

PENGARUH SUBSTITUSI LIMBAH MARMER TERHADAP NILAI KUAT TEKAN DRY GEOPOLYMER MORTAR DENGAN METODE WET MIXING BERBAHAN DASAR ABU TERBANG DAN NAOH 10 M

Disti Putra Saldi

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

Abstrak

Perkembangan dunia konstruksi sangat berpengaruh pada kebutuhan bahan bangunannya. Hal ini memicu banyaknya penggunaan material bahan bangunan yang tidak ramah lingkungan. Seperti contoh tingginya kebutuhan semen sehingga produksi semen secara terus-menerus memberikan dampak negatif besar terhadap kerusakan lingkungan. Selain itu maraknya limbah yang dihasilkan dari pembakaran batu bara dan pengolahan batuan marmer untuk keperluan interior juga menimbulkan berbagai masalah untuk menanggulangi permasalahan diatas maka alternatif yang digunakan adalah dengan geopolymerisasi yaitu penggantian semen dengan substitusi limbah marmer terhadap limbah hasil pembakaran batu bara yang disebut dengan abu terbang atau *fly ash* dengan metode *wet mixing*. Pada penelitian akan dilakukan eksperimen yaitu pengaruh substitusi limbah marmer dengan abu terbang terhadap nilai kuat tekan pada pembuatan *dry geopolymer* mortar berbahan dasar abu terbang, kapur, limbah marmer dan NaOH 10 Molar.

Penelitian ini didapatkan 7 variasi *mix design* pembuatan *dry geopolymer mortar* pada masing masing perbandingan komposisi substitusi limbah marmer terhadap *fly ash* yaitu MDK (kontrol) dengan komposisi mortar OPC, Mix 1 dengan tanpa komposisi limbah marmer, Mix 2 dengan komposisi limbah marmer sebanyak 0,041 gram, Mix 3 dengan komposisi limbah marmer sebanyak 0,082 gram, Mix 4 dengan komposisi limbah marmer sebanyak 0,123 gram, Mix 5 dengan komposisi limbah marmer sebanyak 0,164 gram, dan Mix 6 dengan komposisi limbah marmer sebanyak 0,205 gram. Mortar *geopolymer* ini menggunakan cairan aktivator campuran antara kapur dan NaOH perbandingan keduanya yaitu 0,10 dan 0,08 dan dengan molaritas NaOH 10 Molar. Benda uji akan dirawat pada suhu ruangan temperatur normal untuk diuji kuat tekannya.

Hasil pengujian kuat tekan *dry geopolymer* mortar pada komposisi substitusi limbah marmer terhadap *fly ash* yang optimum dengan metode *wet mixing* berbahan dasar abu terbang dan NaOH 10 Molar di tinjau kuat tekan yang tertinggi sebesar 13,09 MPa di umur 28 hari pada campuran limbah marmer 10%.

Kata kunci : *dry geopolymer mortar, metode wet mixing, limbah marmer, fly ash, sodium hidroksida, kuat tekan*

Abstract

The rise of the constructed very influential on the needs of the building. It has many of the use of material environmentally friendly buildings. For example a high demand for cement so that the production of cement give negative effects continuously to the environmental damage. Besides, the higher waste which is generated by coal and processing rocks marble of the needs interior is also causes various problems. In order to solve the problems, the alternative used is by geopolymerization, the charge of cement with the substitution waste marble to waste the burning coal called fly ash with the wet mixing method. In this research, would be conducted experiments that influence substitution of waste marble with fly ash of the compressive strength on the dry geopolymer mortar are based of fly ash, lime, waste marble and NaOH 10 Molar.

This research obtained seven variations of mixed design dry geopolymer mortar on each comparison substitution waste marble with fly ash which is MDK (control) with composition mortar OPC, Mix 1 without waste marble, Mix 2 with the composition of waste marble as many as 0,041 gram, Mix 3 with the composition of waste marble as many as 0,082 gram, Mix 4 with the composition of waste marble as many as 0,123 gram, Mix 5 with the composition of waste marble as many as 0,164 gram, and Mix 6 with the composition of waste marble as many as 0,205 gram. Mortar geopolymer used mix liquid activator between lime and NaOH with comparison both 0,10 and 0,08, and molarity of NaOH 10 Molar. The test object would be treated at normal temperature in order to test the compressive strength.

The result of the compressive strength test of dry geopolymer mortar when composition substitusi of waste marble with fly ash the most optimum position with the wet mixing method are based fly ash and NaOH 10 Molar with a compressive strength of the highest of 13, 09 MPa on 28 days on a mixture of waste marble in 10%.

Key words : *dry geopolymer mortar, wet mixing method, waste marble, fly ash sodium hydroxide, compressive strength.*

PENDAHULUAN

Di era globalisasi khususnya pada dunia konstruksi sudah berkembang pesat seiring dengan bertambahnya zaman dan teknologi masa kini. Tentunya perkembangan dunia konstruksi sangat berpengaruh pada kebutuhan bahan bangunannya. Hal ini memicu banyaknya penggunaan material bahan bangunan yang tidak ramah lingkungan. Peningkatan permintaan beton menyebabkan tingginya kebutuhan akan semen sebagai salah satu material penyusun beton. Akibat dari produksi semen secara terus – menerus memberikan dampak negatif yang cukup besar terhadap kerusakan lingkungan. Industri semen menjadi salah satu penyumbang emisi gas CO₂ diudara karena untuk memproduksi 1 ton semen, efek rumah kaca yang dihasilkan sebesar lebih kurangnya 1 ton juga (Hardjito, 2002). Emisi gas tersebut merupakan penyebab utama pemanasan global yang menyebabkan terjadinya perubahan iklim yang semakin tidak teratur. Salah satu inovasi yang akan dilakukan dalam pengembangan bahan bangunan adalah penggunaan berbagai macam produk limbah sehubungan dengan terbatasnya dan mahalnya material konstruksi konvensional seperti contoh semen. Adanya isu tentang global warming dan pencemaran udara juga menambah perhatian akan pentingnya pemanfaatan limbah disekitar kita.

Untuk mengurangi penggunaan semen perlu adanya alternatif pengganti semen. Salah satu dari alternatif adalah dengan mengembangkan *geopolymer*. Mortar *geopolymer* merupakan mortar yang tidak menggunakan semen sama sekali. Sebagai pengganti semen pada mortar *geopolymer* digunakan *fly ash* dan limbah marmer sebagai pengganti semen.

Abu terbang (*Fly Ash*) adalah material yang halus yang berasal dari sisa peleburan besi baja dan batu bara, sehingga dengan pemanfaatan Abu terbang (*Fly Ash*) merupakan upaya untuk mengurangi volume dan tingkat bahaya limbah yang keluar ke lingkungan. Namun Abu terbang (*Fly Ash*) tidak memiliki kemampuan mengikat seperti semen namun dengan adanya air dan *Alkaline Activator* (Sodium Hidroksida), oksida silika yang terkandung dalam Abu terbang (*Fly Ash*) akan bereaksi secara kimia.

Marmer banyak diminati untuk keperluan *interior* pada bangunan dengan melewati beberapa proses. Pada proses pengolahan batuan marmer menjadi bahan interior dilakukan dengan pemotongan dan penghalusan. Proses ini menghasilkan limbah dengan ukuran yang berbeda. Limbah tersebut dapat dimanfaatkan kembali sebagai hiasan tetapi hasil dari limbah penggosokan marmer belum bisa dimanfaatkan dengan baik karena menghasilkan bubuk marmer dalam jumlah yang sangat

banyak karena bentuknya cairan, maka membutuhkan lahan yang cukup luas untuk menampung limbah tersebut sampek kering. Dengan permintaan marmer yang meningkat limbah ini menjadi masalah lingkungan yang membutuhkan solusi. Kandungan kimia yang terdapat pada limbah marmer adalah CaO dan sedikit MgO, AlO₃, dan SiO₃ yang sebagian besar kandungan kimia ini terdapat pada semen (Aida dkk, 2008)

The Wet Mixing Method adalah metode yang paling umum digunakan, dimana alkali activator yang digunakan disajikan hanya dalam bentuk larutan. NaOH (Natrium Hidroksida) dilarutkan sesuai dengan konsentrasi molar yang diinginkan dalam bentuk cair, atau disebut water glass (Ridho et al., 2017)

Pengembangan mortar *geopolymer* dapat memberikan solusi untuk menghasilkan bahan konstruksi ramah lingkungan untuk pembangunan berkelanjutan. Namun, dilapangan pada umumnya menggunakan metode basah dan tidak semua orang bisa melakukannya. Maksud dari metode basah yaitu bahan kimia alkali aktivator yang digunakan disajikan sendiri dalam bentuk larutan. Padatan *sodium hidroksida* (NaOH) dilarutkan sesuai konsentrasi molar yang diinginkan berwujud larutan NaOH. Larutan tersebut kemudian dicampur dengan bahan pozzolan yang disiapkan dalam wadah sendiri sebelumnya (Abdullah et al. 2013). Metode ini sulit diterapkan dilapangan karena dalam pembuatannya hanya pihak tertentu yang paham cara pembuatannya. Maksud dari metode *wet mixing* yaitu bahan kimia alkali *activator* yang digunakan dalam bentuk cairan agar bisa mempermudah pencampurannya.

