) Rencana Benda Uji

Berikut ini merupakan rencana *mix design* Mortar *Dry Geopolymer* 12 M:

Tabel 1. Rencana Benda Uji

Kode Benda Uji	Proporsi Campuran	Jumlah Benda Uji			
		7 hari	14 hari	28 Hari	Porositas
CT	OPC	3	3	3	3
BU 0%	LM 0% + 100% FA	3	3	3	3
BU 5%	LM 5% + 95% FA	3	3	3	3
BU 10%	LM 10% + 90% FA	3	3	3	3
BU 15%	LM 15% + 85% FA	3	3	3	3
BU 20%	LM 20% + 80% FA	3	3	3	3
BU 25%	LM 25% + 75% FA	3	3	3	3
Jumlah		21	21	21	21
Total		84			

Keterangan:

OPC = Ordinary Portland Cement

LM = Limbah Marmer

FA = *Fly ash*

BU = Benda Uji

c) Pembuatan Aktivator Kering

1. Menyiapkan bahan penyusun aktivator kering yaitu larutan NaOH 12 molar dan kapur
2. Menimbang bahan tersebut sesuai dengan rancangan yang telah direncanakan.
3. Mencampur larutan NaOH dengan kapur sesuai mix desain yang telah ditentukan hingga menjadi pasta, kemudian di oven selama 24 jam dengan suhu 1100C.
4. Setelah 24 jam lalu ditumbuk hingga halus.
5. Setelah di tumbuk lalu di ayak hingga halus seperti semen.
6. Menimbang aktivator kering yang sudah halus sesuai dengan mix desain yang direncanakan. Aktivator kering yang telah menjadi bubuk perlu dilakukan pengujian XRF dan dilakukan uji mengetahui kandungannya dengan uji XRD.

d) Pembuatan Benda Uji

Dibuat benda uji mortar dry geopolymer berbentuk kubus dengan ukuran 5cmx5cmx5cm. Terdiri dari 6 variasi yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% setiap variasi terdiri dari 12 buah motar. Berikut ini langkah-langkah dalam pembuatan benda uji mortar adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan terlebih dahulu pasir. Pasir yang digunakan harus dalam keadaan kering permukaan. Jika pasir dalam kondisi basah, maka pasir dijemur terlebih dahulu.
2. Setelah dipastikan pasir benar-benar dalam kondisi kering, langkah selanjutnya yaitu mengayak pasir dengan alat ayakan pasir.
3. Kemudian memisahkan pasir yang telah diayak sesuai dengan nomor ayakan dimana pasir tersebut tertinggal ke dalam karung plastik yang sudah dipersiapkan.
4. Membuat pasta perekat yaitu mencampurkan antara larutan NaOH 12M dengan kapur. Kapur yang dalam keadaan serbuk diayak hingga menjadi halus. Setelah diayak, kemudian kapur dicampurkan dengan larutan NaOH sesuai dengan takaran yang sudah ditetapkan. Dalam proses pencampuran tersebut, dibuat seperti gumpalan. Setelah menggumpal semua, kemudian dimasukkan kedalam oven selama 24 jam. Setelah 24 jam didalam oven, kemudian gumpalan tersebut ditumbuk hingga menjadi serbuk.
5. Menimbang bahan material yang akan digunakan sesuai dengan mix design yang telah dibuat. Setelah ditimbang, kemudian bahan tersebut dimasukkan kedalam wadah tersendiri.
6. Mempersiapkan alat mixer terlebih dahulu. Kemudian Fly ash dan aktivator yang sudah dihaluskan dimasukkan kedalam wadah pengaduk mixer. Campuran tersebut diaduk

- dengan perlahan menggunakan alat pengaduk. Selanjutnya alat pengaduk mixer dinyalakan.
7. Air suling dimasukkan dengan perlahan-lahan. Alat mixer tersebut diatur kecepatannya dengan lama pengadukan sekitar kurang lebih 3 menit.
 8. Pasir yang sudah ditimbang terlebih dahulu sesuai dengan kebutuhan yang telah direncanakan pada mix design tersebut dimasukkan kedalam wadah alat pengaduk mixer. Kecepatan dan lama pengadukan diatur kembali menjadi kurang lebih 2 menit.
 9. Setelah mortar tercampur dengan rata, kemudian mortar dituangkan kedalam cetakan binder (molding) yang telah dilapisi dengan oli sebelumnya.
 10. Mortar dirojak sesuai dengan aturan yang telah ditetapkan.
 11. Mortar didiamkan didalam suhu ruang selama 24 jam setelah penuangan.
 12. Setelah 24 jam, mortar dilepas dari cetakan binder (molding) untuk selanjutnya ditaruh kedalam wadah yang telah dipersiapkan sebelumnya.
4. Tahap IV (Perawatan)

Pada tahap perawatan /curing dri geopolimer ini dilakukan dengan cara diletakkan didalam ruangan dan diangin-anginkan dalam waktu 28 hari. Tujuan dari perawatan/curing ini yaitu untuk menjaga kondisi suhu pada mortar agar tetap stabil dan menghindari keretakan benda uji akibat suhu yang panas.
 5. Tahap V (Pengujian Benda Uji)
 1. Uji Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan memakai mesin Universal Testing Machine. Pengujian ini dilakukan pada umur 7, 14, 28 hari.
 2. Uji Vicat

Pengujian vicat untuk mengetahui waktu pengikatan awal akhir dari pasta geopolymer. Waktu pengikatan awal merupakan jangka waktu dari mulainya pengkuran pasta pada konsistensi normal sampai pasta kehilangan sebagian sifat plastis (menjadi beku). Waktu pengikatan akhir merupakan jarum vicat sudah tidak dapat menembus pasta lagi
 6. Tahap VI (Analisa Data)

Metode analisis data yang digunakan adalah dengan analisa kuantitatif dengan jenis analasia kuantitatif statistika inferensial bertujuan untuk penarikan kesimpulan dan membuat keputusan berdasarkan analisis yang telah dilakukan untuk mencari hubungan atau pengaruh antara dua buah variabel atau lebih.
 7. Tahap VIII (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.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Material

1. Hasil Pengujian Agregat Halus (Pasir)

1.1. Pengujian Berat Jenis

Berat jenis pasir terdiri dari 3 yaitu berat jenis curah, berat jenis curah kering (jenuh kering permukaan)/SSD, dan berat jenis semu. Percobaan berat jenis pasir dilakukan berdasarkan SNI 1970:2008. Berikut ini merupakan hasil analisa yang telah ditentukan:

Data Percobaan:

Berat picnometer kosong = 114 gram

Berat pasir dalam keadaan SSD = 250 gram

Berat picnometer + air (B) = 613 gram

Berat picnometer + air + pasir (C) = 919 gram

Pasir kering oven (A) = 480 gram

Hasil percobaan:

Berat jenis pasir SSD = $500/(500+B-C)$

$$= 500/(500+613-919)$$

$$= 2,58 \text{ gram/cc}$$

Berat jenis pasir kering oven = $A/(500+B-C)$

$$= 480/(500+613-919)$$

$$= 2,51 \text{ gram/cc}$$

1.2. Pengujian Penyerapan air pasir

Berdasarkan SNI 1970:2008, penyerapan air pasir dinyatakan dalam persen. Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, diperoleh data sebagai berikut:

Data percobaan :

Berat pasir kondisi lapangan asli (A) = 250gram

Berat pasir kering oven (B) = 245 gram

Hasil percobaan

Penyerapan = $(A-B)/B \times 100\%$

$$= (250-245)/245 \times 100\%$$

$$= 1,799\%$$

1.3. Pengujian Kadar Lumpur Dalam Pasir

Data percobaan:

Berat pasir mula-mula (A) = 500 gram

Berat pasir bersih oven (B) = 486 gram

Hasil percobaan:

Persentase kadar lumpur = $(A-B)/B \times 100\%$

$$= (500-486)/486 \times 100\%$$

$$= 2,88\%$$

Spesifikasi:

Kadar lumpur yang dikandung oleh pasir maksimum adalah 5% sesuai dengan yang diisyaratkan dalam PBI 1971 pasal 3.3 ayat 3. Berdasarkan syarat tersebut, pasir yang digunakan dapat dikategorikan baik karena memiliki kadar lumpur di bawah 5%.

1.4. Pengujian Analisa Ayakan Pasir

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan gradasi agregat halus dengan menggunakan ayakan.

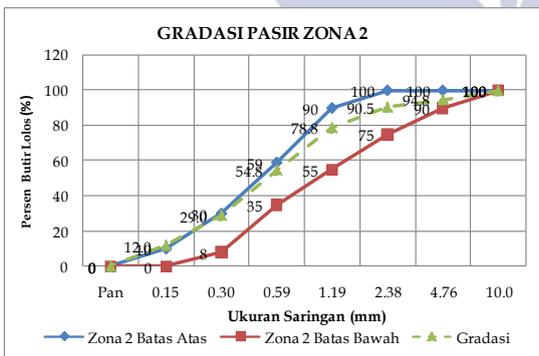
Berikut ini merupakan hasil analisa yang didapat pada pengujian yang telah dilakukan:

Tabel 2. Hasil Pengujian Analisa Ayakan

Lubang Ayakan		Tertinggal		Kumulatif	
No	Mm	Gram	%	Tertinggal (%)	Lolos (%)
4	4,76	52	5,2	5,2	94,8
8	2,38	43	4,3	9,5	90,5
16	1,19	117	11,7	21,2	78,8
30	0,59	240	24,0	45,2	54,8
50	0,30	258	25,8	71	29
100	0,15	170	17,0	88	12
200	0,075	87	8,7	96,7	3,3
Pan	0,00	33	3,3	100	0
Jumlah		1000	100		

Tabel 3. Batas Gradasi Ayakan Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Persen Berat Butir Yang Lewat Ayakan			
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
10	100	100	100	100
4,76	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100
2,38	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100
1,19	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
0,59	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100
0,30	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50
0,15	0 - 100	0 - 10	0 - 10	0 - 10



Gambar 2. Grafik Analisa Gradasi pasir

2. Hasil Pengujian Abu Terbang (Fly Ash)

Fly ash yang digunakan dalam penelitian inididapatkan dari CV. Karunia Berkat Tunggal yang berlokasi di Simo Kwagean Kuburan nomor 10-12, Surabaya. Fly ash ini memiliki tekstur halus dan berwarna coklat muda. Kandungan kimia yang terkandung dalam fly ash diuji di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju FMIPA Universitas Negeri Malang, Malang melalui tes XRF (X-Ray Fluorescence). Hasil dari tes XRF disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 4. Hasil XRF Fly Ashtipe C

NO	KOMPONEN	KANDUNGAN	KOMPONEN	KANDUNGAN
1	Ca	17,00%	Si	23,4%
2	Ti	1,37%	K	3,19%
3	Mn	0,51%	V	0,076%
4	Fe	40,65%	Cr	0,097%
5	Cu	0,095%	Ni	0,05%
6	Sr	0,65%	Zn	0,08%
7	Mo	2,3%	Rb	0,25%
8	Ba	0,55%	Yb	0,04%
9	Eu	0,4%	Re	0,06%
10	Al	8,9%	Hg	0,29%

3. Hasil Pengujian Limbah Marmer

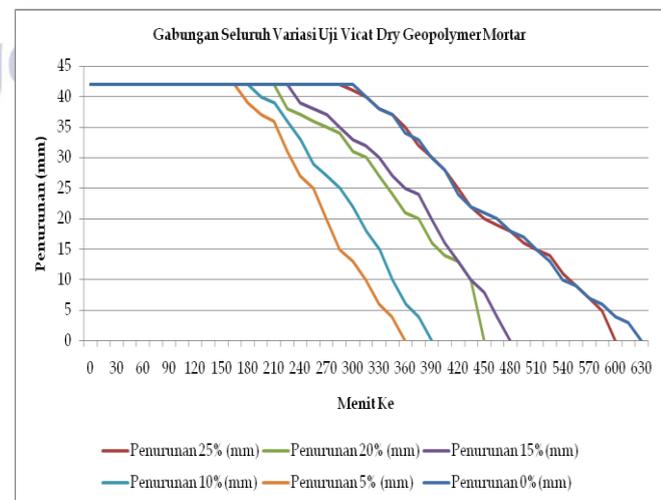
Pengujian dilakukan di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju FMIPA Universitas Negeri Malang, Malang. Hasil dari tes XRF disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 5. Hasil XRF Limbah Marmer

NO	KOMPONEN	KANDUNGAN
1	Ca	97,74%
2	Ti	0,04%
3	Mn	0,02%
4	Fe	1,02%
5	Cu	0,040%
6	Sr	0,29%
7	Mo	0,28%
8	Ba	0,2%
9	Eu	0,2%
10	Lu	0,20%

B. Hasil Pengujian Vicat Pasta Dry Geopolymer

Dari seluruh data uji vicat yang telah dilakukan maka seluruh data digabungkan untuk dijadikan grafik gabungan yang berisikan uji vicat 6 variasi yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%. Berikut merupakan grafik gabungan tersebut:



Gambar 3. Grafik variasi vicat pasta dry geopolymer 12 M

Berdasarkan gambar 4.25, hasil grafik uji vicat yang paling cepat dalam waktu pengikatannya adalah benda uji dengan variasi 5% dengan waktu yang dibutuhkan sekitar 2 jam 45 menit dan waktu pengikat paling lama terjadi pada variasi 0% dengan waktu yang dibutuhkan sekitar 5 jam 15 menit. Dari semua uji vicat yang dilakukan setiap variasi rata-rata membutuhkan waktu yang cukup lama untuk saling mengikat.

