

# PENGARUH KEPEKATAN LARUTAN AKTIVATOR TERHADAP KUAT TEKAN GEOPOLYMER MORTAR BERBAHAN DASAR ABU TERBANG DAN NaOH 12 MOLAR PADA KONDISI SS/SH 1.0 DAN 3.0

**Ira Janna Triandini**

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

**Arie Wardhono**

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

## Abstrak

Peningkatan permintaan beton menyebabkan 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 juga menimbulkan berbagai masalah, untuk menanggulangi permasalahan diatas maka alternatif yang digunakan adalah dengan geopolymerisasi yaitu penggantian semen dengan limbah hasil pembakaran batu bara yang disebut dengan abu terbang atau *fly ash*. Pada penelitian ini *fly ash* akan dicampurkan kedalam larutan aktivator, sehingga dapat menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi. Oleh karena itu, jenis aktivatornya harus sesuai dengan senyawa yang terkandung dalam *fly ash*. Aktivator digunakan adalah *Sodium Hidroksida* (NaOH) dan *Sodium Silika* ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dengan perbandingan antara 1.0 sampai 3.0.

Penelitian ini didapatkan tujuh variasi campuran mortar geopolymer pada masing masing perbandingan SS/SH yaitu A (kontrol) dengan komposisi mortar OPC, B dengan *water solid ratio* 0,20, C dengan *water solid ratio* 0,25, D dengan *water solid ratio* 0,30, E dengan *water solid ratio* 0,35, F dengan *water solid ratio* 0,40, Dan G dengan *water solid ratio* 0,20. Setiap variasi membutuhkan 12 kubus benda uji yang akan diuji kuat tekannya pada umur 7, 14 dan 28 hari. Mortar *geopolymer* ini menggunakan cairan aktivator campuran antara  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan NaOH perbandingan keduanya yaitu 1.0 dan 3.0 dan dengan molaritas NaOH 12 Molar. Benda uji akan dirawat pada suhu ruangan temperatur normal untuk diuji kuat tekannya.

Hasil pengujian kuat tekan mortar *geopolymer* berbahan dasar *fly ash* saat dilakukan penambahan *sodium hidroksida* (NaOH) dan *sodium silika* ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dengan perbedaan komposisi *water solid ratio* (W/S) mengalami kenaikan yang cukup signifikan. Adapun kadar standart maksimum yang didapatkan yaitu 0,35 dengan hasil kuat tekan 25,42 MPa pada kondisi SS/SH 1.0 dan 37,28 MPa pada kondisi SS/SH 3.0

**Kata kunci** : mortar *geopolymer*, *fly ash*, *sodium hidroksida*, *sodium silika*, *water solid ratio*, kuat tekan

## Abstract

*The increasing demand of concrete causes the higher demand for cement so that the production of cement continuously give negative effects to the environmental damage. Besides, the higher waste which is generated by coal also causes various problems. In order to solve the problems, the alternative used is by geopolymerization, the charge of cement with the waste from coal, that is fly ash. In the research, fly ash used was mixed with the activator solution so that it resulted a high compressive strength. Therefore, the type of activator should adjust the compound contained of the fly ash. The activator used was sodium hidroksida (NaOH) and sodium silika with range between 1.0 to 3.0*

*This research obtained seven variations of mixed mortar geopolymer on each comparison SS/SH A (control) with composition mortar OPC, B with the water solid ratio of 0,20, C with the water solid ratio 0,25, D with water solid ratio 0,30, E with water solid ratio 0,35, F with water solid ratio 0,40, and G with water a solid ratio of 0,45. Each variation needs 12 cube test objects to test the compressive strength on 7, 14 and 28 days. Mortar geopolymer used mix liquid activator between NaOH and  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  with comparison both 1.0 and 3.0, and molarity of NaOH 12 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 fly ash-based geopolymer mortar when it was adding sodium hydroxide (NaOH) and sodium silica ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) with different composition of water solid ratio (W/S) increased significantly. The maximum standard content obtained was 0.35 with a compressive strength of 25,42 MPa on SS/SH 1.0 and 37,28 MPa conditions under SS/SH 3.0*

**Key words** : mortar *geopolymer*, *fly ash*, *sodium hydroxide*, *sodium silic*, *water solid ratio*, *compressive strength*

## PENDAHULUAN

Dunia konstruksi sudah berkembang pesat seiring dengan bertambah zaman. Hal tersebut sangat erat kaitannya dengan penggunaan material konstruksi yang mengandung bahan-bahan tidak ramah lingkungan. Beton

sebagai salah satu komponen struktur yang banyak digunakan untuk konstruksi bangunan.

Peningkatan permintaan beton menyebabkan tingginya kebutuhan akan semen sebagai salah satu

material utama penyusun beton. Akibat dari produksi semen secara terus-menerus memberikan dampak negatif terhadap kerusakan lingkungan. Industri semen menjadi penyumbang utama emisi gas CO<sub>2</sub> diudara karena untuk memproduksi 1 ton semen maka efek rumah kaca yang dihasilkan sebesar 1 ton juga (Hardjito, 2002). Hal ini menyebabkan pemanasan global sehingga terjadi perubahan iklim yang semakin tidak teratur.

Sekarang ini tidak hanya penggunaan semen yang menjadi masalah, adanya limbah dari sisa pembakaran batu bara menjadi persoalan yang perlu dicari solusinya. Proses pembuangan ini dapat menimbulkan pencemaran serta membutuhkan fasilitas pembuangan yang relatif mahal

Oleh karena itu alternatif yang akan digunakan dengan adanya permasalahan diatas adalah dengan geopolymerisasi yaitu penggantian semen dengan limbah hasil pembakaran batu bara yang disebut abu terbang atau *fly ash*. *Geopolymer* adalah campuran material penyusun beton dimana penggunaan material semen portland sebagai salah satu bahan pengikat digantikan oleh bahan lain seperti abu terbang, abu kulit padi, dan lain-lain yang mengandung silika dan aluminium.