Dari penjelasan diatas tersebut, akan dilakukan eksperimen yaitu pengaruh substitusi limbah marmer dengan abu terbang terhadap nilai kuat tekan pada pembuatan *dry geopolymer* mortar berbahan dasar abu terbang, kapur, limbah marmer dan NaOH 10M.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di awal, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil penambahan NaOH 10M terhadap kuat tekan pada pembuatan *dry geopolymer* mortar dengan metode *wet mixing*?
2. Berapa standar optimum penambahan NaOH 10M terhadap kuat tekan *dry geopolymer* mortar dengan metode *wet mixing*?

Berikut merupakan beberapa tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh penambahan NaOH 10M terhadap kuat tekan pada *dry geopolymer* mortar dengan metode *wet mixing*
2. Untuk mengetahui standar optimum penambahan NaOH 10M terhadap kuat tekan pada pembuatan *dry geopolymer* mortar dengan metode *wet mixing*

Adapun manfaat praktisi dari dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Memberikan hasil tentang bagaimana pengaruh penambahan NaOH 10M terhadap kuat tekan pada *dry geopolymer* mortar
2. Memberikan hasil tentang standar maksimum penambahan NaOH 10M terhadap kuat tekan pada *dry geopolymer* mortar
3. Memanfaatkan limbah abu terbang (*Fly Ash*), kapur dan limbah marmer serta memberikan solusi terhadap pencemaran lingkungan yang diakibatkan dari produksi semesta secara berlebihan.
4. Memberikan rujukan/referensi bagi kalangan akademisi untuk keperluan studi dan penelitian selanjutnya mengenai topik permasalahan yang sama
5. Hasil penelitian ini diharapkan dapat diinformasikan dan disebarluaskan sehingga dapat dimanfaatkan dan dipakai oleh praktisi dan masyarakat.

Berikut adalah batasan-batasan dalam penelitian ini:

1. Material utama pembentuk mortar *geopolymer* yaitu *Fly ash* kelas C, limbah marmer, kapur dan Larutan *activator*
2. Larutan *activator* yaitu cairan dan Sodium Hidroksida (NaOH) konsentrasi 10M
3. Limbah marmer yang digunakan yaitu limbah marmer kering dari pertambangan marmer Tulungagung
4. Kapur yang dibeli di toko bahan bangunan Karah
5. Untuk *Water Cement* (W/C) menggunakan = 0,40
6. Agregat halus yang dipakai yaitu pasir Lumajang
7. Air yang digunakan adalah air suling.
8. Benda uji yang digunakan berbentuk mortar dengan ukuran 5x5x5 cm³
9. Pemeriksaan kuat tekan dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari

KAJIAN PUSTAKA

A. Mortar

Mortar atau yang dikenal dengan sebutan spesi atau mortel adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, bahan perekat, dan air. Bahan perekat dapat berupa kapur, semen bahkan tanah liat. Tjokrodinuljo (1996:125) membagi mortar berdasarkan jenis bahan ikatnya menjadi 5 jenis, yaitu mortar lempung/lumpur, mortar kapur, mortar semen, mortar khusus dan mortar polimer.

Mortar polimer terdiri dari perekat polimer bisa saja termoplastik tetapi *termosetting* lebih sering dipakai. Pemakaian polimer untuk pengganti semen *portland* menyebabkan peningkatan biaya, untuk itu penambahan polimer akan efektif dan sepadan dengan kenaikan biaya pada aplikasi yang sesuai dimana biaya tinggi dapat setara dengan *properties* yang superior yang dituntut, terkompensasi dengan rendahnya biaya pekerja atau pemakaian energi yang rendah selama proses dan pemeliharaan. Sebagai contoh untuk bangunan gedung bertingkat banyak diisyaratkan menggunakan mortar yang kuat tekan minimumnya 3,0 MPa.

B. Geopolimer

Geopolimer merupakan produk beton *geosintetik* dimana reaksi pengikatan yang terjadi adalah reaksi polimerisasi. Dalam reaksi polimerisasi ini aluminium (Al) dan silika (Si) mempunyai peranan penting dalam ikatan polimerisasi. Beton geopolimer adalah sebuah senyawa silikat alumino anorganik yang disintesis dari bahan-bahan produk sampingan seperti abu terbang (*fly ash*) sisa pembakaran batu bara, abu sekam padi (*risk husk ash*) sisa pembakaran sekam padi dan lain-lain, yang banyak mengandung silikon dan aluminium (Davidovits, 1997)

C. Mortar Geopolimer

Mortar *Geopolymer* adalah mortar yang tidak menggunakan semen sebagai bahan pengikat utama, tetapi menggunakan *fly ash* sebagai pengganti semen karena mempunyai kandungan silika dan aluminanya sangat tinggi. *Fly ash* yang akan digunakan akan dicampur dengan larutan alkali berupa *Sodium Hidroksida* sebagai katalisatornya. Penelitian ini bertujuan mempelajari dan melihat pengaruhnya dari proses pengerjaan serta pengujian kuat tekan mortar *geopolymer*. Kelebihan mortar *geopolymer* yaitu mengurangi polusi udara sehingga ramah lingkungan, tahan terhadap api dan juga reaksi alkali-silika. Selain itu mortar geopolimer mempunyai kekurangan diantaranya pembuatannya akan sedikit lebih rumit dibandingkan dengan mortar pada umumnya karena memang membutuhkan bahan – bahan kimia lainnya dan belum ada perhitungan pasti didalam *mix design*.

Dalam menentukan kualitas pembuatan mortar *geopolymer* tentu harus memperhatikan bahan penyusun yang akan digunakan. Bahan-bahan penyusun mortar geopolimer terdiri dari:

1. Abu Terbang (*Fly Ash*)

Abu terbang (*fly ash*) adalah bagian dari sisa pembakaran batu bara pada tungku (*biller*) pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk partikel halus dan bersifat pozzolan, yang telah banyak digunakan sebagai bahan tambahan maupun bahan pengganti material semen. *Fly ash* diklasifikasikan menjadi 3 jenis yaitu tipe C, N dan F. Dari ketiga jenis *fly ash* diatas yang biasa digunakan sebagai *geopolymer* yaitu *fly ash* kelas C yang memiliki kandungan CaO rendah dan kandungan Si dan Al lebih dari 50% yaitu *fly ash* kelas C dan F. Karena Si dan Al merupakan unsur yang utama dalam proses geopolimerisasi.

2. Kapur

Batu kapur adalah salah satu batuan sedimen yang kaya akan kandungan kalsium karbonat dan merupakan bahan dasar utama pembuatan semen.

3. Limbah Marmer

Limbah marmer adalah limbah marmer yang dihasilkan pada saat proses pengolahan batu marmer menjadi macam-macam bentuk kerajinan. Ada yang diproses menjadi meja, patung, tegel, dan juga berbagai macam kerajinan yang lain. Dalam proses pembuatan kerajinan itulah batu marmer yang semula berukuran besar dipotong menjadi berbagai ukuran menurut kebutuhan dengan menggunakan gergaji. Selama melakukan pengerjaan inilah diperoleh limbah marmer yang berlimpah (Sri Utami, 2010).

4. Agregat Halus

Dalam SNI 15-2049-1994, agregat halus diartikan sebagai bentuk pasir alam hasil desintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu.

5. Alkali Aktivator

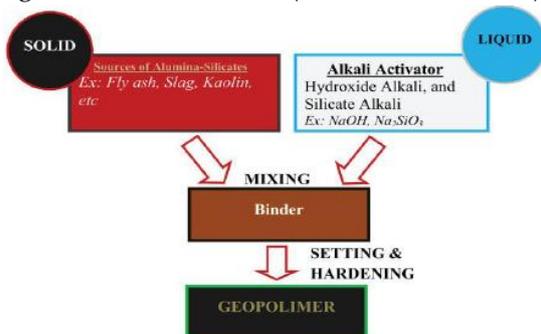
Larutan alkali yang paling umum digunakan dalam geopolimerisasi adalah suatu kombinasi *Sodium Hidroksida* (NaOH).

6. Air

Air merupakan bahan dasar penyusun mortar yang paling berperan dan paling murah. Air berfungsi sebagai bahan pengikat dan bahan pelumas diantara butir-butir agregat serta berperan untuk mempermudah proses pencampuran dan pengerjaan adukan mortar (*workability*).