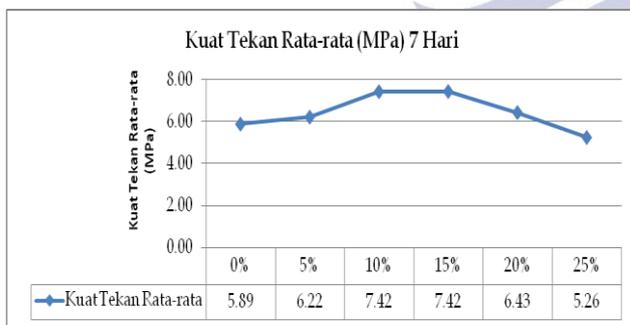
C. Hasil Pengujian Berat Volume Rata-rata, Kuat Tekan Rata-rata dan Usia Pengujian yakni 7, 14, dan 28 Hari.

a) Hasil Pengujian Kuat Tekan dan Berat Volume Pada Usia 7 Hari

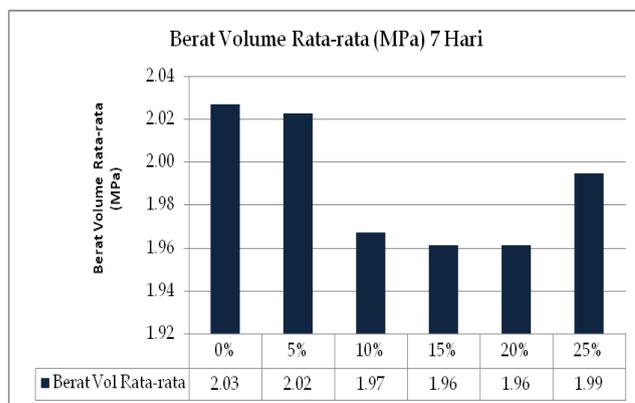
Berikut ini merupakan hasil pengujian berat volume dan kuat tekan rata-rata pada usia pengujian 7 hari yaitu disajikan pada tabel 6:

Tabel 6. Kuat Tekan dan Berat Volume Umur 7 Hari

Mix Design	Umur (Hari)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)	Berat Vol Rata-rata (Gram/cm ³)
0%	7	5.89	2.03
5%	7	6.22	2.02
10%	7	7.42	1.97
15%	7	7.42	1.96
20%	7	6.43	1.96
25%	7	5.26	1.99



Gambar 4. Kuat tekan rata-rata 7 Hari



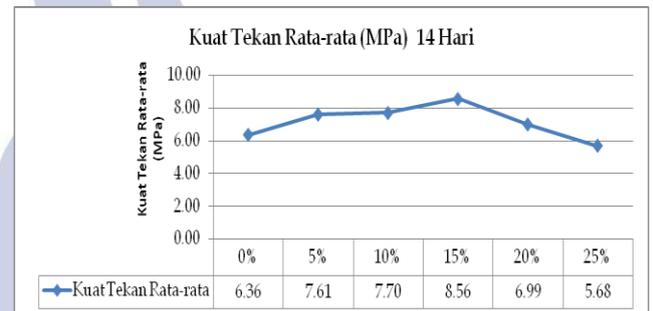
Gambar 5. Berat Volume rata-rata 7 Hari

b) Hasil Pengujian Kuat Tekan dan Berat Volume Pada Usia 14 Hari

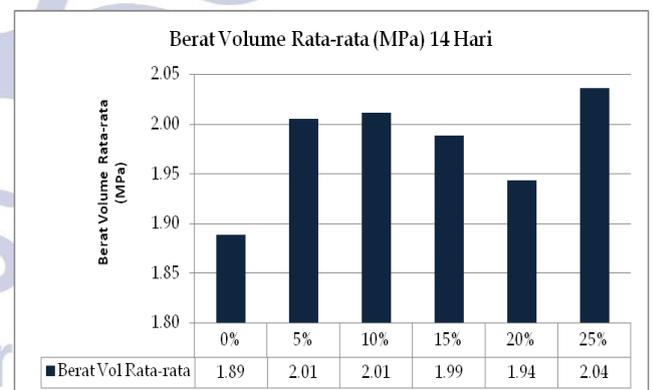
Berikut ini merupakan hasil pengujian berat volume dan kuat tekan rata-rata pada usia pengujian 14 hari yaitu disajikan pada tabel 7:

Tabel 7 Tekan dan Berat Volume Umur 14

Mix Design	Umur (Hari)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)	Berat Vol Rata-rata (Gram/cm ³)
0%	14	6.36	1.89
5%	14	7.61	2.01
10%	14	7.70	2.01
15%	14	8.56	1.99
20%	14	6.99	1.94
25%	14	5.68	2.04



Gambar 6. Kuat tekan rata-rata 14 Hari



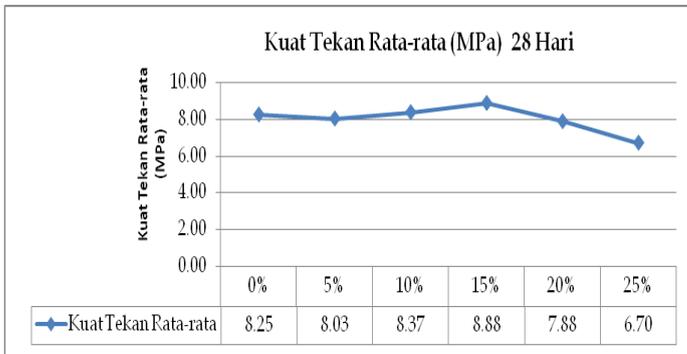
Gambar 7. Berat Volume rata-rata 14 Hari

c) Hasil Pengujian Kuat Tekan dan Berat Volume Pada Usia 28 Hari

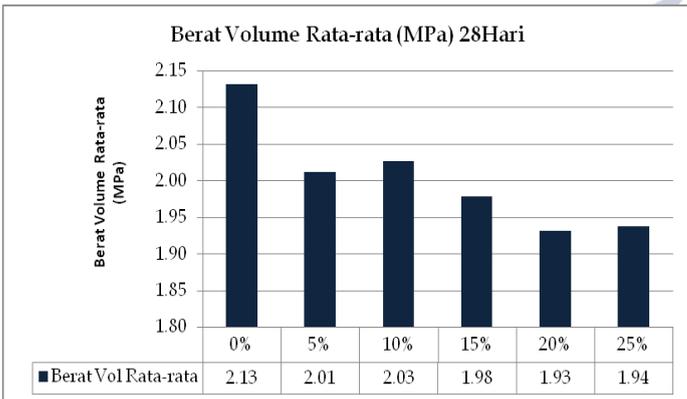
Berikut ini merupakan hasil pengujian berat volume dan kuat tekan rata-rata pada usia pengujian 28 hari yaitu disajikan pada tabel 8:

Tabel 8 Tekan dan Berat Volume Umur 28

Mix Design	Umur (Hari)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)	Berat Vol Rata-rata (Gram/cm ³)
0%	28	8.25	2.13
5%	28	8.03	2.01
10%	28	8.37	2.03
15%	28	8.88	1.98
20%	28	7.88	1.93
25%	28	6.70	1.94



Gambar 8. Kuat tekan rata-rata 28 Hari

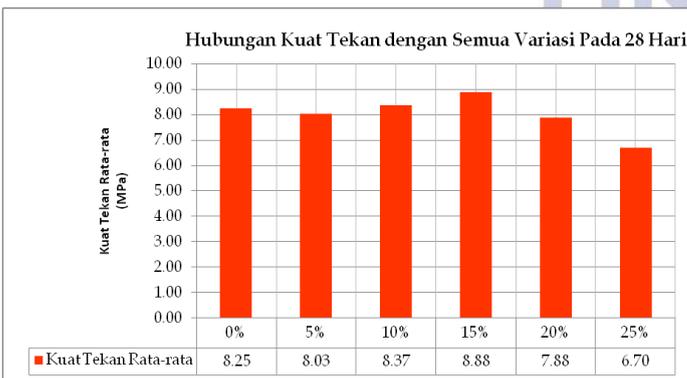


Gambar 9. Berat Volume rata-rata 28 Hari

D. Pembahasan

1. Hubungan kuat tekan dengan variasi limbah marmer pada umur 28 Hari

Hubungan kuat tekan dengan variasi limbah marmer 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% pada umur 28 hari dry geopolymer mortar.



Gambar 10. Grafik hubungan kuat tekan semua variasi

Pada kondisi ini dengan adanya variasi penambahan limbah marmer pada setiap mix desainnya mempengaruhi nilai kuat tekan pada variasi 5%, 10%, dan 15% mengalami peningkatan kuat tekan meskipun tidak terlalu banyak ini membuktikan bahwa penambahan limbah marmer mempunyai pengaruh. Pada variasi 20% dan 25% mengalami penurunan, ada beberapa faktor yang bisa mempengaruhi

ini seperti proses pembuatan benda uji dan pembuatan benda uji yang mempengaruhi nilai kuat tekannya.

2. Hubungan Berat Volume, Umur Mortar, dan Kuat Tekan

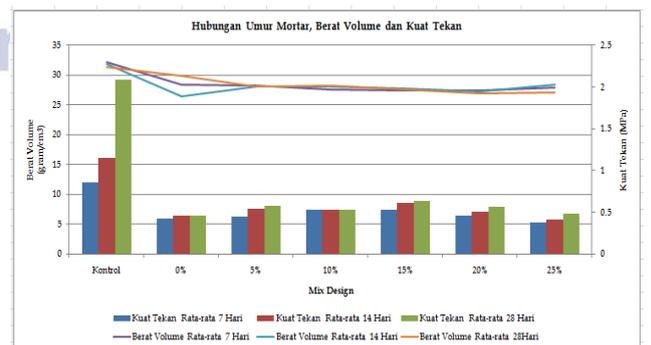
Hubungan berat volume rata-rata dengan hasil kuat tekan mortar geopolymer metode *wet mixing*. Berikut ini adalah hubungan antara volume, umur dan kuat tekan benda uji mix design pada mortar umur 7, 14, 28 hari.

Tabel 9. Hasil Kuat tekan rata-rata pada usia 7, 14, 28 hari

Mix Design	Kuat Tekan Rata-rata 7 Hari (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata 14 Hari (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata 28 Hari (MPa)
Kontrol	12	16.15	29.27
0%	5.89	6.36	6.36
5%	6.22	7.61	8.03
10%	7.42	7.43	7.44
15%	7.42	8.56	8.88
20%	6.43	6.99	7.88
25%	5.26	5.68	6.70

Tabel 10. Hasil Berat Volume rata-rata pada usia 7, 14, 28 hari

Mix Design	Berat Volume Rata-rata 7 Hari (gram/cm ³)	Berat Volume Rata-rata 14 Hari (gram/cm ³)	Berat Volume Rata-rata 28 Hari (gram/cm ³)
Kontrol	2.3	2.28	2.24
0%	2.03	1.89	2.13
5%	2.02	2.01	2.01
10%	1.97	2.01	2.03
15%	1.96	1.99	1.98
20%	1.96	1.94	1.93
25%	1.99	2.04	1.94



Gambar 11. Hubungan umur mortar, berat volume dan kuat tekan

Dari Tabel 9, Tabel 10 dan Gambar 11 diatas, hasil berat volume rata-rata dan nilai kuat tekan rata-rata pada pembuatan *dry geopolymer* mortar dengan NaOH 12 M pada usia 7, 14, dan 28 hari, menunjukkan kenaikan terhadap kuat tekan setiap umurnya.

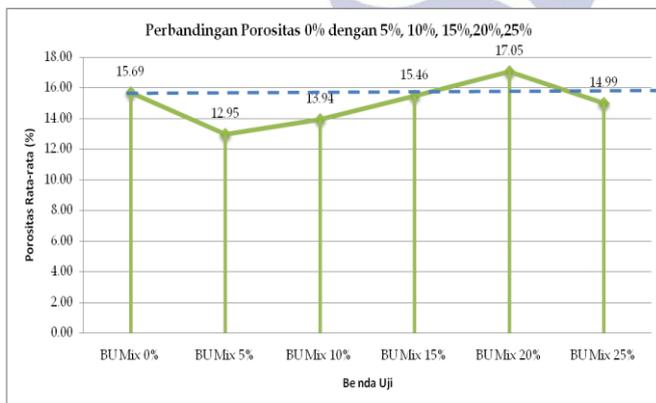
3. Hubungan nilai porositas dengan hasil kuat tekan *Dry Geopolymer* mortar dan perbandingan kuat tekan porositas dan tanpa porositas

Hubungan porositas dengan kuat tekan rata-rata mortar umur 28 hari dapat dilihat pada Tabel 11

Tabel 11. Hubungan porositas dan kuat tekan

Benda Uji	Porositas (%)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
BU Mix 0%	15,69	6,12
BU Mix 5%	12,95	6,57
BU Mix 10%	11,20	7,85
BU Mix 15%	15,46	6,65
BU Mix 20%	17,05	6,54
BU Mix 25%	14,99	6,98

Pada Gambar 12 grafik perbandingan porositas antara benda uji variasi 0% dengan benda uji variasi 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. Hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa pengaruhnya marmer sebagai bahan substitusi mortar *Dry Geopolymer*. Digambarkan dengan grafik sebagai berikut:



