

PENGARUH KEPEKATAN LARUTAN AKTIVATOR TERHADAP KUAT TEKAN GEOPOLYMER MORTAR BERBAHAN DASAR FLY ASH KELAS C DENGAN KOMBINASI NAOH 10 MOLAR PADA KONDISI SS/SH 0.5 DAN 2.5

Novia Sugiati

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

Arie Wardhono

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

Abstrak

Ketergantungan penggunaan semen pada bidang konstruksi menyebabkan peningkatan produksi semen Portland yang berdampak pada kondisi lingkungan. Penelitian ini diharapkan mendapatkan *fly ash - geopolymer mortar* yang memenuhi persyaratan sebagai material pengganti dan menjadi satu solusi untuk menutupi kelemahan mortar *geopolymer* agar dapat lebih mudah diterima dan diaplikasikan oleh masyarakat luas.

Dalam penelitian ini digunakan 7 variasi campuran mortar *geopolymer* pada masing masing perbandingan SS/SH yaitu A (kontrol), 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* 0,45. Setiap variasi membutuhkan 12 kubus (5x5x5cm) benda uji yang akan diuji kuat tekannya pada umur 7, 14 dan 28 hari. Mortar *geopolymer* ini menggunakan cairan aktivator Na_2SiO_3 dan NaOH perbandingan keduanya yaitu 0,5 dan 2,5 dengan kombinasi molaritas NaOH sebesar 10 Molar.

Hasil pengujian kuat tekan mortar *geopolymer* berbahan dasar *fly ash* dilakukan penambahan *sodium hidroksida* (NaOH) dan *sodium silika* (Na_2SiO_3) dengan perbedaan komposisi *water solid ratio* (W/S). Kuat tekan optimum yang dihasilkan oleh mortar *geopolimer* berbahan dasar abu terbang (*fly ash*) kelas C dengan kombinasi NaOH 10 molar, pada kondisi SS/SH 0,5 terdapat pada variasi w/s (water rasio) 0,35 dengan nilai kuat tekan sebesar 48,17 MPa dan pada kondisi SS/SH 2,5 terdapat pada variasi w/s (water rasio) 0,30 dengan nilai kuat tekan sebesar 37,14 MPa.

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

Abstract

Dependence on the use of cement in the construction sector led to an increase in the production of Portland cement which had an impact on environmental conditions.. This research is expected to get fly ash - geopolymer mortar that meets the requirements as a substitute material and becomes a solution to cover the weakness of geopolymer mortar so that it can be more easily accepted and applied by the wider community.

In this study 7 variations of geopolymer mortar mixture were used in each SS / SH ratio, namely A (control), B with water solid ratio 0.20, C with 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 solid ratio 0.45. Each variation requires 12 cubes (5x5x5cm) of the specimen to be tested for compressive strength at the age of 7, 14 and 28 days. This geopolymer mortar uses the activator Na_2SiO_3 and NaOH as the comparison between the two, 0.5 and 2.5 with a combination of NaOH molarity of 10 Molar.

Test results of compressive strength of fly ash based geopolymer mortar were added with sodium hydroxide (NaOH) and sodium silica (Na_2SiO_3) with differences in water solid ratio (W / S) composition. The optimum compressive strength produced by geopolymer mortar based on class C fly ash with 10 molar NaOH combination, at SS / SH condition 0.5 was found in the variation of w / s (water ratio) 0.35 with a compressive strength of 48.17 MPa and in the SS / SH condition 2.5 there is a variation of w / s (water ratio) 0.30 with a compressive strength of 37.14 MPa.

Keywords: *geopolymer mortar, fly ash, sodium hydroxide, sodium silica, water solid ratio, compressive strength.*

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Ketergantungan penggunaan semen pada bidang konstruksi menyebabkan peningkatan produksi semen Portland yang berdampak pada kondisi lingkungan. Hal ini di karenakan selama proses pembakaran bahan baku untuk menghasilkan 1 ton semen melepaskan 1 ton gas CO_2 secara langsung ke udara (Basuki, 2012).

Produksi semen juga salah satu aspek meningkatnya gas efek rumah kaca sebesar 6% dari tahun 1998 hingga tahun 2015 (Ariffin, 2011).

Pada tahun 1980-an, Davidovits menemukan sebuah perekat alternatif dengan pengganti semen yang dikenal dengan *geopolymer*. Mortar adalah

adukan yang dibuat dari campuran agregat halus (pasir), bahan perekat dan air. Bahan perekat tersebut dapat berupa tanah liat, kapur, *fly ash* maupun semen Portland. Disini pasir berfungsi sebagai bahan pengisi atau bahan yang di rekatkan. Pembuatan mortar *geopolymer* sendiri menggunakan bahan yang banyak mengandung unsur silikon dan aluminium. Unsur tersebut banyak ditemukan pada limbah industri, seperti abu terbang (*fly ash*).

Beton *geopolymer* adalah jenis beton yang 100% tidak menggunakan semen. Sebagai bahan pengganti semen *portland* digunakan sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat (Na_2SiO_3) dengan proporsi perbandingan tertentu. Untuk melakukan reaksi polimerisasi *fly ash* memerlukan aktivator sebagai pengikat. Aktivator yang umumnya digunakan adalah sodium hidroksida (NaOH) 8 M sampai 16 M dan sodium silikat (Na_2SiO_3) dengan perbandingan 0,4 sampai 2,5 (Hardjito, 2007).

Dalam penelitian mengenai mortar tanpa semen (*geopolymer*) ini, penulis akan membuat mortar *geopolymer* dengan bahan pengikat alkaline activator berupa sodium silikat dan sodium hidroksida yang akan dicampur dengan solid material berupa abu terbang dan juga agregat seperti pasir kemudian dicetak menggunakan cetakan kubus 5x5x5 cm.

Diharapkan dapat menghasilkan kuat tekan optimum dengan menggunakan variasi molaritas NaOH 10 molar kombinasi 0,5 dan 2,5 untuk mendapatkan *fly ash - geopolymer mortar* yang memenuhi persyaratan sebagai material pengganti dan menjadi satu solusi untuk menutupi kelemahan mortar *geopolymer* agar dapat lebih mudah diterima dan diaplikasikan oleh masyarakat luas.

Adapun rumusan masalah berdasarkan uraian latar belakang diatas adalah :

Bagaimana pengaruh penambahan NaOH 10M kombinasi ss/sh 0,5 dan 2,5 terhadap kuat tekan *geopolymer* mortar dengan memanfaatkan *fly ash* serta standart optimum water solid pada pembuatan *geopolymer* mortar.

Tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini berdasarkan uraian rumusan masalah diatas adalah untuk mendapatkan nilai kuat tekan serta memperoleh komposisi campuran sodium silikat dan sodium hidroksida yang akan menghasilkan *geopolymer* mortar yang optimum.

Agar penelitian ini tidak terlalu luas dan tidak menyimpang dari rumusan masalah di atas maka perlu adanya batasan masalah yang ditinjau, tinjauan tersebut dibatasi oleh:

1. Material pembentuk beton *geopolymer*:
 - a. Menggunakan *Fly ash* kelas C

- b. Cairan alkalin atau cairan kimia yang digunakan yaitu cairan NaOH dengan variasi molaritas NaOH 10 molar kombinasi ss/sh 0,5 dan 2,5.

- c. Air yang digunakan adalah air *aquades*

2. Pemeriksaan kuat tekan beton dilakukan pada umur 7,14, dan 28 hari.
3. Penelitian ini menggunakan material yang dapat dibuat sendiri yaitu *fly ash geopolymer* mortar.
4. Benda uji yang digunakan berbentuk kubus dengan ukuran 5cmx5cmx5cm dengan sampel 168 buah mortar kubus dengan 12 varian yang masing-masing berjumlah 9 sampel.
5. Parameter pengujian hanya mengetahui kuat tekan dari masing-masing variasi umur mortar. Diharapkan dalam penelitian ini dapat diperoleh manfaat:

1. Manfaat Teoritis

- a. Memberikan pengetahuan tentang mortar tanpa semen berbahan *fly ash* dengan variasi molaritas NaOH 10 molar kombinasi ss/sh 0,5 dan 2,5.
- b. Memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu bahan dan struktur.
- c. Dapat mengetahui pengaruh penggunaan aktivator NaOH 10 molar terhadap kuat tekan.
- d. Memberikan pengetahuan proporsi campuran penggunaan aktivator NaOH 10 molar yang optimal.