Beton *geopolymer* adalah jenis beton yang 100 % tidak menggunakan semen tetapi menggunakan abu terbang. Beton *geopolymer* ini terbentuk dari reaksi kimia dan bukan dari reaksi hidrasi seperti pada beton biasa (Davidovits, 1999).

Penelitian ini menggunakan benda uji berupa mortar kubus dengan material penyusun *fly ash* yang dicampurkan kedalam larutan aktivator sebagai alat pembantu sebagai pengikat *fly ash*. Larutan aktivator yang digunakan adalah Sodium Hidroksida (NaOH) dan Sodium Silika (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) dengan perbandingan 1.0 dan 3.0.

Pada penelitian ini diharapkan dapat memperoleh suatu komposisi *fly ash* dan larutan aktivator yang menghasilkan kekuatan optimum dan memiliki kinerja baik pada beton. Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di awal, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil kuat tekan *geopolymer* mortar terhadap pengaruh kepekatan larutan aktivator berbahan dasar abu terbang dengan penambahan NaOH 12 M?
2. Berapa kadar standart maksimum *water solid* terhadap pembuatan *geopolymer* mortar berbahan dasar abu terbang?

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

1. Untuk mendapatkan informasi hasil kuat tekan *geopolymer* mortar terhadap pengaruh kepekatan

larutan aktivator berbahan dasar abu terbang dengan penambahan NaOH 12 Molar

2. Untuk mendapatkan kadar standart maksimum *water solid* terhadap pembuatan *geopolymer* mortar berbahan dasar abu terbang.  
bahan pengganti semen dalam pembuatan mortar *geopolymer*
2. Bagi kalangan akademis diharapkan dapat menumbuhkan dan memperkaya inovasi terhadap pemanfaatan limbah *fly ash* secara maksimal. Hal ini juga menjadi dasar untuk dilakukan penelitian lanjutan pada beton mutu tinggi dan beton untuk struktur.
3. Memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu bahan dan struktur.

Adapun manfaat praktisi dari dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Menambah alternatif bahan penyusun mortar *geopolymer* sebagai bahan tambah agregat halus yang berfungsi mengatasi proses pengerasan yang lambat.
2. Mengurangi penyebab kerusakan lingkungan dengan memberi solusi terhadap polusi udara sebagai akibat industri pembuatan semen.
3. Hasil penelitian ini diharapkan dapat diinformasikan dan disebarluaskan sehingga dapat dimanfaatkan dan digunakan oleh praktisi.

Berikut adalah batasan-batasan dalam penelitian ini:

1. Bahan yang digunakan pada mortar *geopolymer* yaitu memanfaatkan *fly ash* tanpa adanya bahan tambahan.
2. Cairan alkaline aktivator yang digunakan yaitu Sodium Hidroksida (NaOH) 12 M
3. Penelitian ini menggunakan material yang dapat dibuat sendiri yaitu *fly ash-basal geopolymer mortar*. Menggunakan *fly ash* tipe C yang diambil dari PLTU Paiton.
4. Benda uji yang digunakan berbentuk kubus dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm dengan sampel 144 buah mortar kubus dengan 12 variasi yang masing-masing berjumlah 6 sampel.
5. Pengujian mortar dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari.
6. Tidak memperhitungkan *poisson ratio* mortar dan pasangan bata.
7. Suhu ruangan yang dimaksud suhu normal ruangan yang berkisar 27°C-35°C

## 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.

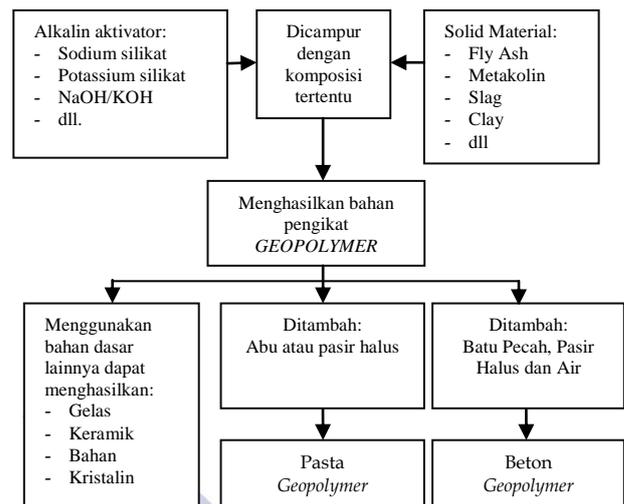
Mortar polimer terdiri dari perekat polimer bisa saja termoplastik tetapi *termosetting* lebih sering di pakai. Pemakaian polimer untuk pengganti semen *portland* menyebabkan peningkatan biaya, untuk itu penambahan polimer akan efektif dan sepadan dengan kenaikan biaya pada aplikasi yang sesuai dimana 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. Geopolymer

*Geopolymer* merupakan bahan pengikat yang berasal dari bahan alami dan telah mengalami reaksi polimerisasi dalam proses pengoperasiannya yang biasa dikembangkan sebagai alternatif pengganti beton semen di masa mendatang. Sebagai terobosan baru, kini berhasil ditemukan jenis material beton baru “Geopolimer” yang konon lebih ramah lingkungan. Bahan dasar utama *geopolymer*, adalah bahan yang banyak mengandung silikon dan aluminium yang tinggi. Kebutuhan akan tingginya kandungan oksida silika dan aluminium disebabkan karena oksida ini merupakan bahan utama yang akan mengalami proses polimerisasi yang menghasilkan binder atau pengikat dalam beton *geopolymer*. Unsur-unsur ini, diantaranya banyak terdapat pada material buangan hasil sampingan industri, seperti abu terbang (*fly ash*) sisa pembakaran batu bara dan abu sekam padi (*rice husk ash*) sisa pembakaran sekam padi.