D. Metode Pecampuran Basah (*Wet Mixing Method*)

Metode pencampuran basah merupakan metode yang paling umum digunakan, dimana aktivator alkali yang digunakan disajikan hanya bentuk larutan. NaOH (Natrium Hidroksida) dilarutkan sesuai dengan konsentrasi molar yang diinginkan dalam bentuk cair. Larutan tersebut dicampur dengan bahan pozzolan yang ada di dalam wadah (Abdullah et al, 2013)



Gambar 1 *Wet Mixing method* (sumber: Ridho Bayu Aji 20017)

E. Pengujian Mortar

1. Uji Vicat

Pada penelitian ini pengujian vicat dilakukan untuk mengetahui waktu ikat awal pada pasta *dry geopolimer*. Adapun ketentuan-ketentuan yang harus dipenuhi pada saat melakukan pengujian vicat sesuai dengan SNI 03-6827-2002.

2. Uji Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah besarnya beban maksimum persatuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan pada saat pengujian. Kuat tekan beton ditentukan oleh perbandingan semen, agregat halus, air dan berbagai jenis bahan tambahan (Tjokrodinuljo, 1996). Perbandingan air dengan semen merupakan faktor utama dalam menentukan kuat tekan beton, kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus:

$$\sigma = \frac{P}{A} \left(\frac{N}{mm^2} \right) \dots\dots\dots(1)$$

dimana,

π = Kuat tekan beton (N/mm²)

P = Beban (N)

A = Luas permukaan benda uji (mm²)

Menurut SNI 03-1974-1990 faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton adalah faktor air semen, sifat dan kualitas bahan, perbandingan bahan susun, *slump*, cara pengerjaan dan cara perawatan pada beton itu sendiri.

METODE

A. Jenis Penelitian

Penelitian yang digunakan merupakan jenis penelitian eksperimental yaitu penelitian yang diambil dari sumber yang telah ada melalui jurnal dan karya ilmiah untuk selanjutnya akan dilakukan perbaikan dan pengembangan lebih lanjut dengan merancang komposisi mortar *geopolymer* berbahan dasar abu terbang dan marmer menggunakan bahan pengikat kapur dan larutan aktivator *sodium hidroksida* (NaOH). Sehingga mortar geopolimer ini terdiri dari agregat halus, abu terbang (*fly ash*), kapur, limbah marmer, dan larutan aktivator (NaOH).

B. Rancangan Penelitian

Penelitian yang dilakukan berupa uji laboratorium dengan melakukan perbandingan limbah marmer pada pembuatan mortar geopolimer berbahan dasar abu terbang menggunakan bahan pengikat kapur dan *alkaline activator* (larutan aktivator) pada temperature suhu 100°C. Selain itu, penelitian akan mengambil hasil kuat tekan pada bahan uji mortar geopolimer. Pengujian dilakukan sesuai umur yang

telah direncanakan yaitu 7, 14, dan 28 hari dengan menggunakan benda uji mortar geopolimer berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm

C. Lokasi dan Waktu Penelitian

Untuk memperoleh data, maka penelitian ini dilakukan pada:

1. Waktu penelitian : Juli 2018 – September 2018
2. Tempat penelitian : Laboratorium Teknologi Beton, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Surabaya

D. Populasi dan Sampel

1. Populasi

Populasi adalah jumlah keseluruhan dari satuan – satuan atau individu-individu yang karakteristiknya hendak diteliti (Kuntjojo, 2009:29). Populasi dalam penelitian ini adalah data hasil pengujian kuat tekan mortar geopolimer kubus berbahan dasar abu terbang (*fly ash*), kapur, limbah marmer, NaOH 10M.

2. Sampel

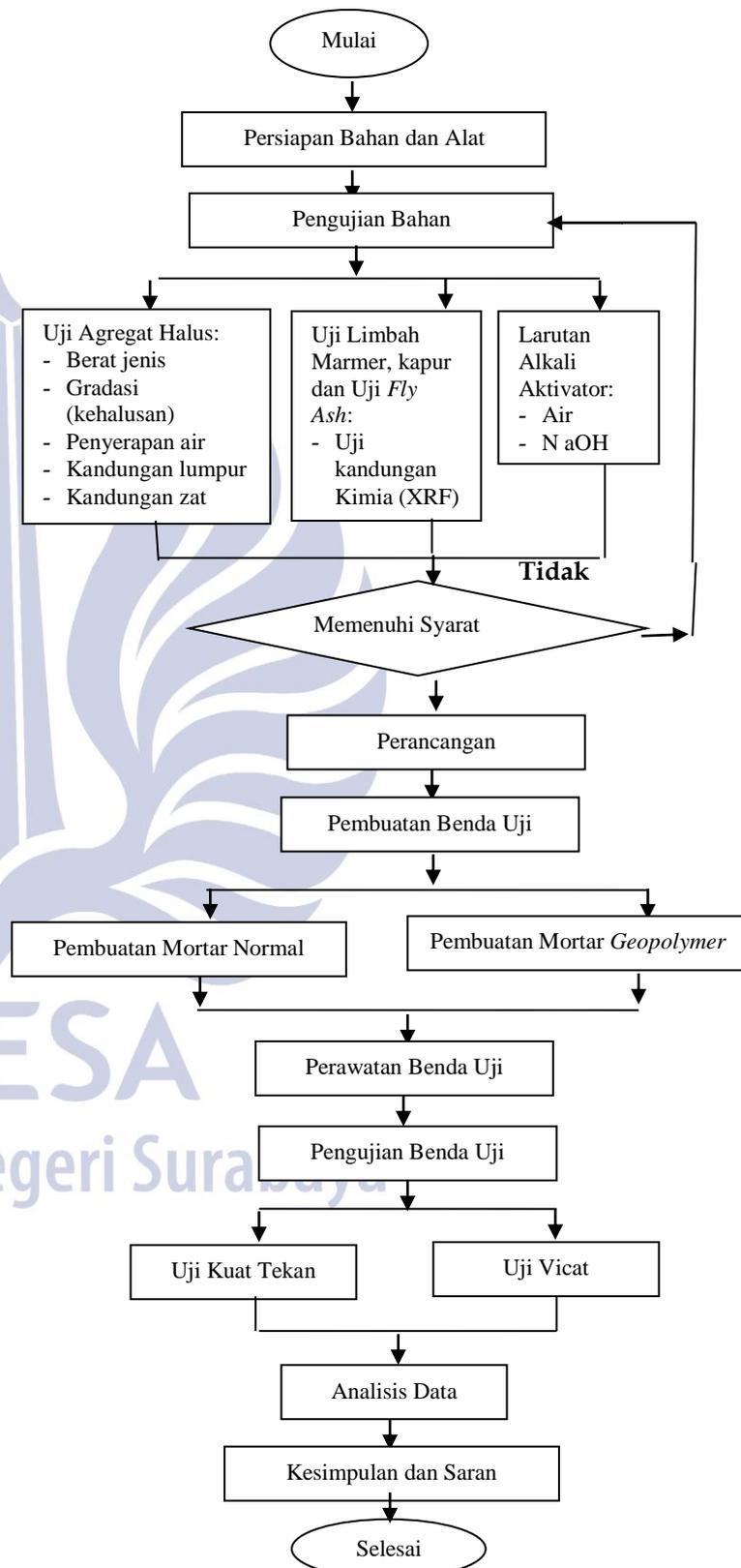
Sampel adalah sebagian dari populasi yang karakteristiknya hendak diteliti (Kuntjojo, 2009:29). Penelitian ini digunakan sampel dari semua populasi dikarenakan jumlah populasi bersifat data hasil pengujian di laboratorium dengan sampel benda uji berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm berjumlah 63 buah.

E. Variabel Penelitian dan Definisi Operasional Variabel Instrumen Pengumpulan Data Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas (*Independent Variable*)
 Dalam penelitian ini, variabel bebasnya adalah variasi campuran kapur dan *sodium hidroksida* (NaOH).
2. Variabel Terikat (*Dependent Variable*)
 Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat dari variabel bebas. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel terikat ialah kuat tekan mortar geopolimer.
3. Variabel Kontrol (*Control Variable*)
 Variabel ini merupakan variabel penyalu yang mempunyai faktor-faktor tidak secara langsung mempengaruhi berubahnya atau timbulnya variabel terikat. Dalam penelitian ini, variabel kontrolnya antara lain:
 - a) Molaritas NaOH = 10M
 - b) *Fly ash*
 - c) Kapur
 - d) Limbah marmer
 - e) Pengujian mortar geopolimer pada usia 7, 14, 28
 - f) Pasir

F. Metode Eksperimen

Secara garis besar, metode eksperimen memuat diagram alur penelitian yang digunakan untuk mendapatkan data primer akan dijelaskan pada gambar berikut ini:



Gambar 2 Diagram Alir (*Flow Chart*) Penelitian

G. Instrumen Penelitian

Rancangan *mix design* yang telah direncanakan tersebut, selanjutnya dilaksanakan penelitian yang terbagi dari beberapa tahap. Berikut tahapan penelitian:

