

PENGARUH PENGGUNAAN LUMPUR SIDOARJO SEBAGAI SUBSTITUSI *FLY ASH* PADA MORTAR GEOPOLIMER DENGAN NaOH 12 MOLAR DAN KONDISI SS/SH 2 DITINJAU DARI KUAT TEKAN DAN POROSITAS

Dwi Aji Kusumawardhana

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

Arie Wardhono

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

Abstrak

Sumber pozzolan alami dapat digunakan untuk mengganti sebagian atau keseluruhan semen, salah satunya adalah lumpur Sidoarjo. Sampel lumpur Sidoarjo yang berada di sisi timur, utara, selatan, barat, dan pusat semburan memiliki unsur kimia CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 berdasarkan hasil analisa XRD (Junaidi dkk, 2018). Selain itu, jumlah lumpur Sidoarjo sangat melimpah dan dianggap sebagai limbah. Maka dari itu, dalam penelitian ini digunakan lumpur Sidoarjo untuk pengganti bahan *fly ash* pada adukan mortar geopolimer. Pada penelitian ini ditujukan untuk dapat mengetahui efek pemakaian lumpur Sidoarjo sebagai pengganti bahan *fly ash* yang akan ditinjau berdasarkan porositas dan kuat tekan pada mortar geopolimer dengan NaOH 12 M. Sodium silikat (Na_2SiO_3) dan sodium hidroksida (NaOH) digunakan sebagai larutan aktivator dengan perbandingan SS/SH 2. *Fly ash* yang digunakan adalah tipe C. Untuk persentase substitusi lumpur Sidoarjo terhadap *fly ash* adalah sebesar 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, dan 50%. Pemeriksaan uji porositas dan kuat tekan dilakukan pada saat mortar berumur 7, 14, dan 28 hari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan lumpur Sidoarjo pada mortar geopolimer dapat menurunkan nilai kuat tekan dan meningkatkan nilai porositas. Mortar geopolimer tanpa substitusi lumpur Sidoarjo dapat menghasilkan kuat tekan senilai 19,84 MPa dan porositas senilai 13,84%. Sedangkan pada mortar geopolimer dengan substitusi 5% lumpur Sidoarjo dapat menghasilkan kuat tekan senilai 18,95 MPa dan porositas senilai 14,90%. Sehingga penggunaan lumpur Sidoarjo sebagai substitusi *fly ash* didalam penelitian ini mengakibatkan penurunan nilai kuat tekan dan dapat meningkatkan nilai porositas pada mortar geopolimer.

Kata Kunci: Mortar Geopolimer, Kuat Tekan, Lumpur Sidoarjo, *Fly Ash*, Porositas.

Abstract

Natural sources of pozzolan can be used to replace part or all of cement, one of which is Sidoarjo mud. Sidoarjo mud samples that are on the east, north, south, west, and center of the eruption have chemical elements of CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , and Fe_2O_3 based on the results of XRD analysis (Junaidi et al, 2018). In addition, the amount of Sidoarjo mud is very abundant and considered as waste. Therefore, in this study, Sidoarjo mud is used as a substitute for fly ash in geopolymer mortar. This study aims to determine the effect of using Sidoarjo mud as a fly ash substitution based on the porosity and compressive strength of geopolymer mortar with 12 M NaOH. Sodium silicate (Na_2SiO_3) and sodium hydroxide (NaOH) are used as activator mixture with comparison SS/SH 2. Fly ash used is type C. For the percentage of substitution of Sidoarjo mud against fly ash is 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, and 50%. Examination of porosity and compressive strength tests were carried out when the mortar was 7, 14, and 28 days old.

The results showed that the use of Sidoarjo mud in geopolymer mortar can decreasing compressive strength and increasing porosity value. Geopolymer mortar without substitution of Sidoarjo mud produced a compressive strength worth 19,84 MPa and porosity worth 13,84%. Meanwhile, the geopolymer mortar with substitution of 5% Sidoarjo mud resulted in compressive strength worth 18,95 MPa and porosity worth 14,90%. So that the use of Sidoarjo mud as a substitute for fly ash in this study results in a decrease the compressive strength value and can increase the porosity value of the geopolymer mortar.

Keywords: Geopolymer Mortar, Compressive Strength, Sidoarjo Mud, Fly Ash, Porosity.

PENDAHULUAN

Kerusakan lingkungan hidup akan berpengaruh negatif pada kegiatan manusia. Semburan lumpur di Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur merupakan salah satu penyebab kerusakan lingkungan. Bencana tersebut merupakan fenomena geologi akibat dari getaran yang berada dibawah tanah pada sumur eksplorasi gas milik PT. Lapindo Brantas. Getaran tersebut berasal dari gempa bumi Yogyakarta, 250 km dari lokasi pengeboran yang menimbulkan kerusakan saluran didalam tanah. Lumpur vulkanis didalam tanah menjadi meluap keluar dan menggenangi permukaan pada lokasi tersebut.