Gambar 12. Grafik perbandingan porositas

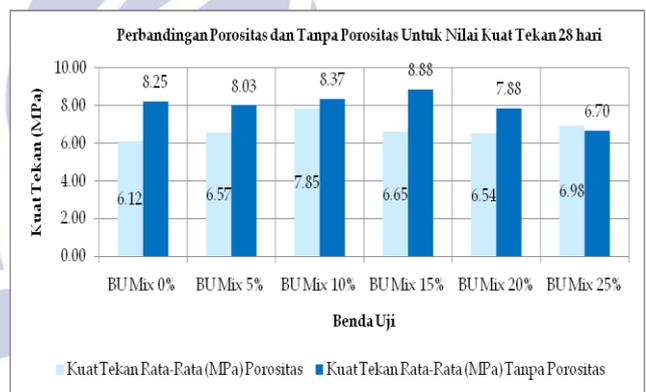
Grafik perbandingan porositas pada Gambar 12 menunjukkan bahwa penambahan marmer sangat mempengaruhi terhadap porositasnya. Butiran marmer yang halus mengisi rongga-rongga kecil di dalam mortar. Dengan penambahan marmer nilai porositasnya mengalami penurunan dan kenaikan. Porositas pada benda uji mix 5% sebesar 12,95%, benda uji mix 10% sebesar 11,20%, benda uji mix 15% sebesar 15,46%, dan benda uji mix 25% sebesar 14,99% menunjukkan nilai porositasnya turun dibandingkan dengan nilai porositas 0% yaitu 15,69%. Sedangkan nilai porositas pada benda uji mix 20% mengalami peningkatan yaitu 17,05%. Nilai porositas yang kecil menunjukkan bahwa mortar memiliki kepadatan dan kerapatan sehingga penyerapan air tidak terlalu banyak.

Tabel perbandingan nilai kuat tekan mortar dry geopolymer umur 28 hari dengan menggunakan porositas dan tanpa porositas disajikan dalam Tabel 12 sebagai berikut:

Tabel 12. Perbandingan nilai kuat tekan menggunakan porositas dan tanpa porositas

Benda Uji	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)
	Porositas	Tanpa Porositas
BU Mix 0%	6.12	8.25
BU Mix 5%	6.57	8.03
BU Mix 10%	7.85	8.37
BU Mix 15%	6.65	8.88
BU Mix 20%	6.54	7.88
BU Mix 25%	6.98	6.70

Pada Gambar 13 grafik perbandingan kuat tekan dengan porositas atau tanpa porositas. Hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa pengaruhnya porositas terhadap nilai kuat tekan. Digambarkan dengan grafik sebagai berikut:



Gambar 13 Grafik perbandingan kuat tekan

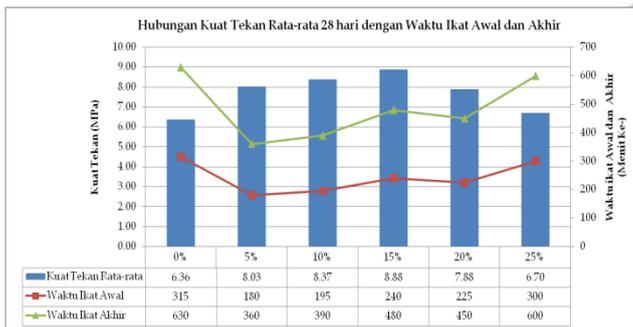
Dari data hasil grafik diatas maka adanya porositas sangat mempengaruhi nilai kuat tekan. Hasil tanpa penggunaan porositas nilai kuat tekannya lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan porositas. Perbedaan perlakuan benda uji digunakan untuk melihat hasil yang didapat akan kah berbeda auh atau tidak, ternyata setelah dilakukan maka hasilnya cukup berbeda. Benda uji yang digunakan memiliki nilai variasi yang sama yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% dibuat pada hari yang sama dengan perlakuan yang sama hanya bedanya pada usia 28 hari diuji dengan melakukan proses porositas atau tanpa porositas.

4. Hubungan *setting time* dengan kuat tekan *dry geopolymer* mortar

Berikut ini merupakan hubungan antara Kuat Tekan *Dry Geopolymer* Mortar pada usia 28 hari dengan Waktu Pengikatan Awal dan Akhir yang disajikan pada tabel 13

Tabel 13. Hubungan Setting Time dengan Kuat Tekan

Mix Design	Waktu Ikut Awal	Waktu Ikut Akhir	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
	Menit Ke-	Menit Ke-	
0%	315	630	6,36
5%	180	360	8,03
10%	195	390	7,44
15%	240	480	8,88
20%	225	450	7,88
25%	300	600	6,70



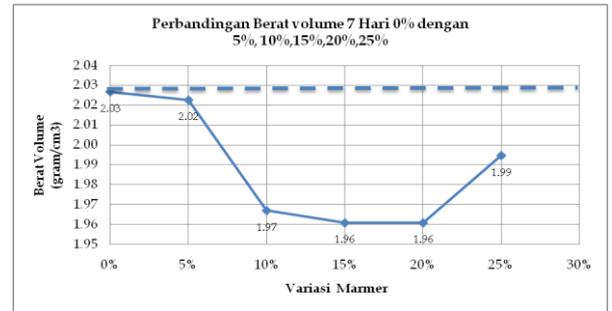
Gambar 14 Grafik hubungan porositas dengan kuat tekan

Dari Gambar 4.39 diatas, dapat dilihat hasil dari hubungan waktu ikat dengan hasil kuat tekan. Dapat dilihat bahwa dari mix 0% ke mix 5% mengalami penurunan yang cukup tajam. Kondisi ini disebabkan karena kandungan dalam limbah marmer yakni Ca yang tinggi akan berpengaruh pada mortar geopolimer, karena semakin bertambahnya limbah marmer yang dilakukan maka semakin banyak pula tingkat kelarutan dari CaO dan akan menghasilkan panas yang berpengaruh pada penguapin air (H₂O) sehingga mortar geopolimer memiliki sifat cepat mengeras. Jumlah limbah marmer yang digunakan sebagai campuran mortar *dry geopolimer* dengan variasi 0% sebagai kontrol terhadap variasi limbah marmer 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% waktu ikat awal dan waktu ikat akhirnya memiliki hasil yang tidak stabil seperti yang tergambar pada grafik diatas.

