PENGGUNAAN LUMPUR SIDOARJO (LUSI) SEBAGAI BAHAN SUBTITUSI *FLY ASH* RASIO 1:5 PADA MORTAR GEOPOLIMER DENGAN NaOH 12 MOLAR DAN KONDISI SS/SH 1,0 DITINJAU DARI KUAT TEKAN DAN POROSITAS

Alan Alaa Ryandori Farisya
Mahasiswa S1-Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Alamat e-mail: Alanfarisya78@gmail.com

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

Abstrak

Lumpur Sidoarjo adalah suatu material jenis lumpur yang memiliki warna abu-abu kehitaman, memiliki bentuk butiran yang halus, sangat plastis, serta mempunyai nilai susut kering yang relatif tinggi, selain itu ada kandungan zat kimia lain yang terdapat pada lumpur Sidoarjo dimonasi oleh silica, alumina, dan beberapa unsur lainnya. Berdasarkan sifat-sifat dasar yang dimiliki, Lumpur Sidoarjo (LUSI) bisa dikembangkan menjadi material pengganti semen untuk bahan dasar beton geopolimer. Ketersediaan lumpur Sidoarjo yang sangat melimpah dapat dimanfaatkan sebagai bahan subtitusi *fly ash*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana lumpur Sidoarjo digunakan untuk bahan subtitusi *fly ash* yang dapat dilihat dari seberapa kuat tekan dan porositas mortar geopolimer. Bahan pengikat dan pasir memiliki perbandingan 1:5 dengan variasi lumpur Sidoarjo yang digunakan sebesar 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50%. Molaritas dalam penelitian ini memiliki konsentrasi ialah sebesar 12 Molar dengan menggunakan perbandingan sodium silikat dan sodium hidroksida 1:0. Penelitian ini menunjukan hasil bahwa kadar optimal terbaik yang mendekati nilai kontrol penggunaan Lumpur Sidoarjo (*LUSI*) sebagai bahan subsitusi *fly ash* pada mortar geopolimer adalah sebesar 5% dengan menghasilkan kuat tekan sebesar 15,19 MPa dan hasil porositas senilai 17,30 MPa. Setiap kenaikan persentase penambahan Lumpur Sidoarjo (*LUSI*) dapat mengakibatkan menurunnya kuat tekan mortar geopolimer.

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

Abstract

Sidoarjo mud is a type of mud material that has a blackish gray color, has a fine grain shape, is very plastic, and has a relatively high dry shrinkage value, besides that, the chemical elements contained in Sidoarjo mud are mononized by silica, alumina, and several other elements. Based on its basic properties,Sidoarjo Mud (LUSI) can be developed as a cement substitute for geopolymer concrete. The abundant availability of Sidoarjo mud can be used as a substitute for fly ash. The purpose of this research to determine how to use of Sidoarjo mud as a substitute material for fly ash inoterms of the compressive strength and porosity of the geopolymer mortar. Comparison of inder and sand 1: 5 with variations in the use of Sidoarjo mud of 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50%. The molarity concentration in this research is 12 Molar with a sodium silicate and sodium hydroxide ratio of 1.0. The results showed that the best optimum level which is close to the control value in the use of Sidoarjo Mud (LUSI) as a substitute for fly ash in geopolymer mortar is 5% with the resulting compressive strength of 15.19 MPa and porosity of 17.30 MPa. Each increasing the percentage of addition of Sidoarjo Mud (LUSI) can resulting in decreasing the compressive strength of the geopolymer mortar.

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

PENDAHULUAN

Produksi *Ordinary Portland Cement* (PC) diperkirakan akan terus mengalami peningkatkan hal ini dilihat dari produksi *Ordinary Portland Cement* di tahun 1995 yakni sebesar 1,5 Milyar ton yang kemudian ditahun 2010 meningkat pada angka 2,2 Milyar ton. Pemanasan global dapat menjadi pemicu semakin meningkatnya kebutuhan semen di seluruh wilayah di dunia. Suatu bentuk suatu peristiwa yang diakibatkan oleh adanya pengeluaran gas CO_2 ke atmosfer bumi ini disebut sebagai pemanasan global. Maka dari itu banyak peneliti berinovasi untuk meminimalisir atau mengganti penggunaan semen sebagai unsur utama bahan bangunan. Peneliti mulai melakukan pengkajian mengenaipembuatan beton menggunakan ikatan geopolimer. Salah

satunya dengan pemanfaatan bahan Lumpur Sidoarjo (LUSI) yang saat ini sangat melimpah dan dapat membantu mengurangi pencemaran ekosistem di sekitarnya. Pemerintah dan PT. Lapindo Brantas belum mampu menghentikan semburan ataupun mengelola yang menjadi dampak sosial serta lingkungan dari luberan lumpur tersebut. Akibat terus menyemburnya sumber lumpur, berdampak pada lingkungan sekitar area dan daya tampung di area tanggul bisa melebihi kapasitas. Maka dari itu pihak BPLS mempunyai cara untuk mengurangi dampak tersebut dengan cara membuangnya ke sungai dan di alirkan ke laut melalui Sungai Porong dan Alo. Namun tetap saja cara tersebut tetap berdampak mencemari kelestarian ekosistem aliran sungai. Material lumpur berupa butiran-butiran halus, memiliki warna abu-abu kehitaman, sangat plastis dan mempunyai nilai susut kering sangat tinggi. Data dari penelitian terdahulu diperoleh kandungan bahan kimia yang ada dalammaterial lumpur dimonasi oleh silica, alumina danbeberapa unsur-unsur lain. Berdasarkan sifat yang dimiliki Lumpur Sidoarjo (LUSI) ternyata LUSI dapat dimanfaatkan untuk bahan pengganti semen dengan menggunakan bahan dasar mortar geopolymer.

Sejak terjadinya semburan Lumpur Sidoarjo (LUSI) banyak penelitian tentang kandungan yang terdapat di dalam lumpur. Salah satunya yaitu penelitian (Pretiwi dan Thersia, 2012) bahwa Lumpur Sidoarjo (LUSI) memiliki kandungan SiO_2, sebesar 53% dan Al_2O_3, sebesar 18%. Penelitian serupa juga menghasilkan*Fly Ash* dan Lumpur Sidoarjo (LUSI) memiliki kandungan senyawa Al_2O_3 dan Fe_2O_3 yang tinggi. Akan tetapi dengan melimpahnya Lumpur Sidoarjo (LUSI) sampai saat ini belum ada yang memenuhi syarat beton mutu tinggi dan belum memanfaatkan bahan tersebut dengan baik.

Setelah melihat kandungan Lumpur Sidoarjo (LUSI). Dalam pembuatan mortar geopolimer dapat memanfaatkan bahan material alami seperti Lumpur Sidoarjo (LUSI). Namun bahan tersebut tidak bisa mengikat, sehingga memerlukan bahan tambahan seperti air dan bahan kimia lainnya yang dapat mengikat seperti Natrium Hidroksida (NaOH) dan Natrium Silikat (Na_2SiO_3). Oksida dalam bahan mini dapat menghasilkan reaksi kimiawi sehingga dapat terbentuk sebuah ikatan polimer. Dengan melihat kandungan kapur pada Lumpur Sidoarjo (LUSI), maka juga memerlukan komponen tambahan unsur kapur yaitu kapur padam. Kapur padam merupakan sebuah kapur dari hasil pemadaman kapur tohor yang kemudian membentuk hidrat. Kapur bereaksi dengan beberapa komponen pozzolan halus dengantujuan guna terbentuknya kalsium silika. Silika sendiri merupakan bahan mineral utama dari *Fly Ash*.

Pada penilitian ini lumpur lapindo yang sudah di keringkan dan ditumbuk menjadi bubuk digunakan sebagai oksida silika. Dengan penambahan bahan kimia natrium hidroksida dan sodium silikat pada oksida silika diharapkan dapat terbentuk sebuah ikatan polimer. Dengan melihat kandungan kapur dalam lumpur yang sudah ditambahkan dengan kapur sehingga akandiperoleh hasil yang berkualitas pada mutu. Pengolahan geopolymer juga membutuhkan temperatur yang tinggi dengan tujuan adanya reaksi dari polimerisasi yang dipercepat terjadi dalam proses menggerasi (Wardhono, *et. al*, 2012). Realita yang dijabarkan diatas membuatpenelitian ini difokuskan kepada cara membuat mortar, sehingga proses pengerasan yang terjadi berlangsung cepat hal ini dikarenakan ukuran dari benda ujinya yang tidak terlalu besar.

Geopolimer didefinisikan sebagai bahan yang diperoleh melalui geosintesis aluminosilikat polimerik dan alkal-silikat lalu kemudian memperoleh hasil kerangka polimer SiO_4 (Silika tetraoksida) dan AlO_4 (Alumunium tetraoksida) mengikat secara tetrahedral (Davidovit ,a1994). Tak hanya itu, bahan pengganti mineral alami yang memiliki kandungan SiO_2 (Silika oksida) relatif tinggi dapat difungsikan untuk menggantikan semen sebagaimana abu terbang (*Fly Ash*).Abu terbang (*Fly Ash*) yakni hasil sampingan dari proses dibakarnya batu bara dengan kandungan material Silik (SiO_2) yang tinggi. Adanya akivator seperti Sodium Hidrosikda (NaOH) dan Sodium Silikat (Na_2SiO_3) menyebabkan *fly ash* tidak mampu mengikat semen dan ikatan polimer akan terbentuk dari reaksi kimia silikayang terkandung dalam bahan tersebut.

Pembuatan beton geopolimer dengan menggunakan bahan alternatif *fly ash* yang memiliki kandungan Silikon dan Alumina sehingga dapat menghasilkan rekasi dengan cairan alkalin guna memberikan hasil bahan pengikat (*binder*) sehingga beton geopolimer tidak menggunakan bahan material semen. Jenis abu terbang (*fly ash*) dalam penelitian memakai abu terbang yang terdapat unsur kalsium rendah*(low calcium fly ash)* kelas F sebagai bahan dasar. Betonkgeopolimer dihasilkan dari reaksi *fly ash* yang terkandung dalam Silika dan Alumina dengan dibantu oleh cairan Sodium Hidroksida dan Sodium Silikat untuk mengikat *agregat*, pasir serta material lain. (Sumajouw dan Dapas, 2013).

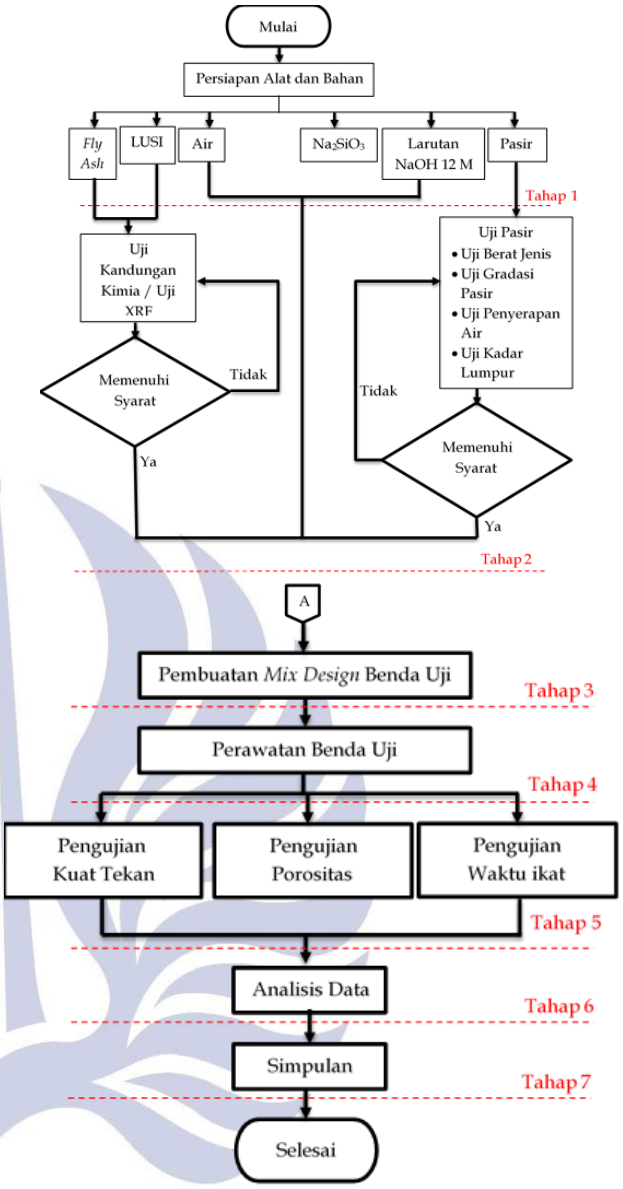
Abu terbang (*Fly ash)* adalah sebuah material yang memiliki sifat *pozzolanic* cukup baik. Sebagian besar unsur abu terbang terdiri dari oksida-oksida silika (SiO_2), aluminium (Al_2O_3), besi (Fe_2O_3) dan kalsium (CaO) serta potasium, sodium, titanium dan sulfurdengan jumlah yang sedikit (Hardjito, dkk, 2016).

Lumpur lapindo dapat dijadikan untuk bahan alami dalam pembuatan mortar *geopolymer*. Namun, dalam penelitian ini diperlukan bahan tambahan seperti air dan bahan kimia lain yang dirasa memiliki kemampuan mengikat seperti Natrium Hidroksida (NaOH) dan Natrium Silikat (Na_2SiO_3). Oksida silika pada bahan tersebut akan beraksi secara kimia sehingga membentuk ikatan polimer. Dengan melihat kandungan kapur yang ada pada lumpur sedikit, maka masih perlu bahan tambahan dengan unsur kapur seperti kapur padam.

Berdasarkan dari hasil pengujian yang dilakukan oleh Depudi Bidang TPSA-BPPT, lumpur lapindo mempunyai kandungan mineral serta kimia yang baik untuk pembuatan keramik dan bahan bangunan yang berbahan dasar semen karena lumpur lapindo dinilai memiliki kandungan silika yang tinggi.

METODE

Metode penelitian adalah suatu metode yang berisi mengenai langkah-langkah untuk melakukan suatu penelitian terhadap masalah, kasus, atau fenomena secara ilmiah dengan tujuan memperoleh jawaban yang rasional. Penelitian ini menggunakan referensi dari jurnal ilmiah dan penelitian terdahulu sehingga penelitian ini bisa dikatakan sebagai penelitian eksperimental, yang kemudian dikembangkan dengan membuat rancangan perbandingan rasio SS/SH 1,0 molar sebanyak 12 dengan kadar solid larutan aktivator (w/s) sebesar 0.45 guna memperoleh hasil perbandingan yang optimum,pemberian tambahan Lumpur Sidoarjo (Lusi) terhadap *flyash* pada mortar geopolimer mnggunakan material utama abu terbang atau *fly ash*, Lumpur Sidoarjo (Lusi), air, dan aktivator yang berbentuk *mixing* dari *sodium hidoroksida* dan *sodium silikat.* Dalam penelitian ini, hasil percobaan yang dilakukan akan diukur menggunakan uji kuat tekan dan uji porositas mortar kubus. Berikut disajikan diagram alur untuk menunjukkan struktur penelitian yang akan dilakukan yakni sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alur Rancangan Penelitian

1. Populasi dan Sampel

Pengamatan menggunakan populasi hasil uji kuat tekan dan porositas mortar geopolimer kubus berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm. Dalam penelitian terdapat sampeling yang diambil melalui seluruh populasi sebagai hasil uji data di laboratorium beton dengan sampel masing- masing 15 sampel benda uji pada setiap *mix design* dengan total 165 sampel pada uji kuat tekan dan porositas dengan ukuran kubus 5 cm x 5 cm x 5 cm dan 1 benda uji setiap *mix design* dengan total 11 benda uji pada pengujian waktu ikat.

2. Variabel Penelitian

Penelitian menggunakan variabel bebas persentase penambahan Lumpur Sidoarjo (LUSI) terhadap *fly ash* atau abu terbang. Dalam penelitian terdapat variabel dependen terdiri dari kuat tekan,

UNESA Universitas Negeri Surabaya

porositas, dan waktu ikat mortar geopolimer. Variabel yang dapat dikendalikan disebut sebagai variabel kontrol. Variabel kontrol yang terdapat dalam penelitian dianggap memiliki nilai konstan sehingga dapat dilakukan penelitian yang memiliki sifat membandingkan. Variabel kontrol pada penelitian ini terdiri dari Larutan NaOH/*Sodium Hidrokside* = 12 Molar, Na_2SiO_3/*Sodium Silikat* cair, Perbandingan Na_2SiO_3/ NaOH atau SS/SH = 1,0, *Water solid ratio ((*w/s) = 0,45, abu terbang (*Fly ash*), Lumpur Sidoarjo, air dan pasir sebagai agregat halus.

3. Metode Pengumpulan Data dan Instrumen Penelitian

Pengumpulan data dilakukan melalui metode observasi langsung. Observasi berlangsung di Laboratorium Beton Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya selanjutnya didapatkan data primer melalui observasi secara langsung seperti:

a. Ukuran dimensi dan volume bahan benda uji.
b. Data uji kuat tekan pada benda uji.
c. Data uji porositas pada benda uji.
d. Data uji waktu ikat awal pada benda uji
e. Dokumentasi, berupa gambar, foto

Alat ukur penelitian yang digunakan yaitu sebagai berikut.

a. Uji Kuat Tekan

Benda uji ditekan dengan bantuan alat (*Hydraulic Universal Testing Machine)* sehingga benda yang diuji memperoleh gaya tekan. Kuat tekan dilakukan pengujian hingga diperoleh beban maksimum sebanyak 3 (tiga) kali untuk masing-masing sampel sehingga didapatkan kuat tekan rata-rata ketika benda uji berumur 7, 14 dan 28 hari.

b. Uji Porositas

Pengujian ukuran pori pada benda uji, ukuran pori ditulis dalam satuan persentase (%). Uji porositas dilakukan saat benda uji berumur 48 jam. Dengan ketentuan waktu penimbangan 10 menit setelah pengangkatan dari oven (24 jam pertama) dan pengangkatan dari rendaman (24 jam berikutnya) benda uji pada saat waktu pengujian yang ditentukan.

c. Uji Waktu Ikat

Benda uji diuji menggunakan alat yang bernama alat vicat dimana jarum vicat bertujuan untuk mengetahui waktu ikat dengan proses pengujian sesuai standart SNI 03-6827-2002.

4. Teknik Analisis Data

Teknik untuk analisis data yang digunakandalam pengamatan ini diperoleh dari hasil penjabaran pengujian laboratorium menggunakan deskriptif kuantitatif. Cara yang digunakan dalam teknik analisis data dengan mempelajari data yang didapat melalui hasil uji coba. Hasil eksperimen berupa data kuantitatif berbentuk tabel dan ditampilkan dalam bentuk grafis.

Setelah membuat tabel dan grafik, akandilakukan analisis dan penjabaran sehingga akan memperoleh suatu hubungan berdasarkan hasil data yang diperoleh. Hasil data tersebut meliputi sebagai berikut.

a. Pengaruh. persentase penambahan Lumpur Sidoarjo (LUSI) dalam abu terbang (*fly ash)* dengan kuat tekan. Berdasarkan SNI 03-1974-1990 dan ASTM. C39, rumus berikut dapat digunakan untuk menentukan kuat tekan:

$$\sigma = \frac{P}{A}\ (N/mm^2) \quad \text{.....(3.1)}$$

Keterangan:

σ = Kuat tekan (N /imm^2)
P = Beban maksimum
A = Luas penampang benda uji (mm^2)

b. Pengaruh prosentase penambahan Lumpur Sidoarjo (LUSI) padam abu terbang (*fly ash)* terhadap porositas mortar. Guna menentukan kuat tekan dapat menggunakan rumus (Lawrence) VannVlack, 1989) sebagai berikut:

$$\text{Porositas} = \frac{Mb-Mk}{Vb} \text{ xv. } \frac{1}{p\ air} \text{ nx. P100\% (\%)} \quad \text{..... (3.2)}$$

Keterangan:nM
Mb = Massa basah sampel setelah direndam (gr)
Mk = Massa kering sampel setelah direndam (gr).
Vb = Volume benda uji (cm^3)
pair = Massa jenis air (gr/cm^3)

Hasil ujipporositas disajikan dalam bentuk tabel. Selanjutnya dilakukan penjabaran dengan melakukan analisis yang menunjukkan hubungan antara variasi prosentase penambahan LUSI terhadap abu terbang *(fly ash)* dari uji kuat tekan dan uji porositas yang diperoleh.

c. Pengaruh persentase penambahan LUSI pada abu terbang (*fly ash)* terhadap waktu ikat pasta. Untuk itu diperlukan alat vicat yang digunakan untuk mencatat waktu dan hasil waktu yang diperoleh guna mengetahui nilai waktu ikat yang dialamipada benda uji. Kemudian dilakukan analisis untuk menjabarkan hubungan yang terjadi antara variasi prosentase penambahan LUSI pada *fly ash*dari uji kuat tekan dengan uji porositas yang diperoleh dalam penelitian.

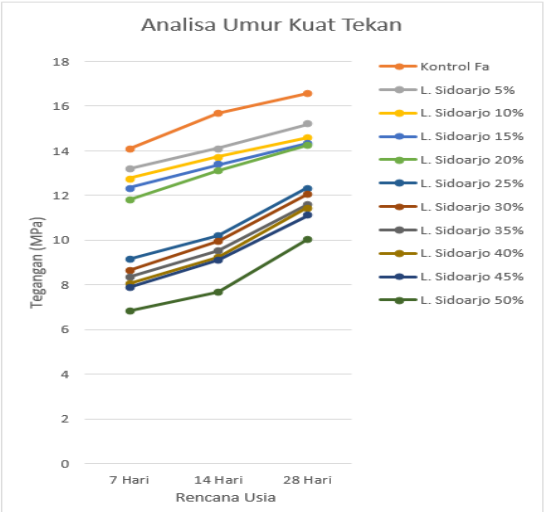
HASIL DAN PEMBAHASAN

Tujuan dilakukannya pengamatan mortar geopolimer ini yakni guna mendapatkan hasil kuat tekan, porositas dan waktu ikat semen mortar geopolimer menggunakan campuran bahan Lumpur Sidoarjo yang digunakan menjadi bahan pengganti *fly ash* yang bermanfaat sebagai bahan alternatif semen. Selain pasir dan kapur, komponen dasar mortar geopolymer adalah activator tambahan berupa Sodium Hidroksida dan Sodium Silikat.

Peneltian mortar geopolimer dilaksanakan setelah melakukan tahap uji bahan penyusun mortar geopolimer, tujuannya adalah mendapatkan hasil yang maksimal, yaitu untuk melihat persentase pengaruh penggunaan lumpur Sidoarjo yang mengganti penggunaan *fly ash* menjadi bahan subtitusi semen yang terdapat dalam mortar geopolimer. Material penyusun diuji dengan pengujian *X-Ray Fluoresence* (XRF) guna memperoleh kandungan Lumpur Sidoarjo. Pengujian agregat halus yaitu pasir yang berupa uji berat jenis, gradasi dan penyerapan air.

Pengujian material dilaksanakan dengan tujuan mengetahui kualitas bahan yang digunakan, baik karakteristik, sifat, dan kandungan kimia. Pengujian material dilakukan sebelum melakukan proses pembuatan benda uji, dengan mengacu pada SNI dan ASTM. Material yang diuji adalah bahan-bahan penyusun mortar geopolimer, yaitu pasir, dan juga lumpur Sidoarjo. Pengujian pasir berupa pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian gradasi pasir. Kandungan lumpur Sidoarjo diuji dengan X-Ray Flourecence (XRF) yang dirancang guna mendapatkan hasil komposisi kimia yang ada dalam lumpur Sidoarjo.

1. Analisis korelasi preesentase lumpur Sidoarjo terhadap nilai kuat tekan didapatkan berdasarkan usia rencana benda uji mortar geopolimer



Gambar 2. Grafik Hubungan Usia Benda Uji dan Kuat Tekan

Hasil perbandingan keseluruhan dari setiap *mix design* yang ditinjau dari usia rencana mendapatkan hasil yang berbeda, data yang dihasilkan menunjukan bahwa nilai kuat tekan yang dihasilkan *mix design* yang diberikan campuran lumpur Sidoarjo (*mix design* II hingga *mix design* XI) mengalami penurunan kuat tekan dari usia rencana 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Penurunan kuat tekan dipengaruhi oleh presentase dari penggunaan lumpur Sidoarjo dan *fly ash.* Semakin banyaknya presentase lumpur Sidoarjo dapat menyebabkan penurunan dari kuat tekan mortar geopolimer.

Hasil dari data yang diperoleh memperlihatkan bahwa dengan adanya peningkatan usia rencana tiap benda uji mortar geopolimer, maka nilai kuat tekan rata- rata tiap *mix design* benda uji meningkat. Penambahan kuat tekan pada tiap usia rencana 7 hari, 14 hari serta 28 hari disebabkan oleh reaksi pengikatan pada mortar, proporsi campuran bahan yang seimbang, perawatan serta implementasi yang baik yang disesuaikan dengan prosedur dalam pembuatan benda uji. . Hasil yang didapat dari uji kuat tekan dengan kontrol mortar *mix* design mengalami penurunan. Berikut merupakan hasil dari persentase pengujian kuat tekan mortar:

Table 1. Nilai Persentase *Mix Design* Dari Hasil Uji Kuat Tekan.

Mix	Usia	Kuat Tekan (Mpa)	
I	28	16,56	(Kontrol)
II	28	15,19	8,272%
III	28	14,60	11,835%
IV	28	14,32	13,526%
V	28	14,24	14,009%
VI	28	12,33	25,534%
VII	28	12,05	27,234%
VIII	28	11,58	30,072%
IX	28	11,45	30,857%
X	28	11,10	32,971%
XI	28	10,05	39,311%

Dari hasil tabel tersebut dapat dikatakan bahwa untuk keseluruhan *mix design* jika dibandingkan dengan *mixdesign* I yang menggunakan campuran *Fly Ash* dan tanpa campuran lumpur Sidoarjo sebagai kontrol telah mengalami penurunan presentase disetiap *mix design* karena semakin banyaknya persentase penambahan bahan Lumpur Sidoarjo disetiap *mix design* dengan penambahan sebesar 5%.

2. Analisis korelasi porositas dengan kuat tekan berdasarkan usia rencana mortar geopolimer

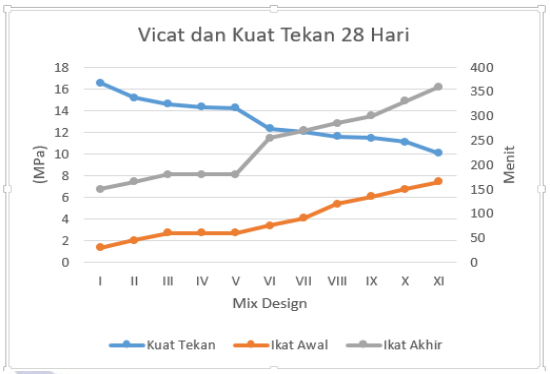
Gambar 3. Grafik Hubungan Porositas dan Kuat Tekan

Porositas dan kuat tekan saling berhubungan dengan mortar geopolimer. Berdasarkan hasil dari data uji kuat tekan, dimana penurunan kuat tekan mortar menunjukkan adanya peningkatan nilai persentase porositas pada mortar, sedangkan semakin tinggi nilai kuat tekan dari data hasil kuat tekan maka akan memperoleh hasil porositas dengan presentase yang rendah. Jika terdapat rongga yang tidak terisi pasir atau pasta maka kuat tekannya akan menjadi kurang baik.

Kepadatan mortar geopolimer berpengaruh terhadap besar kecilnya penyerapan air yang terjadi akibat terdapatnya pori atau rongga dalam mortar geopolimer (Badaruddin, 2013). Peningkatan porositas selain disebabkan oleh kepadatan dari benda uji juga dapat dipengaruhi oleh proses pencampuran adonan mortar dan variasi penggunaan bahan campuran dalam mortar geopolimer. Kenaikan porositas yang dihasilkan dari setiap *mix design* memiliki keterkaitan dengan kuat tekan yang dihasilkan karena menggambarkan kepadatan dari benda uji mortar geopolimer.

Hasil analisis porositas berdasarkan Gambar 3 menunjukkan analisis bagaimana hubungan antara porositas dan kuat tekan mortar geopolimer pada usia rencana 28 hari mengalami penurunan presentase, karena pada usia rencana 28 hari kuat tekan yang didapatkan cukup rendah. Porositas maksimum terdapat pada *mix design* XI dengan penambahan subtitusi lumpur Sidoarjo dengan presentase paling besar yaitu 50%. *Mix design* XI mendapatkan hasil porositas sebesar 27,64% dengan nilai kuat tekan 10,05 MPa. Porositas terendah terdapat pada *mix design* II sebesar 17,12% yaitu dengan penambahan lumpur Sidoarjo dengan presentase 5%, sedangkan pada *mix design* IV hingga *mix design* XI pada usia 28 hari kembali mengalami peningkatan porositas.

3. Analisa hubungan waktu ikat dengan kuat tekan



Gambar 4. Grafik Hubungan Vicat dan Kuat Tekan

Analisis mengenai waktu ikat pasta dengan kuat tekan yakni untuk mengetahui hubungan dari waktu ikat awal maupun waktu ikat akhir terhadap kuat tekan yang dihasilkan mortar geopolimer dengan penambahan atau subtitusi lumpur Sidoarjo pada *fly ash* dengan variasi peningkatan lumpur Sidoarjo sebesar 5% hingga presentase maksimal 50%, sedangkan untuk variasi penurunan pada bahan *flyash* adalah sebesar 5% dari total penggunaan 80% *fly ash.* Sampel benda uji menggunakan 1 buah sampel

Tabel 2. Hubungan Antara Waktu Ikat dan Kuat benda uji dengan total 11 *mix design.*

Mix	Usia	Kuat Tekan (MPa)	Waktu Ikat Awal (Menit ke-)	Waktu Ikat Akhir (Menit ke-)
I	28	16,56	30	150
II	28	15,19	45	165
III	28	14,60	60	180
IV	28	14,32	60	180
V	28	14,24	60	180
VI	28	12,33	75	255
VII	28	12,05	90	270
VIII	28	11,58	120	285
IX	28	11,45	135	300
X	28	11,10	150	330
XI	28	10,05	165	360

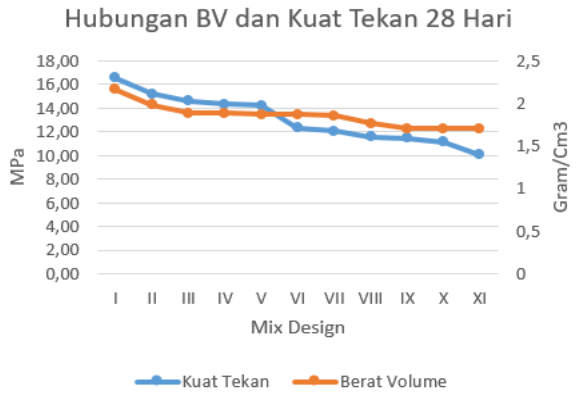
Hasil yang didapatkan dari Gambar 4 *Mix design* I (kontrol *fly ash*) yaitu tanpa adanya penambahan lumpur Sidoarjo waktu pengikatan awal dan waktu pengikatan akhir yang lebih cepat dibandingkan *mix design* lainnya. Pengikatan yang lebih cepat dikarenakan besarnya persentase *fly ash* pada pasta mortar *mix design* I, hal ini dipengaruhi oleh besarnya kandungan kalsium pada *fly ash* sehingga mempercepat pengikatan pasta mortar geopolimer.

Penggunaan lumpur Sidoarjo untuk mengganti *fly ash* pada *mix design* II hingga *mix design* XI mengalami penurunan pada waktu ikat awal dan waktu

ikat akhir pasta mortar geopolimer dikarenakan berkurangnya presentase *fly ash* dan bertambah besarnya presentase dari lumpur Sidoarjo. Penggunaan lumpur Sidoarjo sebesar 5% pada *mix design* II dengan hasil kuat tekan tertinggi sebesar 15,19 MPa menghasilkan waktu ikat awal dan waktu ikat akhir yang lebih cepat dibandingkan dengan *mix design* yang menggunakan lumpur Sidoarjo dengan presentase yang lebih besar.

Pengikatan pasta mortar geopolimer degan durasi paling lama terjadi pada *mix design* XI yaitu dengan nilai kuat tekan terendah sebesar 10,05 MPa yang menggunakan jenis lumpur Sidoarjo sebesar 50%. Hal ini dapat dikatakan bahwa penambahan presentase lumpur Sidoarjo dapat menyebabkan hasil waktu ikat pasta yang lebih lama. Peningkatan kuat tekan mortar geopolimer berpengaruh terhadap durasi lamanya waktu ikat pasta, semakin besar kuat tekan yang dihasilkan mengakibatkan lebih cepatnya waktu ikat pasta mortar geopolimer, begitu pula dengan menurunnya kuat tekan yang dihasilkan dapat memengaruhi semakin lamanya durasi waktu ikat pasta mortar geopolimer.

4. Analisa hubungan berat volume dengan kuat tekan



Gambar 5. Grafik Hubungan BV dan Kuat Tekan 28 Hari

Berdasarkan analisis hubungan antara berat volume dengan kuat tekan mortar usia 28 hari diperoleh hasil yang menunjukan bahwa berat per-volume yang besar dapat meningkatkan dan memengaruhi kuat tekan mortar geopolimer. Kuat tekan tertinggi terdapat di *mix design* I Kontrol *fly ash* sebesar 16,56 MPa yang beratnya per-volume senilai 2,15 gram/cm^3 serta untuk presentase penggunaan lumpur Sidoarjo sebesar 5% memiliki kuat tekan tertinggi diantara *mix design* yang menggunakan campuran lumpur Sidoarjo yaitu sebesar 15,19 MPa yang memiliki berat per-volume sebesar 1,98 gram/Kcm^3 berdasarkan (SNI 03-6882-2002) proporsi mortar kuat tekan yang diperoleh dari campuran lumpur Sidoarjo dapat dimasukan pada mortar tipe S yang baik untuk struktur yang akan memikul beban normal. Sedangkan kuat tekan terendah dengan penggunaan 50% lumpur Sidoarjo memiliki kuat tekan sebanyak 9,95 MPa yang beratnya per satuan volume 1,70 gram/cm^3. Berat per-volune yang didapatkan dari masing-masing *mix design* benda uji mengalami penurunan berat, hanya saja berat per- volume yang didapatkan memiliki berat yang relatif hampir sama.

PENUTUP

1. Simpulan

Hasil dari penelitian dan pembahasan mortar geopolimer yang sudah dilaksanakan sesuai dengan tata cara yang sudah dipersiapkan diperoleh kesimpulan anatara lain sebagai berikut:

a. Penggunaan Lumpur Sidoarjo (*LUSI*) untuk bahan pengganti *fly ash* dalam penggunaan mortar geopolimer dengan konsentrasi NaOH 12 Molar serta rasio Sodium Silikat dan Sodium Hidrosikda sebesar 1,0 dapat meningkatkantekan pada *mix design* ke-II dengan penggunaan *fly ash* sebesar 75% dan pengganti Lumpur Sidoarjo (*LUSI*) sebesar 5% dengan hasil kuat tekan yang dihasilkan sebesar 15,19 MPa. Namun hasil tersebut tidak lebih baik dari uji kontrol mortar yang tidak menggunakan campuran Lumpur Sidoarjo (*LUSI*) pada *mix design* ke-I dengan campuran abu terbang (*fly ash*) sebesar 80% dan pengganti Lumpur Sidoarjo (*LUSI*) sebesar 0% menghasilkan kuat tekan sebesar 16,56 MPa. Untuk *mix design* penggunaan Lumpur Sidoarjo secara keseluruhan akan menurunkan kuat tekan *mix design III* senilai 14,60 MPa hingga *mix design* 11 sejumlah 10,05 MPa.

b. Penggunaan Lumpur Sidoarjo (*LUSI*) sebagai komposisi pengganti *fly ash* pada mortar dengan konsentrasi NaOH 12 Molar memiliki rasio Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida sebesar 1,0 dapat menghasilkan porositas dengan nilai terendah pada *mix design* ke-II sebesar 17,30% dan nilai porositas tertinggi terjadi pada *mix design* ke-XI yaitu dengan nilai sebesar 27,64%. Nilai porositas yang dihasilkan dengancampuran pengganti Lumpur Sidoarjo (*LUSI*) tidak lebih baik dari yang dihasilkan pada *mix design* ke-I sebagai kontrol tanpa menggunakan Lumpur Sidoarjo (*LUSI*) yaitu sebesar 17,11%.

c. Kadar optimum terbaik yang mendekati nilai kontrol pada penggunaan Lumpur Sidoarjo (*LUSI*) sebagai bahan pengganti *fly ash* pada mortar geopolimar adalah sebesar 5%. Peningkatan persentase penambahan Lumpur

UNESA Universitas Negeri Surabaya

Sidoarjo (*LUSI*) dapat menyebabkan penurunan kuat tekan mortar geopolimer.

2. Saran

Saran dalam penelitian yaitu sebagai berikut.

a. Untuk perawatan dan cara penyimpanan bahan penyusun mortar harus dipastikan dalam kondisi terlindungi dari udara serta kondisi lembab dan dipastikan dalam kondisi aman.
b. Tempat pengambilan lumpur Sidoarjo beralokasikan pada titik 25, dan perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada loksai pengambilan lumpur Sidoarjo pada titik lainnya.
c. Agar kualitas benda uji mortar yang digunakan tetap terjaga dan pada kualitas yang baik, menggunakan dan memakai bahan satu jenis, satu tipe dan pada satu lokasi yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

As'at Pujianto, Anila Na, Martyana Dwi dan Hendra (2013). *Kuat Tekan Beton Geopolimer Dengan Bahan Utama Bubuk Lumpur Lapindo dan Kapur. Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7)*. Universitas Sebelas Maret (UNS)- Surakarta,24-26 Oktober 2013

Anonim (1989). SNI S-04-1989-F. *Tentang Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A*. Badan Standarisasi Nasional.

Anonim (1990). SNI 03-1974-1990. *Tentang Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Badan Standarisasi Nasional.

Anonim (1991). SNI 03-2460-1991. *Tentang Spesifikasi Abu Terbang untuk Beton.* Badan Standarisasi Nasional.

Anonim (1994). SNI 15-2049-1994. *Tentang Spesifikasi .Agregat Halus untuk Pekerjaan Adukan dan Plesteran dengan Bahan Semen.* Badan Standarisasi Nasional.

Anonim (2002). SNI 03-6820-2002. *Tentang Semen Portland*. Badan Standarisasi Nasional SNI 03-6820-2002

Anonim (2002). SNI 03-6825-2002. *Tentang Metode Pengujian Kuat Tekan Mortar Semen Portland untuk Pekerjaan Sipil*. Badan Standarisasi Nasional.

Anonim (2002). SNI 03-6827-2002 *Tentang Metode Pengujian Waktu Ikat Awal Semen Portland dengan Menggunakan Alat Vicat untuk Pekerjaan Sipil*. Badan Standarisaasi Nasional.

Ardha. 2003. *Pemanfaatan Abu Terbang PLTU Suralaya untuk Castable Refractory (Penelitian Pendahuluan), Litbang Pengolahan Mineral*. Jakarta

ASTM C270–10, 2010. *Standard Specification for Mortar for Unit Masonry*.ASTM International, 100 Barr Harbour Drive, PO Box c700, West Conshohocken, PA 19428 –2959, United States.

ASTM C618–12, 2012. *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*. ASTM International, 100 Barr Harbour Drive, PO Box c700, West Conshohocken, PA 19428 –2959, United States.

ASTM Standarts. 2002. ASTM 109/C 109M-02. *Standart Test Method for Compressive Strenght of Hydraulic Cement Mortars (Using2-in or 50-mm Cube Specimens).* ASTM International, West Conshohocken, PA.

Davidovits, J (1991). *Geopolymer: Inorganic Polymeric New Materials.* Geopolymer Institut. France.

Ekaputri, J. J. (2013). *Sodium sebagai Akativator FlyAsh, Trass dan Lumpur Sidoarjo dalam Beton Geopolimer*, Jurnal Teknik Sipil, Vol. 20 No. 1 April 2013,1-10.

Hardjito, D. and Rangan, B.V. 2005. *Development and Properties Of Low-Calcium Fly Ash Based Geopolymer Concrete*. Jurnal Pondasi Vol. 13 (2): (hal: 124).

Mulyono, Tri. 2004. *Teknologi Beton.* Yogyakarta: Andi.

Sugiyono. 2012. *Metode Kuantitatif Kualitatif dan R&D.* Bandung: Alfabeta.

Sutanto, E., & Hartono, B., 2005. *Penelitian beton geopolymer dengan fly ash untuk beton struktural. TA No: 15111415/SIP/2005*. Jurusan Teknik SipilUniversitas Kristen Petra Surabaya.

Vlack, Lawrence H. Van. 1989. *Elementsof Materials Science and Engineering. Wesley*. Addison

UNESA Universitas Negeri Surabaya