Berbagai upaya dalam menghentikan atau menutup semburan lumpur telah dilakukan, akan tetapi masih belum berhasil dan hingga kini. Lumpur tersebut menjadi limbah dan dimanfaatkan oleh masyarakat sekitar, sehingga dapat memiliki nilai ekonomis. Berdasarkan pendapat Robert Junaidi, dkk (2018), hasil uji XRD pada lumpur Sidoarjo memiliki unsur kimia yang proporsional untuk bahan baku produksi semen portland, yaitu CaO , SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 . Sehingga lumpur Sidoarjo dapat dikembangkan sebagai pengganti semen portland.

Mortar geopolimer merupakan jenis mortar yang bahan pengikatnya tidak menggunakan semen sepenuhnya, tetapi menggunakan bahan pozzolan alami sebagai alternatif karena memiliki unsur silika dan alumina. *Fly ash* merupakan salah satu pozzolan yang memiliki kandungan silika dan alumina sangat tinggi, sehingga sering digunakan untuk pengganti semen dan bahan dasar geopolimer. Mortar biasa terbentuk dari reaksi hidrasi, tetapi pada mortar geopolimer terbentuk dari reaksi kimia. Sehingga, jenis aktivator yang digunakan harus dapat bereaksi dengan senyawa yang dimiliki oleh *fly ash*, serta agar terjadi reaksi kimia maka komposisinya juga harus sesuai. Larutan aktivator dari campuran NaOH (sodium hidroksida) dan Na_2SiO_3 (sodium silikat) umum digunakan dengan kepekatan larutan 8M hingga 14M. Nilai perbandingan 0,4 sampai 2,5 dapat digunakan pada campuran Na_2SiO_3 dan NaOH (Hardjito et al., 2004). Berdasarkan hasil penelitian Heri Kasyanto, (2012), semakin besar NaOH dalam campuran akan menghasilkan kuat tekan lebih kecil. Akan tetapi, menurut Januarti Jaya Ekaputri, (2013), Hasil kuat tekan dan belah tidak selalu memiliki nilai yang tinggi meskipun meningkatkan perbandingan berat antara Na_2SiO_3 dan NaOH . Berdasarkan penelitian Debi Nurma Puspita Apsari, (2017), hasil kuat tekan mortar geopolimer dengan bahan dasar *fly ash* bergantung pada nilai molaritas alkali aktivatornya. Dalam penelitiannya, nilai maksimum hasil kuat tekan mortar hanya mencapai pada kepekatan 12 Molar. Pada kepekatan 14 Molar dan 15 Molar nilai kuat tekan mortar mengalami penurunan

dikarenakan larutan alkali aktivator mengalami pengerasan lebih cepat.

Penggunaan semen portland sebagai bahan bangunan mengalami peningkatan setiap tahunnya. Hal tersebut menyebabkan meningkatnya pabrik industri penghasil semen portland di Indonesia. Dalam proses produksinya, semen portland mengeluarkan gas karbon dioksida (CO_2) yang berdampak negatif terhadap lingkungan. Sekitar 7% buangan gas dunia dihasilkan dari proses itu, yaitu sebesar 1,35 miliar ton tiap tahunnya (Hardjito, dkk, 2004). Sehingga diperlukan inovasi dalam pemilihan material yang lebih ramah lingkungan. Penggantian material semen dengan material alami dapat mengurangi kebutuhan penggunaan semen, sehingga dapat juga mengurangi pemanasan global.

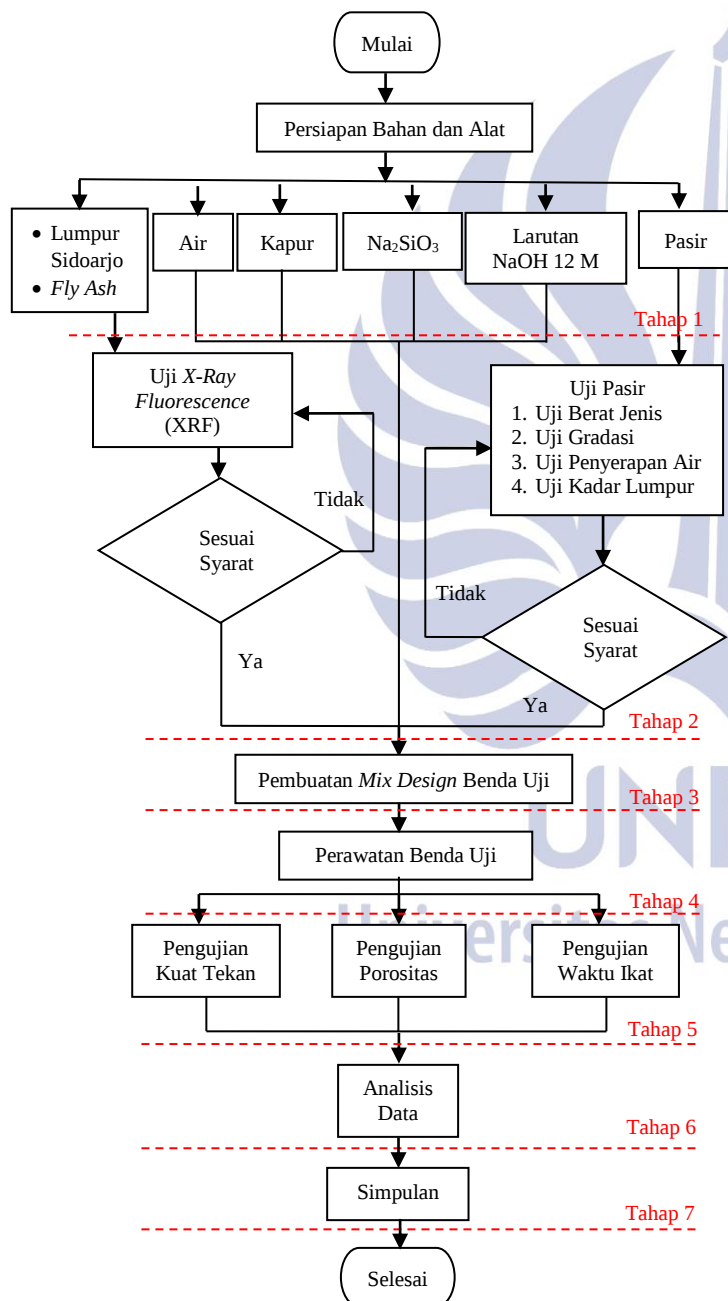
Dengan latar belakang tersebut, penelitian yang akan dilakukan ini memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh dari penggunaan lumpur Sidoarjo sebagai material pengganti *fly ash* pada mortar geopolimer. Campuran aktivator menggunakan larutan NaOH (sodium hidroksida) dengan kepekatan 12 Molar dan Na_2SiO_3 (sodium silikat), serta dengan perbandingan SS/SH = 2. Pengaruh tersebut akan ditinjau terhadap kuat tekan dan porositas mortar geopolimer. Sehingga dapat diketahui kadar optimum penggunaan bahan lumpur Sidoarjo sebagai substitusi bahan *fly ash* pada mortar geopolimer.

METODE PENELITIAN

Metode penelitan adalah langkah yang sistematis untuk melaksanakan sebuah penelitian. Bentuk penelitian, tujuan, sifat masalah dan pendekatan merupakan acuan umum pada metode penelitian. Metode yang digunakan pada penelitian ini merupakan metode eksperimen. Metode eksperimen adalah metode yang dilaksanakan dengan membuat sebuah percobaan secara langsung untuk memperoleh data atau hasil yang dapat mensinkronkan antar variabel-variabel yang telah diteliti. Umumnya metode eksperimen mengacu dari sumber yang sudah ada sebelumnya, yaitu berupa jurnal atau karya ilmiah dan berikutnya akan diadakan perubahan dan peningkatan yang lebih baik. Baik diluar maupun didalam laboratorium dapat digunakan sebagai tempat eksperimen. Laboratorium bahan dan beton, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Surabaya akan digunakan sebagai lokasi penelitian.

Penelitian akan direncanakan menggunakan lumpur Sidoarjo sebagai bahan substitusi *fly ash* dengan penambahan larutan alkali aktivator pada mortar geopolimer. Alkali aktivator yang digunakan adalah NaOH dengan molaritas sebesar 12 dan nilai SS/SH sebesar 2. Jumlah perbandingan antara bahan pengikat dan agregat halus (pasir) yaitu 1:5. Ukuran penampang

benda uji adalah $5\text{ cm} \times 5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ dan berbentuk kubus. Proses pengujian tekan pada benda uji mortar dilaksanakan dengan bertahap sampai benda uji tidak dapat menahan gaya tekan atau sampai benda uji mengalami kehancuran. Selain pengetesan kuat tekan, akan dilakukan juga pengetesan porositas mortar serta pengetesan waktu ikat pada pasta mortar. Langkah pengerjaan yang dilaksanakan diantaranya yaitu mengumpulkan data, mengolah data, menganalisis data, dan menarik kesimpulan secara umum yang diambil menurut data hasil penelitian. Berikut ini adalah diagram alir rancangan penelitian yang dilaksanakan:



Gambar 1. Flow Chart Tahapan Penelitian

1. Populasi dan Sampel

Data hasil pengujian porositas dan kuat tekan mortar geopolimer dengan dimensi kubus sebesar $50\text{ mm} \times 50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ merupakan populasi dalam penelitian ini. Data kuat tekan dan porositas didapatkan dari rancangan sampel pada *mix design* mortar geopolimer. Karena jumlah populasi merupakan data pengujian di laboratorium, maka digunakan sampel dari populasi pada penelitian. Pada setiap *mix design* akan dibuat sampel benda uji mortar sejumlah 15, sehingga dengan 11 *mix design* memiliki jumlah sebanyak 165 benda uji untuk pengetesan porositas dan kuat tekan. Pada pengujian waktu ikat dibuat 1 benda uji untuk tiap *mix design* sehingga memiliki jumlah benda uji sebanyak 11 buah.