1. Tahap Persiapan Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan berasal dari Laboratorium Beton Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Surabaya. Adapun bahan yang diperlukan untuk pembuatan *geopolymer mortar* adalah *fly ash*, larutan NaOH 10 M, limbah marmer, kapur dan pasir

2. Pemeriksaan Bahan/Material

Pada tahapan ini dilakukan pengujian material komposisi bahan adukan mortar. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat dan karakteristik dari bahan-bahan pembentuk mortar sehingga material yang akan digunakan sesuai dengan syarat pembuatan mortar. Adapun pengujian yang harus dilakukan adalah:

a. Abu Terbang (*fly ash*)

Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

- 1) Ambil sampel abu terbang secara acak, kemudian abu terbang tersebut dikeringkan dalam waktu 24 jam sampai benar-benar kering.
- 2) Ambil sampel tersebut menjadi 2 bagian dengan berat masing-masing 10-15 gram, kemudian letakkan di atas piknometer.
- 3) Timbang masing-masing piknometer (W1 gram) pastikan piknometer dalam keadaan kering saat ditimbang. Tandai masing-masing piknometer agar tidak terjadi kesalahan memasukkan data.
- 4) Masukkan sampel abu terbang ke dalam piknometer dengan hati-hati, jangan sampai ada yang tertumpah, kemudian timbang piknometer yang isinya abu terbang tadi (W2 gram)
- 5) Tuangkan air ke dalam piknometer sedikit demi sedikit hingga menutupi atau membasahi semua abu terbang yang ada di dalam piknometer, kira-kira $\frac{1}{2}$ dari piknometer.
- 6) Goyang-goyangkan piknometer secara perlahan agar semua sampel terbasahi oleh abu terbang tetapi jangan sampai ada air yang tertumpah.
- 7) Tutup piknometer dan diamkan selama 2-24 jam.
- 8) Setelah didiamkan, hilangkan gelembung udara yang ada dengan merebusnya di atas kompor, setelah gelembung udaranya hilang, dinginkan sehingga suhunya sama dengan suhu ruangan.
- 9) Tambahkan air lagi sampai memenuhi piknometer dan keringkan permukaan piknometer.
- 10) Timbang piknometer (W3 gram), kemudian ukur suhunya ($^{\circ}\text{C}$).

- 11) Buang air dan sampel abu dasar yang ada di dalam piknometer kemudian bersihkan, selanjutnya isi piknometer dengan air destilasi yang bersih hingga penuh. Usahakan tenggang waktunya tidak terlalu lama sehingga suhunya bisa dipertahankan. Keringkan permukaan piknometer dengan kain atau lap.
- 12) Timbang piknometer yang berisi air (W4 gram).
- 13) Hitung berat jenis sampel yang ada.

b. Pasir

- 1) Pemeriksaan berat jenis pasir
Langkah-langkah pemeriksaan berat jenis pasir adalah sebagai berikut:
 - a) Keringkan pasir dalam oven dengan suhu 110°C sampai beratnya tetap, selanjutnya pasir didinginkan pada suhu ruang dengan menggunakan desikator. Pasir tersebut kemudian direndam air selama 24 jam
 - b) Setelah 24 jam, air rendaman pasir dibuang dengan hati-hati agar butiran pasir tidak terbuang, menerbarkan pasir dalam talam, kemudian dikeringkan di udara panas dengan cara membolak-balikkan pasir hingga kering.
 - c) Masukkan pasir ke dalam piknometer seberat 500 gram, kemudian masukkan air ke dalam piknometer hingga mencapai 90% isi piknometer. Putar dan guling-gulingkan piknometer sampai tidak terlihat gelembung udara di dalamnya. Jika ada gelembung udara di dalamnya maka buang gelembung dengan menggunakan pipet.
 - d) Tambahkan air kembali ke piknometer dengan air baru sampai batas 90% kemudian ditimbang beratnya (Bt).
 - e) Rendam piknometer dalam air dan ukur suhunya untuk penyesuaian perhitungan dengan suhu standart 25°C .
 - f) Pasir dikeluarkan dan dikeringkan dalam oven dengan suhu 110°C sampai beratnya tetap kemudian didinginkan dalam desikator, timbang beratnya (Bk).
- 2) Pemeriksaan gradasi pasir
Langkah-langkah pemeriksaan berat jenis pasir adalah sebagai berikut:
 - a) Keringkan pasir dalam oven dengan suhu 100°C sampai beratnya tetap.
 - b) Keluarkan pasir dan didinginkan dalam desikator selama 3 jam.
 - c) Menyusun ayakan sesuai dengan urutannya, ukuran terbesar diletakkan di atas yaitu 4,8 mm, 2,4 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, dan 0,15 mm.
 - d) Memasukkan pasir dalam ayakan yang paling atas, tutup ayakan dengan cara digetarkan selama 10 menit kemudian

- e) diamkan pasir selama 5 menit agar pasir tersebut mengendap.
- f) Pasir yang tertinggal dalam masing-masing ayakan ditimbang beserta wadahnya.
- g) Gradasi pasir yang didapat dengan cara menghitung komulatif prosentase butir-butir yang lolos-lolos pada masing-masing ayakan.

Nilai modulus halus pasir dihitung dengan menjumlahkan prosentase komulatif butir yang tertinggal kemudian dibagi seratus.

c. Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini adalah air harus bersih, tidak mengandung lumpur, minyak dan garam sesuai dengan persyaratan air minum yang air aquades atau air suling diperoleh dari toko bahan kimia PT. Brataco, Surabaya.

3. Pembuatan Benda Uji

Perhitungan rancangan pada campuran mortar (*mix design*) dilakukan terlebih dahulu untuk mendapatkan komposisi bahan yang sesuai dengan rencana. Berikut ini rancangan *mix design* untuk pembuatan mortar *geopolymer*:

Tabel 1 Rekapitulasi kebutuhan bahan Mortar

Mortar <i>Geopolymer</i>								
Mix	w/b	Jml Mortar	Berat (gram)					
			PC	Pasir	<i>Fly ash</i>	NaOH	Limbah marmer	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

Selanjutnya dilakukan proses pembuatan benda uji. Langkah-langkah pembuatan benda uji adalah sebagai berikut:

- a. Mengambil bahan-bahan penyusun mortar *geopolymer* yaitu pasir, *fly ash*, alkali aktivator (NaOH), kapur dan air. Menimbang bahan-bahan tersebut sesuai dengan rancangan (*mix design*) yang telah direncanakan.
- b. Melarutkan *Sodium Hidroksida* (NaOH) kedalam air dan diaduk selama 3 menit. Dalam pengujian ini digunakan NaOH 12 Molar.
- c. Menambahkan *Sodium Silikat* (Na_2SiO_3) kedalam air dan *Sodium Hidroksida* (NaOH) dan diaduk selama \pm 4 jam. Kemudian larutan tersebut didiamkan selama 24 jam untuk menuntaskan peralutan ekotermis NaOH.

- d. Mencampur larutan (NaOH + air + kapur) tersebut dengan *fly ash* sampai benar-benar homogeny.

- e. Membuat mortar *geopolymer* dengan cara menambahkan pasir ke dalam larutan (NaOH + air + kapur + *fly ash* + limbah marmer + pasir) yang diaduk sampai campuran menjadi homogen. Menuangkan mortar *geopolymer* kedalam cetakan kubus isi 3 lapis, dimana setiap lapis cetakan kubus dipadatkan dengan 25x tusukan secara merata untuk mengurangi rongga-rongga udara pada mortar dan mortar menjadi padat. Selain itu meratakan permukaan mortar dan simpan dalam suhu kamar (normal). Membuka dan mengeluarkan benda uji dari cetakan sesuai dengan umur rencana yang diinginkan

4. Perawatan Benda Uji (*curing*)

Pada penelitian terdapat tahap perawatan benda uji agar terjaga kondisinya yaitu dilakukan proses *curing*. Proses *curing* dilakukan selama 28 hari di suhu ruangan yang bertujuan untuk menjaga suhu dari material benda uji agar tetap stabil, sehingga dapat mengurangi retakan permukaan benda uji akibat dari suhu yang panas.

5. Pengujian Benda Uji

a. Pengujian Vicat

Bahan utama yang diperlukan untuk uji vicat pada pasta konvensional adalah semen dan air sedangkan untuk pasta *geopolymer* adalah *fly ash* dan larutan aktivator.

Tabel 2 Rekapitulasi kebutuhan bahan untuk uji vicat pada pasta *Dry geopolymer*

Pasta <i>Dry Geopolymer</i>						
Mix	w/b	Berat				
		PC	Air	FA	NaOH + kapur	Marmer
A	-	265	132,5	-	-	-
B	0,40	0	0	0,820	0,18	-
C	0,40	0	0	0,779	0,18	0,041
D	0,40	0	0	0,738	0,18	0,082
E	0,40	0	0	0,697	0,18	0,123
F	0,40	0	0	0,656	0,18	0,164
G	0,40	0	0	0,615	0,18	0,205

b. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dengan mesin *Universal Testing Machine*. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7, 14 dan 28 hari. Tahapan-tahapan dalam pengujian kuat tekan benda uji adalah sebagai berikut:

- 1) Menimbang dan mengukur dimensi benda uji.
- 2) Meletakkan benda uji pada mesin *Universal Testing Machine*. Menentukan skala

pengukuran. Kemudian memutar jarum penunjuk tepat pada titik nol.