Davidovits telah memperkenalkan jenis material yang memiliki komposisi kimia mirip *zeolite* tetapi memiliki mikrostruktur yang *amorf* yang kemudian olehnya diberi nama *geopolymer* yang dihasilkan melalui *geochemistry*, karena merupakan sintesis bahan-bahan alam non organik lewat proses polimerisasi. Selama proses sintesa, atom Si dan Al menyatu dan membentuk blok yang secara kimia memiliki struktur yang sangat mirip dengan batu alam. Bahan-bahan utama yang diperlukan dalam proses *geopolymer* ini adalah bahan-bahan yang mengandung unsur-unsur silika dan aluminium. Unsur tersebut dapat didapati di antaranya pada

material buangan seperti abu terbang dari sisa pembakaran batu bara.



Gambar 1 Proses terbentuknya *Geopolymer*

## C. Mortar Geopolymer

Mortar *Geopolymer* adalah mortar yang tidak menggunakan semen sebagai bahan pengikat utama, tetapi menggunakan *fly ash* sebagai pengganti semen karena mempunyai kandungan silika dan alumina yang sangat tinggi. *Fly ash* yang akan digunakan akan dicampur dengan larutan alkali berupa *Sodium Hidroksida* dan *Sodium Silikat* 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 terdapat 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*.

## D. Bahan Penyusun Mortar Geopolymer

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. 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.

3. 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*).

4. Alkali Aktivator

Larutan alkali yang paling umum digunakan dalam geopolimerisasi adalah suatu kombinasi *Sodium Hidroksida* (NaOH) dan *Sodium Silika* (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>)

**E. Pengujian Mortar**

**1. Uji Vicat**

Pada penelitian ini pengujian vicat dilakukan untuk mengetahui waktu ikat awal pada pasta *dry geopolymer*. 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 (Tjokrodimuljo, 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,

- = Kuat tekan beton (N/mm<sup>2</sup>)
- P = Beban (N)
- A = Luas permukaan benda uji (mm<sup>2</sup>)

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 menggunakan bahan pengikat cairan *alkaline activator* (larutan aktivator) yaitu *sodium silika* (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) dan *sodium hidroksida* (NaOH). Sehingga mortar *geopolymer* ini terdiri dari agregat halus, abu terbang (*fly ash*), dan *alkaline activator* (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) dan (NaOH).

**B. Rancangan Penelitian**

Penelitian ini merupakan uji laboratorium dengan melakukan perbandingan *Water Solid Ratio* (W/S) pada pembuatan mortar *geopolymer* berbahan dasar abu terbang menggunakan bahan pengikat cairan *alkaline activator* (larutan aktivator) pada temperatur normal. Selain itu, penelitian akan mengambil hasil kuat tekan pada bahan uji mortar *geopolymer*. Pengujian dilakukan sesuai umur yang telah direncanakan yaitu 7, 14 dan 28 hari dengan menggunakan benda uji mortar *geopolymer* berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm

**C. Lokasi dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Beton Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya dan Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju Universitas Negeri Malang. Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan mulai Desember 2017 sampai dengan selesai.

**D. Populasi dan Sampel**

**1. Populasi**

Populasi adalah jumlah keseluruhan dari suatu satuan-satuan atau individu-individu yang karakteristiknya hendak diteliti (Kuntjojo, 2009:29). Populasi dalam penelitian ini adalah hasil pengujian kubus mortar *geopolymer* berbahan dasar abu terbang berupa data kuat tekan dan *water solid ratio*.

**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 x 5 x 5 cm berjumlah 144 buah.

### E. Sasaran Penelitian

Mengatasi permasalahan pencemaran udara dan pemanasan global yang menyebabkan terjadinya perubahan iklim yang semakin tidak teratur akibat produksi semen sebagai bahan utama pembuatan beton untuk konstruksi bangunan. Selain itu, sebagai solusi terbaik dalam pemanfaatan limbah baru bara yang ada

### F. Variabel Penelitian dan Definisi Operasional Variabel Instrumen Pengumpulan Data

#### 1. Variabel Bebas (*Independent Variable*)

Dalam penelitian ini, variabel bebasnya adalah variasi campuran *sodium silika* ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan *sodium hidroksida* ( $\text{NaOH}$ ).

#### 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 penyela yang mempunyai faktor-faktor tidak secara langsung mempengaruhi berubahnya atau timbulnya variabel terikat. Dalam penelitian ini, variabel kontrolnya antara lain:

- Tipe abu terbang (*fly ash*)
- Air
- Perbandingan konsentrasi *sodium silika* ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan *sodium hidroksida* ( $\text{NaOH}$ )

### Definisi Operasional Variabel Instrumen Pengumpulan Data

Definisi yang didasarkan atas sifat-sifat hal yang didefinisikan yang dapat diamati. Variabel harus didefinisikan secara operasional agar lebih mudah dicari hubungan antara satu variabel dengan variabel lainnya dan pengukuran (Kuntjojo, 2009:22). Berikut definisi variabel operasionalnya antara lain:

#### a. Abu Terbang (*fly ash*)

Penelitian ini menggunakan abu terbang (*fly ash*) kelas C didapat dari CV. Dwi Mitra Surya.

#### b. *Alkaline Activator*

Penelitian ini menggunakan *sodium silika* ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dengan BE 58 R 2,3 didapat dari PT. Brataco, Surabaya dan *sodium hidroksida*