5. Perbandingan Berat Volume dengan Benda Uji Mix 0%, Kontrol, dan Penelitian Sebelumnya

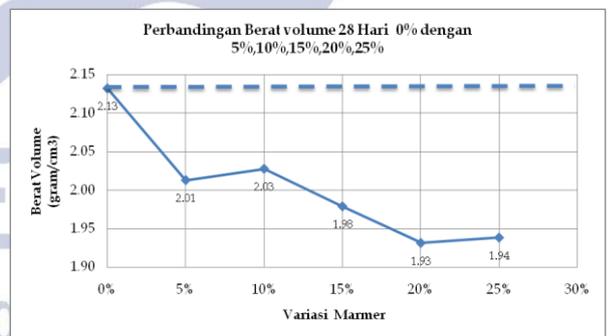
Tujuan dari perbandingan tersebut adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan marmer terhadap benda uji mix 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% yang diharapkan berat volume yang di dapatkan akan semakin kecil atau ringan tapi memiliki kuat tekan yang maksimal. Berikut ini perbandingan yang akan dibahas:

a. Perbandingan Berat Volume Benda Uji Mix 0% dengan Benda Uji Mix 5%, 10%, 15%,20% dan 25%



Gambar 15 Grafik perbandingan berat volume 7 hari benda uji mix 0 %

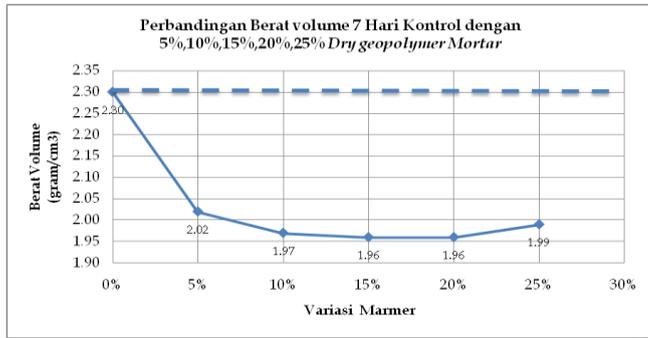
Benda uji mix 0% merupakan benda uji tanpa adanya bahan penambah marmer dan mempunyai berat volume sebesar 2,03 gram/cm³ pada umur 7 hari sehingga menjadi patokan sebagai perbandingan dengan 5 variasi benda uji lain. Dalam grafik tersebut menunjukkan dari benda uji 0% berat jenis nya mengalami penurunan pada benda uji mix 5% yaitu 2,02 gram/cm³, benda uji mix 10% yaitu 1,97 gram/cm³, benda uji mix 15% yaitu 1,96, benda uji mix 20% yaitu 1,96, dan benda uji mix 25% yaitu 1,99. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan marmer berpengaruh terhadap penurunan berat volume.



Gambar 16 Grafik perbandingan berat volume 28 hari benda uji mix 0 %

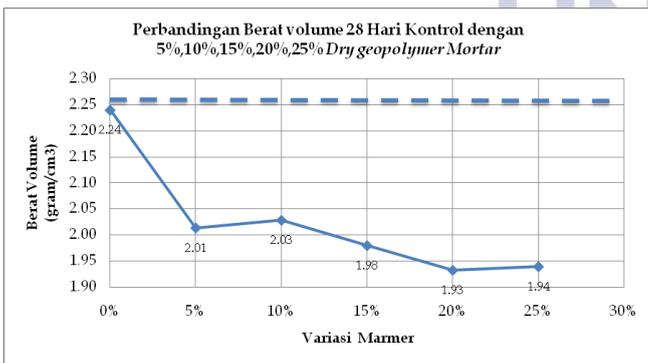
Pada benda uji mix 0% mortar usia 28 hari memiliki berat volume yaitu 2,13 gram/cm³ masih sebagai acuan perbandingan terhadap 5 variasi benda uji lain yang juga mengalami penurunan berat volume terhadap benda uji mix 0%. Untuk benda uji mix 5% berat volumenya sebesar 2,01 gram/cm³, benda uji mix 10% berat volumenya sebesar 2,03 gram/cm³, benda uji mix 15% berat volumenya sebesar 1,98 gram/cm³, benda uji mix 20% berat volumenya sebesar 1,93 gram/cm³, dan benda uji mix 25% berat volumenya sebesar 1,94 gram/cm³.

b. Perbandingan Berat Volume Kontrol dengan Benda Uji Mix 5%, 10%, 15%,20% dan 25%



Gambar 17 Grafik perbandingan berat volume 7 hari benda uji kontrol

Dengan adanya pembuatan benda uji kontrol sebagai acuan pembuatan benda uji yang lain. Benda uji kontrol merupakan benda uji tanpa adanya bahan penambah marmer dan mempunyai berat volume sebesar 2,30 gram/cm³ pada umur 7 hari sehingga menjadi patokan sebagai perbandingan dengan 5 variasi benda uji lain. Dalam grafik tersebut menunjukkan dari benda uji kontrol berat jenis nya mengalami penurunan pada benda uji mix 5% yaitu 2,02 gram/cm³, benda uji mix 10% yaitu 1,97 gram/cm³, benda uji mix 15% yaitu 1,96%, benda uji mix 20% yaitu 1,96, dan benda uji mix 25% yaitu 1,99. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan marmer berpengaruh terhadap penurunan berat volume.

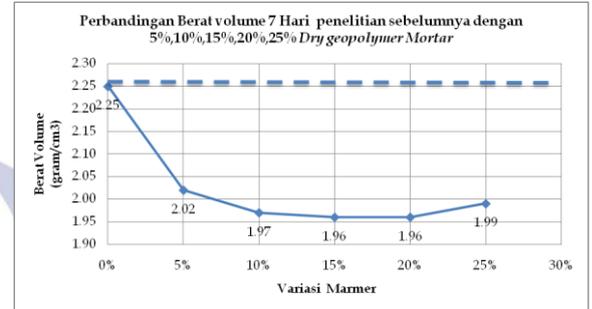


Gambar 18 Grafik perbandingan berat volume 28 hari benda uji kontrol

Pada benda uji kontrol mortar usia 28 hari memiliki berat volume yaitu 2,13 gram/cm³ masih sebagai acuan perbandingan terhadap 5 variasi benda uji lain yang juga mengalami penurunan berat volume terhadap benda uji mix 0%. Untuk benda uji mix 5% berat volumenya sebesar 2,01 gram/cm³, benda uji mix 10% berat volumenya sebesar 2,03 gram/cm³, benda uji mix 15% berat volumenya sebesar 1,98 gram/cm³, benda uji mix 20% berat volumenya sebesar 1,93 gram/cm³, dan benda uji mix 25% berat volumenya sebesar 1,94 gram/cm³.

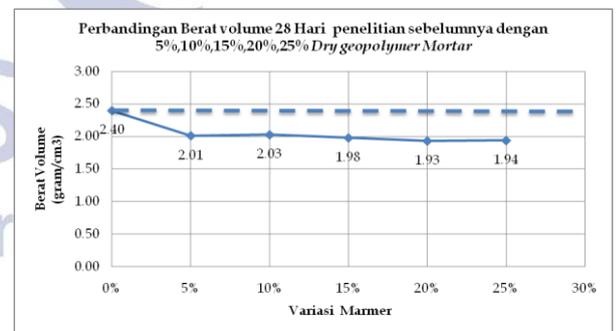
15% berat volumenya sebesar 1,98 gram/cm³, benda uji mix 20% berat volumenya sebesar 1,93 gram/cm³, dan benda uji mix 25% berat volumenya sebesar 1,94 gram/cm³.

c. Perbandingan Berat Volume penelitian sebelumnya dengan Benda Uji Mix 5%, 10%, 15%,20% dan 25%



Gambar 19 Grafik perbandingan berat volume 7 hari benda uji kontrol

Dari data penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Ira Febriyanti F dengan judul skripsi “Pengaruh Perbandingan Water Binder Ratio (W/B) Terhadap Kuat Tekan Pada Pembuatan Dry Geopolymer Mortar Dengan NaOH 12 M” dengan menggunakan NaOH 12M dengan W/B 0,40. Dengan hasil berat volume yang didapat pada mortar berusia 7 hari adalah 2.25 gram/cm³ digunakan sebagai perbandingan dengan benda uji mix dengan marmer.