- 3) Menyalakan mesin *Universal Testing Machine* dengan menekan tombol ON.
- 4) Mengamati jarum penunjuk untuk mengetahui setiap perubahan/penambahan kuat tekan.
- 5) Mematikan mesin *Universal Testing Machine* dengan menekan tombol OFF apabila jarum penunjuk sudah tidak bergerak lagi, dengan kata lain *fly ash-based mortar geopolimer* sudah hancur.
- 6) Membaca dan mencatat angka yang ditunjuk oleh jarum yang merupakan besarnya gaya tekan maksimum *fly ash-based mortar geopolimer*. Mencatat dan menghitung nilai kuat tekan *fly ash-based mortar geopolimer*.

H. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dengan cara pengukuran dan juga pengamatan. Pengukuran dilakukan untuk mendapatkan volume benda uji, volume material yang dibutuhkan dan umur benda uji. Sedangkan untuk pengamatan dilakukan untuk mendapatkan data kuat tekan pada benda uji.

I. Teknik Analisis Data

Metode analisis data yang akan digunakan pada penelitian ini adalah dengan deksriptif kuantitatif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

1. Pengujian kadar lumpur dalam pasir

Pasir Lumajang sebagai agregat halus yang akan dipakai pada penelitian ini harus melalui tahapan pembersihan dari kotoran maupun kandungan lumpur yang terdapat didalamnya. Apabila kadar lumpur melampaui 5%, maka agregat halus harus dicuci (PBI 1971 hal. 19). Berikut ini hasil pengujian kadar lumpur dalam pasir:

- 1) Berat pasir mula-mula (A) = 500 gram
- 2) Berat pasir bersih oven (B) = 488 gram
- 3) Kadar lumpur

$$\begin{aligned} \text{Kadar Lumpur} &= \frac{A-B}{B} \times 100\% \\ &= \frac{500-488}{488} \times 100\% \\ &= 3,73\% < 5\% \end{aligned}$$

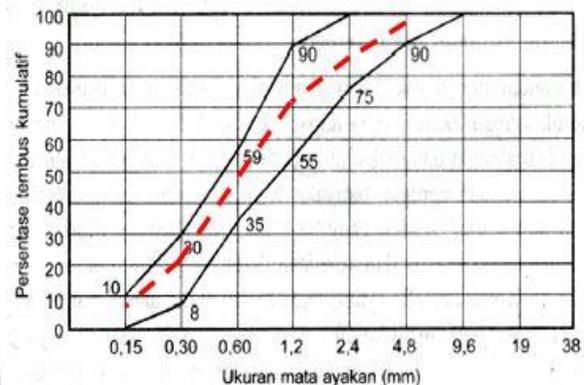
Hasil kadar lumpur yang terkandung dalam pasir yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 3,73%. Kadar lumpur yang didapat < 5% ini menunjukkan bahwa pasir dapat digunakan dalam perkerasan beton.

2. Pengujian Gradasi Pasir

Hasil pengujian analisa ayakan pasir lapangan disajikan dalam **Tabel** dan **Grafik** berikut:

Tabel 3 Analisa Ayakan Pasir Lapangan

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

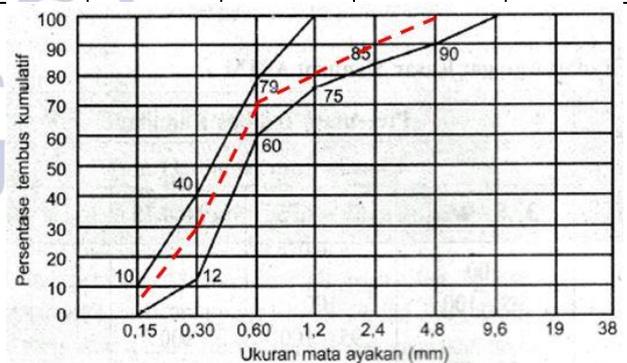


Gambar 3 Grafik Analisa Ayakan Pasir Lapangan

Sedangkan pengelompokan gradasi pasir berdasarkan uji laboratorium adalah sebagai berikut:

Tabel 4 Hasil Analisa Ayakan Pasir Laboratorium

Lubang Ayakan	Berat		% Kumulatif	
	Tertinggal	Kumulatif	Tertinggal	Lewat Ayakan
No. 4	0 (0 %)	0	0	100
No. 8	155 (5 %)	155	5	95
No. 16	155 (5 %)	310	10	90
No. 30	309 (10 %)	619	20	80
No. 50	1547 (50%)	2166	70	30
No. 100	773 (25%)	2939	95	5
Pan	155 (5 %)	3094	100	0
Jumlah	1000		200	



Gambar 3 Grafik Analisa Ayakan Pasir Laboratorium

Berdasarkan hasil pemeriksaan analisa ayakan pasir diatas, pasir yang digunakan pada penelitian termasuk pasir zona 3 yaitu kategori pasir agak halus karena nilai FM (*Finesness Modulus*) yang diperoleh yaitu= 200 : 100 =2,00.

3. Uji Berat Jenis dan Penyerapan Pasir

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis kering permukaan jenuh (Saturated Surface Dry = SSD), berat jenis kering oven, berat jenis semu dan penyerapan pasir. Untuk pengukuran berat jenis dan penyerapan, dilakukan sesuai metode ASTM 128-01. Berikut adalah data hasil pengujian yang telah dilakukan di laboratorium beton:

- a) Berat pasir kering oven (A) = 246 gram
- b) Berat pasir kering permukaan jenuh = 250 gram
- c) Berat piknometer + air suling (B) = 335 gram
- d) Berat piknometer + air + pasir (C) = 495 gram
- e) Berat jenis SSD

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis SSD} &= \frac{250}{B+250-C} \\ &= \frac{250}{335+250-495} \\ &= 2.78 \text{ gram/cc} \end{aligned}$$

- f) Berat jenis kering oven

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis kering oven} &= \frac{A}{B+250-C} \\ &= \frac{246}{335+250-495} \\ &= 2.73 \text{ gram/cc} \end{aligned}$$

- g) Berat jenis semu

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis semu} &= \frac{A}{B+A-C} \\ &= \frac{246}{335+246-495} \\ &= 2.86 \text{ gram/cc} \end{aligned}$$

- h) Penyerapan

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan} &= \frac{250-A}{A} \times 100\% \\ &= \frac{250-246}{246} \times 100\% \\ &= 1.62\% \end{aligned}$$

4. Pengujian Fly Ash

Pengujian X-Ray Fluorescence (XRF) yang bertujuan untuk mengetahui kandungan kimia yang terkandung dalam fly ash tersebut. Pengujian ini dilaksanakan di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju Universitas Negeri Malang. Berikut adalah hasil dari pengujian kandungan fly ash:

Tabel 5 Hasil Uji X-Ray Fluorescence Fly Ash

Compound	Conc (%)	Compound	Conc (%)
Ca	17.00	Si	23.4
Ti	1.37	K	3.19
Mn	0.51	V	0.079
Fe	40.65	Cr	0.097
Cu	0.095	Ni	0.05
Sr	0.65	Zn	0.08
Mo	2.3	Rb	0.25
Ba	0.55	Yb	0.04
Eu	0.4	Re	0.06
Al	8.9	Hg	0.29

Berdasarkan hasil pengujian XRF diatas, bisa diketahui bahwa kandungan unsur kimia fly ash yang digunakan pada penelitian didominasi oleh unsur besi (Fe) sebanyak 51.17%, silica (Si) sebanyak 13.20%, kapur (Ca) sebanyak 24.00% dan aluminium (Al) sebanyak 4.60%. Dari hasil tes XRF diatas, dapat disimpulkan bahwa fly ash dapat digunakan dalam penelitian karena memiliki unsur-unsur yang mirip dengan unsur-unsur yang terkandung didalam semen.