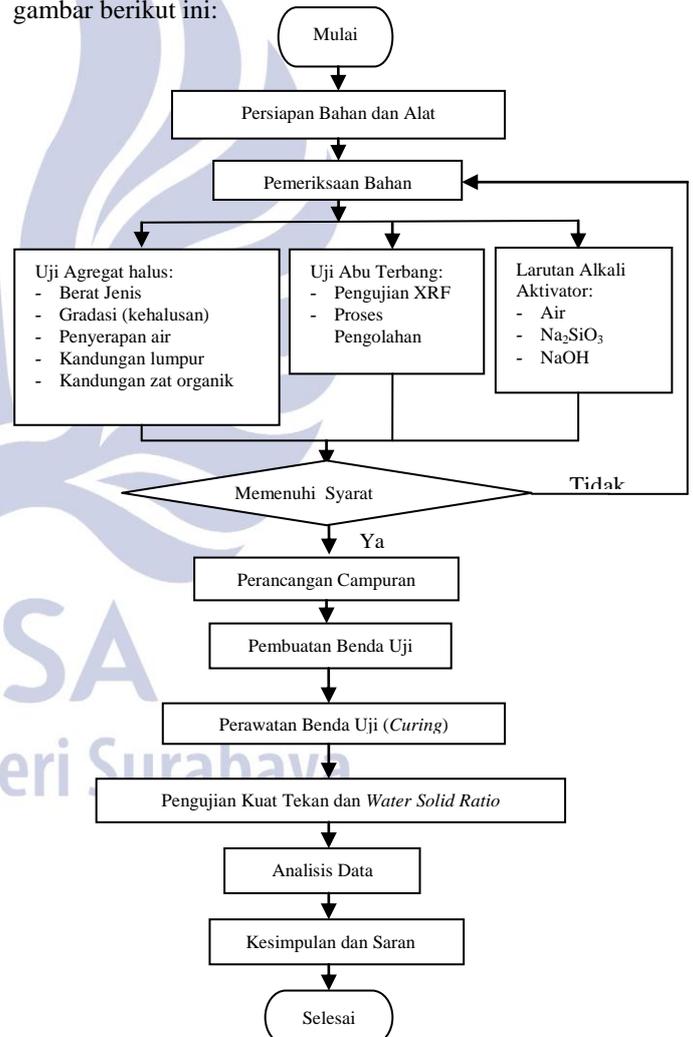
( $\text{NaOH}$ ) dengan molaritas 12 M berbentuk serpihan padat juga diperoleh dari PT. Brataco, Surabaya.

#### c. Kuat Tekan

Penelitian ini menggunakan alat *Hydraulic Universal Testing Machine*. Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat mortar berumur 7, 14 dan 28 hari. Pengujian kuat tekan ini dilakukan hingga didapatkan beban maksimumnya. Pengujian ini akan dilakukan sebanyak 3 kali untuk setiap sampel agar diperoleh kuat tekan rata-rata.

### G. 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

### H. 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 8 M, sodium silikat, 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 diatas piknometer.
- 3) Timbang masing-masing piknometer (W1 gram) pastikan piknometer dalam keadaan kering saat ditimbang.
- 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 kedalam piknometer sedikit demi sedikit hingga menutupi atau membasahi semua abu terbang yang ada didalam 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. Tutup piknometer dan diamkan selama 2-24 jam.
- 7) Setelah didiamkan, hilangkan gelembung udara yang ada dengan merebusnya di atas kompor, setelah gelembung udaranya hilang, dinginkan sehingga suhunya sama dengan suhu ruangan.
- 8) Tambahkan air lagi sampai memenuhi piknometer dan keringkan permukaan piknometer.

9) Timbang piknometer (W3 gram), kemudian ukur suhunya ( $^{\circ}\text{C}$ ).

10) Buang air dan sampel abu dasar yang ada didalam piknometer kemudian bersihkan, selanjutnya isi piknometer dengan air destilasi yang bersih hingga penuh. Usahakan tenggang waktunya tidak berlalu lama sehingga suhunya bisa dipertahankan. Keringkan permukaan piknometer dengan kain atau lap.

11) Timbang piknometer yang berisi air (W4 gram).

12) 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  $110^{\circ}\text{C}$  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 kedalam piknometer seberat 500 gram, kemudian masukkan air kedalam piknometer hingga mencapai 90% isi piknometer. Putar dan guling-gulingkan piknometer sampai tidak terlihat gelembung udara didalamnya. Jika ada gelembung udara didalamnya 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  $25^{\circ}\text{C}$ .

f) Pasir dikeluarkan dan dikeringkan dalam oven dengan suhu  $110^{\circ}\text{C}$  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. Keluarkan pasir dan didinginkan dalam desikator selama 3 jam.
- b) Menyusun ayakan sesuai dengan urutannya, ukuran terbesar diletakkan diatas yaitu 4,8 mm, 2,4 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, dan 0,15 mm.
- c) Memasukkan pasir dalam ayakan yang paling atas, tutup ayakan dengan cara digetarkan selama 10 menit kemudian diamkan pasir selama 5 menit agar pasir tersebut mengendap.
- d) Pasir yang tertinggal dalam masing-masing ayakan ditimbang beserta wadahnya.
- e) Gradasi pasir yang didapat dengan cara menghitung kumulatif prosentase butir-butir yang lolos-losos pada masing-masing ayakan.

Nilai modulus halus pasir dihitung dengan menjumlahkan prosentase kumulatif 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.

### 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** Rancangan Persentase *Water Solid Ratio* (W/S) dan Abu Terbang (*fly ash*) dengan kondisi SS/SH = 1,0

	w/s	Jumlah Mortar	Mix Design				
			PC	Pasir	Fly Ash	NaOH	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>
A	-	9	1	2,75	-	-	-
B	0,20	9	0	2,75	1	0,166	0,166
C	0,25	9	0	2,75	1	0,216	0,216
D	0,30	9	0	2,75	1	0,269	0,269
E	0,35	9	0	2,75	1	0,327	0,327
F	0,40	9	0	2,75	1	0,390	0,390
G	0,45	9	0	2,75	1	0,459	0,459

**Tabel 2** Rancangan Persentase *Water Solid Ratio* (W/S) dan Abu Terbang (*fly ash*) dengan kondisi SS/SH = 3,0

	w/s	Jumlah Mortar	Mix Design				
			PC	Pasir	Fly Ash	NaOH	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>
A	-	9	1	2,75	-	-	-
B	0,20	9	0	2,75	1	0,0873	0,2619
C	0,25	9	0	2,75	1	0,1141	0,3423
D	0,30	9	0	2,75	1	0,1433	0,4299
E	0,35	9	0	2,75	1	0,1755	0,5265
F	0,40	9	0	2,75	1	0,2110	0,6330
G	0,45	9	0	2,75	1	0,2504	0,7512

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 dan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) 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<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) kedalam air dan *Sodium Hidroksida* (NaOH) dan diaduk selama ± 4 jam. Kemudian larutan tersebut didiamkan selama 24 jam untuk menuntaskan peralutan ekotermis NaOH.
- d. Mencampur larutan (NaOH + air + Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) tersebut dengan *fly ash* sampai benar-benar homogeny.
- e. Membuat mortar *geopolymer* dengan cara menambahkan pasir ke dalam larutan (NaOH + air + Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> + *fly ash* + 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*.