2. Variabel Penelitian

a. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang akan menjadi fokus atau topik dari sebuah penelitian. Persentase substitusi lumpur Sidoarjo terhadap *fly ash* menjadi variabel bebas untuk penelitian ini.

b. Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas. Porositas dan kuat tekan mortar, serta waktu pengikatan pasta didalam penelitian ini merupakan variabel terikat.

c. Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dapat dikendalikan secara konstan. Larutan NaOH 12 Molar, *fly ash*, lumpur Sidoarjo, perbandingan sodium silikat dan sodium hidroksida, serta umur pengujian merupakan variabel kontrol dalam penelitian ini.

3. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan metode eksperimen atau percobaan. Pengumpulan data dalam metode eksperimen dilakukan dengan pengamatan secara langsung di Laboratorium Teknologi Bahan dan Beton, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Surabaya. Data-data hasil dari laboratorium tersebut akan digunakan dalam penelitian ini. Berikut ini adalah parameter yang akan diuji pada metode pengumpulan data:

a. Kuat Tekan

Pengujian benda uji terhadap kuat tekan akan dilakukan dengan menggunakan alat *Hydraulic Universal Testing Machine*. Pengujian ini dilakukan hingga benda uji hancur atau tidak bisa menerima gaya tekan lagi. Benda uji yang diuji sejumlah 3 buah pada setiap sampelnya untuk

memperoleh nilai rerata kuat tekan yang baik. Pengujian akan dijalankan ketika benda uji saat berumur 7, 14, dan 28 hari. Peraturan SNI 06-6825-2002 dijadikan dasar acuan dalam pembuatan dan pengujian kuat tekan mortar.

b. Porositas

Pengujian porositas bertujuan untuk mengetahui besar kecilnya ruang pori yang terdapat didalam benda uji dan dengan satuan % (persen). Pelaksanaan pengujian dijalankan ketika benda uji mortar berumur 7, 14, dan 28 hari. Benda uji dimasukkan ke dalam oven yang bertemperatur 110° C selama sehari atau 24 jam. Kemudian, benda uji mortar dikeluarkan dari oven dan didiamkan selama 10 menit dalam suhu ruang, lalu ditimbang. Setelah itu, benda uji direndam dalam wadah yang berisi air dengan durasi selama 24 jam. Kemudian, benda uji diangkat dan dilap sampai kering permukaan dan didiamkan selama 10 menit dalam suhu ruangan, lalu ditimbang. Waktu pendiaman selama 10 menit tersebut dilakukan agar hasil porositas tetap stabil dan baik. Selain itu, pada saat proses pembuatan benda uji, cetakan harus presisi dan prosedur pembuatan sesuai dengan peraturan SNI 03-6827-2002.

c. Waktu Ikat

Vicat merupakan alat yang akan digunakan dalam pengujian waktu ikat. Pencatatan waktu ikat berdasarkan waktu dan posisi jarum vicat. Pada pengujian ini akan diketahui waktu ikat awal dan akhir pada benda uji pasta. Acuan pengujian ini adalah peraturan SNI 03-6827-2002.

4. Teknik Analisa Data

Teknik analisis data untuk hasil pengujian laboratorium merupakan deskriptif kuantitatif. Data dari hasil eksperimen akan diolah dan dibuat dalam bentuk tabel dan grafik. Kemudian, digambarkan dalam bentuk kalimat yang mudah dipahami. Sehingga dapat menarik kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan. Hubungan antar data-data dapat diperoleh dari tabel dan grafik yang sudah dianalisis dan dijabarkan. Berikut ini adalah data-data yang dimaksud:

- Pengaruh peningkatan persentase substitusi lumpur Sidoarjo pada *fly ash* terhadap nilai kuat tekan mortar.

Berdasarkan peraturan SNI 06-6825-2002, nilai kuat tekan benda uji dapat dihitung dengan rumus dibawah ini:

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

Keterangan:

σ = Tegangan tekan (N/mm²)

P = Beban (N)

A = Luas penampang benda uji (mm²)

- Pengaruh peningkatan persentase substitusi lumpur Sidoarjo terhadap *fly ash* pada nilai porositas mortar.

Rumus yang digunakan untuk mendapatkan nilai porositas adalah sebagai berikut:

$$\text{Porositas} = \frac{W_b - W_k}{V_b} \times \frac{1}{\rho_{\text{air}}} \times 100\%$$

Keterangan:

W_b = Berat basah benda uji sesudah direndam (gram)

W_k = Berat kering benda uji sesudah direndam (gram)

V_b = Volume benda uji (cm³)

ρ_{air} = Berat jenis air (gr/cm³)

Hasil pengujian porositas akan didata dalam tabel. Setelah itu menganalisis hubungan uji kuat tekan dengan uji porositas yang telah dihasilkan dari variasi penambahan persentase lumpur Sidoarjo terhadap *fly ash*.

- Pengaruh peningkatan persentase substitusi lumpur Sidoarjo pada *fly ash* terhadap waktu pengikatan.

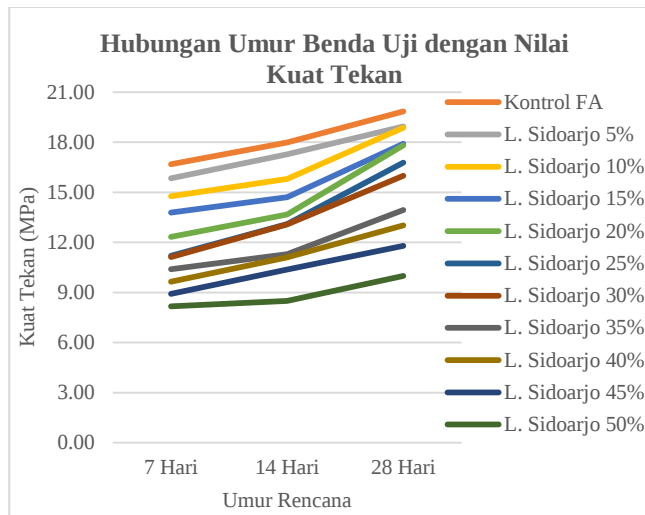
Uji pengikatan pasta digunakan untuk mendapatkan nilai waktu ikat awal dan akhir yang dialami benda uji. Pengujian dilakukan dengan alat vicat. Hasil waktu dan kedalaman penetrasi jarum vicat dicatat dalam form. Dari hasil tersebut akan dianalisa hubungan antara variasi persentase substitusi lumpur Sidoarjo terhadap *fly ash* berdasarkan hasil uji kuat tekan dan vicat. Peraturan SNI 03-6827-2002 dijadikan acuan dalam pengujian ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tujuan penelitian mortar geopolimer ini adalah untuk mendapatkan nilai porositas mortar, kuat tekan mortar dan waktu ikat pasta pada benda uji. Lumpur Sidoarjo digunakan sebagai bahan pengganti *fly ash* pada mortar geopolimer yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan alternatif semen portland. Pasir, kapur dan larutan aktivator digunakan sebagai bahan penyusun mortar geopolimer. Pengambilan data nilai kuat tekan dan porositas yang dilakukan berupa hasil dari pengesanan

seluruh benda uji yang berdasarkan pada rencana umur pengujian.

1. Analisis Hubungan Umur Benda Uji Terhadap Kuat Tekan.



Gambar 2. Hubungan Umur Benda Uji Terhadap Kuat Tekan

Berdasarkan gambar diatas tentang hubungan umur benda uji dengan nilai kuat tekan, dapat dianalisa bahwa nilai kuat tekan pada setiap *mix design* dipengaruhi oleh umur rencana benda uji. Hasil data yang didapatkan menunjukkan bahwa semakin bertambahnya umur rencana, maka nilai kuat tekan juga meningkat. Hal tersebut terjadi pada tiap *mix design*. Nilai kuat tekan terbesar mortar geopolimer pada umur 28 hari yaitu sebesar 19,84 MPa. Meningkatnya hasil kuat tekan berbanding lurus dengan bertambahnya umur rencana. Hal itu disebabkan oleh komposisi campuran yang sesuai, bahan material yang digunakan sesuai spesifikasi dan dalam keadaan baik, serta pelaksanaan dan perawatan yang terjaga dengan baik sesuai prosedur (Sundari, 2012).

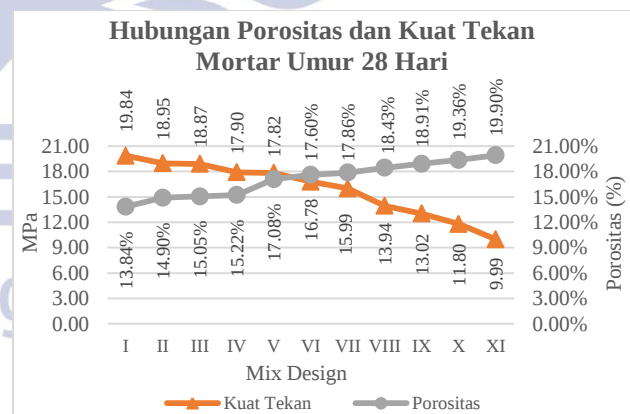
Tabel 1. Penurunan Kuat Tekan Mortar Geopolimer

Mix	Umur (Hari)	Kuat Tekan (MPa)	Penurunan (%)
I	28	19.84	(Kontrol)
II	28	18.95	4,486
III	28	18.87	4,889
IV	28	17.90	9,778
V	28	17.82	10,182
VI	28	16.78	15,423
VII	28	15.99	19,405
VIII	28	13.94	29,738
IX	28	13.02	34,375
X	28	11.80	40,524
XI	28	9.99	49,647

Pada Gambar 2 didapatkan bahwa *mix design* I yang sebagai kontrol memiliki nilai tertinggi dibandingkan dengan *mix design* lainnya. Hasil kuat tekan *mix design* II hingga *mix design* XI terus mengalami penurunan terhadap kontrol mortar geopolimer pada *mix design* I. Pada Tabel 1, didapatkan bahwa *mix design* II dengan substitusi lumpur Sidoarjo sebesar 5% mengalami penurunan sebesar 4,486% terhadap *mix design* I. Pada *mix design* XI dengan nilai kuat tekan sebesar 9,99 MPa mengalami penurunan sebesar 49,647% terhadap *mix design* I. Nilai kuat tekan terus mengalami penurunan seiring dengan penambahan substitusi lumpur Sidoarjo terhadap *fly ash*. Semakin besar jumlah *fly ash* yang digunakan daripada lumpur Sidoarjo untuk mortar geopolimer, maka nilai kuat tekan mortar geopolimer juga meningkat (Jodjana, et al, 2014).

2. Analisis Hubungan Porositas Benda Uji Terhadap Kuat Tekan.

Porositas didefinisikan sebagai perbandingan besarnya volume pori-pori terhadap volume keseluruhan benda uji. Porositas dengan kuat tekan mempunyai hubungan yang erat. Hubungan dari porositas dan kuat tekan adalah semakin tinggi nilai porositas benda uji, maka semakin kecil nilai kuat tekannya, begitu juga sebaliknya (Shandy, dkk, 2019). Sehingga, dapat dikatakan bahwa nilai kuat tekan pada suatu benda uji akan berbanding terbalik dengan nilai porositasnya.



Gambar 3. Hubungan Porositas Terhadap Kuat Tekan Mortar Umur 28 Hari

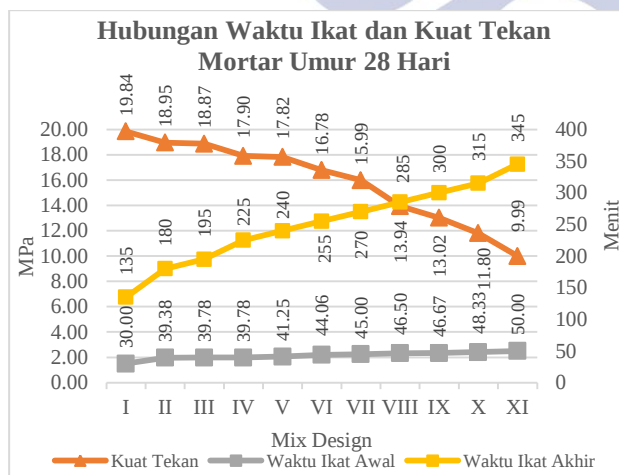
Berdasarkan pada gambar diatas tentang hubungan porositas dan kuat tekan, persentase porositas tertinggi mortar geopolimer pada umur 28 hari terdapat pada *mix design* XI yang memiliki substitusi lumpur Lapindo sebesar 50%, dimana porositas yang dihasilkan adalah sebesar 19,90% dan nilai kuat tekan senilai 9,99 MPa. Persentase porositas

terkecil dihasilkan oleh *mix design* I dengan *fly ash* tanpa substitusi lumpur Sidoarjo, dimana nilai porositas yang dihasilkan adalah sebesar 13,84% dengan kuat tekan senilai 19,84 MPa. Sementara itu, porositas dari *mix design* II yang memiliki substitusi lumpur Sidoarjo sebesar 5% menghasilkan nilai porositas terendah dan kuat tekan tertinggi dibandingkan dengan *mix design* III hingga *mix design* XI dengan substitusi lumpur Sidoarjo yang lebih besar.

Nilai porositas yang dihasilkan dari mortar geopolimer berhubungan dengan nilai kuat tekannya. Berdasarkan dari hasil data pengujian kuat tekan yang dimana nilai kuat tekan mengalami penurunan mengindikasikan naiknya nilai persentase porositas pada mortar geopolimer. Kuat tekan akan mengalami penurunan apabila terdapat rongga pori pada mortar geopolimer. Semakin besar jumlah pori yang tertutup dan semakin kecil jumlah pori yang terbuka dalam benda uji, maka semakin besar hasil nilai kuat tekannya (Ekaputri, dkk, 2013).

3. Analisis Hubungan Waktu Pengikatan Benda Uji Terhadap Kuat Tekan.

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui hubungan dari waktu pengikatan awal dan waktu pengikatan akhir pasta geopolimer terhadap kekuatan tekan yang dihasilkan. Waktu yang dibutuhkan untuk maupun pasta geopolimer untuk mengeras. Hal ini dihitung mulai bereaksi pada saat pencampuran bahan pengikat dan air yang menjadi pasta, hingga pasta cukup keras dalam menahan tekanan (Arianto, 2013).



Gambar 4. Hubungan Waktu Ikat Terhadap Kuat Tekan Mortar Umur 28 Hari

Hasil yang didapatkan berdasarkan gambar diatas tentang hubungan waktu ikat pasta terhadap kuat tekan mortar geopolimer menunjukkan bahwa waktu ikat pasta dipengaruhi oleh variasi komposisi bahan

yang digunakan. Pada *mix design* I (kontrol) yang tanpa menggunakan substitusi lumpur Lapindo memiliki durasi pengikatan awal dan akhir yang lebih cepat dibandingkan dengan *mix design* yang lainnya. Sedangkan pada *mix design* II dengan substitusi lumpur Sidoarjo sebesar 5% memiliki waktu ikat dan akhir yang lebih cepat dibandingkan dengan *mix design* III hingga *mix design* XI dengan substitusi lumpur Sidoarjo yang lebih besar.

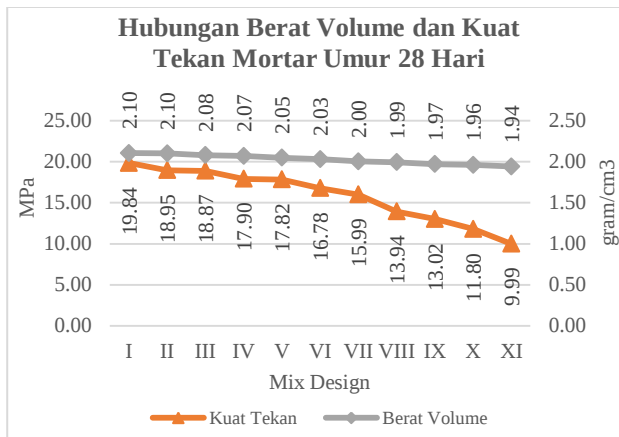
Tabel 2. Nilai Waktu Ikat dan Kuat Tekan

Mix	Umur (Hari)	Kuat Tekan (MPa)	Waktu Ikat Awal (Menit)	Waktu Ikat Akhir (Menit)
I	28	19.84	30.00	135
II	28	18.95	39.38	180
III	28	18.87	39.78	195
IV	28	17.90	39.78	225
V	28	17.82	41.25	240
VI	28	16.78	44.06	255
VII	28	15.99	45.00	270
VIII	28	13.94	46.50	285
IX	28	13.02	46.67	300
X	28	11.80	48.33	315
XI	28	9.99	50.00	345

Pada *mix design* II hingga *mix design* XI yang menggunakan lumpur Sidoarjo sebagai substitusi *fly ash* memiliki waktu pengikatan awal dan akhir yang lebih lama dibandingkan dengan *mix design* I. Semakin besar persentase substitusi lumpur Lapindo terhadap *fly ash* pada mortar geopolimer, maka semakin lama pula waktu ikat awal dan akhirnya. Hal ini dapat dianalisa dari tabel nilai waktu ikat dan kuat tekan, pada *mix design* XI yang memiliki durasi pengikatan awal selama 50 menit dan durasi pengikatan akhir selama 345 menit, serta dengan hasil kuat tekan senilai 9,99 MPa. Sementara itu, pada *mix design* I memiliki durasi pengikatan awal selama 30 menit dan durasi pengikatan akhir selama 135 menit, serta dengan hasil kuat tekan senilai 19,84 MPa. Tingginya hasil kuat tekan pada *mix design* I membuktikan bahwa *fly ash* mempunyai bentuk butir yang lebih kecil dan halus dibandingkan dengan lumpur Sidoarjo. Mortar yang memanfaatkan 100% *fly ash* mempunyai hasil kuat tekan paling besar, serta mempunyai struktur butiran yang lebih halus dan bulat (Jodjana, *et al.*, 2014). Butiran yang lebih halus dan berbentuk bulat dapat membuat proses pemadatan menjadi lebih baik, sehingga dapat meningkatkan kuat tekan pada mortar geopolimer. Selain itu, *fly ash* memiliki kandungan CaO (kalsium oksida) lebih tinggi dibandingkan dengan lumpur Sidoarjo. Kandungan kalsium oksida dapat memperbesar nilai

kuat tekan mortar geopolimer, akan tetapi bisa meningkatkan *setting time* (Purwantoro, *et al.*, 2016).

4. Analisis Hubungan Berat Volume Benda Uji Terhadap Kuat Tekan.



Gambar 5. Hubungan Berat Volume Terhadap Kuat Tekan Mortar Umur 28 Hari

Berdasarkan gambar diatas tentang hubungan berat volume terhadap kuat tekan mortar 28 hari, menunjukan bahwa kuat tekan terbesar terjadi pada *mix design* I tanpa substitusi lumpur Sidoarjo yang mempunyai hasil kuat tekan senilai 19,84 MPa dengan berat per-volume senilai 2,10 gram/cm³. Pada *mix design* II dengan persentase substitusi lumpur Sidoarjo sebesar 5% mempunyai hasil kuat tekan senilai 18,95 MPa dengan berat per-volume senilai 2,10 gram/cm³. Sedangkan pada *mix design* XI dengan substitusi lumpur Sidoarjo sebesar 50% menghasilkan kuat tekan senilai 9,99 MPa dengan berat per-volume sebesar 1,94 gram/ cm³. Sehingga, semakin tinggi nilai kuat tekan maka nilai berat per-volumenya juga bertambah. Besarnya nilai berat per-volume mortar akan berbanding lurus dengan hasil kuat tekannya (Fitrianasari, 2018).

PENUTUP

1. Simpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian dan pembahasan pada mortar geopolimer adalah sebagai berikut:

- Penggunaan lumpur Sidoarjo sebagai bahan substitusi *fly ash* pada mortar geopolimer dengan Molaritas larutan sodium hidroksida senilai 12, serta perbandingan campuran larutan aktivator SS/SH sebesar 2 dapat mengakibatkan penurunan hasil kuat tekan. Penurunan hasil kuat tekan terdapat pada *mix design* II senilai 18,95 MPa sampai dengan *mix design* XI senilai 9,99 MPa.

- Porositas yang diperoleh dari penggunaan lumpur Sidoarjo sebagai substitusi *fly ash* pada mortar geopolimer dengan Molaritas larutan sodium hidroksida senilai 12, serta perbandingan campuran larutan aktivator SS/SH sebesar 2 dapat mengakibatkan peningkatan nilai porositas. Peningkatan nilai porositas terdapat pada *mix design* II sebesar 14,90% hingga *mix design* XI sebesar 19,90%.
- Penggunaan lumpur Sidoarjo sebagai substitusi *fly ash* pada mortar geopolimer dapat menyebabkan penurunan nilai kuat tekan. Sehingga kadar optimum penggunaan lumpur Sidoarjo adalah sebesar 0% atau tanpa menggunakan lumpur Sidoarjo. Hal ini dikarenakan *mix design* I dengan 0% lumpur Sidoarjo memiliki nilai kuat tekan tertinggi, yaitu sebesar 19,84 MPa.

2. Saran

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

- Lumpur Sidoarjo yang digunakan pada penelitian ini diambil pada lokasi titik 25. Maka, untuk penelitian yang lebih lanjut, pengambilan lumpur Sidoarjo dapat dilakukan pada titik lainnya.
- Fly ash* yang digunakan pada penelitian ini merupakan tipe C. Dalam penelitian berikutnya, dapat digunakan *fly ash* dengan tipe yang lain.
- Perlu diperhatikan dalam ketelitian mulai dari proses penyiapan bahan dan alat, proses *mix design* mortar, proses pengadukan dan pencetakan mortar, serta proses perawatan mortar. Sehingga bisa mendapatkan kualitas benda uji yang baik dan sesuai rencana.

DAFTAR PUSTAKA

- Apsari, Debi N. P. 2017. "Pengaruh Penambahan Variasi Molaritas NaOH Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lekat Mortar *Geopolymer* Berbahan Dasar Abu Terbang pada Aplikasi Spesi Bata Merah". *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*. Vol. 2 (2): hal. 244-249.
- Arianto, R., dkk. 2013. "Kuat Tekan Beton dan Waktu Ikat Semen Portland Pozzolan". *Jurnal Online Mahasiswa*. Vol. 1 (1).
- Ekaputri, Januarti Jaya dan Triwulan. 2013. "Sodium sebagai Aktivator *Fly Ash*, *Trass* dan Lumpur Sidoarjo dalam Beton Geopolimer". *Jurnal Teknik Sipil*. Vol. 20 (1): hal 1-10.
- Fitrianasari, I. F. 2018. "Pengaruh Perbandingan *Water Binder Ratio* (W/B) Terhadap Kuat Tekan pada Pembuatan *Dry Geopolymer* Mortar dengan NaOH 12 M". *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*. Vol. 2 (2).

- Hardjito, Djawantoro, et al. 2004. "Factors Influencing The Compressive Strength of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete". *Civil Engineering Dimension*. Vol. 6 (2): hal. 88-93.
- Hardjito, Djawantoro dan B.V. Rangan. 2005. "Development and Properties of Low-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete". Research Report GC 1 Faculty of Engineering. Curtin University of Technology, Australia.
- Jodjana, Aleksander, dkk. 2014. "Pemanfaatan Campuran Lumpur Sidoarjo dan Fly Ash dalam Pembuatan Mortar Geopolimer Mutu Tinggi". *Jurnal Dimensi Teknik Sipil*. Vol. 3 (2).
- Junaidi, Robert, dkk. 2018. "Karakteristik dan Kalsinasi Lumpur Sidoarjo (LUSI) Sebagai Bahan Baku Pembuatan Semen Portland". *Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri*, ISSN 2085-4218. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Purwanto, Austin. 2016. "Pengaruh Penambahan Boraks dan Kalsium Oksida Terhadap Setting Time dan Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Tipe C. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*. Vol. 5 (2).
- Shandy, Sary dan Joni Hermanto. 2019. "Studi Korelasi Porositas Beton Terhadap Kuat Tekan Rata-Rata Menggunakan Agregat Kasar Batu Angus". Vol. 12 (1): hal. 72-83.
- Sundari, Y. S. 2012. 'Pengaruh Umur Beton Terhadap Nilai Kuat Tekan pada Mutu Beton'. *Media Sains*. Vol. 4 (1): hal. 55-61.
- 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.