5. Pengujian Limbah Marmer

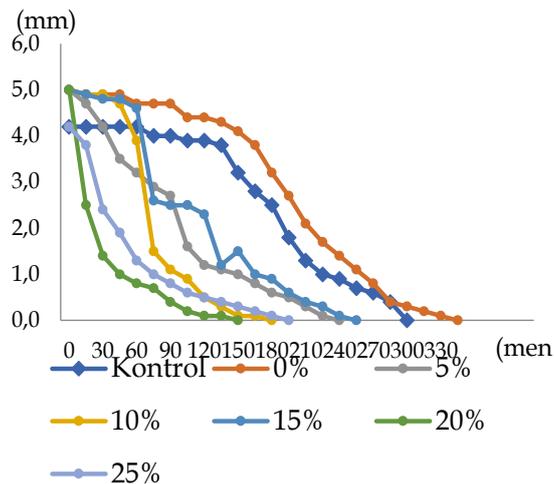
Limbah marmer yang digunakan dalam penelitian ini didapat dari PT. Industri Marmer Indonesia Tulungagung di Desa Besole, Jawa Timur. Pengujian dilakukan di Laboratorium Sentral Mineral dan Material maju FMIPA Universitas Negeri Malang. Berikut ini komponen yang terdapat pada limbah marmer yang dijabarkan pada tabel berikut ini:

Tabel 6 Komponen dan kandungan Limbah Marmer

KOMPONEN	Kandungan
Ca	97.74%
Ti	0.04%
Mn	0.02%
Fe	1.02%
Cu	0.040%
Sr	0.29%
Mo	0.28%
Ba	0.20%
Eu	0.20%
Lu	0.20%

B. Hasil Pengujian Vicat

Uji vicat ini dilaksanakan untuk mengetahui perbandingan waktu pengikatan awal dan akhir pasta berbahan dasar semen dan fly ash



Gambar 4 uji vicat

Berdasarkan hasil pengujian pada **Gambar 4** grafik penurunan pada kondisi presentase Limbah Marmer diatas menunjukkan pasta dengan Presentase Limbah Marmer terendah yaitu 20% mengalami waktu pengikatan tercepat yaitu 165 menit. Hal tersebut membuat mortar yang dicetak juga akan lebih cepat mengeras. Sedangkan pasta dengan limbah Marmer tertinggi yaitu 0% mengalami waktu pengikatan awal paling lama yaitu 345 menit karena pasta sangat encer sehingga memerlukan waktu lama untuk dapat mengeras, Tetapi untuk pasta dengan Limbah Marmer 0% lama waktu pengujian vicatnya hampir sama dengan pasta normal (kontrol). Hal ini ada beberapa faktor yang mempengaruhi perbedaan waktu ikat awal pada *mix design* satu dengan yang lain antara lain lama waktu pengadukan adonan vicat, suhu ruangan berbeda karena membuat semua vicat tersebut tidak pada hari yang sam dan yang paling mempengaruhi adalah keadaan adonann pada *mix design* 1 dengan yang lain berbeda beda.

C. Pembahasan

Hasil penelitian akan dibahas pada sub bab ini, dimana dilakukan analisis kuat tekan mortar *dry geopolimer* dengan metode *wet mixing* sesuai umur 7, 14, dan 28 hari. Kuat

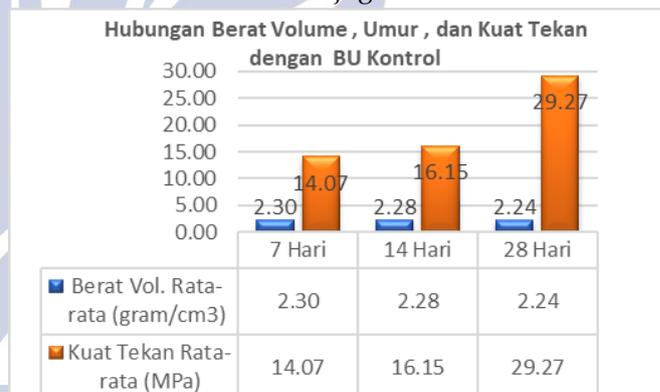
tekan merupakan besarnya beban maksimum yang diberikan persatuan luas, yang menyebabkan benda uji hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu.

1. Hasil kuat tekan dan berat volume rata-rata *mix desain control*

Tabel 7 Hasil kuat tekan dan berat volumedata (*mix control*)

Hari	Kuat Tekan	Berat Vol.
Pengujian	Rata-rata (Mpa)	Rata-rata (gram)
r 7 Hari	14.07	2.30
i 14 Hari	16.15	2.28
28 Hari	29.27	2.24

Tabel 7 dapat kita lihat hasil dari kuat tekan dan berat volume rata-rata. Semakin umur mortar geopolimer bertambah, maka semakin tinggi pula nilai kuat tekan mortar tersebut. Begitu juga berat volume rata-rata juga ikut bertambah.



Gambar 5 Grafik Hubungan berat volume, umur dan kuat tekan *mix control*

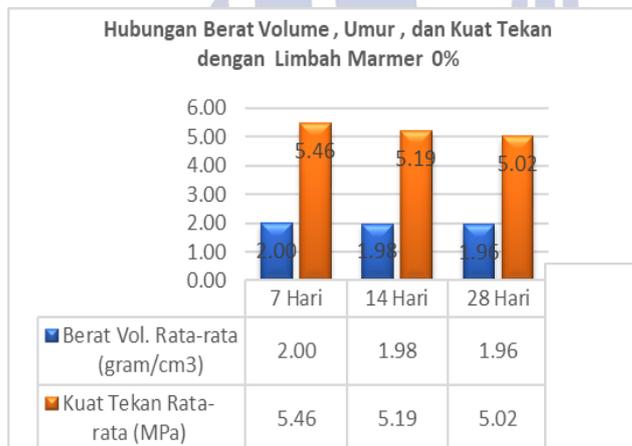
Dari hasil grafik pada **Gambar 5** dapat dilihat bahwa semakin bertambah usia atau umur mortar, berat volume rata-rata juga ikut bertambah dan hasil kuat tekan juga ikut naik.

2. Hasil kuat tekan dan berat volume rata-rata (*mix design 0%*)

Tabel 8 Hasil kuat tekan dan berat volume rata-rata (*mix limbah marmer 0%*)

Hari	Kuat Tekan	Berat Vol.
Pengujian	Rata-rata	Rata-rata
(Hari)	(MPa)	(gram/cm ³)
7 Hari	5.46	2.00
14 Hari	5.19	1.98
28 Hari	5.02	1.96

Dari **Tabel 8** dapat kita lihat hasil dari kuat tekan dan berat volume rata-rata. Untuk hasil dari mix desain 0% mengalami penurunan. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada **Gambar 6** berikut.



Gambar 6 Grafik Hubungan berat volume, umur dan kuat tekan *mix 0%*

Dari hasil grafik pada **Gambar 6** dapat dilihat bahwa hasil dari mix desain 0% mengalami penurunan. Pada usia 7 hari, mendapatkan hasil kuat tekan rata-rata 5,46 MPa, sedangkan untuk volume rata-rata mendapatkan hasil sebesar 2,00 kg. Pada usia 14 hari mengalami penurunan yang cukup signifikan yakni untuk kuat tekan rata-rata sebesar 5,19 MPa, dan volume rata-rata sebesar 1,98 kg. Untuk usia 28 hari kembali mengalami penurunan yang tidak begitu besar yakni untuk kuat tekan rata-rata sebesar 5,02 MPa, dan berat volume rata-rata sebesar 1,96 kg. Beberapa faktor yang mempengaruhi perbedaan berat benda uji

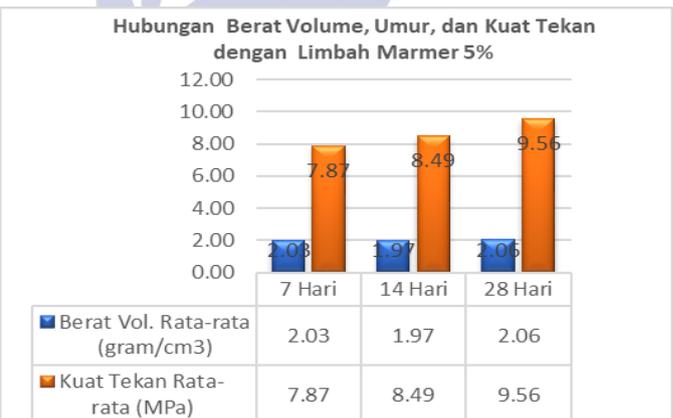
berbeda beda karena proses penuangan dengan jumlah rojokan yang berbeda pada setiap lubang cetakan, dan semakin lama umur benda uji juga mempengaruhi kadar air di benda uji.