## 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 3** Rancangan Persentase *Water Solid Ratio* (W/S) dan Abu Terbang (*fly ash*) dengan kondisi SS/SH = 1,0

Pasta <i>Geopolymer</i> SS/SH = 1.0						
Mix	w/s	Mix Design				
		PC	Air	FA	NaOH	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>
A	-	1	0,5	-	-	-
B	0,20	0	0	1	0,1659	0,1659
C	0,25	0	0	1	0,2155	0,2155
D	0,30	0	0	1	0,2690	0,2690
E	0,35	0	0	1	0,3268	0,3268
F	0,40	0	0	1	0,3898	0,3898
G	0,45	0	0	1	0,4586	0,4586

**Tabel 4** Rancangan Persentase *Water Solid Ratio* (W/S) dan Abu Terbang (*fly ash*) dengan kondisi SS/SH = 3.0

Pasta <i>Geopolymer</i> SS/SH = 3.0						
Mix	w/s	Mix Design				
		PC	Air	FA	NaOH	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>
A	-	1	0,5	-	-	-
B	0,20	0	0	1	0,0873	0,2619
C	0,25	0	0	1	0,1141	0,3423
D	0,30	0	0	1	0,1433	0,4299
E	0,35	0	0	1	0,1755	0,5265
F	0,40	0	0	1	0,2110	0,6330
G	0,45	0	0	1	0,2504	0,7512

Waktu ikat awal ditentukan dari grafik penetrasi waktu yaitu waktu dimana penetrasi jarum vicat mencapai nilai 25 mm.

### 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 geopolymer* sudah hancur.
- 6) Membaca dan mencatat angka yang ditunjuk oleh jarum yang merupakan besarnya gaya tekan maksimum *fly ash-based mortar geopolymer*. Mencatat dan menghitung nilai kuat tekan *fly ash-based mortar geopolymer*.

## I. 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.

## J. 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

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

$$= \frac{500-488}{488} \times 100\% \\ = 3,73\% < 5\%$$

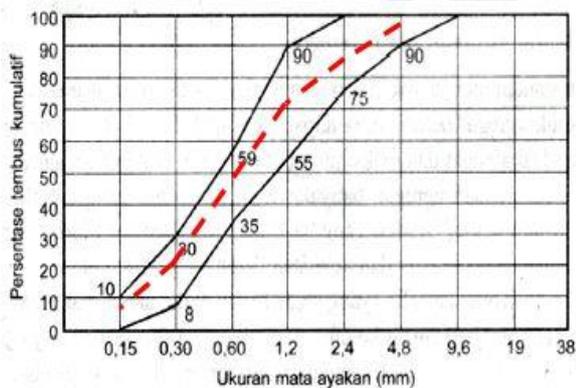
Hasil kadar lumpur yang terkandung dalam pasir yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 3,73%. Kadar lumpur yang didapat < 5% ini menunjukkan bahwa pasir dapat digunakan dalam perkerasan beton.

## 2. Pengujian Gradasi Pasir

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

**Tabel 5** 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

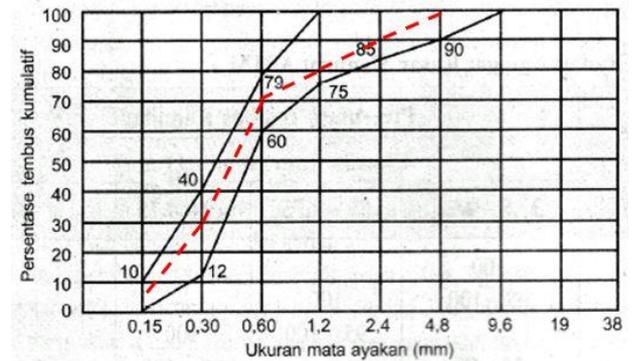


**Gambar 2** Grafik Analisa Ayakan Pasir Lapangan

Sedangkan pengelompokkan gradasi pasir berdasarkan uji laboratorium adalah sebagai berikut:

**Tabel 6** 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 (*Fineness 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:

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

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

- 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 7** Hasil Uji *X-Ray Fluorescence Fly Ash*

Compound	Conc (%)	Compound	Conc (%)
Al	4.60	Ni	0.02
Si	13.10	Cu	0.68
S	0.40	Sr	0.80
K	0.97	Mo	1.00
Ca	24.00	In	0.07
Ti	0.92	Ba	0.71
V	0.05	Eu	0.40
Cr	0.10	Yb	0.10
Mn	0.76	Hg	0.54
Fe	51.17		

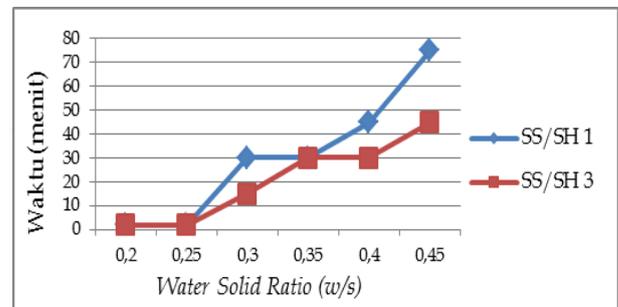
Berdasarkan hasil pengujian XRF diatas, bisa diketahui bahwa kandungan unsur kimia *fly ash* yang digunakan pada penelitian didominasi oleh unsur besi (Fe) sebanyak 51.17%, *silica* (Si) sebanyak 13.20%, kapur (Ca) sebanyak 24.00% dan aluminium (Al) sebanyak 4.60%. Dari hasil tes XRF diatas, dapat disimpulkan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