Gambar 20 Grafik perbandingan berat volume 28 hari benda uji kontrol

Pada benda uji penelitian sebelumnya mortar usia 28 hari memiliki berat volume yaitu 2,40 gram/cm³ dan masih digunakan sebagai acuan perbandingan terhadap 5 variasi benda uji lain yang juga mengalami penurunan berat volume terhadap benda uji mix 0%. Untuk benda uji mix 5% berat volumenya sebesar 2,01 gram/cm³, benda uji mix 10% berat volumenya sebesar 2,03 gram/cm³, benda uji mix 15% berat volumenya sebesar 1,98 gram/cm³, benda uji mix 20% berat volumenya sebesar 1,93 gram/cm³, dan benda uji mix 25% berat volumenya sebesar 1,94 gram/cm³.

6. Pengaruh Substitusi Limbah Marmer dan NaOH Terhadap *Dry Geopolymer* Mortar

Pada penelitian ini penggunaan limbah marmer dan NaOH mempunyai peranan yang penting sebagai bahan substitusi. Campuran antara limbah marmer, fly ash, dan kapur+NaOH sebagai bahan pengganti semen. Penambahan limbah marmer membuat berat jenis pada mortar lebih ringan. Kandungan Kalsium (Ca) yang tinggi pada marmer sebesar 97,74% mampu menambah kuat tekan dan berpengaruh juga terhadap berat jenis pada *dry geopolymer* mortar. Jika dilihat dari penelitian sebelumnya berat jenis mortar lebih besar tanpa penggunaan limbah marmer. Pada *dry geopolymer* mortar dengan penambahan limbah marmer berat jenis mortar cenderung lebih kecil jika di bandingkan dengan penelitian sebelumnya. Susunan limbah marmer yang ringan dan halus mampu mengisi pori-pori di mortar, sehingga diharapkan mortar memiliki nilai kuat tekan yang cukup tinggi.

Dengan penambahan NaOH sebagai salah satu bahan kimia sebagai campuran, reaksi yang terjadi terhadap mortar berbeda-beda. Di penelitian ini penggunaan NaOH 12M terjadi perubahan kuat tekan pada mortar berusia 14 hari. Pada usia 14 hari kuat tekan cenderung mengalami sedikit kenaikan dan kembali mengalami peningkatan pada usia 28 hari. Berat jenis mortar juga cenderung tidak stabil, terjadi penurunan berat jenis mortar pada usia 14 hari dan keudian mengalami peningkatan pada usia 28 hari. Salah satu faktor penyebab terjadinya ketidak stabilan berat jenis adalah pengikatan bahan-bahan substitusi yang kurang sempurna, pencampuran atau pengadukan kurang merata, proses pencetakan dan perojokan yang kurang, dan pengaruh suhu pada ruangan.

Dry geopolymer mortar diberbagai penelitian sebelumnya juga mempunyai pengaruh yang berbeda-beda. Dengan dilakukannya penelitian mengenai *dry geopolymer* mortar diharapkan dapat mencapai hasil kuat tekan yang maksimal dan berat jenis optimum yang dapat digunakan sebagai penunjang hasil untuk penelitian selanjutnya. Berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan didapatkan hasil *dry geopolymer* mortar dengan menggunakan metode dan bahan substitusi yang berbeda tetapi masih menggunakan activator yang sama yaitu NaOH. Dengan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya maka didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh saudara Oky Rachman Saputra dengan

judul jurnal penelitian “PENGARUH VARIASI NAOH TERHADAP Na_2SiO_3 TERHADAP NILAI KUAT TEKAN *DRY GEOPOLYMER* MORTAR METODE DRY MIXING PADA KONDISI RASIO ABU TERBANG TERHADAP AKTIVATOR 5:1”. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi NaOH terhadap Na_2SiO_3 terhadap nilai kuat tekan *dry geopolymer* mortar metode dry mixing pada kondisi rasio abu terbang terhadap aktivator 5:1.

Dari tujuan tersebut didapatkan hasil penelitian sebagai berikut:

- Kuat tekan tertinggi didapat pada kondisi rasio abu terbang terhadap aktivator 5:1 adalah 26,98 MPa, yaitu pada variasi sodium hidroksida (NaOH) terhadap sodium silikat (Na_2SiO_3) sebesar 1:3.
- Kuat tekan *dry geopolymer* mortar dipengaruhi banyaknya komposisi Na_2O . Semakin tinggi kandungan Na_2O maka reaksi yang terjadi akan semakin cepat yang menyebabkan semakin tingginya kuat tekan. Namun jika komposisi Na_2O didalamnya terlalu tinggi juga dapat menyebabkan menurunnya kuat tekan mortar.
- Waktu ikat *dry geopolymer* mortar yang tercepat terdapat pada variasi sodium hidroksida (NaOH) terhadap sodium silikat (Na_2SiO_3) sebesar 1:3.
- Semakin banyak komposisi sodium silikat (Na_2SiO_3) menyebabkan sedikitnya pertumbuhan jamur (serpihan-serpihan putih) pada benda uji vicat yang dibiarkan pada keadaan udara terbuka.

2. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh saudara Ira Febriyanti Fitrianasari dengan judul jurnal penelitian “PENGARUH PERBANDINGAN WATER BINDER RATIO (W/B) TERHADAP KUAT TEKAN PADA PEMBUATAN *DRY GEOPOLYMER* MORTAR DENGAN NaOH 12 M”. Penelitian ini bertujuan sebagai berikut:

- Untuk mengetahui pengaruh perbandingan Water Binder Ratio (W/B) terhadap kuat tekan pada pembuatan *dry geopolymer* mortar dengan NaOH 12M.
- Untuk mengetahui standar tertinggi Water Binder Ratio (W/B) terhadap kuat tekan pada pembuatan *dry geopolymer* mortar dengan NaOH 12 M.

Dari tujuan tersebut didapatkan hasil penelitian sebagai berikut:

- Pada pengujian kuat tekan *dry geopolymer* mortar mengalami peningkatan kuat tekan

pada usia 7, 14, dan 28 hari. Hal ini menunjukkan bahwa, usia *dry geopolymer* mortar sangat berpengaruh terhadap besarnya kuat tekan.

- b. *Water Binder Ratio* (W/B) berpengaruh terhadap *dry geopolymer* mortar. Terlihat bahwa, pada variasi W/B < 0.40 dan variasi W/B > 0.40 terjadi penurunan kuat tekan. Hal ini disebabkan, berat volume dan kuat tekan yang dihasilkan rendah.
- c. Berat volume mortar terbesar yaitu 2.40 gram/cm³ dan nilai kuat tekan tertinggi sebesar 9.45 MPa didapat pada variasi W/B = 0.40 pada usia 28 hari.
- d. Besarnya berat volume pada *dry geopolymer* mortar berbanding lurus dengan besarnya kuat tekan yang dihasilkan.
- e. Kuat tekan tertinggi yang dihasilkan *dry geopolymer* mortar pada W/B=0.40 usia 28 hari sebesar 9.45 MPa lebih rendah dibandingkan dengan kuat tekan tertinggi pada mortar kontrol (semen) usia 28 hari yaitu 29.27 MPa. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya sebagai berikut :
 - a) Kandungan Ca, Si dan Al yang rendah pada Fly ash tipe C yang digunakan dalam pembuatan *dry geopolymer* mortar.
 - b) Suhu dan lama pemanasan pasta aktivator yang berpengaruh pada konsentrasi atau kepekatan dari Sodium Hidroksida.
 - c) Pengaruh lama penyimpanan pada bubuk aktivator kering terhadap kuat tekan itu sendiri.

Dari ketiga penelitian yang telah dilakukan tersebut *dry geopolymer* mortar dengan masing-masing bahan substitusi yang berbeda memiliki hasil yang berbeda juga. Meskipun terdapat bahan aktivator yang sama yaitu NaOH dan penambahan substitusi yang sama yaitu *Fly Ash*, perbedaan terjadi pada berat jenis dan nilai kuat tekan yang dihasilkan. Perbedaan ini lah yang menjadi acuan untuk terus dilakukannya pengembangan untuk mendapatkan hasil yang maksimum.

PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan maka dititik kesimpulan sebagai berikut:

1. Substitusi limbah marmer dan NaOH mempunyai peran penting dalam

pembuatan *dry geopolymer* mortar dari hasil yang telah dilakukan limbah marmer dan NaOH dapat menambah nilai kuat tekan dan mempengaruhi berat volume.

2. Pada penelitian ini NaOH 12M mempunyai pengaruh pada kuat tekan dengan penambahan substitusi limbah marmer dengan variasi 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% untuk kuat tekan yang paling besar didapatkan pada variasi 15% sebesar 8,881 MPa.

Saran

Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik pada penelitian selanjutnya, maka penulis merekomendasikan sebagai berikut:

1. Penggunaan limbah marmer sebagai bahan substitusi pada *fly ash* perlu dikembangkan menggunakan *fly ash* tipe lain.
2. Diharapkan peneliti tentang *dry geopolymer* berikutnya dapat dilakukan *treatment* yang berbeda variasi pada suhu oven dan lama pemanasannya.
3. Perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh lamanya penyimpanan aktivator yang terdapat kuat tekan mortar *dry geopolymer*

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Gawwad, H.A., & Abo-El-Enein, S.A. 2014. "A Novel Method to Produce Dry Geopolymer Cement Powder". *Journal Housing and Building National Research Center* (HBRC), No. 12, 2016, hh 13-24.
- Adiputro, Susanto Triyogo. 2013. "Campuran Geopolymer Fly Ash sebagai Material Mortar Perbaikan. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- Agil Fitri Handayani, Agoes Soehardjono M.D., Achfas Zacoeb. 2014. "Pemanfaatan Limbah Serbuk Marmer Pada Beton Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Dengan Variasi Penggunaan Silica Flume". *TEKNOLOGI DAN KEJURUAN, VOL. 37, NO. 2, SEPTEMBER 2014:179-190*: hal. 179-190. Malang : Universitas Bawijaya Malang
- 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 C618Davidovits, J (1991). *Geopolymer: Inorganic Polymeric New Materials*. Geopolymer Institut. France.
- Arman. A, Arsil Marta Saputra. 2015."Pengaruh Penambahan Kapur Padang Panjang Pengganti Semen Untuk Beton Normal". *Vol.17 No.1. Februari 2015 Jurnal Momentum ISSN : 1693-752X*: hal. 8-12. Padang: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Padang
- Austin Purwantoro, Widya Suyanto, Antoni, Djwantoro Hardjito. 2016. "Pengaruh Penambahan boraks dan Kalsium Oksida Terhadap *Setting Time* Dan Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbahan Dasar *Fly*

AshTipe C”.

- Bayu Aji, Ridho, Yasin, Abdul Karim, Susanto, Try Eddy, & Darmawan, M.Sigit. 2017. “A Review in Geopolymer Binder with Dry Mixing Method (Geopolymer Cement)”. *American Institute of Physics*.
- Davidovits, J (1991). Geopolymer. *Inorganic Polymeric New Materials*. Geopolymer Institute, France.
- Fansuri et al. 2008. “Pembuatan dan Karakteristik Geopolimer dari Bahan Abu Layang PLTU Paiton”. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Fitrianasari Ira F. 2017.”Pengaruh Perbandingan Water Binder Ratio (W/B) Terhadap Kuat Tekan Pada Pembuatan *Dry Geopolymer* Mortar Dengan NaOH 12 M”. Surabaya : Universitas Negeri Surabaya
- Januarti Jaya Ekaputri, Triwulan, Oktavina Damayanti. 2007. “Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar *Fly Ash* Jawa Power Paiton Sebagai Material Alternatif”.*Jurnal PONDASI, volume 13 no 2 Desember 2007 ISSN 0853-814X*: hal. 125-133. Surabaya: ITS urabaya
- Puput Risdanareni, Triwulan, Januarti Jaya Ekaputri. 2014. “Pengaruh Molaritas Aktivator Alkali Terhadap Kuat Mekanik Beton Geopolimer Dengan Tras Sebagai Pengisi”. ISBN 978-979-99327-9-2: hal. 847-856. Surabaya: Teknik Sipil ITS Surabaya
- Riger Manuahe, Marthin D. J. Sumajouw, Reky S. Windah. 2014. “Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash)”.*Jurnal Sipil Statik Vol.2 No.6, September 2014 (277-282) ISSN: 2337-6732*: hal. 277 – 282. Surabaya: Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi
- Saputra Oky R. 2018.”Pengaruh Variasi NaOH Na₂SiO₃ Terhadap Nilai Kuat Tekan *Dry Geopolymer* Mortar Metode *Dry Mixing* Pada Kondisi Rasio Abu Terbang Terhadap Aktivator 5:1”. Surabaya : Universitas Negeri Surabaya
- SNI 03-6827-2002. Metode Pengujian Waktu Ikat Awal Semen Portland dengan Menggunakan Alat Vicat untuk Pekerjaan Sipil. Badan Standarisasi Nasional SNI 03-6827-2002.
- SNI 03-6827-2002. Metode Pengujian Waktu Ikat Awal Semen Portland dengan Menggunakan Alat Vicat untuk Pekerjaan Sipil. Badan Standarisasi Nasional SNI 03-6827-2002.