3. Hasil kuat tekan dan berat volume rata-rata *mix design 5%*

Tabel 9 Hasil kuat tekan dan berat volume rata-rata (*mix limbah marmer 5%*)

Hari	Kuat Tekan	Berat Vol.
Pengujian	Rata-rata	Rata-rata
(Hari)	(MPa)	(gram/cm ³)
7 Hari	7.87	2.03
14 Hari	8.49	1.97
28 Hari	9.56	2.06

Dari **Tabel 9** dapat kita lihat hasil dari kuat tekan dan berat volume rata-rata. Untuk hasil dari mix desain 5% mengalami peningkatan. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada **Gambar 7** berikut:



Gambar 7 Grafik Hubungan berat volume, umur dan kuat tekan *mix 5%*

Dari hasil grafik pada **Gambar 7** dapat dilihat bahwa hasil dari *mix design 5%* mengalami peningkatan. Pada usia 7 hari, mendapatkan hasil kuat tekan rata-rata 7,87 MPa, sedangkan untuk volume rata-rata mendapatkan hasil sebesar 2,03 kg. Pada usia 14 hari mengalami peningkatannya yang cukup yakni untuk kuat tekan rata-rata sebesar 8,49 MPa, dan volume rata-rata sebesar 1,97 kg. Untuk

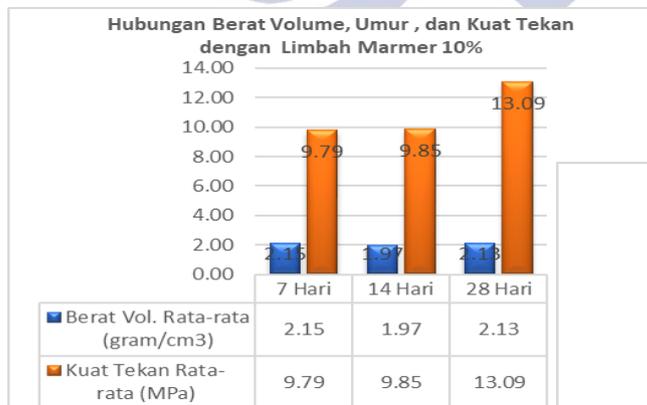
usia 28 hari kembali mengalami penurunan yang tidak begitu besar yakni untuk kuat tekan rata-rata sebesar 9,59 MPa, dan berat volume rata-rata sebesar 2,06 kg. Beberapa faktor yang mempengaruhi perbedaan berat benda uji berbeda beda karena proses penuangan dengan jumlah rojokan yang berbeda pada setiap lubang cetakan, dan semakin lama umur benda uji juga mempengaruhi kadar air di benda uji.

4. Hasil kuat tekan dan berat volume rata-rata *mix desain 10%*

Tabel 10 Hasil kuat tekan dan berat volume rata-rata (*mix limbah marmer 10%*)

Hari	Kuat Tekan	Berat Vol.
Pengujian	Rata-rata	Rata-rata
(Hari)	(MPa)	(gram/cm3)
7 Hari	9.79	2.15
14 Hari	9.85	1.97
28 Hari	13.09	2.13

Dari **Tabel 10** dapat kita lihat hasil dari kuat tekan dan berat volume rata-rata. Untuk hasil dari *mix desain 10%* mengalami peningkatan. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada **Gambar 8** berikut.



Gambar 8 Grafik Hubungan berat volume, umur dan kuat tekan *mix 10%*

Dari hasil grafik pada **Gambar 4.38** dapat dilihat bahwa hasil dari *mix desain 10%* mengalami peningkatan. Pada usia 7 hari, mendapatkan hasil kuat tekan rata-rata 9,79 MPa, sedangkan untuk volume rata-rata mendapatkan hasil sebesar 2,15

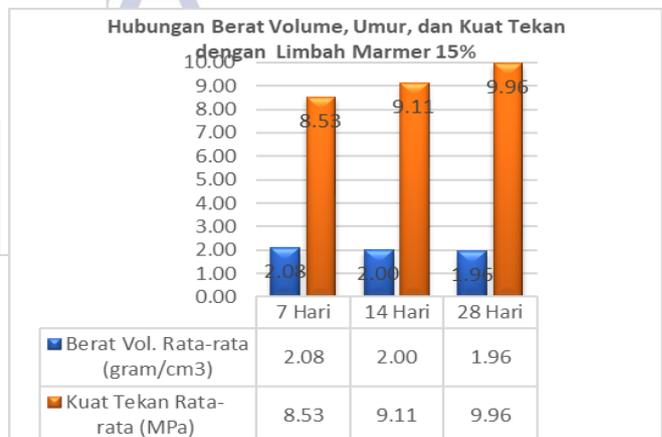
kg. Pada usia 14 hari mengalami peningkatan yang cukup yakni untuk kuat tekan rata-rata sebesar 9,85 MPa, dan volume rata-rata sebesar 1,97 kg. Untuk usia 28 hari kembali mengalami penurunan yang tidak begitu besar yakni untuk kuat tekan rata-rata sebesar 13,09 MPa, dan berat volume rata-rata sebesar 2,13 kg. Beberapa faktor yang mempengaruhi perbedaan berat benda uji berbeda beda karena proses penuangan dengan jumlah rojokan yang berbeda pada setiap lubang cetakan, dan semakin lama umur benda uji juga mempengaruhi kadar air di benda uji.

5. Hasil kuat tekan dan berat volume rata-rata (*mix design 15%*)

Tabel 11 Hasil kuat tekan dan berat volume rata-rata (*mix limbah marmer 15%*)

Hari	Kuat Tekan	Berat Vol.
Pengujian	Rata-rata	Rata-rata
(Hari)	(MPa)	(gram/cm3)
7 Hari	8.53	2.08
14 Hari	9.11	2.00
28 Hari	9.96	1.96

Dari **Tabel 11** dapat kita lihat hasil dari kuat tekan dan berat volume rata-rata. Untuk hasil dari *mix desain 15%* mengalami peningkatan. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada **Gambar 9** berikut.



Gambar 9 Grafik Hubungan berat volume, umur dan kuat tekan *mix 15%*

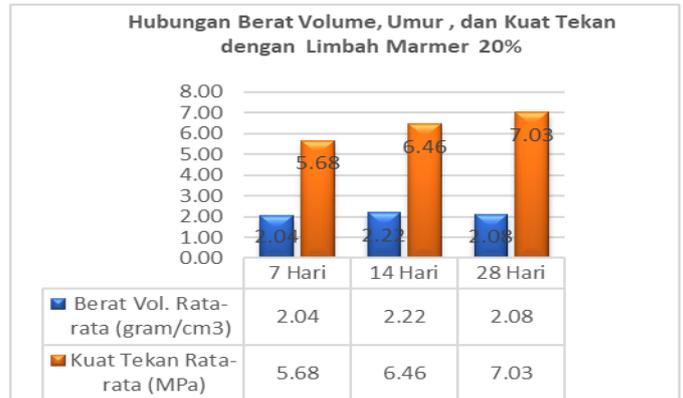
Dari hasil grafik pada **Gambar 9** dapat dilihat bahwa hasil dari *mix design* 15% mengalami peningkatan. Pada usia 7 hari, mendapatkan hasil kuat tekan rata-rata 8,53 MPa, sedangkan untuk volume rata-rata mendapatkan hasil sebesar 2,08 kg. Pada usia 14 hari mengalami peningkatan yang cukup yakni untuk kuat tekan rata-rata sebesar 9,11 MPa, dan volume rata-rata sebesar 2,00 kg. Untuk usia 28 hari kembali mengalami peningkatan yang tidak begitu besar yakni untuk kuat tekan rata-rata sebesar 9,96 MPa, dan berat volume rata-rata sebesar 1,96 kg. Beberapa faktor yang mempengaruhi perbedaan berat benda uji berbeda beda karena proses penuangan dengan jumlah rojokan yang berbeda pada setiap lubang cetakan, dan semakin lama umur benda uji juga mempengaruhi kadar air di benda uji

6. Hasil kuat tekan dan berat volume rata-rata (*mix desain 20%*)

Tabel 12 Hasil kuat tekan dan berat volume rata-rata (*mix limbah marmer 20%*)

Hari	Kuat Tekan	Berat Vol.
Pengujian	Rata-rata	Rata-rata
(Hari)	(MPa)	(gram/cm ³)
7 Hari	5.68	2.04
14 Hari	6.46	2.22
28 Hari	7.03	2.08

Dari **Tabel 12** dapat kita lihat hasil dari kuat tekan dan berat volume rata-rata. Untuk hasil dari *mix desain 20%* mengalami peningkatan. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada **Gambar 10** berikut.



Gambar 10 Grafik Hubungan berat volume, umur dan kuat tekan *mix 20%*

Dari hasil grafik pada **Gambar 10** dapat dilihat bahwa hasil dari *mix desain 20%* mengalami peningkatan. Pada usia 7 hari, mendapatkan hasil kuat tekan rata-rata 5,68 MPa, sedangkan untuk volume rata-rata mendapatkan hasil sebesar 2,04 kg. Pada usia 14 hari mengalami peningkatan yang cukup yakni untuk kuat tekan rata-rata sebesar 6,46 MPa, dan volume rata-rata sebesar 2,22 kg. Untuk usia 28 hari kembali mengalami peningkatan yang tidak begitu besar yakni untuk kuat tekan rata-rata sebesar 7,03 Mpa, dan berat volume rata-rata sebesar 2,08 kg. Beberapa faktor yang mempengaruhi perbedaan berat benda uji berbeda beda karena proses penuangan dengan jumlah rojokan yang berbeda pada setiap lubang cetakan, dan semakin lama umur benda uji juga mempengaruhi kadar air di benda uji.