2. Manfaat Praktis

- a. Menambah alternatif bahan penyusun mortar *geopolymer* sebagai bahan tambah agregat halus yang berfungsi mengatasi proses pengerasan yang lambat.
- b. Data dari penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan dalam penentuan penggunaan mortar tanpa semen berbahan *fly ash* sebagai pengembangan kuat tekan bagi industri mortar.

KAJIAN PUSTAKA

A. Mortar *Geopolymer*

Mortar adalah adukan yang terbuat dari campuran agregat halus (pasir), bahan perekat dan air. Bahan perekat tersebut dapat berupa tanah liat, kapur, *fly ash* maupun semen portland. Tjokrodinuljo (1996), menyebutkan bahwa mortar yang baik harus mempunyai sifat-sifat sebagai berikut: murah, tahan lama (awet), mudah dikerjakan (diaduk, diangkut, dipasang, dan diratakan), melekat dengan baik dengan batu, cepat kering/keras, tahan terhadap rembesan air, dan tidak timbul retak-retak setelah dipasang.

Geopolymer adalah senyawa silikat alumino organik yang disintesis dari bahan seperti *fly ash* (abu terbang) dari abu kulit padi (*rice husk ash*) yang banyak mengandung silikon dan aluminium. (Davidovits, 1997). *Fly ash geopolymer* mortar sendiri tidak dapat mengeras seperti halnya semen, maka dibutuhkan activator sebagai pengikatnya. *Fly ash* dengan metode aktivasi larutan adalah mortar yang menggunakan *fly ash* sebagai bahan pengganti semen seluruhnya dengan menggunakan sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat (Na_2SiO_3) sebagai activator untuk mengikat *fly ash*.

B. Spesifikasi Mortar

Mortar diklasifikasikan menjadi 4 tipe dalam SNI 03-6882-2002 dan ASTM C 27 berdasarkan proporsi bahan yaitu antara lain mortar tipe M, S, N, dan O dimana masing-masing tipe tersebut terdiri atas agregat halus (pasir), air, dan semen. Tipe-tipe mortar adalah sebagai berikut :

- Mortar tipe M adalah mortar mempunyai 17,2 MPa menurut SNI 03-6882-2002.
- Mortar tipe S adalah mortar mempunyai 12,5 MPa menurut SNI 03-6882-2002.
- Mortar tipe N adalah mortar mempunyai 5,2 MPa menurut SNI 03-6882-2002.
- Mortar tipe O adalah mortar mempunyai 2,4 MPa menurut SNI 03-6882-2002.

C. Material Penyusun *Geopolymer* Mortar

1. *Fly ash*

Material yang berasal dari sisa pembakaran batu bara yang sudah tidak terpakai. Material ini mempunyai kadar bahan semen yang tinggi dan mempunyai sifat pozzolanik, yaitu dapat bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen saat proses hidrasi dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat pada temperature normal dengan adanya air (Himawan, dan Darma, 2000).

2. Agregat Halus (Pasir)

Agregat halus (pasir) adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir, atau mineral lainnya baik berupa hasil alam maupun buatan (SNI No:1737-1989).

3. Air

Air dalam campuran mortar *geopolymer* lebih sedikit penggunaannya dibandingkan dengan mortar biasa. Penggunaan air dalam campuran *geopolymer* yang tidak terlalu banyak akan menghasilkan kuat tekan mortar yang tinggi. Pengurangan jumlah air ini berdampak pada

rendahnya tingkat *workability* yang berakibat sulitnya proses pengadukan dan pencetakan.

4. Larutan Aktivator

Alkali sebagai aktivator yang biasanya digunakan untuk membuat *geopolymer* diantaranya adalah kombinasi antara sodium hidroksida (NaOH) dengan sodium silikat (Na_2SiO_3) atau potassium hidroksida (KOH) dengan potassium silikat (K_2SiO_3) (Davidovits, 1999).

5. Sodium Silikat

Sodium silikat berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Sodium silikat merupakan salah satu bahan yang paling sering digunakan pada industri kimia. Hal ini dikarenakan proses produksi yang lebih sederhana sejak 1818 silikat berkembang dengan cepat sodium silikat dapat dibuat dengan 2 proses yaitu proses kering dan proses basah. (Andi dan Calvi n, 2006).

6. Sodium Hidroksida (NaOH)

Sodium hidroksida yang digunakan sebagai activator berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam *fly ash* sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat. Sedangkan sodium silikat mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi.

D. Kuat Tekan Beton *Geopolymer*

Kuat tekan ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat, dan berbagai jenis campuran. Kuat tekan beton adalah besarnya beban maksimum persatuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya beban tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat tekan beton ditentukan oleh perbandingan semen, agregat halus, air dan berbagai jenis bahan tambahan (Tjokrodinuljo, 1996).

Secara matematis kuat tekan beton mengacu (SNI 03-6429-2000) dinyatakan sebagai berikut :

$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana :

$f'c$ = kuat tekan beton (MPa)

P = beban maksimum (N)

A = luas penampang (mm^2)

E. Molaritas

Molaritas (M) adalah satuan untuk mengukur konsentrasi larutan. Molaritas dapat ditentukan dengan rumus :

$$\begin{aligned} \text{Molaritas} &= \frac{\text{Jumlah mol terlarut}}{1 \text{ lt larutan}} \dots\dots\dots(2.2) \\ &= \frac{\text{Berat NaOH}}{40 \text{ (air dari NaOH)}} \times \frac{1 \text{ (liter)}}{\text{Volume Air (liter)}} \end{aligned}$$

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan (Wiyoto J., 2007), dengan semakin tinggi molaritas akan menghasilkan kuat tekan dan kadar porositas tertutup yang semakin besar. Namun apabila jumlah berlebih akan memperlemah solidifikasi akibat pembentukan NaOH.

F. Waktu Pengikatan

Pegertian umum dari waktu pengikatan (*setting time*) menurut Neville (1981) adalah perubahan dari keadaan cair (*fluid*) ke keadaan kaku (*rigid*) dan selama setting tersebut akan membentuk suatu kekuatan. Pada pelaksanaan, awal setting bisa ditandai dengan adanya gejala kekakuan.

G. Proses Curing

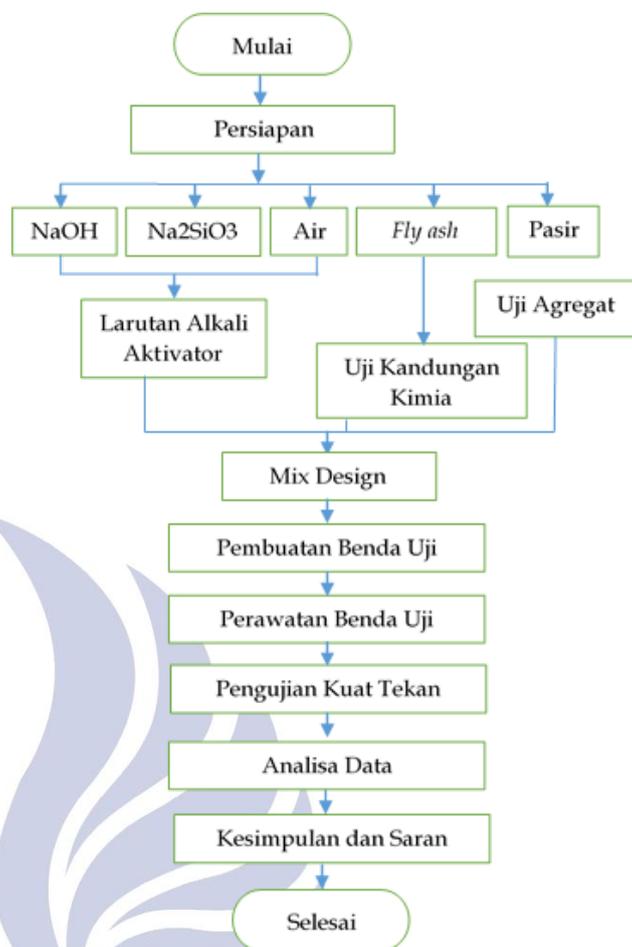
Agar memperoleh beton *geopolymer* berbahan dasar *fly ash* yang optimal, maka harus memperhatikan perawatan setelah beton *geopolymer* dicetak. Metode perawatan (*curing*) yang ada saat ini adalah dengan memberi panas dan kelengasan (Sanjaya dan Yuwono, 2006).

METODE

A. Rancangan Penelitian

Metodologi penelitian merupakan langkah langkah penelitian suatu masalah tertentu dengan jalan ilmiah untuk menghasilkan data atau jawaban. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen yaitu metode yang dilakukan dengan mengadakan suatu percobaan langsung dilaboratorium untuk mendapatkan suatu data atau hasil yang menghubungkan suatu variabel yang diteliti. Selanjutnya melakukan pengembangan lebih lanjut dengan merancang komposisi penambahan abu terbang (*fly ash*) sebagai bahan pengganti pada mortar tanpa semen (*geopolymer mortar*).

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



Gambar 3.1. Diagram Alur Penelitian

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian metode eksperimen yang dilakukan dengan mengadakan suatu percobaan langsung dilaboratorium benda uji sekaligus uji kuat tekan mortar kubus ukuran 5cm x 5cm x 5cm dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Bahan dan Beton Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya dan PT.Semen Gresik.

B. Populasi dan Sampel

1. Populasi

Populasi adalah jumlah keseluruhan dari satuan-satuan atau individu-individu yang karakteristiknya hendak diteliti (Kuntjoro, 2009). Pada penelitian ini adalah data hasil pengujian benda uji (mortar) 5cm x 5cm x 5cm berupa data kuat tekan mortar tanpa semen.

2. Sampel

Sampel adalah sebagian atau wakil populasi yang diteliti (Arikunto, 2002 : 109; Furchan, 2004: 193). Pada penelitian ini digunakan sampel dari semua populasi dikarenakan oleh jumlah populasi yang bersifat data dari hasil

pengujian atau eksperimen di laboratorium dengan sampel benda uji (mortar) dengan ukuran 5cm x 5cm x 5cm berjumlah 108 buah.

D. Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas (*Independent Variable*)

Variabel bebas adalah variabel yang akan diuji pengaruhnya terhadap tingkah laku yang terjadi. Dalam penelitian ini adalah abu terbang (*fly ash*) sebagai bahan agregat halus mortar *geopolymer*.

2. Variabel Terikat (*Dependent Variable*)

Variabel terikat adalah variabel yang menjadi akibat dari variabel bebas yang telah ditentukan. Dalam penelitian ini adalah kuat tekan dan permeabilitas mortar *geopolymer*.

3. Variable control (*Control Variable*)

Variabel control adalah variabel konstan yang digunakan untuk membandingkan variabel lain. Dalam penelitian ini, faktor-faktor yang mempengaruhi mortar *geopolymer* antara lain:

- Abu terbang (*fly ash*).
- Pengujian beton pada usia 7, 14, dan 28 hari
- Dengan molaritas larutan alkali *activator* NaOH 10 molar
- Perbandingan sodium silikat dan sodium hidroksida (SS/SH).

E. Bahan- Bahan Penyusun Benda Uji

Bahan-bahan penyusun benda uji yang akan digunakan, diuji terlebih dahulu di dalam laboratorium untuk mengetahui karakteristiknya. Pengujian ini dilakukan diawal penelitian untuk mengetahui apakah material-material tersebut layak digunakan atau tidak. Material tersebut antara lain meliputi :

a. *Fly ash*

Dalam penelitian ini, digunakan *fly ash* satu jenis yang berasal dari pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) PT. IPOMI Paiton, Jawa Timur, Indonesia pada tahun 2017. Untuk mengetahui komposisi kimia dari *fly ash* tersebut dilakukan pengujian XRF (X-Ray Fluorescence) di Laboratorium XRF PT. Semen Gresik.

b. Agregat

Dalam penelitian ini, digunakan agregat halus sebagai bahan pengisi pada mortar. Agregat halus yang digunakan berasal dari Lumajang, Jawa Timur, Indonesia.

c. Air

Air merupakan salah satu unsur dalam pembuatan mortar tanpa semen ini. Air yang digunakan harus memenuhi syarat, antara lain

memiliki kotoran-kotoran yang rendah, tidak berasa, tidak berbau dan tidak berwarna. Air yang digunakan dalam penelitian ini adalah air suling yang diperoleh dari toko bahan kimia PT. Bratacho, Surabaya.

d. Alkali Aktivator

Dalam penelitian ini akan digunakan kombinasi alkali aktivator yaitu sodium silikat dan sodium hidroksida yang dijual di toko bahan kimia yang berbentuk serpihan-serpihan padat. Diperoleh dari toko bahan kimia PT. Bratacho, Surabaya.

Berikut cara membuat 1 liter larutan NaOH 10 M :

- Menghitung kebutuhan NaOH yang akan digunakan :

$$\text{Molar} = \frac{\text{Massa NaOH}}{\text{Mr}}$$

$$\text{Molar} = \frac{\text{Massa NaOH}}{\text{Ar Na} + \text{Ar O} + \text{Ar H}}$$

$$10 \text{ M} = \frac{\text{Massa NaOH}}{23 + 16 + 1}$$

$$10 \text{ M} = \frac{\text{Massa NaOH}}{40}$$

$$\text{Massa NaOH} = 10 \text{ Molar} \times 40 \\ = 400 \text{ gram}$$

- Menimbang NaOH seberat 400 gram.
- Memasukkan NaOH kedalam labu ukur dengan kapasitas 2000 cc.
- Menambahkan air *aquades* kedalam labu ukur sampai volumenya 1 liter.

F. Pemeriksaan Bahan/Material

Pada tahapan ini dilakukan pengujian material komposisi bahan adukan mortar. Dalam hal ini bertujuan agar dapat mengetahui sifat dan juga karakteristik dari bahan atau material pembentuk mortar sehingga bahan atau material yang digunakan sesuai dengan syarat pembuatan mortar. Adapun langkah-langkah pengujiannya sebagai berikut:

a. Pemeriksaan Abu Terbang

- Pengambilan sampel dari abu terbang secara acak, kemudian dikeringkan dalam waktu ± 24 jam atau 1 hari penuh sampai abu terbang tersebut benar-benar kering.
- Pengambilan sampel abu terbang menjadi 2 bagian yang masing-masing bagian dengan berat 10-15 gram.
- Menyiapkan piknometer kemudian menimbang masing-masing piknometer dan memastikannya dalam keadaan benar-benar kering saat ditimbang (W1 gram).

Lalu menandai piknometer agar tidak terjadi kesalahan dalam memasukkan data.

- 4) Memasukkan sampel dari abu terbang ke dalam piknometer. Lalu menimbang piknometer + abu terbang (W2 gram).
- 5) Menuangkan air kedalam piknometer sedikit demi sedikit sampai semua membasahi dan menutupi abu terbang. Goyangkan piknometer agar semua tercampur, jangan sampai tumpah.
- 6) Menutup piknometer dan mendinginkan selama 24 jam.
- 7) Menghilangkan gelembung udara dengan cara merebus diatas kompor sampai gelembung hilang. Kemudian di dinginkan pada suhu ruang.
- 8) Tambah air lagi sampai memenuhi piknometer lalu keringkan permukaan piknometer. Timbang piknometer (W3 gram), kemudian ukur suhu ($^{\circ}\text{C}$).
- 9) Membersihkan piknometer, selanjutnya mengisi piknometer dengan air destilasi hingga penuh. Usahakan rentang waktunya tidak terlalu lama sehingga suhu bisa dipertahankan.
- 10) Mengeringkan permukaan piknometer menggunakan lap atau kain bersih.
- 11) Menimbang piknometer berisi air (W4 gram).
- 12) Melakukan perhitungan berat jenis sampel yang ada.

b. Pemeriksaan Berat Jenis Pasir

- 1) Menggeringkan pasir dalam oven sampai beratnya tetap, selanjutnya mendinginkan pasir dalam suhu ruang dengan menggunakan desikator.
- 2) Merendam pasir kedalam air selama ± 24 jam.
- 3) Membuang air rendaman pasir dengan hati-hati agar butiran pasir tidak terbuang, menebarkan pasir kedalam wadah, kemudian dikeringkan diudara panas dengan cara membolak-balik pasir hingga kering.
- 4) Memasukkan pasir seberat 500 gram kedalam piknometer, kemudian masukkan air hingga mencapai 90% isi piknometer. Lalu gulung-gulung piknometer sampai tidak terlihat gelembung udara di dalamnya. Apabila terdapat gelombang udara, maka buang dengan menggunakan pipet.

- 5) Menambahkan air kedalam piknometer sampai batas 90% kemudian ditimbang beratnya (Bt).
- 6) Rendam piknometer dalam air dan mengukur suhunya untuk penyesuaian perhitungan dengan suhu standart 25C.
- 7) Pasir kemudian dikeluarkan dan dikeringkan dalam oven dengan suhu 110C sampai beratnya tetap. Kemudian mendinginkannya dalam desikator, dan timbang beratnya (Bk).

c. Pemeriksaan Gradasi Pasir

- 1) Menggeringkan pasir dalam oven dengan suhu 110 C hingga beratnya tetap.
- 2) Mengeluarkan pasir dalam oven, lalu didinginkan dengan desikator selama 3jam.
- 3) Menyusun ayakan sesuai dengan urutannya, ukuran terbesar terletak diatas yaitu 4,8 mm; 2,4 mm; 1,2 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; 0,15 mm.
- 4) Memasukkan pasir kedalam ayakan paling atas, tutup dan ayak dengan cara digetarkan selama 10 menit kemudian pasir didiamkan selama 5 menit agar pasir tersebut mengendap.
- 5) Pasir yang tertinggal dalam masing-masing ayakan ditimbang beserta wadahnya
- 6) Gradasi pasir yang didapat dengan cara menghitung komulatif presentase butiran pasir yang lolos pada masing-masing ayakan.

G. Mix Desain Mortar Geopolymer

Dalam menentukan *mix desain* campuran mortar *geopolymer* sebelumnya harus mengetahui komposisi yang tepat dari material *geopolymer*. Komposisi perbandingan antara sodium silikat dan sodium hidroksida harus ditentukan agar mendapatkan campuran yang terbaik untuk mendapat kuat tekan yang maksimal.

H. Rancangan Benda Uji

Benda uji yang digunakan ini, dibuat dengan molaritas 10 molar dengan sodium silikat dan sodium hidroksida yang berbeda-beda. Rancangan benda uji dan proporsi bahan dasar yang digunakan selengkapnya disajikan dalam Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Rancangan Mix Design SS/SH = 0.5

	w/s	Jumlah Mortar	Mix Design				
			PC	Pasir	FA	NaOH	Na ₂ SiO ₃
A	-	9	1	2,75	-		
B	0,20	9	0	2,75	1	0,207	0,104
C	0,25	9	0	2,75	1	0,267	0,134
D	0,30	9	0	2,75	1	0,330	0,165
E	0,35	9	0	2,75	1	0,398	0,199
F	0,40	9	0	2,75	1	0,470	0,235
G	0,45	9	0	2,75	1	0,548	0,274

Tabel 3.2 Rancangan Mix Design SS/SH = 2.5

	w/s	Jumlah Mortar	Mix Design				
			PC	Pasir	FA	NaOH	Na ₂ SiO ₃
A	-	9	1	2,75	-		
B	0,20	9	0	2,75	1	0,100	0,250
C	0,25	9	0	2,75	1	0,128	0,322
D	0,30	9	0	2,75	1	0,161	0,403
E	0,35	9	0	2,75	1	0,197	0,493
F	0,40	9	0	2,75	1	0,236	0,590
G	0,45	9	0	2,75	1	0,280	0,700

Dari tabel mix desain diatas, nilai (W/S) didapatkan dari rumus berikut:

$$\text{Water (w)} : \frac{SS}{BJ Na_2SiO_3} + \frac{SH}{BJ NaOH 10M}$$

$$\text{Solid (s)} : FA + (BJ Na_2SiO_3 - 1) \times SS + (BJ NaOH 10M - 1) \times SH$$

Sedangkan untuk nilai SS dan SH didapat dengan cara *trial and error*.

I. Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji ini dilakukan setelah menghitung proporsi dari masing-masing bahan yang digunakan, kemudian mencampur dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Menyiapkan bahan dan peralatan yang digunakan.
2. Menimbang bahan-bahan yang akan digunakan sesuai kebutuhan.
4. Melarutkan sodium hidroksida (NaOH) kedalam air berdasarkan perhitungan mix desain yang telah dilakukan sebelumnya.
5. Menambahkan sodium silikat (Na₂SiO₃) kedalam larutan air dan sodium hidroksida (NaOH) kemudian diaduk sampai homogen selama ± 5 menit sehingga terbentuk larutan alkalin aktivator.

6. Alkalin aktivator kemudian didiamkan selama 24 jam untuk menuntaskan reaksi pelarutan NaOH.
7. Mencampur larutan alkalin aktivator (NaOH + air + Na₂SiO₃) dengan *fly ash* sampai benar-benar homogen.
8. Mencampur larutan alkalin aktivator (NaOH + air + Na₂SiO₃ + *fly ash*) dengan menambahkan pasir untuk membuat mortar dan diaduk hingga homogen.
9. Muangkan adukan mortar segar ke dalam cetakan kubus 5cm x 5cm x 5cm yang terdiri dari 3 lapis, dimana pada setiap lapisan dilakukan pemadatan dengan cara menusuk sebanyak 25 kali tusukan secara merata ditujukan untuk mengurangi rongga-rongga pada mortar tersebut. Sehingga mortar menjadi padat kemudian di simpan pada suhu ruangan.
10. Membuka dan mengeluarkan benda uji mortar dari cetakan sesuai dengan umur mortar yang direncanakan.
11. Mengulangi lagi langkah 2 sampai dengan langkah 9 dengan variasi komposisi rencana mix desain, sehingga didapatkan komposisi yang memenuhi.

J. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dengan mesin *Universal Testing Machine*. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7 hari, 14 hari 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*.
- 3) Menentukan skala pengukuran.
- 4) Memutar jarum penunjuk tepat pada titik nol.
- 5) Menyalakan mesin *Universal Testing Machine* dengan menekan tombol ON.
- 6) Mengamati jarum penunjuk untuk mengetahui setiap perubahan/penambahan kuat tekan.
- 7) 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.
- 8) Membaca dan mencatat angka yang ditunjuk oleh jarum yang merupakan besarnya gaya tekan maksimum *fly ash -based mortar geopolymer*.
- 9) Mencatat dan menghitung nilai kuat tekan *fly ash -based mortar geopolymer*

K. Pengujian *Setting Time*

Pengujian *setting time* dengan alat vicat lengkap dengan peralatan jarumnya (1mm), cincin *ebonite*, pelat kaca, *stopwatch*.

Prosedur pelaksanaannya adalah sebagai berikut:

1. Memeriksa dan menyiapkan alat vicat dengan jarum berdiameter 1mm.
2. Menimbang adonan sesuai mix design dan membuat adonan pasta dengan prosentase yang telah ditentukan.
3. Meletakkan cincin *ebonite* yang sudah berisi pasta pada alat vicat.
4. Melepaskan jarum vicat pada 15 menit pertama kemudian mencatat penurunannya.
5. Melepaskan jarum vicat pada 15 menit kedua dan mencatat penurunannya (jarak tiap titik $\pm 5\text{mm}$ dan 10mm dari tepi cincin *ebonite*).
6. Melakukan pencatatan penurunan sampai terjadi pengerasan dan jarum menunjukkan angka 0.

L. Perawatan Benda Uji

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.

M. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data pada penelitian ini dengan menggunakan cara percobaan atau eksperimen di dalam laboratorium Teknologi Bahan dan Beton Teknik Sipil yang berguna sebagai dasar pembuatan keputusan atau hasil. Adapun parameter yang diuji adalah sebagai berikut :

a. Kuat Tekan

Pengumpulan data kuat tekan sebelumnya dilakukan dengan cara melakukan pencatatan lokasi dimana mortar atau benda uji dibuat, mencatat tanggal pembuatan benda uji, nama benda uji di sertai berat benda uji. Pengujian kuat tekan ditujukan untuk mengetahui nilai kuat tekan secara aktual pada sampel pasta, mortar maupun beton dalam kondisi keras menggunakan mesin uji kuat tekan hingga sampel benar-benar hancur (ASTM C39).

b. Uji vicat

Metode pengujian pengikatan (*setting time*) menggunakan standart ASTM C 191. Pengumpulan data dilakukan dengan melakukan uji menggunakan alat vicat dengan jarum berdiameter 1mm. Pengujian ini dilakukan untuk

mengetahui waktu penurunan pada adonan mortar.

c. Uji XRF (X-Ray Fluorescent)

XRF bertujuan untuk mengetahui secara kualitatif dan kuantitatif kandungan unsur suatu material (Karyasa, 2013). Pengujian ini digunakan untuk mengetahui komposisi kimia. Analisis unsur kimia terhadap sampel akan lebih di teliti menggunakan uji ini.

O. Analisa Data

Metode yang digunakan untuk menganalisa data yaitu cara statistik. Metode analisa data ini dilakukan dengan cara menelaah dari data eksperimen yang telah di lakukan di laboratorium, dimana hasilnya data tulis yang akan dibuat dalam bentuk tabel dan grafik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

1. Persiapan Penelitian

Sebelum melakukan penelitian langkah awal yaitu persiapan penelitian agar tidak terdapat kendala dalam melaksanakan penelitian. Persiapan penelitian juga merupakan kegiatan pra penelitian yang harus dilakukan diantaranya:

a. Perhitungan Larutan Alkali Aktivator

Aktivator yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Na_2SiO_3 dan NaOH . Na_2SiO_3 berbentuk gel bening sedangkan NaOH berupa serpihan. NaOH di campurkan dengan air *aquades* sehingga berkonsentrasi 10 Molar. Larutan ini kemudian dicampurkan dengan Na_2SiO_3 dengan perbandingan antara NaOH dan Na_2SiO_3 yaitu 0,5 dan 2,5. Sebelum digunakan untuk membuat pasta berupa mortar, larutan aktivator ini didiamkan selama sehari sehingga suhunya mencapai suhu ruang. Berikut merupakan perhitungan untuk membuat aktivator NaOH 10 molar:

$$\text{Molar} = \frac{\text{Massa NaOH}}{\text{Mr}}$$

$$\text{Molar} = \frac{\text{Massa NaOH}}{\text{Ar Na} + \text{Ar O} + \text{Ar H}}$$

$$10 \text{ M} = \frac{\text{Massa NaOH}}{23 + 16 + 1}$$

$$\text{Massa NaOH} = 10 \text{ m} \times 40 = 400 \text{ gram}$$

Jadi kesimpulan dari perhitungan diatas yaitu dibutuhkan 400 gram sodium hidroksida (NaOH) dengan 1 liter air *aquades* untuk membuat larutan NaOH 10 molar.

b. Pengujian Kadar Lumpur Pasir

Pasir atau agregat halus yang digunakan pada penelitian ini yaitu pasir Lumajang. Apabila kadar lumpur pada pasir melampaui 5%, maka pasir atau agregat halus harus dicuci (PBI 1971 hal. 19). Dimana bagian yang lolos ayakan no. 200 atau 0,063 mm itulah yang di sebut lumpur.

Berikut ini hasil pengujian kadar pada pasir :

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

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

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

Jadi berdasarkan hasil pengujian diatas kandungan lumpur pada pasir diperoleh 3,73% sedangkan standart SNI untuk kandungan lumpur maksimal yaitu 5% sehingga pasir tersebut dapat digunakan sebagai campuran beton.

2. Pengujian Material

a. Hasil Pengujian Abu Terbang

Abu terbang yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari CV. Dwi Mitra Surya yang berasal dari sisa pembakaran batu bara PLTU. Dalam penelitian ini dipakai 2 *fly ash* yaitu *fly ash* lama dan *fly ash* baru. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur kimia yang terdapat dalam abu terbang. Pada pengujian abu terbang ini dilakukan di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju FMIPA Universitas Negeri Malang (UM). Hasil pengujian yang telah di dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Uji XRF Fly ash

Parameter	(%)	Parameter	(%)
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 tabel hasil pengujian diatas menunjukkan bahwa kandungan unsur kimia pada *fly ash* yang digunakan pada penelitian ini

termasuk *fly ash* tipe C dengan kandungan Si (13,20%) + Al (4,60%) + Fe (51,17%) lebih dari 50% dan kadar CaO (24,00%) diatas 10%.

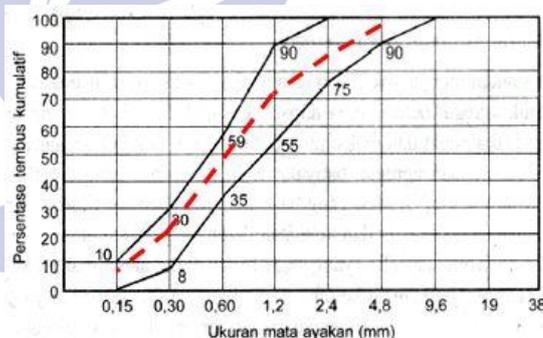
b. Hasil Pengujian Agregat Halus

1) Uji Gradasi

Pengujian agregat halus dilakukan untuk mengetahui berat jenis (*specific gravity*), gradasi agregat, kandungan organik dan kandungan lumpur.

Tabel 4.2 Hasil Analisa Ayakan Pasir

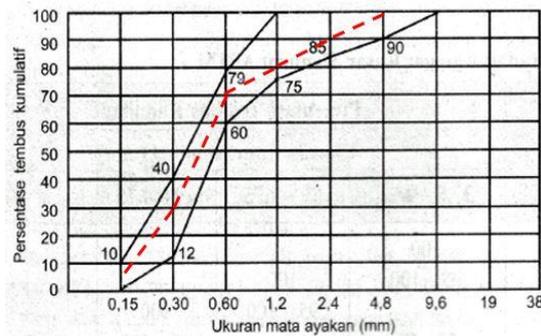
Ayakan	Tertinggal	Komulatif		
No	Gram	%	Tertinggal	Lolos
4			0	100
8	155	5	5	95
16	155	5	10	90
30	309	10	20	80
50	1547	50	70	30
100	773	25	95	5
200	155	5	100	0
Jumlah	3094	100	100	0



Gambar 4.1. Gradasi Zona 2

Tabel 4.3 Hasil Analisa Ayakan Pasir Digunakan

Ayakan	Tertinggal	Komulatif		
No	Gram	%	Tertinggal	Lolos
4	36	3,6	3.6	96.4
8	101	10.1	13.7	86.3
16	152	15.2	28.9	71.1
30	254	25.2	54.3	45.7
50	243	24.3	78.6	21.4
100	139	13.9	92.5	7.5
Pan	75	7.5	100	0
Jumlah	1000	100	100	0



Gambar 4.2. Gradasi Zona 3

2) Uji Penyerapan Pasir

Untuk pengujian berat jenis SSD (*Saturated Surface Dry*) dan penyerapan, dilakukan sesuai metode ASTM 128-01. Kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*) adalah kondisi jenuh agregat dan kering pada permukaannya.

Berikut adalah data hasil pengujian yang telah dilakukan di laboratorium beton Universitas Negeri Surabaya:

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

$$= \frac{250}{B + 250 - C}$$

$$= \frac{250}{335 + 250 - 495}$$

$$= 2.78 \text{ gram/cc}$$

f) Berat jenis kering oven

$$= \frac{A}{B + 250 - C}$$

$$= \frac{246}{335 + 250 - 495}$$

$$= 2.73 \text{ gram/cc}$$

g) Berat jenis semu

$$= \frac{A}{B + A - C}$$

$$= \frac{246}{335 + 246 - 495}$$

$$= 2.86 \text{ gram/cc}$$

h) Penyerapan

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

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

$$= 1.62\%$$

3) Data Persentase Pasir Lolos

Tabel 4.4 Data Persentase Pasir Lolos

No. Ayakan	Persentase	Berat (gram)
8	5%	154,69
16	5%	154,69
30	10%	309,38
50	50%	1548,88
100	25%	773,44
200	5%	154,69
Total	100%	3093,75

Berdasarkan tabel diatas ayakan yang digunakan pada penelitian *geopolymer* mortar ini menggunakan ayakan dari ayakan no 8, no 16, no 30, no 50, no 100 dan no 200. Data persentase diatas digunakan untuk membuat campuran mortar.

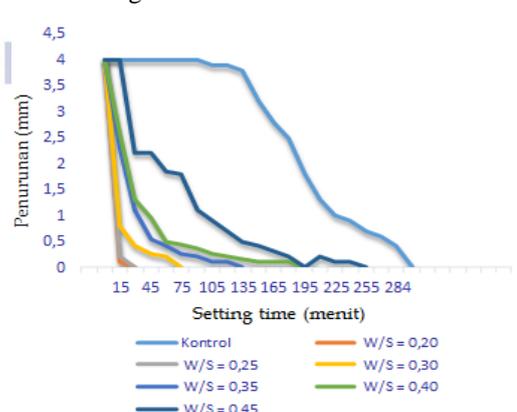
3. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dengan mesin *Universal Testing Machine*. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 3 hari, 7 hari, dan 28 hari.

Pengujian kuat tekan mortar pada penelitian ini dilakukan dengan alat uji kuat tekan *compress testing mechine*. Pengujian ini bertujuan menganalisa pengaruh umur mortar *geopolymer*. Pelaksanaan kegiatan dilakukan setelah mengukur dimensi benda uji untuk mengetahui luas bidang benda uji yang tertekan.

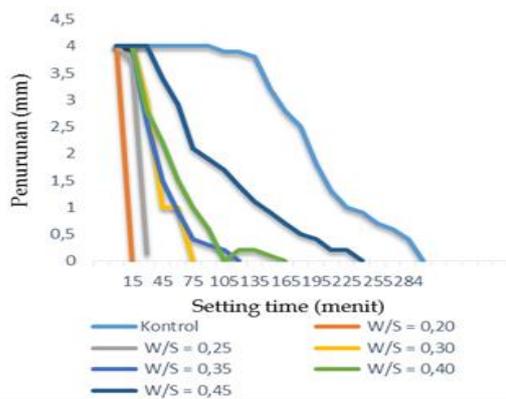
4. Hasil Pengujian Setting Time

Pengujian *setting time* dilakukan dengan pembacaan jatuhnya penetrasi pada alat vicat selama selang waktu tertentu dari awal pembuatan campuran sampai mengeras, yaitu sampai batas akhir mengeras.



Gambar 4.33 Grafik Penurunan Waktu pada Kondisi SS/SH 0,5

Berdasarkan dari Tabel 4.20 dan Gambar 4.33 grafik waktu penurunan pada kondisi SS/SH 0,5 di atas menunjukkan bahwa kondisi mortar dengan *water rasio* terendah yaitu 0,20 mengalami waktu pengikatan yang paling cepat yaitu 15 menit, bahkan sebelum 15 menit. Hal tersebut membuat mortar yang dibuat juga cepat mengeras. Sementara pada kondisi mortar dengan *water rasio* tertinggi yaitu 0,45 mengalami waktu pengikatan yang paling lama sekitar 255 menit karena mortar sangat encer sehingga mortar yang dibuat juga menjadi lama untuk mengeras.



Gambar 4.34 Grafik Penurunan Waktu pada kondisi SS/SH 2,5

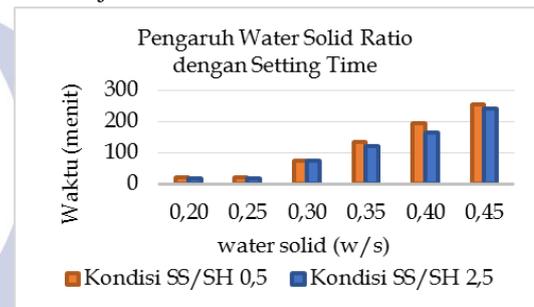
Berdasarkan dari Tabel 4.21 dan Gambar 4.34 grafik waktu penurunan pada kondisi SS/SH 2,5 di atas menunjukkan bahwa kondisi mortar dengan *water rasio* terendah yaitu 0,20 mengalami waktu pengikatan yang paling cepat yaitu 15 menit, bahkan sebelum 15 menit. Hal tersebut membuat mortar yang dibuat juga cepat mengeras. Sementara pada kondisi mortar dengan *water rasio* tertinggi yaitu 0,45 mengalami waktu pengikatan yang paling lama sekitar 240 menit karena mortar sangat encer sehingga mortar yang dibuat juga menjadi lama untuk mengeras.

B. Pembahasan

1. Hubungan *Water Solid Ratio* (W/S) Terhadap *Setting Time*

Berdasarkan pada hasil pengujian dengan menggunakan vicat yang terdapat pada gambar 4.33 dan gambar 4.34 untuk mengetahui adanya pengaruh rasio terhadap setting time yaitu waktu pengikatan awal dan waktu pengikatan akhir. Terdapat 5 rasio yang digunakan yaitu 0,20; 0,25; 0,30; 0,35; 0,40; 0,45 baik untuk kondisi SS/SH 0,5 dan kondisi SS/SH 2,5. Dalam hal

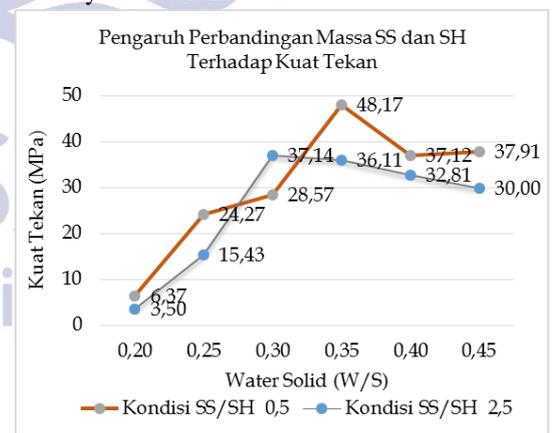
ini, terbukti bahwa kedua kondisi tersebut yaitu SS/SH 0,5 dan SS/SH 2,5 mempunyai kemampuan bahwa semakin besar *water solid ratio* (*w/s*) yang dimiliki, maka waktu yang dibutuhkan akan semakin lama untuk mencapai pengikatan akhir. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Dewi (2010) yang menyatakan bahwa pada dasarnya semakin tinggi kadar aktivator yang dimiliki maka semakin mempercepat reaksi polimerisasi, akan tetapi dengan adanya penambahan air yang dibutuhkan maka otomatis akan menghambat reaksi polimerisasi itu sendiri sehingga *setting time* mejadi semakin lama.



Gambar 4.37 Pengaruh *Water Solid Ratio* Terhadap *Setting Time*

2. Hubungan Massa Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida (SS/SH) Terhadap Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan pada benda uji beton *geopolymer* yang sudah di tes kuat tekannya dan berumur 28 hari.

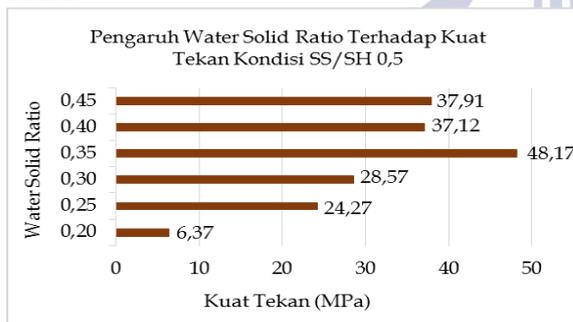


Gambar 4.38 Perbandingan Massa Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida Terhadap Kuat Tekan

Berdasarkan hasil kuat tekan yang terdapat pada Gambar 4.38 terlihat bahwa mortar pada kondisi kondisi SS/SH 0,5 relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tekan yang dihasilkan oleh mortar pada kondisi SS/SH 2,50. Hal ini sesuai dengan penelitian yang

dilakukan oleh Provis pada tahun 2005 (Provis dan Van Deventer, 2005) yang menyatakan bahwa NaOH berperan dalam pembentukan formasi zeolit. Namun demikian, peran Sodium Silikat dalam larutan aktivator juga berperan dalam meningkatkan nilai kuat tekan. Beton yang mengandung sedikit Sodium silikat dan Sodium hidroksida tidak dapat mencapai kuat tekan yang tinggi. Semakin tinggi perbandingan berat larutan sodium silikat dan sodium hidroksida tidak selalu menghasilkan kuat tekan yang tinggi pula (Ekaputri, Triwulan, 2013).

3. Hubungan Water Solid Ratio dengan Kuat Tekan



Gambar 4.39 Pengaruh Water Solid Ratio terhadap Kuat Tekan Kondisi 0,5



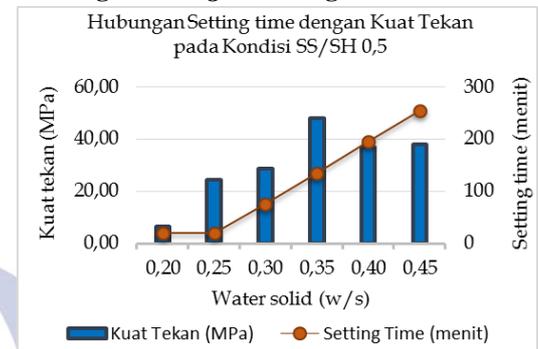
Gambar 4.40 Pengaruh Water Solid Ratio terhadap Kuat Tekan Kondisi 2,5

Pada Gambar 4.39 dan Gambar 4.40 telah disajikan perbandingan massa sodium silikat dan sodium hidroksida terhadap kuat tekan. Ada 2 kondisi yaitu SS/SH 0,5 dan 2,5 dengan 6 variasi *water solid ratio* yang sama. Terlihat bahwa titik optimum kuat tekan dengan kondisi SS/SH 0,5 pada variasi *w/s* 0,35 sedangkan kondisi SS/SH 2,5 pada variasi *w/s* 0,30. Kemudian setelah mencapai titik optimum nilai kuat tekan dari masing-masing kondisi mengalami penurunan.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa kuat tekan yang paling optimum yaitu pada rentang variasi *w/s* 0,30 dan 0,35. Apabila kurang dari 0,30 mengakibatkan daya ikat binder kurang

maksimal sedangkan apabila lebih dari 0,35 daya ikat binder juga menurun. Hal tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Veliyati (2010) dimana semakin besar faktor air binder dapat meningkatkan *workability*.

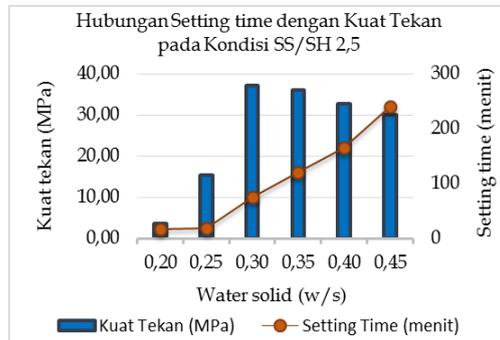
4. Hubungan Setting time dengan Kuat Tekan



Gambar 4.41 Hubungan Setting Time dengan Kuat Tekan Kondisi SS/SH 0,5

Pada Tabel 4.25 dan Gambar 4.41 telah disajikan hasil kuat tekan beserta waktu pengikatan (*setting time*). Pada beton *geopolymer* dengan kondisi SS/SH 0,5 dan SS/SH 2,5 dengan variasi *w/s* 0,20 diamati memiliki nilai kuat tekan terendah diantara variasi *w/s* yang lainnya. Untuk nilai kuat tekan kondisi SS/SH 0,5 variasi *w/s* 0,20 berkuat tekan 6,37 MPa dengan waktu pengikatan awal pada menit ke 4 dan pengikatan akhir pada menit ke 4. Untuk nilai kuat tekan pada kondisi SS/SH 2,5 variasi *w/s* 0,20 juga memiliki kuat tekan terendah yaitu berkuat tekan sebesar 3,50 MPa dengan waktu pengikatan awal pada menit ke 6 dan pengikatan akhir pada menit ke 16. Untuk variasi *w/s* 0,45 pada kondisi SS/SH = 0,50 dan SS/SH 2,5 memiliki waktu pengikatan (*setting time*) terlama yaitu dengan pengikatan awal 30 dan pengikatan akhir 255 untuk kondisi SS/SH 0,5 dengan nilai kuat tekan sebesar 37,91 MPa. Sedangkan waktu pengikatan awal di menit 45 dan pengikatan akhir di menit 240 untuk kondisi SS/SH 2,5 dengan nilai kuat tekan sebesar 30,00 MPa. Melihat hasil pengujian tersebut dapat diambil kesimpulan, seiring dengan waktu pengikatan (*setting time*) menunjukkan bahwa semakin cepat waktu pengikatannya, terdapat kecenderungan kuat tekan semakin rendah, kemungkinan hal tersebut disebabkan oleh pengaruh kadar keenceran larutan. Akan tetapi semakin lama waktu pengikatan yang dialami, kuat tekan yang dihasilkan juga menurun dan tidak akan maksimal. Kemudian juga adanya

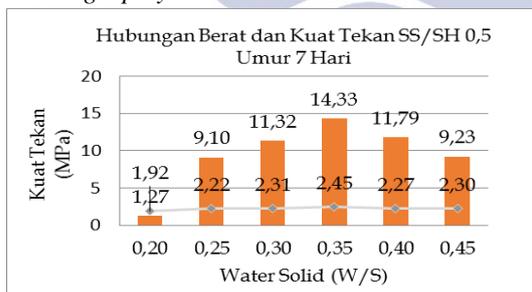
perbedaan variasi pengambilan *fly ash* yang berbeda menyebabkan adanya perbedaan ukuran partikel, pH, dan kandungan kimia *fly ash* sehingga hal ini dapat menyebabkan terjadinya variasi pada kuat tekan dan *setting time* mortar *geopolymer*. Dapat disimpulkan bahwa kuat tekan yang paling optimum adalah pada variasi w/s 0,3 dan 0,35.



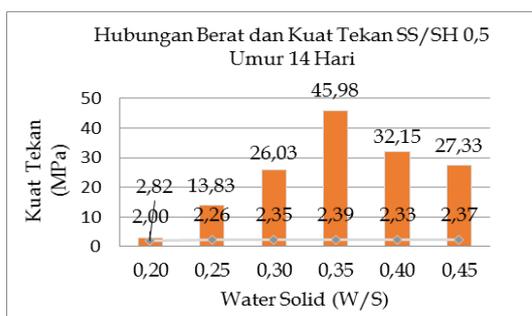
Gambar 4.42 Hubungan *Setting Time* dengan Kuat Tekan Kondisi SS/SH 2,5

5. Hubungan Berat per Volume dengan Kuat Tekan Mortar *Geopolymer*

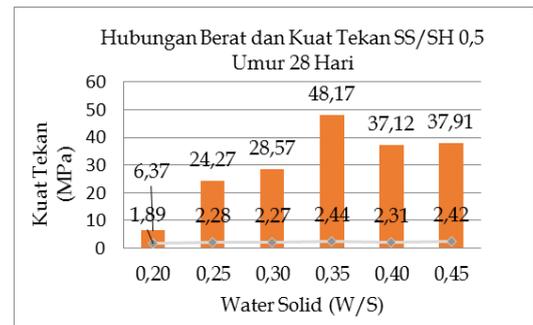
Berdasarkan Gambar 4.43, Gambar 4.44 dan Gambar 4.45, terlihat bahwa ada titik optimum yang menunjukkan berat terbesar yaitu pada perbandingan w/s 0,35. Pada titik tersebut mortar mempunyai kuat tekan paling tinggi. Hal ini membuktikan bahwa ada hubungan erat antara berat per volume dan kuat tekan pada mortar *geopolymer*.



Gambar 4.43 Perbandingan Antara Berat dan Kuat Tekan SS/SH 0,5 Umur 7 Hari

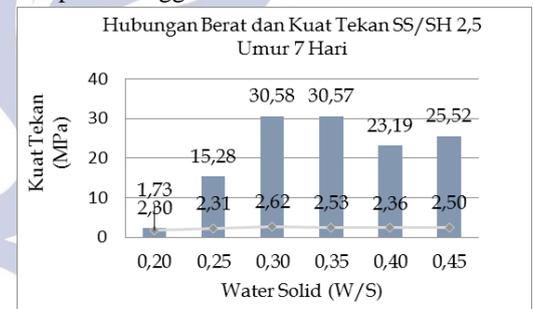


Gambar 4.44 Perbandingan Antara Berat dan Kuat Tekan SS/SH 0,5 Umur 14 Hari

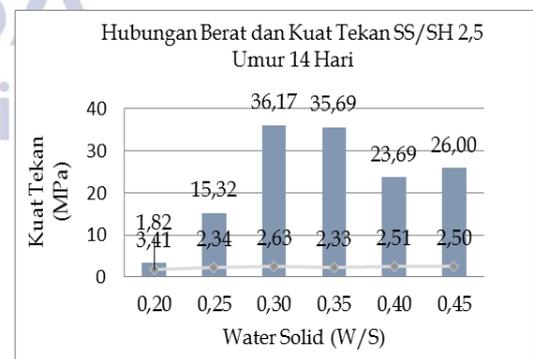


Gambar 4.45 Perbandingan Antara Berat dan Kuat Tekan kondisi SS/SH 0,5 Umur 28 Hari

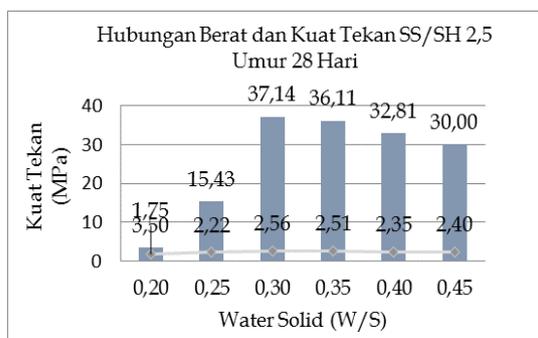
Dari hasil pengujian tersebut dapat diambil kesimpulan, seiring dengan semakin berat mortar menunjukkan bahwa terdapat kecenderungan semakin besar kuat tekan yang dihasilkan, kemungkinan hal tersebut disebabkan oleh pengaruh pori-pori yang ada didalam mortar. Pori yang tertutup lebih baik daripada pori terbuka, karena pori yang tertutup memiliki tekanan yang menambah kuat tekan dan terhindar dari retakan, sedangkan pori terbuka membuat mortar menjadi mudah keropos sehingga menurunkan kuat tekan.



Gambar 4.46 Perbandingan Antara Berat dan Kuat Tekan SS/SH 2,5 Umur 7 Hari



Gambar 4.47 Perbandingan Antara Berat dan Kuat Tekan SS/SH 2,5 Umur 14 Hari



Gambar 4.48 Perbandingan Antara Berat dan Kuat Tekan SS/SH 2,5 Umur 28 Hari

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang di lakukan dalam penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Hasil nilai kuat tekan *mortar geopolymer* berbahan dasar abu terbang (*fly ash*) kelas C dengan kombinasi NaOH 10 molar, standar nilai optimum terdapat pada rentang variasi *w/s* (*water solid ratio*) 0,30 pada kondisi SS/SH 0,5 dan 0,35 pada kondisi SS/SH 2,5.
2. Kuat tekan optimum yang dihasilkan oleh *mortar geopolymer* berbahan dasar abu terbang (*fly ash*) kelas C dengan kombinasi NaOH 10 molar, pada kondisi SS/SH 0,5 terdapat pada variasi *w/s* (*water solid ratio*) 0,35 dengan nilai kuat tekan sebesar 48,17 MPa dan pada kondisi SS/SH 2,5 terdapat pada variasi *w/s* (*water solid ratio*) 0,30 dengan nilai kuat tekan sebesar 37,14 MPa.
3. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, semakin tinggi komposisi campuran sodium silikat (Na_2SiO_3) dan sodium hidoksida (NaOH) tidak selalu menghasilkan kuat tekan yang tinggi.
4. Variasi pengambilan *fly ash* yang berbeda – beda dapat menyebabkan adanya perbedaan terhadap kandungan kimia yang terkandung dalam *fly ash*, ukuran partikel *fly ash* dan pH sehingga terjadi perbedaan variasi kuat tekan dan *setting time* pada *mortar geopolymer*.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad Basuki. 2012. Bahan Tambah Pada Campuran Beton. Harijan Joglo Semarang, Surakarta.
- Adam, A.A. 2009. Strength and Durability Properties of Alkali Activated Slag and Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. PhD Thesis School of Civil, Environmental and Chemical Engineering, RMIT University. Melbourne.
- Adiningtyas, T., Ekaputri, J.J. dan Triwulan (2007), “Analisa Sifat Mekanik Beton Geopolymer Berbahan Dasar Fly Ash Dan Lumpur Porong Kering Sebagai Pengisi”
- Arifin, F. 2011. Pemanfaatan Limbah Serbuk Besi untuk Bahan Selubung Ruang Bakar Kompor Bio-Mass Tipe Roket. Pelitnik Negeri Sriwijaya.
- 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.
- ASTM C 33-03 (2003), Standart Specification for Concrete Aggregates, United Stated.
- ASTM International, ASTM C618. 2017. *Standart Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*. West Conshohocken.
- Davidovits. J. 1997. *Properties of Geopolymer*. France: Geopolimer
- Davidovits J., Acient and Modern Concretes, Concrete International: Design & Construction, 9 N°12, 23, 1987
- Davidovits, J., 1999. Chemistry of Geopolymer System, Terminology. Paper presented at the Geopolymer '99 International Conference, Saint-Quentin, France.
- Dewi, Nurmala Ika. 2010. Pengaruh Faktor Air Binder Dan Kadar Aktivator Terhadap Setting Time Fly Ash Based Geopolymer. Surakarta: Universitas Sebelas Maret Surakarta
- Ekaputri, J.J. dan Triwulan (2013), “Sodium sebagai Aktivator Fly Ash, Trass dan Lumpur Sidoarjo dalam Beton Geopolimer”
- Hardjito, D. (2005). Studies on Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. Perth: Curtin's Institutional Research Repository.
- Hardjito, D., Wallah, S.E., Sumajouw, D.M.J. & Rangan, B.V. 2007. On the development of fly ash-based geopolymer concrete. ACI Materials Journal Vol 101(6): 467-472.
- Himawan. A., & Darma. D.S., “Penelitian Awal Mengenai Self Compacting Concrete”, 2000.

- Karyasa, I W. 2013. *Studi X-Ray Fluorescedan X-Ray Diffraction Terhadap Bidang Belah Batu Pipih Asal Tejakula.*
- Neville, A.M. (2004). *Properties of Concrete.* Fourth Edition. Pearson Education Limited, UK.
- Provis, J.L, and Van Deventer, J.S.J, 2005, *Activating Solution Chemistry For Geopolymers, Geopolymers: Structures, Processing, Properties and Industrial Applications,* Woodhead Publishing, Abingdon UK, hal.50-71.
- Sanjaya, Andi dan Calvin Yuwono Leoindarto, 2006. *Komposisi Alkaline Activator dan Fly Ash untuk Beton Geopolimer Mutu Tinggi.* Surabaya : Universitas Kristen Petra
- Sumajouw, dkk. 2013. *Elemen Struktur Beton Bertulang Geopolymer.* Yogyakarta: Andi Offset.
- Sutikno. 2003. *Panduan Praktek Beton.* Jurusan Teknik Sipil: Universitas Negeri Surabaya.
- Tjokrodinuljo, 1996, *Teknologi Beton,* Nafiri, Yogyakarta.
- Veliyati, 2010, *Pengaruh Faktor Air Binder Terhadap Kuat Tekan Dan Workability Fly Ash Based Geopolymer Mortar,* Universitas Sebelas Maret Surakarta, Surakarta.
- Wiyoto, J. 2007. *Arriance Influence Of NaOH 12 M And 14 M Molarity And Activator Ratio To Get Increase In Compresive Strenght At Fly Ash Based Geopolymer Concrete With Traass Added As A filler.*

