

ANALISA KUAT TEKAN DAN POROSITAS MORTAR GEOPOLIMER DENGAN PENGGUNAAN LUMPUR SIDOARJO SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI FLY ASH DENGAN NILAI RASIO 1:5 PASIR DAN AKTIVATOR NaOH 12 MOLAR PADA KONDISI SS/SH 1,5

Ahmad Al Fannil Labib

Mahasiswa S1-Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Alamat e-mail: ahmadlabib@mhs.unesa.ac.id

Arie Wardhono

Dosen S1-Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Alamat e-mail: ariewardhono@unesa.ac.id

Abstrak

Lumpur Sidoarjo adalah contoh lain bahan alam yang dimanfaatkan sebagai bahan substitusi semen. Alasan penggunaan lumpur Sidoarjo karena jumlahnya melimpah dan dianggap mempunyai kandungan yang menyerupai semen, sehingga dapat digunakan sebagai bahan penyusun mortar geopolimer. Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan lumpur Sidoarjo sebagai substitusi *fly ash* yang ditinjau dari kuat tekan dan porositas mortar geopolimer. Perbandingan bahan pengikat dan pasir 1:5 dengan variasi penggunaan lumpur Sidoarjo sebesar 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50%. Konsentrasi molaritas yang digunakan sebesar 12 Molar dengan perbandingan sodium silikat dan sodium hidroksida 1,5. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar optimum penggunaan lumpur Sidoarjo sebesar 5% dengan nilai kuat tekan 18,69 MPa dan porositas 13,78%. Peningkatan presentase lumpur Sidoarjo yang lebih besar menyebabkan penurunan kuat tekan dan peningkatan presentase porositas mortar geopolimer.

Kata Kunci: geopolimer, lumpur Sidoarjo, *fly ash*, porositas, kuat tekan, mortar.

Abstract

Sidoarjo mud is another example of natural materials which is used as a substitute for cement. The reason for the use of Sidoarjo mud is that it is overflow and is considered to have a content similiar to cement, so it can be used as a constituent of geopolymer mortar. The study was conducted to determine the effect of the use of Sidoarjo mud as a substitution of fly ash in term of compressive strength and porosity of geopolymer mortars. Comparison of binder and sand 1:5 with variations in the use of Sidoarjo mud by 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50%. The molarity concentration used was 12 Molar with a ratio of sodium silicate and sodium hydroxide 1,5. The results showed that the optimum level of using Sidoarjo mud was 5% with compressive strength of 18,69 MPa and porosity of 13,78%. Increasing the percentage of Sidoarjo mud is greater causing a decrease in compressive strength and an increase in the porosity of geopolymer mortar.

Keywords: geopolymer, Sidoarjo mud, fly ash, porosity, compressive strength, mortar.

PENDAHULUAN

Kerusakan lingkungan hidup berdampak buruk terhadap aktifitas lingkungan sekitar, yang berpengaruh langsung terhadap kondisi fisik maupun aktivitas sosial dan ekonomi. Penyebab kerusakan lingkungan salah satunya ditimbulkan semburan lumpur Sidoarjo, yang merupakan suatu fenomena geologi karena lokasi geografis Indonesia di wilayah sering terjadinya gempa, ataupun akibat dari kesalahan metode proses pengeboran tanah. Semburan lumpur Sidoarjo merupakan bencana jenis baru sejak tahun 2006 yang hingga saat ini masih belum bisa dihentikan. Volume awal semburan lumpur Sidoarjo kurang lebih mencapai 100.000 m³ dalam satu hari dengan suhu semburan 100 °C (Lasino, dkk., 2018). Lumpur Sidoarjo

adalah bahan alam yang sekarang ini mulai digunakan dalam penelitian untuk dimanfaatkan sebagai bahan pengganti semen. Alasan penggunaan bahan alam lumpur Sidoarjo dimaksudkan untuk mengurangi volume dari semburan lumpur, yang hingga saat ini masih belum bisa dihentikan dan menimbulkan permasalahan atau dampak lingkungan di sekitar semburan. Alasan lain dari penggunaan lumpur Sidoarjo yakni karena memiliki kandungan kimia yang menyerupai semen (Antoni, dkk., 2012).

Geopolimer merupakan beton tanpa semen, tetapi menggunakan material alam yang memiliki kandungan utama silika dan alumina, yang digunakan sebagai bahan pengikat pada beton (Ekaputri, dkk., 2007). Material alam yang sering dimanfaatkan untuk menggantikan fungsi

semen, salah satunya adalah *fly ash* atau abu terbang. *Fly ash* didapatkan atau dihasilkan dari proses pembakaran batu bara. Penggunaan *fly ash* sebagai bahan pengikat beton mampu meningkatkan kemudahan pengerjaan, serta mengurangi terjadinya segregasi dan *bleeding* pada beton, karena *fly ash* memiliki kehalusan dan bentuk partikelnya yang bulat (Antoni, dkk., 2016) sedangkan dalam penelitian Ekaputri, dkk (2007) penggunaan *fly ash* sebagai bahan pengikat memerlukan larutan aktivator yaitu sodium silikat dan sodium hidroksida yang berfungsi untuk memperoleh atau mempercepat reaksi kimia.

Komposisi yang tepat dari bahan penyusun dan aktivator pada beton geopolimer perlu dipertimbangkan, sehingga akan didapatkan pasta geopolimer yang baik dan dapat mengikat agregat menjadi beton geopolimer. Aktivator yang sering digunakan dalam penelitian yaitu campuran Na_2SiO_3 dan NaOH dengan konsentrasi 8 Molar hingga 16 Molar. Perbandingan antara Na_2SiO_3 dan NaOH bisa digunakan antara 0,4 hingga 2,5. Nilai kuat tekan yang lebih besar dapat dihasilkan dengan meningkatkan konsentrasi molaritas pada beton geopolimer berbasis *fly ash* (Hardjito dan Rangan., 2005). Pengaruh konsentrasi molaritas sesuai dengan penelitian berdasarkan Ekaputri, dkk (2007) dengan konsentrasi molaritas 8 Molar dan 10 Molar dengan variasi perbandingan Na_2SiO_3 dan NaOH 0,5 sampai 2,5. Peningkatan molaritas 10 Molar menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi, dengan perbandingan antara sodium hidroksida dan sodium silikat 1,5 menghasilkan titik optimum terhadap kuat tekan.

Inovasi dalam pembangunan saat ini diperlukan untuk kemajuan pembangunan dalam suatu negara, salah satunya inovasi beton geopolimer dengan memanfaatkan material atau bahan alami yang digunakan sebagai bahan pengganti semen. Penggantian semen dengan bahan alami dapat mengurangi terhadap kebutuhan penggunaan semen, yang dianggap sebagai salah satu penyebab peningkatan pemanasan global di seluruh dunia. Berdasarkan Adisty Dian (2008) pemanasan global merupakan suatu fenomena yang disebabkan oleh pelepasan gas CO_2 ke atmosfer. Produksi satu ton semen *Portland* dapat melepaskan kira-kira satu ton gas CO_2 ke atmosfer, sehingga emisi karbon yang tinggi sangat berkontribusi terhadap pemanasan global dan perubahan iklim.

Penelitian yang akan dilakukan berdasarkan uraian tersebut, bertujuan untuk memperoleh alternatif bahan alami atau pozzolan yang dapat digunakan dalam pembuatan mortar geopolimer, dengan memanfaatkan lumpur Sidoarjo dan *fly ash* sebagai bahan pengganti semen, yang ditinjau terhadap kuat tekan, porositas dan kadar optimum mortar geopolimer dengan aktivator NaOH dan Na_2SiO_3 dengan variasi konsentrasi 12 Molar pada kondisi SS/SH 1,5. Alasan penggunaan konsentrasi NaOH 12 Molar adalah untuk mengetahui apakah benar peningkatan

koncentrasi molaritas memberikan peningkatan terhadap kuat tekan, sedangkan penggunaan perbandingan SS/SH 1,5 merupakan titik optimum dari penelitian sebelumnya. Penelitian ini diharapkan mampu mengurangi volume lumpur Sidoarjo dan mengetahui pengaruh dari penggunaan lumpur Sidoarjo. Penggunaan NaOH 12 Molar pada kondisi SS/SH 1,5 diharapkan mampu memberikan pengaruh yang signifikan terhadap mortar geopolimer yang ditinjau dari kuat tekan dan porositas. Pengaruh NaOH 12 Molar dengan perbandingan NaOH dan Na_2SiO_3 1,5 diharapkan juga memberikan informasi dan perbedaan pada penggunaan konsentrasi NaOH yang lebih tinggi serta peningkatan perbandingan antara NaOH dan Na_2SiO_3 pada penelitian lainnya.

Beton geopolimer adalah perkembangan teknologi beton yang masih relatif baru, perbedaan karakteristik beton geopolimer dengan beton konvensional yakni pada temperatur yang diperlukan. Beton konvensional membutuhkan temperatur yang relatif lebih tinggi dalam mempercepat proses polimerisasi dan mempercepat mekanik beton yaitu kekuatannya (Wallah, dkk., 2019). Kelebihan geopolimer dibandingkan dengan semen *Portland*, dimana reaksi polimerisasi dapat berlangsung pada temperatur ruang, sehingga dapat dikatakan produksi geopolimer mengkonsumsi energi jauh lebih rendah. Penggunaan geopolimer sebagai pengganti semen mampu mengurangi emisi CO_2 sebesar 44% hingga 64%. Manfaat lain dari beton geopolimer adalah digunakannya bahan limbah sebagai bahan penyusun geopolimer seperti *fly ash* (Samadhi, dkk., 2016).

Abu terbang atau *fly ash* merupakan material buangan dari industri batu bara. *Fly ash* memiliki partikel yang lebih halus dibandingkan dengan kapur dan semen dengan diameter dibawah $1 \mu\text{m}$ hingga $150 \mu\text{m}$, serta merupakan bahan penyusun beton geopolimer yang memiliki sifat pozzolan. *Fly ash* dapat bereaksi terhadap senyawa alkali dan dapat dimanfaatkan menggantikan fungsi semen (Surja, dkk., 2017). *Fly ash* tipe C memiliki kandungan CaO yang tinggi sehingga mampu meningkatkan nilai kuat tekan, hal ini disebabkan kandungan tinggi CaO yang mampu menimbulkan reaksi hidrasi dan reaksi polimerisasi secara bersamaan. Reaksi hidrasi dapat menghasilkan panas sementara pada beton geopolimer memerlukan temperatur awal yang rendah supaya tidak menyebabkan *flash setting* (Hardjito, dkk., 2016). *Fly ash* tipe C dapat mengalami kondisi *setting time* yang lebih cepat. Kondisi ini disebut dengan *flash setting*, hal ini dikarenakan oleh kandungan CaO yang tinggi dalam *fly ash* tipe C (Junaid, dkk., 2015).

Persyaratan kimia berdasarkan SNI-2460-2014 tentang penggunaan abu terbang atau pozzolan adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Persyaratan Kimia Pozolan

| Uraian | Kelas | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------|----|
| | N | F | C |
| SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ min, % | 70 | 70 | 50 |
| SO ₃ maks, % | 4 | 5 | 5 |
| Kadar air, maks, % | 3 | 3 | 3 |
| Hilang pijar, maks, % | 10 | 6 ^A | 6 |

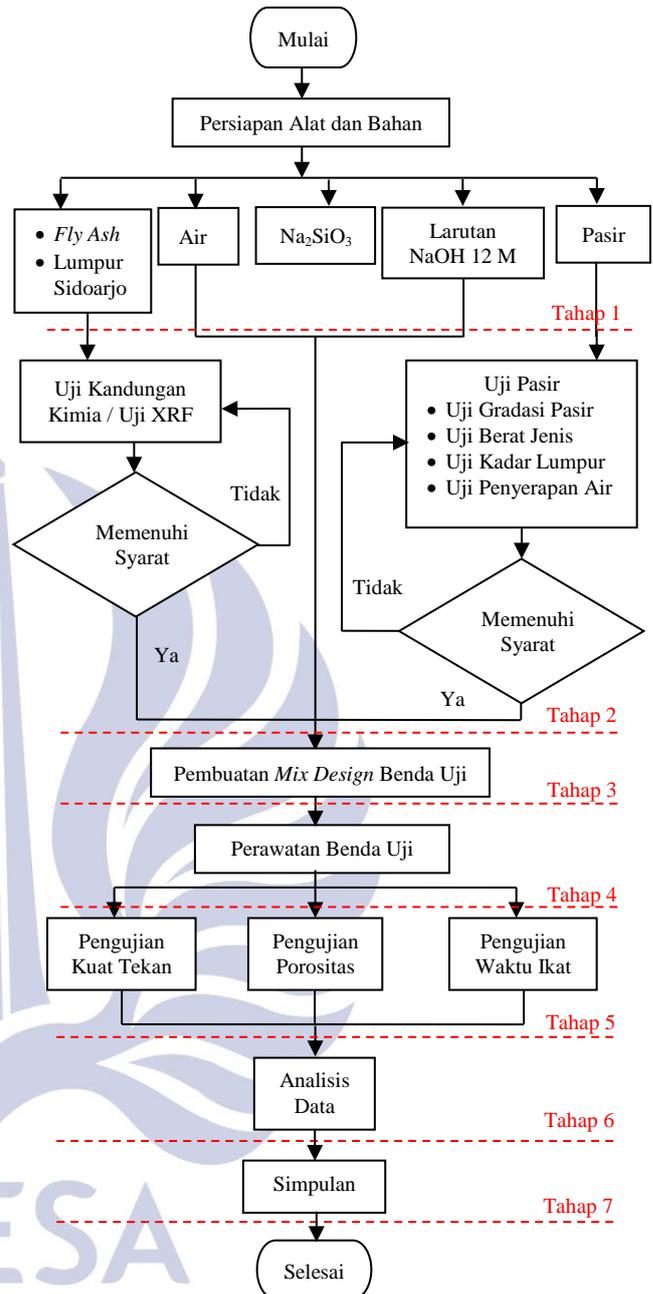
Lumpur Sidoarjo mulai dikembangkan sebagai bahan bangunan sebagai upaya untuk mengurangi besarnya volume lumpur Sidoarjo. Mineral yang dikeluarkan dari lumpur memiliki bentuk butiran halus, dengan warna abu-abu kehitaman, dan memiliki sifat plastis serta nilai susut kering yang tinggi. Kandungan utama dari lumpur Sidoarjo yaitu silika dan alumina, serta unsur-unsur lainnya seperti calcium, magnesium dan besi, namun memiliki nilai yang lebih kecil (Lasino, 2016).

METODE

Metode penelitian merupakan penentuan langkah-langkah kegiatan dalam penelitian, untuk melakukan penelitian pada suatu masalah, kasus, atau fenomena tertentu dengan cara ilmiah untuk mendapatkan jawaban yang rasional. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen, dimana langkah-langkah yang dilakukan untuk memperoleh hasil penelitian dari setiap variabel dengan cara melakukan eksperimen dan pengujian secara langsung di lokasi penelitian. Kegiatan penelitian di lakukan di Laboratorium Beton, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Surabaya.

Penelitian ini dilaksanakan untuk mengetahui uji kuat tekan, porositas dan juga kadar optimum pada mortar *geopolymer* dengan memanfaatkan penggunaan lumpur Sidoarjo yang digunakan sebagai bahan substitusi *fly ash* dan penambahan NaOH 12 Molar dan SS/SH 1,5. Perbandingan semen dan pasir yang digunakan yaitu sebesar 1:5. Benda uji yang dibuat berbentuk kubus dan ukuran penampang 5 cm x 5 cm x 5 cm. pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu pengujian kuat tekan, porositas dan waktu ikat mortar geopolimer. Prosedur dalam penelitian ini berupa pengujian benda uji, pengumpulan data, pengolahan data hasil penelitian, analisis data hasil penelitian yang telah dilakukan.

Rancangan penelitian yang akan dilaksanakan adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Rancangan Penelitian

1. Populasi dan Sampel

Data uji kuat tekan dan porositas mortar digunakan sebagai populasi dalam penelitian ini, yaitu benda uji mortar geopolimer berbentuk kubus berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm. Secara garis besar sebagian dari jumlah dan karakteristik yang dimiliki dalam populasi dapat dikatakan sebagai sampel, dengan demikian yang dapat mewakili populasi adalah anggota populasi yang diambil sesuai prosedur yang ditentukan (Siyoto, dkk., 2015). Sampel yang digunakan dalam penelitian berupa sampel dari populasi. Jumlah sampel pada kuat tekan dan porositas yang digunakan dalam penelitian adalah 15 buah dari masing-masing *mix design*, dengan jumlah keseluruhan 180 benda uji. Sampel pada waktu ikat

yaitu 1 buah benda uji waktu ikat untuk setiap *mix design* dengan total 12 buah benda uji pada pegujian waktu ikat.

2. Variabel Penelitian

Variabel terikat yang digunakan pada penelitian yaitu kuat tekan, porositas, serta waktu ikat pasta. Sedangkan variabel kontrol yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah faktor-faktor yang mempengaruhi mortar geopolimer yang berupa, larutan NaOH 12 Molar, perbandingan sodium hidroksida dan sodium silikat, umur pengujian, *fly ash*, dan lumpur Sidoarjo.

3. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data penelitian yang dilakukan yaitu didapatkan melalui kegiatan eksperimen di Laboratorium dan diperoleh dengan mengamati dan mengukur hasil dari setiap pengujian, yang selanjutnya akan dilakukan pengolahan data atau analisis data. Parameter pengujian dalam metode pengumpulan data antara lain sebagai berikut:

a. Kuat Tekan

Pengujian kuat yang dilakukan dengan mesin *Hydraulic Universal Testing Machine*. sampel benda uji berjumlah 3 buah. Perlakuan pengujian hingga benda uji mengalami beban maksimum, dari pengujian akan diperoleh hasil rata-rata kuat tekan. Umur rencana pengujian yaitu 7, 14, 28 hari. Pembuatan dan pengujian kuat tekan mortar berdasarkan SNI 06-6825-2002.

b. Porositas

Uji porositas dimaksudkan dalam memperoleh berapa persen pori yang terkandung dalam benda uji. Pengujian porositas dilakukan dengan dua tahap yaitu dengan waktu selama 24 jam di dalam oven dan 24 jam di dalam rendaman, penimbangan setiap benda uji dilakukan selama waktu pengujian porositas. Perlakuan yang baik pada benda uji dilakukan untuk menjaga dari kualitas benda uji, untuk mendapatkan porositas yang stabil, mulai dari perlakuan saat penimbangan, penggunaan cetakan yang presisi, dan perlakuan saat pemadatan benda uji. Persyaratan cetakan dan pemadatan benda uji sesuai dalam SNI 03-6827-2002.

c. Waktu Ikut

Pengujian waktu ikat bertujuan memperoleh waktu pengikatan awal dan akhir pasta mortar geopolimer. Pengujian waktu ikat dilakukan dengan alat *vicat*. Pengujian waktu ikat pasta mortar dilakukan selama jarum pada *vicat* tidak mengalami penurunan kembali. Pengujian waktu ikat dilakukan didalam laboratorium. Pengujian

waktu ikat pasta mortar geopolimer yang dilakukan sesuai dengan SNI 03-6827-2002.

4. Teknik Analisa Data

Proses analisis hasil penelitian yang dilakukan yaitu deskriptif kuantitatif, dimana hasil dari pengujian benda uji atau eksperimen yang berupa data kuantitatif akan diolah dan dianalisis dalam bentuk tabel dan grafis dan digambarkan dengan deskripsi sesuai dengan data hasil analisis yang ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafis. Hasil dari teknik analisa data menyajikan hubungan-hubungan dan pengaruh dari setiap parameter pengujian dan data penelitian yang dihasilkan. Sehingga akan didapatkan garis besar dari permasalahan ataupun topik penelitian yang telah dibahas dan diteliti.

Hubungan dan pengaruh yang dimaksudkan sesuai eksperimen dalam penelitian, adapun sebagai berikut:

a. Pengaruh persentase penambahan lumpur Sidoarjo sebagai substitusi *fly ash* pada kuat tekan

Berdasarkan SNI 06-6825-2002 serta ASTM C109, rumus yang digunakan dalam menentukan kuat tekan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (\text{N/mm}^2)$$

Keterangan:

σ = Tegangan tekan (N/mm²)

P = Beban (N)

A = Luas penampang benda uji (mm²)

b. Pengaruh penambahan lumpur Sidoarjo sebagai substitusi *fly ash* terhadap porositas

Rumus yang digunakan dalam proses penentuan porositas sesuai (Lawrence H. Van Vlack, 1989) sebagai berikut:

$$\text{Porositas} = \frac{Mb - Mk}{Vb} \times \frac{1}{p \text{ air}} \times 100\% \quad (\%)$$

Keterangan:

Mb = Massa basah sampel setelah direndam (gr)

Mk = Massa kering sampel setelah direndam (gr)

Vb = Volume benda uji (cm³)

p air = Massa jenis air (gr/cm³)

Hasil dari data porositas ditampilkan dalam bentuk tabel. Hasil tersebut selanjutnya akan dianalisis mengenai hubungan pada pengaruh kuat tekan dan porositas yang akan ditampilkan dalam bentuk grafik.

- c. Pengaruh persentase penambahan lumpur Sidoarjo pada *fly ash* terhadap waktu ikat pasta

Pengujian bertujuan memperoleh hasil waktu ikat yang di alami pada benda uji digunakan alat vicat, dan untuk mencatat waktunya atau hasil waktu yang didapat di tulis dalam *form*. Selanjutnya data tersebut akan diolah berdasarkan hubungan dari kuat tekan yang dihasilkan dengan hasil pengujian waktu ikat yang didapatkan. Pengujian waktu ikat pasta sesuai SNI 03-6827-2002.

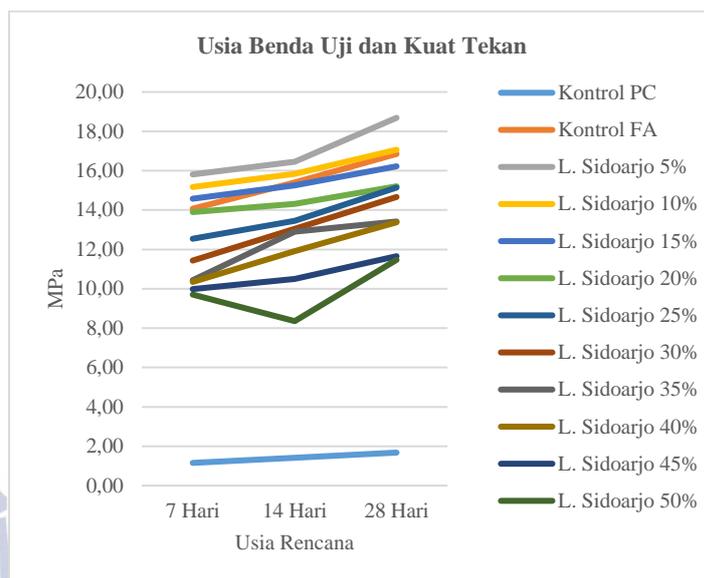
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian mortar geopolimer yang dilakukan bertujuan untuk memperoleh hasil kuat tekan, porositas dan juga waktu ikat semen mortar geopolimer dengan campuran bahan lumpur Sidoarjo sebagai bahan substitusi *fly ash* yang memiliki fungsi sebagai bahan pengganti semen. Bahan pembentuk mortar geopolimer selain pasir dan juga kapur, yaitu dengan tambahan aktivator berupa sodium hidroksida dan sodium silikat. Data yang didapatkan dari penelitian ini dihasilkan menggunakan metode eksperimen, dimana penyajian data berupa proses pengambilan data, tabel dan gambar grafik. Pengambilan data dilakukan dengan proses pengujian terhadap semua benda uji sesuai dengan waktu atau umur pengujian.

Pelaksanaan penelitian mortar geopolimer dilakukan setelah proses pengujian terhadap bahan penyusun mortar geopolimer, dengan tujuan untuk memperoleh hasil maksimal dari penelitian tersebut, yaitu untuk mengetahui berapa persen pengaruh penggunaan lumpur Sidoarjo sebagai substitusi dari *fly ash* sebagai bahan pengganti semen pada mortar geopolimer. Pengujian material penyusun meliputi pengujian *X-Ray Fluoresence* (XRF) untuk mengetahui kandungan dari lumpur Sidoarjo.

Material utama yang digunakan sebagai bahan penyusun mortar geopolimer adalah material pozolan yang mengandung komponen senyawa oksidasi yang didominasi oleh SiO_2 dan Al_2O_3 , kandungan ini serupa dengan kandungan didalam *fly ash* (Prasetio, dkk., 2013). Kandungan utama dari lumpur Sidoarjo adalah silika dan alumina, serta memiliki unsur-unsur lainnya seperti besi, calcium dan magnesium dengan jumlah yang relatif kecil (Lasino, 2016). Sehingga kandungan yang dimiliki oleh lumpur Sidoarjo dapat digunakan sebagai bahan penyusun mortar geopolimer karena memiliki kandungan yang didominasi oleh silika dan alumina.

1. Analisa hubungan pengaruh presentase lumpur Sidoarjo terhadap nilai kuat tekan berdasarkan usia rencana benda uji mortar geopolimer



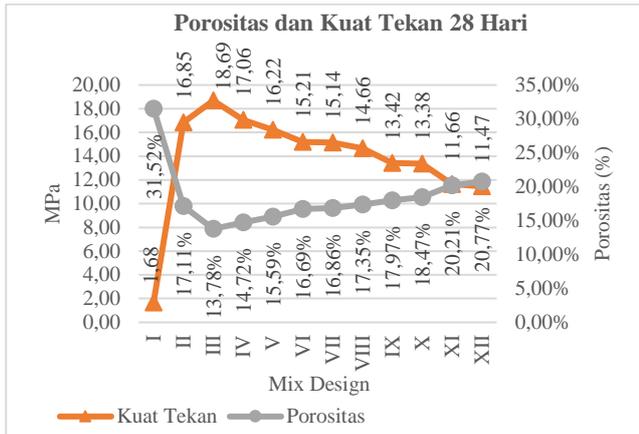
Gambar 2. Grafik Hubungan Usia Rencana dan Kuat Tekan

Hasil yang didapatkan dari diagram hubungan benda uji dan kuat tekan menunjukkan bahwa semakin bertambahnya usia rencana dari setiap benda uji mortar geopolimer, secara rata-rata meningkatkan nilai kuat tekan dari setiap *mix design* benda uji. Pengaruh peningkatan kuat tekan berdasarkan usia rencana sesuai dengan penelitian Prasetio, dkk (2013) bahwa semakin bertambahnya usia rencana beton geopolimer, maka campuran beton yang telah dicetak menjadi semakin matang, dan menyebabkan meningkatnya nilai kuat tekan sesuai dengan pertambahan usia.

Peningkatan kuat tekan pada setiap usia rencana 7 hari, 14 hari dan 28 hari didapatkan nilai kuat tekan tertinggi yaitu pada usia 28 hari sebesar 18,69 MPa. Peningkatan nilai kuat tekan berdasarkan usia rencana disebabkan karena proporsi campuran yang seimbang, bahan-bahan material yang memenuhi standar spesifikasi, perawatan dan pelaksanaan yang baik sesuai prosedur ketika pembuatan benda uji (Sundari, 2012).

2. Analisa hubungan porositas dengan kuat tekan berdasarkan umur rencana mortar geopolimer

Porositas dan faktor air semen dianggap dapat mempengaruhi kekuatan dari beton, air yang terlalu banyak akan menempati ruang dan ketika beton sudah mengeras akan terjadi penguapan sehingga ruang akan menjadi pori-pori (Nugraha, dkk., 2007). Penambahan air yang terlalu banyak dapat menambah peningkatan pori-pori dan menimbulkan retak pada beton geopolimer sehingga menurunkan kekuatan beton (Ekaputri, dkk., 2007). Dengan demikian dapat dikatakan bahwa nilai porositas berhubungan dengan kuat tekan yang dihasilkan.



Gambar 3. Grafik Hubungan Porositas dan Kuat Tekan

Data porositas berdasarkan grafik analisis hubungan porositas dengan kuat tekan mortar geopolimer pada usia rencana 28 hari, didapatkan bahwa nilai presentase porositas mengalami peningkatan seiring dengan penurunan kuat tekan yang didapatkan mortar geopolimer. Porositas tertinggi pada *mix design* XII dengan penambahan lumpur Sidoarjo 50% memiliki nilai porositas sebesar 20,77% dengan nilai kuat tekan terendah sebesar 11,47 MPa. Sedangkan porositas terendah pada *mix design* III dengan penambahan lumpur Sidoarjo 5% menghasilkan nilai porositas sebesar 13,78% dengan nilai kuat tekan tertinggi sebesar 18,69 MPa.

Hasil porositas berhubungan erat dengan kuat tekan yang dihasilkan, jumlah pori yang sedikit, mampu meningkatkan kuat tekan (Ekaputri, dkk., 2013). Hubungan porositas dan kuat tekan sesuai dengan penelitian Ekaputri, dkk (2007) bahwa molaritas 10 Molar menghasilkan kuat tekan lebih besar dibandingkan dengan 8 Molar, dengan titik optimum perbandingan sodium hidroksida dan sodium silikat sebesar 1,5. Demikian juga dengan porositas yang dihasilkan, jumlah pori dalam beton geopolimer 8 Molar dan 10 Molar memiliki titik optimum pada perbandingan antara sodium hidroksida dan sodium silikat sebesar 1,5. Sehingga dapat dikatakan kuat tekan dipengaruhi oleh porositas yang dihasilkan.

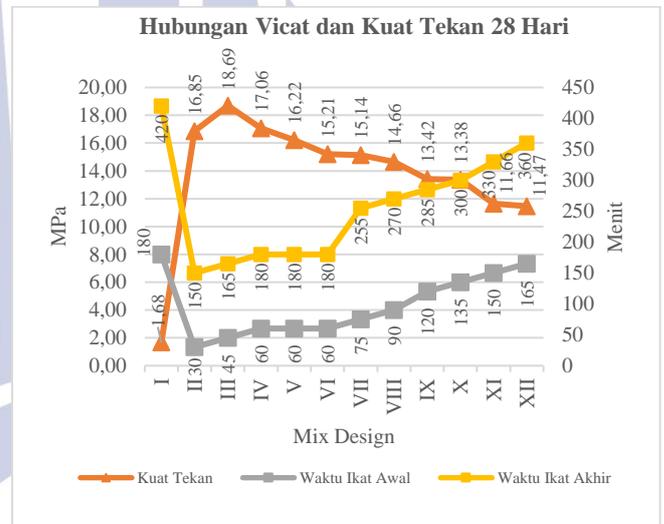
3. Analisa hubungan waktu ikat dengan kuat tekan

Pengujian Vicat digunakan untuk menentukan waktu pengikatan awal dan waktu pengikatan akhir pasta geopolimer (Ekaputri, dkk., 2007). Kondisi awal pasta yang telah dicampur bersifat plastis dan lecek (*workable*), setelah itu pasta mulai mengental yang dikatakan sebagai pengikatan awal (*initial set*), berikutnya pasta akan mulai menjadi kaku yang berbentuk padatan utuh yang disebut pengikatan akhir (*final set*). Selanjutnya dari bentuk padatan pasta

semakin mengalami pengerasan dan mempunyai kekuatan (*hardening*) (Nugraha, dkk., 2007).

Tabel 2. Hubungan Waktu Ikat dan Kuat Tekan

| Mix | Usia | Kuat Tekan (MPa) | Waktu Ikat Awal (Menit ke) | Waktu Ikat Akhir (Menit ke) |
|------|------|------------------|----------------------------|-----------------------------|
| I | 28 | 1,68 | 180 | 420 |
| II | 28 | 16,85 | 30 | 150 |
| III | 28 | 18,69 | 45 | 165 |
| IV | 28 | 17,06 | 60 | 180 |
| V | 28 | 16,22 | 60 | 180 |
| VI | 28 | 15,21 | 60 | 180 |
| VII | 28 | 15,14 | 75 | 255 |
| VIII | 28 | 14,66 | 90 | 270 |
| IX | 28 | 13,42 | 120 | 285 |
| X | 28 | 13,38 | 135 | 300 |
| XI | 28 | 11,66 | 150 | 330 |
| XII | 28 | 11,47 | 165 | 360 |



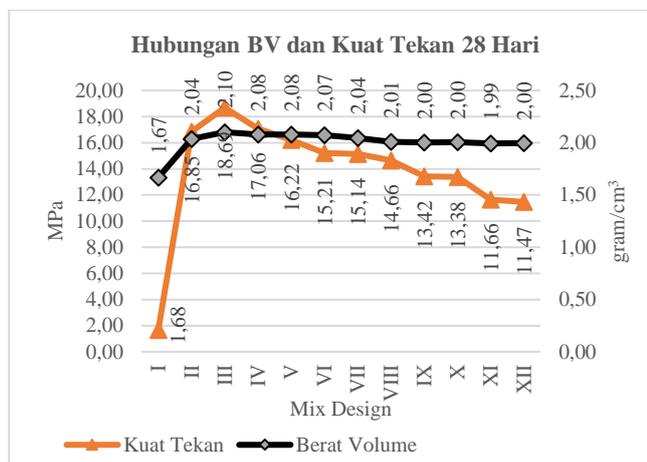
Gambar 4. Grafik Hubungan Vicat dan Kuat Tekan

Pengikatan pasta geopolimer berdasarkan grafik hubungan vicat dengan kuat tekan didapatkan hasil durasi pengikatan awal dan pengikatan akhir tercepat dicapai pasta geopolimer pada *mix design* II dengan campuran *fly ash* sebesar 80% tanpa substitusi lumpur Sidoarjo. Durasi paling lama pengikatan awal dan pengikatan akhir pasta geopolimer yaitu pada *mix design* XII dengan penambahan *fly ash* sebesar 30% dan substitusi lumpur Sidoarjo sebesar 50%. Sedangkan pengikatan awal dan pengikatan akhir pasta semen pada *mix design* I memiliki durasi paling lama dibandingkan dengan pasta geopolimer.

Pengikatan pasta geopolimer dipengaruhi oleh kandungan *fly ash* yang digunakan. *Fly ash* tipe C dapat menyebabkan peningkatan kuat tekan karena kandungan *fly ash* tipe C tinggi CaO. Kandungan CaO yang tinggi pada *fly ash* cenderung menyebabkan

waktu pengikatan yang lebih cepat (Surja, dkk., 2017). Penambahan air dan molaritas larutan aktivator pada pasta geopolimer dengan penambahan lumpur Sidoarjo hanya sedikit berpengaruh pada pengikatan awal. Sedangkan pada pengikatan akhir, penambahan air dan semakin besarnya molaritas aktivator menyebabkan pengikatan akhir yang lebih cepat. Selain itu, semakin besar kadar air terhadap lumpur Sidoarjo yang ditambahkan, maka semakin lama pengikatan akhir pasta geopolimer (Ekaputri, dkk., 2007).

4. Analisa hubungan berat volume dengan kuat tekan



Gambar 5. Grafik Hubungan BV dan Kuat Tekan 28 Hari

Hasil yang didapatkan dari hubungan berat volume dengan kuat tekan mortar usia 28 hari menunjukkan bahwa berat per-volume mortar geopolimer memiliki nilai yang relatif sama. Kuat tekan tertinggi pada *mix design* III dengan presentase penggunaan lumpur Sidoarjo sebesar 5% menghasilkan kuat tekan sebesar 18,69 MPa dengan berat per-volume yaitu 2,10 gram/cm³, sedangkan kuat tekan terendah dengan penggunaan 50% lumpur Sidoarjo pada *mix design* XII memiliki kuat tekan sebesar 11,47 MPa dengan berat per-volume sebesar 2,00 gram/cm³.

Ukuran partikel lumpur Sidoarjo berpengaruh terhadap kuat tekan yang dihasilkan, bahwa semakin kecil ukuran partikel dari lumpur Sidoarjo dapat meningkatkan kuat tekan dari mortar geopolimer serta semakin besar *strength activity index* (Ekaputri, dkk., 2014).

PENUTUP

1. Simpulan

Hasil penelitian dan pembahasan mortar geopolimer yang telah dilaksanakan diperoleh kesimpulan antara lain sebagai berikut:

- Penggunaan lumpur Sidoarjo sebagai bahan substitusi *fly ash* pada mortar geopolimer dengan konsentrasi NaOH 12 Molar serta perbandingan sodium silikat dan sodium hidroksida sebesar 1,5 dapat mengakibatkan peningkatan kuat tekan pada *mix design* III dengan penggunaan *fly ash* sebesar 75% dan substitusi lumpur Sidoarjo sebesar 5%, kuat tekan yang dihasilkan adalah sebesar 18,69 MPa. Pengaruh penggunaan lumpur Sidoarjo pada keseluruhan *mix design* dapat mengakibatkan penurunan kuat tekan pada *mix design* IV sebesar 17,06 MPa hingga *mix design* XII sebesar 11,47 MPa.
- Porositas yang dihasilkan dengan penggunaan lumpur Sidoarjo sebagai bahan substitusi *fly ash* pada mortar geopolimer dengan konsentrasi NaOH 12 Molar serta perbandingan sodium silikat dan sodium hidroksida sebesar 1,5 mendapatkan hasil porositas terendah pada *mix design* III sebesar 13,78%. Peningkatan porositas terjadi pada *mix design* IV sebesar 14,72% hingga *mix design* XII sebesar 20,77%.
- Kadar optimum dari penggunaan lumpur Sidoarjo sebagai substitusi *fly ash* pada mortar geopolimer adalah sebesar 5%. Peningkatan presentase lumpur Sidoarjo dapat mengakibatkan penurunan kuat tekan mortar geopolimer.

2. Saran

Saran yang diperoleh berdasarkan penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

- Lokasi pengambilan lumpur Sidoarjo pada penelitian ini adalah pada titik 25, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan lokasi pengambilan lumpur Sidoarjo pada titik lainnya.
- Perawatan dan penyimpanan bahan penyusun mortar geopolimer dipastikan dalam kondisi yang aman dan terlindungi dari udara serta kondisi yang lembab.
- Penggunaan dan pemakaian bahan penyusun mortar geopolimer dalam satu lokasi, jenis dan tipe yang sama, yakni untuk menjaga dari kualitas benda uji mortar.

DAFTAR PUSTAKA

- Antoni, Hardjito, D., Vianthi, A., dan Wiyono, D. 2012. 'Durabilitas Mortar Geopolymer Berbasis Lumpur Sidoarjo'. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*. Vol. 1 (1): hal. 1-8.
- Antoni, Hardjito, D., Wiranegara, dan Widiyanto. 2016. 'Pengaruh Konsistensi Fly Ash Terhadap Sifat-Sifat Mortar HVA'. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*. Vol. 5 (1): hal. 1-8.
- Adisty, D. 2008. *Sintesis Geopolimer Berbahan Baku Abu Terbang ASTM Kelas C*. Depok: Universitas Indonesia.

- ASTM C 109/C 109M-07. 2007. *Standart Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. Or [50-mm] Cube Specimens)*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Ekaputri, J. J., Amin, M. S., dan Triwulan. 2014. 'Potensi Lumpur Sidoarjo Bakar dan Fly Ash pada Pembuatan Mortar Ringan Geopolimer'. *Jurnal Logic*. Vol. 14 (1): hal. 54-59.
- Ekaputri, J. J., Triwulan, dan Adiningtyas. 2007. 'Analisa Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash dan Lumpur Porong Kering Sebagai Pengisi'. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sipil TORSI*. Vol. 27 (3): hal. 33-45.
- Ekaputri, J. J., Triwulan, dan Damayanti. 2007. 'Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Jawa Power Paiton Sebagai Material Alternatif'. *Jurnal Pondasi*. Vol. 13 (2): hal. 124-134.
- Ekaputri, J. J., Triwulan. 2013. 'Sodium sebagai Aktivator Fly Ash Trass dan Lumpur Sidoarjo dalam Beton Geopolimer'. *Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*. Vol. 20 (1): hal. 1-10.
- Hardjito, D., Wijaya, S. W., dan Antoni. 2016. 'Factors Affecting the Setting Time of Fly Ash-Based Geopolymer'. *Materials Science Forum*. Vol. 841: hal. 90-97.
- Hardjito, D., Rangan B. V., 2005. *Development and properties of Low-calcium fly ash-based Geopolymer concrete*, Research Report GC 1 Faculty of Engineering Curtin University of Technology Perth, Australia.
- Junaid, M. T., Kayali, O., Khennane, A., dan Black, J. 2015. 'A Mix Design Procedure for Low Calcium Alkali Activated Fly Ash Based Concrete'. *Construction and Building Material*. Vol. 79: hal. 301-310.
- Lasino, Sugiharto, B. 2018. *Lumpur Sidoarjo Sebagai Material Konstruksi*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo.
- Lasino. 2016. *Solusi untuk LUSI Lumpur Sidoarjo*. Jakarta: CV Cipta Dea Pustaka.
- Nugraha, P., Antoni. 2007. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Prasetio, Kartadinata, Hardjito, D., dan Antoni. 2013. 'Karakteristik Mortar dan Beton Geopolimer Berbahan Dasar Lumpur Sidoarjo'. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*. Vol. 2 (1): hal. 1-7.
- Siyoto, Sodik, A. 2015. *Dasar Metodologi Penelitian*. Yogyakarta: Literasi Media Publishing.
- Samadhi, T. W., Hardika, dan Liustanto. 2016. 'Pengembangan Bahan Geopolimer dengan Pemanfaatan Limbah Anorganik'. *Jurnal Keramik dan Gelas Indonesia*. Vol. 25 (1): hal. 18-28.
- Sundari, Y. S. 2012. 'Pengaruh Umur Beton Terhadap Nilai Kuat Tekan pada Mutu Beton'. *Media Sains*. Vol. 4 (1): hal. 55-61.
- Surja, R. T., Mintura, R., Antoni, dan Hardjito, D. 2017. 'Perbandingan Beberapa Prosedur Pembuatan Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Tipe C'. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik*. Vol. 6 (2): hal. 185-191.
- Standar Nasional Indonesia. 2014. SNI 2460-2014 Spesifikasi Abu Terbang Batubara dan Pozolan Alam Mentah atau yang tela Diklasifikasi untuk Digunakan dalam Beton. Badan Standarisasi Nasional (BSN). Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2002. SNI 03-6825-2002 Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland untuk Pekerjaan Sipil. Badan Standarisasi Nasional (BSN). Jakarta
- Standar Nasional Indonesia. 2002. SNI 03-6827-2002 Metode Pengujian Waktu Ikut Awal Semen Portland dengan Menggunakan Alat Vicat untuk Pekerjaan Sipil. Badan Standarisasi Nasional (BSN). Jakarta
- Vlack, Lawrence H. Van. 1989. *Element of Material Science and Engineering*. Wesley. Addison.
- Wallah, S. E., Manalip, dan Tampi J. C. 2019. 'Modulus Elastisitas Beton Geopolymer pada Perawatan Temperatur Ruangan'. *Jurnal Tekno*. Vol 17 (73): hal. 193-198.