#### B. Hasil Pengujian Vicat

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

**Tabel 8** Tabel pengikatan awal pada kondisi SS/SH = 1.0 dan SS/SH = 3.0

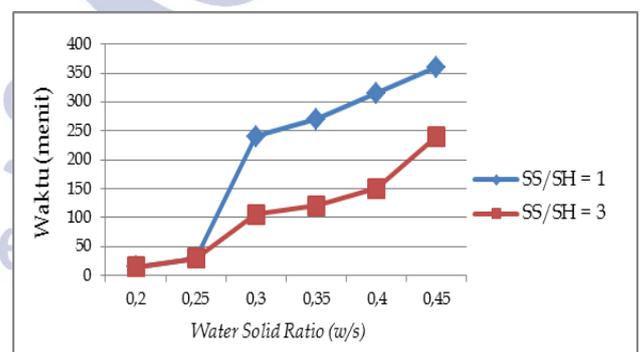
Pengikatan Awal		
Mix design	SS/SH = 1	SS/SH = 3
0,2	2	2
0,25	2	2
0,3	30	15
0,35	30	30
0,4	45	30
0,45	75	45



**Gambar 4** Grafik pengikatan awal pada kondisi SS/SH = 1.0 dan SS/SH = 3.0

**Tabel 9** Tabel pengikatan akhir pada kondisi SS/SH = 1.0 dan SS/SH = 3.0.

Pengikatan Akhir		
Mix design	SS/SH = 1	SS/SH = 3
0,2	15	15
0,25	30	30
0,3	240	105
0,35	270	120
0,4	315	150
0,45	360	240



**Gambar 5** Grafik pengikatan akhir pada kondisi SS/SH = 1.0 dan SS/SH = 3.0

Berdasarkan hasil uji vicat pada **Tabel 8** dan **Tabel 9** atau dapat dilihat pada **Gambar 4** dan **Gambar 5** untuk mengetahui waktu pengikatan awal dan waktu pengikatan akhir, diperoleh pada kondisi SS/SH = 1.0 memerlukan waktu pengikatan awal cenderung lebih cepat daripada kondisi SS/SH = 3.0. Namun berbeda untuk waktu pengikatan akhir, pada kondisi SS/SH = 1.0 memerlukan waktu lama untuk

pengikatan akhir daripada kondisi SS/SH = 3.0. Peningkatan penambahan larutan *sodium silika* ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dapat mempercepat *setting time*, semakin banyak *sodium silika* yang ditambahkan, maka waktu akhir agar terjadi pengerasan juga semakin cepat.

### C. Pembahasan

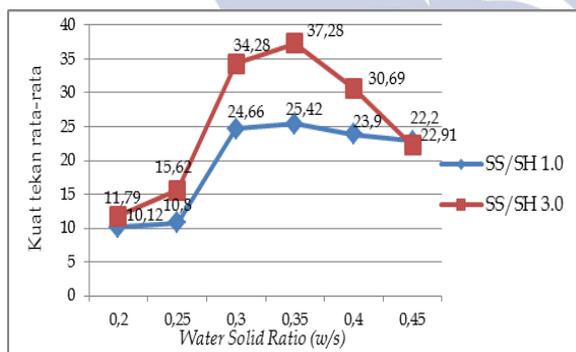
#### 1. Hubungan Water Solid Ratio dan Perbandingan Massa SS/SH dengan Kuat Tekan

**Tabel 10** Kuat Tekan Rata-rata dengan kondisi SS/SH 1.0 pada umur 28 hari

Mix Design	Umur (hari)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
B (W/S=0,20)	28	10,12
C (W/S=0,25)	28	10,80
D (W/S=0,30)	28	24,66
E (W/S=0,35)	28	25,42
F (W/S=0,40)	28	23,90
G (W/S=0,45)	28	22,91

**Tabel 11** Kuat Tekan Rata-rata dengan kondisi SS/SH 3.0 pada umur 28 hari

Mix Design	Umur (hari)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
B (W/S=0,20)	28	11,79
C (W/S=0,25)	28	15,62
D (W/S=0,30)	28	34,28
E (W/S=0,35)	28	37,28
F (W/S=0,40)	28	30,69
G (W/S=0,45)	28	22,20



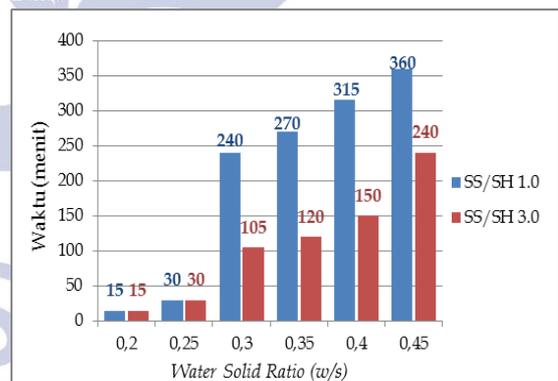
**Gambar 6** Grafik Water Solid Ratio dengan Kuat Tekan pada kondisi SS/SH 1.0 dan 3.0

Berdasarkan hasil kuat tekan rata rata pada umur 28 hari pada kondisi SS/SH 1.0 dan SS/SH 3.0 yang terdapat pada **Gambar 6** secara umum dapat disimpulkan bahwa kuat tekan yang dihasilkan mortar *geopolymer* pada kondisi SS/SH 3.0 lebih tinggi daripada kuat tekan yang dihasilkan pada kondisi SS/SH 1.0. Kuat tekan yang terjadi relatif sama pada kedua kondisi. Pada variasi w/s 0,20 ke variasi w/s 0,25 mengalami peningkatan selanjutnya pada variasi w/s 0,25 ke variasi w/s 0,35 sama sama

mengalami peningkatan cukup besar. Pada variasi w/s 0,30 ke variasi w/s 0,35 juga mengalami peningkatan. Sedangkan pada variasi w/s 0,35 ke variasi w/s 0,40 kedua kondisi mortar cenderung kuat tekannya menurun, selanjutnya dari variasi w/s 0,40 ke variasi w/s 0,45 kembali menurun yaitu menghasilkan kuat tekan lebih kecil dari pada variasi w/s 0,40. Kuat tekan optimum pada kondisi SS/SH 1.0 dan SS/SH 3.0 yaitu sama terjadi pada variasi w/s 0,35.