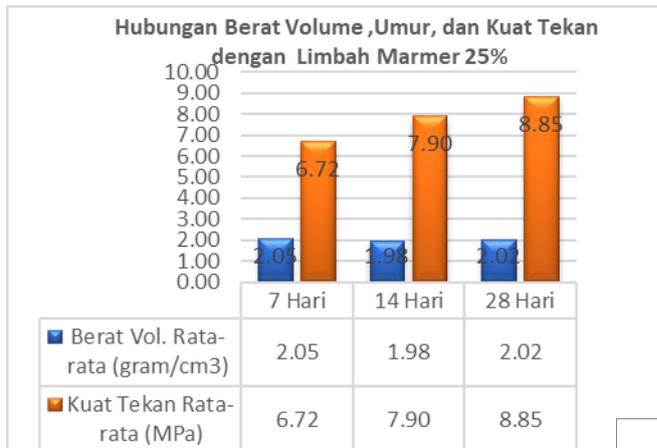
7. Hasil kuat tekan dan berat volume rata-rata (*mix desain 25%*)

Tabel 13 Hasil kuat tekan dan berat volume rata-rata (*mix limbah marmer 25%*)

Hari	Kuat Tekan	Berat Vol.
Pengujian	Rata-rata	Rata-rata
(Hari)	(MPa)	(gram/cm ³)
7 Hari	6.72	2.05
14 Hari	7.90	1.98
28 Hari	8.85	2.02

Dari **Tabel 13** dapat kita lihat hasil dari kuat tekan dan berat volume

rata-rata. Untuk hasil dari *mix design* 25% mengalami peningkatan. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada Gambar 11 berikut.



Gambar 11 Grafik Hubungan berat volume, umur dan kuat tekan mix 25%

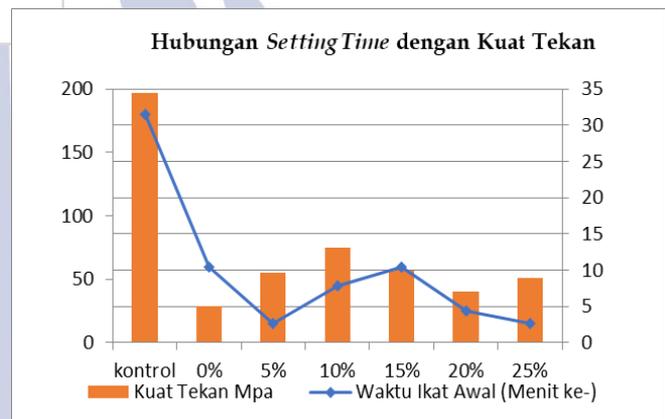
Dari hasil grafik pada **Gambar 11** dapat dilihat bahwa hasil dari *mix design* 25% mengalami peningkatan. Pada usia 7 hari, mendapatkan hasil kuat tekan rata-rata 6,72 MPa, sedangkan untuk volume rata-rata mendapatkan hasil sebesar 2,05 kg. Pada usia 14 hari mengalami peningkatan yang cukup yakni untuk kuat tekan rata-rata sebesar 7,90 MPa, dan volume rata-rata sebesar 1,98 kg. Untuk usia 28 hari kembali mengalami peningkatan yang tidak begitu besar yakni untuk kuat tekan rata-rata sebesar 8,85 MPa, dan berat volume rata-rata sebesar 2,02 kg.

Penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh imam agus arifin (2018), kuat tekan beton dengan hasil tertinggi terjadi pada presentase substitusi limbah marmer sebesar 10% dan hasilnya akan menurun ketika presentase substitusi limbah marmer semakin besar.

8. Hubungan *setting time* dengan hasil kuat tekan *dry geopolymer* mortar.

Tabel 14 Hubungan *setting time* dengan hasil kuat Tekan

Mix Design	Waktu Ikat Awal (Menit ke-)	Waktu Ikat Akhir (Menit ke-)	Kuat Tekan (Mpa)
kontrol	180	300	34,4
0%	60	345	5,02
5%	15	240	9,59
10%	45	180	13,09
15%	60	255	9,96
20%	25	135	7,03
25%	15	210	8,85



Gambar 12 Grafik Hubungan *setting time* dan kuat tekan

Pada pembuatan *dry geopolymer* mortar, waktu ikat (*setting time*) akan mempengaruhi karakteristik dari mortar itu sendiri. Salah satunya yaitu pengaruh terhadap kuat tekan.

Dari **Tabel 14** dan **Gambar 12** diatas dapat dilihat hasil dari hubungan waktu ikat dengan hasil kuat tekan. Dapat dilihat dari mix 0% mengalami waktu ikat awal semakin cepat. Kondisi ini di sebabkan karena kandungan dalam limbah marmer yakni Ca yang tinggi akan berpengaruh pada mortar *geopolymer*, karena semakin bertambahnya limbah marmer yang dilakukan maka semakin banyak pula tingkat kelarutan dari CaO dan akan menghasilkan panas yang berpengaruh pada penguapan air (H₂O) sehingga mortar *geopolymer* memiliki

sifat cepat mengeras. Hal ini ada beberapa faktor yang mempengaruhi perbedaan waktu ikat awal pada *mix design* satu dengan yang lain antara lain lama waktu pengadukan adonan vicat, suhu ruangan berbeda karena membuat semua vicat tersebut tidak pada hari yang sam dan yang paling mempengaruhi adalah keadaan adonann pada *mix design* 1 dengan yang lain berbeda beda.

Hal ini sejalan dengan penelitian imam agus arifin (2018), hasil uji vicat menunjukkan bahwa substitusi limbah marmer mempengaruhi waktu ikat awal dimana semakin banyak presentase substitusi marmer akan semakin cepat waktu ikat awal beton dan beton semakin kental.

SIMPULAN

Hasil penelitian, analisis data dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh pergantian semen oleh limbah marmer terhadap *fly ash* dapat mempengaruhi nilai kuat tekan mortar karena adanya proses reaksi kimia antara Ca dan H₂O menghasilkan reaksi kimia bersifat keras. Tetapi, semakin tinggi komposisi limbah marmer terhadap *fly ash* juga akan berakibat menurunnya nilai kuat tekan mortar tersebut.
2. Komposisi substitusi limbah marmer terhadap *fly ash* yang optimum pada pembuatan *dry geopolymer mortar* dengan metode *wet mixing* berbahan dasar abu terbang dan NaOH 10M di tinjau kuat tekan yang tertinggi sebesar 13,09 MPa diumur 28 hari pada campuran limbah marmer 10%.

DAFTAR PUSTAKA

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

Aida dkk, 2008. Pengaruh Limbah Marmer sebagai Bahan Pengisi Pada beton.

Anonim, 2002, (SK SNI S-04-1989-F (1989 : 17). Spesifikasi Agregat Sebagai Bahan Bangunan, Yayasan LPMB, Bandung.

Anonim (1997), *ASTM C.33-97 Standard Specification for Concrete Agregates*, United States.

Anonim, 2002, SNI 03-6414-2002, *Pengertian Dan Manfaat Fly Ash*, Departemen Pekerjaan Umum, Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.

ASTM International, ASTM C618. 2017. *Standart Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*. West Conshohocken.

Badan Standarisasi Nasional, 2002, *Standar Nasional Indonesia 03-6825-2002 tentang Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar*, Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional, 2004. *SNI 15-2049-2004 : Semen Portland*. Jakarta: BSN.

Davidovits, J. 1997. *Properties of Geopolymer*. France: Geopolimer.

Hardjito, D. et al. 2002. *On the Development of Fly Ash Based Geopolymer Concrete*.

Joseph, B. and George, M. 2012. *Influence of Aggregate Content on the Behavior of Fly Ash Based Geopolymer Concrete*. *Scientia Iranica* vol. 19 : 1188-1194.

Metha, P. K. 1997. *Durability-critical issue for the future*. ACI Concrete International.

McCaffery, R. 2002. *Climate Change and the Cement Industry*. Global Cement and Lime Magazine.

Moerdwiyono. 1998. *Diktat Teknologi Bahan*. Semarang

Ridho Bayu A., Abdul Karim Y., Try Eddy susanto et al. 2017. " *Review in Geopolymer Binder with Dry Mixing Method (geopolymer cement)* ".

Ridho Bayu A., Abdul Karim Y., Try Eddy susanto et al. 2017. " *Review in Geopolymer Binder with Dry Mixing Method (geopolymer cement)* ".

Soetopo dan Bhakti (1977 :85). *Kapur dan Komposisi Kimia Kapur*

Tjokrodimulyo, K. 1996. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil.

Tjokrodimulyo, K. 1996. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil.

Tjokrodimulyo, K. 1996. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil.

Utama, Sri (2010). "Pemanfaatan Bubuk Marmer Untuk Pembuatan Paving Stone" *Netron Vol 10 No 2, Agustus 2010: 54-59*.