Hal tersebut sesuai dengan penelitian terdahulu oleh Veliyati (2010), semakin besar faktor *water solid ratio* dapat meningkatkan *workability*. Dan sejalan dengan penelitian Ekaputri (2007), semakin tinggi perbandingan massa *Sodium Silika* dengan *Sodium Hidroksida* maka kuat tekan yang akan dicapai juga akan semakin besar oleh masing-masing *water solid ratio*. Hal ini karena perbandingan jumlah *sodium silika* yang terkandung lebih banyak daripada *sodium hidroksida*, dimana *sodium silika* berfungsi untuk mempercepat proses polimerisasi sehingga proses pengerasan berjalan sangat cepat.

#### 2. Hubungan Water Solid Ratio dengan Setting Time



**Gambar 7** Grafik hubungan water solid ratio dengan setting time

Berdasarkan hasil uji vicat pada **Gambar 7** dapat diketahui waktu yang diperlukan untuk dapat mencapai pengikatan awal dan pengikatan akhir. Data data grafik diatas diperoleh bahwa saat kondisi SS/SH = 1.0 pada variasi w/s 0,20 memerlukan waktu 15 menit hingga pengikatan akhir, pada variasi w/s 0,25 memerlukan waktu 30 menit hingga pengikatan akhir, pada variasi w/s 0,30 memerlukan waktu 240 menit hingga pengikatan akhir. pada variasi w/s 0,35 memerlukan waktu 270 menit hingga pengikatan akhir, pada variasi w/s 0,40 memerlukan waktu 315 menit hingga pengikatan akhir, pada variasi w/s 0,45 memerlukan waktu 360 menit hingga pengikatan akhir.

memerlukan waktu 315 menit hingga pengikatan akhir dan pada variasi w/s 0,45 memerlukan waktu 360 menit hingga pengikatan akhir.

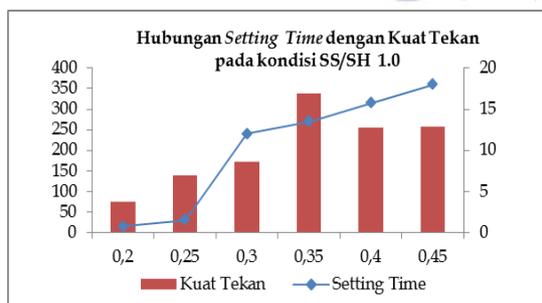
Saat kondisi SS/SH = 3.0 juga sama, untuk variasi w/s 0,20 dan variasi w/s 0,25 sama dengan kondisi SS/SH = 1,0 yaitu sama sama memerlukan waktu 15 menit dan 30 menit hingga pengikatan akhir. Sedangkan variasi w/s 0,30 sampai kondisi variasi w/s 0,45 cenderung lebih cepat dari kondisi SS/SH = 1,0. Untuk variasi w/s 0,30 memerlukan waktu 105 menit hingga pengikatan akhir, pada variasi w/s 0,35 memerlukan waktu 120 menit hingga pengikatan akhir, pada variasi w/s 0,40 memerlukan waktu 150 menit hingga pengikatan akhir dan pada variasi w/s 0,45 memerlukan waktu 240 menit hingga pengikatan akhir

Hal ini sejalan dengan penelitian Dewi (2010), semakin tinggi kadar larutan aktivator maka semakin cepat pula reaksi polimerisasi, tetapi jika ada penambahan air maka otomatis akan menghambat jalanya polimerisasi tersebut sehingga *setting time* menjadi lama juga.

### 3. Hubungan *Setting Time* dan Kuat Tekan Mortar Geopolymer

**Tabel 12** Tabel *Setting Time* dan Kuat Tekan Mortar Geopolymer pada kondisi SS/SH 1.0

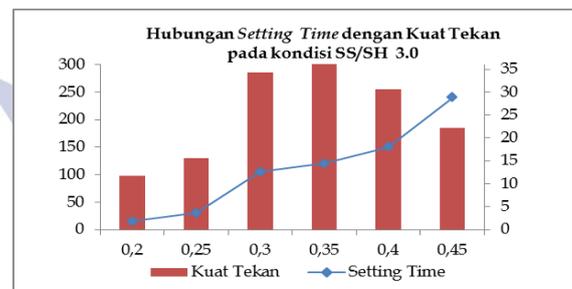
Water Solid Ratio	Setting Time (menit)	Kuat Tekan (MPa)
0,2	15	3,74
0,25	30	6,94
0,3	240	8,61
0,35	270	16,93
0,4	315	12,73
0,45	360	12,92



**Gambar 8** Grafik hubungan *setting time* dengan kuat tekan pada kondisi SS/SH 1.0

**Tabel 13** Tabel *Setting Time* dan Kuat Tekan Mortar Geopolymer pada kondisi SS/SH 3.0

Water Solid Ratio	Setting Time (menit)	Kuat Tekan (MPa)
0,2	15	11,79
0,25	30	15,62
0,3	105	34,28
0,35	120	37,28
0,4	150	30,69
0,45	240	22,20



**Gambar 9** Grafik hubungan *setting time* dengan kuat tekan pada kondisi SS/SH 3.0

Berdasarkan hasil uji vicat dan hasil uji kuat tekan pada **Tabel 12** dan **Tabel 13** atau dapat dilihat pada **Gambar 8** dan **Gambar 9** untuk mengetahui waktu pengikatan akhir, diperoleh pada kondisi SS/SH = 1.0 dan pada kondisi SS/SH = 3.0 menunjukkan bahwa terjadi kenaikan kuat tekan yang signifikan secara terus menerus yaitu dari variasi w/s 0,20 ke variasi w/s 0,35 sedangkan dari variasi w/s 0,35 sampai variasi w/s 0,45 terjadi penurunan kuat tekan. Nilai kuat tekan tertinggi pada kedua kondisi SS/SH yaitu sama sama terjadi pada variasi w/s 0,35. Dari **Gambar 8** dan **Gambar 9** menunjukkan bahwa *setting time* yang terjadi dari variasi w/s 0,20 ke variasi w/s 0,35 mengalami kenaikan yang tidak terlalu jauh bedanya, sedangkan untuk *setting time* dari variasi w/s 0,35 sampai variasi w/s 0,45 terjadi *setting time* lebih lama.

Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin bertambahnya komposisi variasi w/s maka semakin banyak penambahan campuran larutan aktivator antara *sodium hidroksida* (NaOH) *sodium silika* (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) maka semakin lama waktu pengikatan akhir yang terjadi karena banyak *sodium silika* yang ditambahkan mengakibatkan adonan terlalu encer membutuhkan waktu lama untuk dapat mengeras. Hal ini seiring dengan menurunnya kuat tekan mortar karena komposisi larutan yang terlalu banyak.

## SIMPULAN

### Simpulan

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

1. Hasil pengujian kuat tekan mortar *geopolymer* berbahan dasar *fly ash* saat dilakukan penambahan *sodium hidroksida* (NaOH) dan *sodium silika* ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dengan perbedaan komposisi *water solid ratio* (W/S) mengalami kenaikan yang cukup signifikan. Hal ini dapat terlihat pada kondisi SS/SH 1.0 dari variasi w/s 0,20 menghasilkan 10,12 MPa meningkat hingga mencapai puncak pada variasi w/s 0,35 yang menghasilkan hingga 25,42 MPa pada usia 28 hari. Selanjutnya kekuatan mortar menurun mulai variasi w/s 0,40 dengan 23,90 MPa menuju variasi w/s 0,45 sebesar 22,91 MPa. Sedangkan untuk kondisi SS/SH 3.0 juga sama seperti yang terjadi pada kondisi SS/SH 1.0. Pada variasi w/s 0,20 menghasilkan 11,79 MPa meningkat hingga mencapai puncak pada variasi w/s 0,35 yang menghasilkan hingga 37,28 MPa pada usia 28 hari. Selanjutnya kekuatan mortar menurun mulai variasi w/s 0,40 dengan 30,69 MPa menuju variasi w/s 0,45 sebesar 22,20 MPa.
2. *Water Solid Ratio* (W/S) sangat berpengaruh terhadap kuat tekan mortar *geopolymer* berbahan dasar *fly ash* dengan dilakukan penambahan *sodium hidroksida* (NaOH) dan *sodium silika* ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ). Adapun kadar standart maksimum yang digunakan yaitu 0,35 dengan hasil kuat tekan 25,42 MPa pada kondisi SS/SH 1.0 dan 37,28 MPa pada kondisi SS/SH 3.0

### DAFTAR PUSTAKA

- Apsari, Debi. 2017. *Pengaruh Penambahan Variasi Molaritas NaOH Terhadap kuat Tekan dan Kuat Lekat Mortar Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang pada Aplikasi Bata Merah*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- ASTM International, ASTM C618. 2017. *Standart Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*. West Conshohocken.
- Atmajalinus, Bernandus. 2017. *Pengaruh Perbandingan Water Solid Ratio (W/S) terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lekat Mortar Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang dengan NaOH 12 Molar pada Suhu Ruangan*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Bagus Prasetyo, Ginanjar. 2015. *Tinjauan Kuat tekan Beton Geopolymer Dengan Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Davidovits. J. 1997. *Properties of Geopolymer*. France: Geopolimer
- Hardjito, D. et al. 2002. *On the Development of Fly Ash Based Geopolymer Concrete*.
- Harianto. et al. 2013. *Pengaruh Suhu dan Durasi Perawatan Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbahan Dasar Abu Terbang*. Palu: Universitas Tadulako.
- Januarti Jaya, Ekaputri, dan Triwulan. 2007. *Sifat mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Jawa Powder Paiton Sebagai Material Alternatif*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Kuntjojo. 2009. *Metodologi Penelitian*. Kediri
- Manuahe, Riger, Sumajouw, D.J Marthin, dan S. Windah, Reky. 2014. *Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash)*. Manado: Universitas Sam Ratulangi
- McCaffery, R. 2002. *Climate Change and the Cement Industry*. Global Cement and Lime Magazine.
- Metha, P. K. 1997. *Durability-critical issue for the future*. ACI Concrete International.
- Prasetyo, Ginanjar. 2015. *Tinjauan Kuat Tekan Beton Geopolymer Dengan Fly Ash Sebagai Pengganti Semen*. Jurusan Teknik Sipil: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Septia, P. 2011. *Studi Literatur Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Rasio NaOH :  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , Rasio Air/Prekursor, Suhu Curing, dan Jenis Prekursor Terhadap Kuat Tekan beton Geopolymer*. Jurusan Teknik Sipil: Universitas Indonesia.
- Sumajouw, dkk. 2013. *Elemen Struktur Beton Bertulang Geopolymer*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Sumajouw, dkk. 2014. *Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash)*. Jurusan Teknik Sipil: Universitas Sam Ratulangi.
- Sutikno. 2003. *Panduan Praktek Beton*. Jurusan Teknik Sipil: Universitas Negeri Surabaya.
- Tjokrodimulyo, K. 1992. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil.
- Triwulan, Ekaputri, J.J Adiningtyas, T. 2007. *Analisa Sifat Mekanik Beton Geopolimeer Berbahan Dasar Fly Ash dan Lumpur Porong Kering Sebagai Pengisi*. Surabaya: Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sipil.
- Tjokrodimulyo, K. 1992. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil.