

# PENGARUH PENGGUNAAN LUMPUR SIDOARJO PADA MORTAR GEOPOLIMER SEBAGAI BAHAN PENGGANTI FLY ASH DENGAN RASIO 1:3-5 PASIR TERHADAP KUAT TEKAN DAN POROSITAS PADA KONDISI SS/SH 1,5 DAN NaOH 12 MOLAR

**Ahmad Hajjar Pradipta**

Program Studi S-1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya

E-mail: [hajjarpradipta@gmail.com](mailto:hajjarpradipta@gmail.com)

**Arie Wardhono**

Program Studi S-1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya

E-mail: [ariewardhono@unesa.ac.id](mailto:ariewardhono@unesa.ac.id)

## Abstrak

Lumpur panas Sidoarjo merupakan suatu bencana yang berasal dari alam berupa luapan lumpur skala besar dimana hingga saat ini menyebabkan kerugian yang sangat besar pada penduduk sekitar. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahan lumpur Sidoarjo dapat dimanfaatkan sebagai bahan substitusi sebagian dari semen, karena memiliki kandungan  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yang tinggi. Selain itu *fly ash* atau biasa disebut abu terbang juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar pengganti semen pada mortar geopolimer karena memiliki kandungan silika ( $\text{SiO}_2$ ) yang tinggi. Oleh karena itu, pada penelitian ini menggunakan substitusi variasi lumpur Sidoarjo pada *fly ash* sebagai bahan material mortar geopolimer. Penelitian ini dilaksanakan guna mengetahui hasil kuat tekan dan porositas yang maksimum dengan lumpur Sidoarjo yang digunakan sebagai campuran memiliki prosentase sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45% dan 50%. Larutan NaOH yang digunakan sebagai aktivator yang memiliki konsentrasi 12M, *water solid ratio* sebesar 0,35. Perbandingan berat  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  terhadap berat larutan aktivator NaOH yaitu 1,5. Hasil studi menunjukkan bahwa pada pengujian nilai kuat tekan mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya prosentase lumpur Sidoarjo yang digunakan. Nilai kuat tekan tertinggi usia 28 hari pada penambahan 15% sebesar 31,21 MPa dan terjadi penurunan hingga substitusi 50% sebesar 11,69 MPa. Hasil pengujian usia 28 hari nilai porositas berbanding terbalik dengan nilai kuat tekan dengan terjadi penurunan hingga titik terendah terjadi pada substitusi 15% sebesar 9,17% dan terjadi peningkatan hingga substitusi 50% sebesar 20,38%. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa hubungan nilai kuat tekan dan porositas berbanding terbalik. Hal ini dapat menunjukkan bahwa pengaruh substitusi lumpur Sidoarjo pada mortar geopolimer akan memberikan nilai kuat tekan dan porositas yang lebih baik.

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

## Abstract

*Sidoarjo hot mud is a natural disaster in the form of a large scale mudflow which until now has caused enormous losses to the surrounding population. Several previous studies have shown that Sidoarjo mud can be used as a partial substitute for cement, because it contains high  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . In addition, fly ash or so-called fly ash can also be used as a substitute for cement in geopolimer mortars because it has a high silica ( $\text{SiO}_2$ ) content. Therefore, this study uses a mixture of various variations of Sidoarjo mud and fly ash as a material for geopolimer mortar. This research was conducted to determine the maximum compressive strength and porosity results with Sidoarjo mud used as a mixture having a percentage of 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45% and 50%. NaOH solution used as an activator has a concentration of 12M, a water solid ratio of 0.35. The ratio of the weight of  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  to the weight of the NaOH activator solution is 1.5. The results of the study show that in testing the compressive strength value has increased along with the increase in the percentage of Sidoarjo mud used. The highest compressive strength value is 28 days at the addition of 15% of 31.21 MPa and there is a decrease to 50% substitution of 11.69 MPa. The results of 28 days of age testing, the porosity value is inversely proportional to the compressive strength value with a decrease to the lowest point occurring at 15% substitution of 9.17% and an increase to 50% substitution of 20.38%. From these results it can be seen that the relationship between compressive strength and porosity is inversely proportional. This shows that the effect of Sidoarjo mud substitution on geopolimer mortar will provide better compressive strength and porosity values.*

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

## PENDAHULUAN

Indonesia pada saat ini menunjukkan terjadinya kondisi peningkatan pembangunan seiring dengan pertumbuhan jumlah angka penduduk yang terus menerus meningkat terutama di kota besar. Sampai saat ini mortar menjadi material utama penyusun beton yang sangat vital dan penting di dunia konstruksi dimana bahan penyusunnya yang terdiri dari agregat, air, dan semen.

Bahan material penyusun dari pembuatan beton dan mortar sebagai bahan pengikat ialah *Ordinary Portland Cemen (PC)*, oleh karena itu keberadaan *PC* memberikan pengaruh penting dan sangat dibutuhkan dalam dunia konstruksi. Seiring dengan tingkat penggunaannya akan secara terus menerus meningkat dari waktu ke waktu di masa depan mendatang. Namun beberapa tahun belakangan ini muncul kabar tentang gangguan yang mengakibatkan dampak buruk terhadap lingkungan akibat dari produksi Semen *Portland* dalam tingkat skala yang lebih luas. Oleh sebab itu, guna pengembangan teknologi di masa yang akan datang diperlukan bahan material lainnya pengganti bahan pengikat semen sebagai usaha untuk mengurangi atau meminimalisasi penggunaan material konstruksi berupa semen yang dapat mempengaruhi kondisi lingkungan.

Mortar Geopolimer bisa disebut juga mortar dengan bahan material utama pengikat yang tidak memakai semen sebagai bahan pengikat, tetapi memakai bahan sampingan industri yaitu *fly ash* sebagai bahan dasar pengganti pengikat yaitu semen karena memiliki tingkat kandungan silika dan kadar aluminyanya cukup tinggi. *Fly ash* yang digunakan dicampurkan dengan larutan alkali yaitu larutan Sodium Silikat dan larutan Sodium Hidroksida sebagai aktivatornya. Mortar geopolimer bisa dikatakan sebagai alternatif untuk mengatasi permasalahan yang terjadi pada *PC* karena menggunakan material sampingan industri yang lebih ramah lingkungan

*Fly Ash (FA)* merupakan bahan sampingan dari sisa batu bara yang dibakar yang berasal dari perusahaan pembangkit tenaga listrik yang mengandung silika ( $\text{SiO}_2$ ) yang tinggi dan bersifat pozzolan sehingga memenuhi syarat dan dapat digunakan sebagai campuran bahan dasar pengikat dalam beton. beton geopolimer berbahan dasar fly ash terbentuk dari reaksi polimerisasi akibat reaksi alkali-aluminosilikat yang menghasilkan material kuat berstruktur seperti zeolit (Davidovits, 2005). Hasil dari pengujian yang dilakukan oleh Januarti dan Triwulan, 2013 unsur kimia yang terdapat pada *Fly Ash* yaitu MgO sebesar 0,5%, CaO sebesar 0,7%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sebesar 2,9%,  $\text{SiO}_2$  sebesar 52,2%, dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sebesar 38,6%.

Lumpur panas Sidoarjo merupakan hasil dari kesalahan pengeboran dari industri sehingga menyebabkan luapan semburan lumpur panas di daerah Porong, Sidoarjo. Lumpur panas Sidoarjo bisa disebut sebagai bencana alam dimana hingga saat ini menyebabkan kerugian yang sangat besar pada penduduk sekitar yang terdampak. Berdasarkan penelitian BPLSL pada tahun 2009 semburan lumpur tersebut banyak memiliki kandungan material bahan vulkanis beserta gas bumi. Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Pretiwi dan Theresia pada tahun 2012 menjelaskan bahwa penambahan lumpur Sidoarjo dapat meningkatkan kualitas campuran, hasil penelitian menghasilkan bahwa lumpur Sidoarjo memiliki kandungan unsur kimia  $\text{SiO}_2$  sebesar 53% dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sebesar 18%. Pada penelitian (Antoni dkk, 2014) menjelaskan bahwa dengan mencampurkan bahan pengikat *fly ash* dengan lumpur Sidoarjo sebagai bahan material dasar geopolimer, dihasilkan mortar geopolimer mutu tinggi dengan kuat tekan optimum 64 MPa pada umur 28 hari yang telah memenuhi syarat mortar geopolimer mutu tinggi..

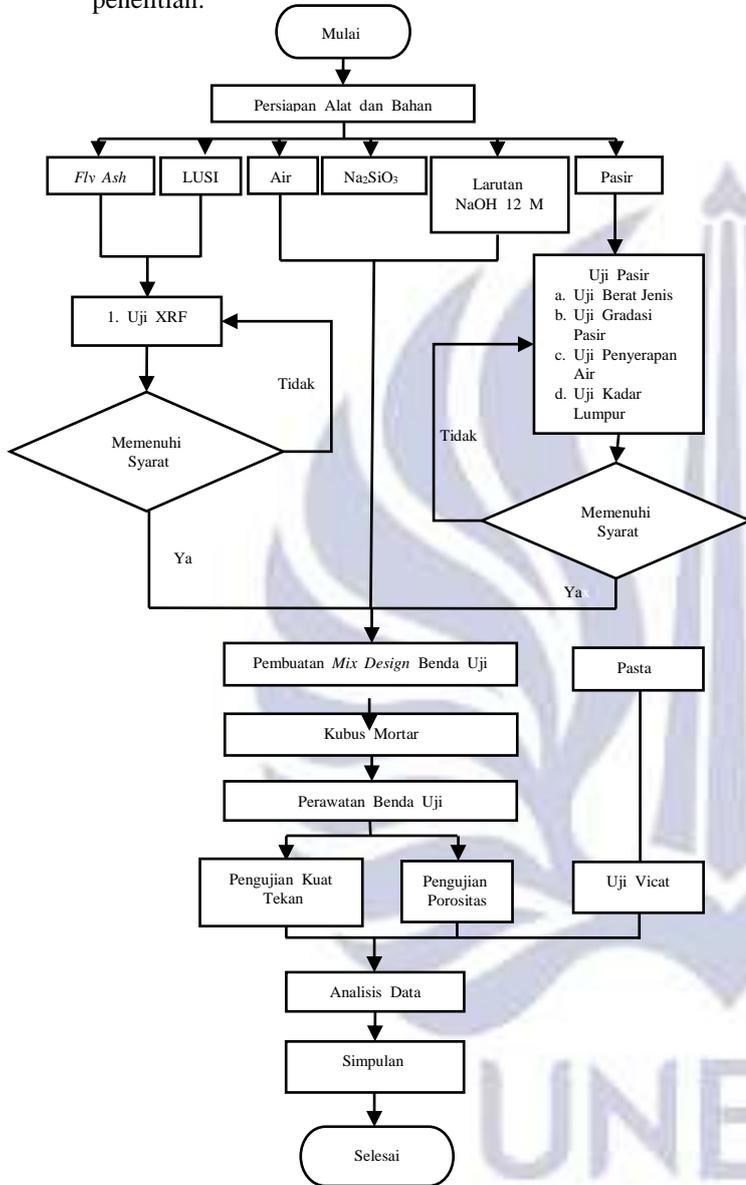
Bahan alternatif yang telah ditinjau tersebut sebagai pengganti semen tadi harus dilakukan pencampuran dengan larutan alkali yaitu Sodium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan Sodium Hidroksida (NaOH). Sodium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam fly ash sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat, sedangkan sodium silikat mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi (Fitriani, 2010). Pada penelitian (Januarti dan Triwulan, 2013) tentang sodium sebagai larutan aktivator pada *Fly Ash*, bahan Trass dan Lumpur Sidoarjo dalam beton geopolimer dimana bahan lumpur Sidoarjo yang disubstitusi pada *Fly Ash*. Hasil studi menunjukkan bahwa kuat tekan beton sangat dipengaruhi oleh konsentrasi NaOH, perbandingan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  terhadap larutan NaOH dan material penyusun dasar bindernya. Berdasarkan kondisi tersebut dilakukan penelitian mortar geopolimer dengan Sodium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan Sodium Hidroksida (NaOH) sebagai aktivatornya dan lumpur Sidoarjo sebagai bahan substitusi *fly Ash* pada mortar geopolimer.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode uji laboratorium (*experimental*) pada proses pengumpulan data. Penelitian ini dilakukan secara bertahap, karena proses persiapan hingga pengujian dilakukan secara langsung di laboratorium Teknik Sipil Unesa dan menggunakan acuan penelitian-penelitian sebelumnya sebagai kajian pustaka, kemudian dikembangkan untuk penelitian. Perbandingan penelitian ini rasio larutan SS/SH 12M sebesar 1,5 dan W/S sebesar 0,35. Perbandingan antara  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan NaOH bisa diambil antara 0.4 sampai 2.5 (Hardjito et al., 2004).

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai rasio optimum dari penambahan lumpur Sidoarjo terhadap *fly ash* pada mortar geopolimer, Lumpur Sidoarjo (LUSI), air, dan larutan alkali sebagai activator terhadap kuat tekan dan porositas.

Berikut merupakan tahapan proses pelaksanaan penelitian:



**Gambar 1.** Bagan Alur Penelitian

- Persiapan alat dan bahan**  
Alat dan bahan dipersiapkan untuk memperlancar dalam proses pembuatan mortar *geopolymer*.
- Pengujian Bahan**  
Bahan-bahan dasar mortar geopolimer yang akan diuji untuk mengetahui karakteristik bahan yaitu *Fly Ash*, Lumpur Sidoarjo dan Pasir.
- Pembuatan *Mix Design* Benda Uji**  
Perhitungan *mix design* untuk mendapatkan rasio dan kebutuhan bahan yang direncanakan terlebih dahulu sebelum proses ke tahap membuat benda uji.

**Tabel 1** Rencana Kebutuhan Bahan *Mix Design*(Gram)

Mix Design Kondisi SS/SH 12 Molar = 1,5 dan W/S = 0,35								
Mix	PC	Pasir	Fly Ash	Lusi	Kapur	Air	Sodium Silikat	NaOH 12M
1	1407,5	4944	0	0	0	454,2	0	0
2	0	4847,2	1269,1	0	151,8	45,9	439,3	259,1
3	0	4847,2	1189,8	48,5	151,8	45,9	439,3	259,1
4	0	4847,2	1110,5	97,1	151,8	45,9	439,3	259,1
5	0	4847,2	1031,1	145,6	151,8	45,9	439,3	259,1
6	0	4847,2	951,8	194,2	151,8	45,9	439,3	259,1
7	0	4847,2	872,5	242,7	151,8	45,9	439,3	259,1
8	0	4847,2	793,2	291,3	151,8	45,9	439,3	259,1
9	0	4847,2	713,9	339,8	151,8	45,9	439,3	259,1
10	0	4847,2	634,5	388,4	151,8	45,9	439,3	259,1
11	0	4847,2	555,2	436,9	151,8	45,9	439,3	259,1
12	0	4847,2	475,9	485,5	151,8	45,9	439,3	259,1

#### 4. Curing

*Curing* atau perawatan yang dilaksanakan dengan meletakkan benda uji pada kondisi suhu ruang dan tertutup dari cahaya matahari sampai waktu benda uji siap diuji sesuai rencana.

#### 5. Pengujian Benda Uji

Variabel pengujian dari penelitian ini yaitu uji kuat tekan (SNI 03-6825), uji porositas dan uji vicat.

#### 6. Analisis Data

Proses analisis pada data ini dilaksanakan dengan menyusun data pembahasan hasil penelitian dan dirancang berbentuk tabel dan grafis.

#### 7. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran dapat diambil dari analisa hasil pembahasan data yang diperoleh dan disusun dari penelitian guna penelitian lebih lanjut.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 1. Pengujian Material

Pada penelitian ini dilakukan pengujian material penyusun mortar geopolimer yaitu: karakteristik Pasir unsur senyawa *PC*, *Fly Ash*, dan LUSI.

##### a. Pengujian Karakteristik Agregat Halus

**Tabel 2** Data Pengujian Agregat Halus

No	Pengujian	Pasir Lumajang	SNI 1990
1	Berat Jenis	2,75 gram/cm <sup>3</sup>	Min 2,5gr/cm <sup>3</sup>
2	Penyerapan Air	1,63%	< 5%
3	Analisa Ayakan	Lapangan=Zona 2	FM=2,50-3,80
		FM=2,71	
		Mortar=Zona 4	
		FM=2,0	
4	Berat Volume	1,76 gram/cm <sup>3</sup>	1,5-2,0 gr/cm <sup>3</sup>
5	Kadar Lumpur	0,21%	< 5%

Agregat halus yang dipakai pada penelitian ini adalah pasir lumajang dalam keadaan kering permukaan (SSD). Dari hasil proses pengujian, dapat disimpulkan bahwa dari pasir yang diuji tersebut memenuhi standart sebagai agregat halus.

b. Pengujian *Portland Cement, Fly Ash* dan LUSI

Proses pengujian komponen kimia bahan pengikat *portland cement, fly ash type C* dan lumpur Sidoarjo (LUSI) untuk mengetahui kandungan kimia. Bahan material lumpur Sidoarjo sebelum dilakukan pengujian perlu di oven terlebih dahulu selama 2 jam pada suhu 110° C lalu dihaluskan hingga lolos ayakan no. 200. Proses pengujian bahan dilakukan di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju FMIPA Universitas Negeri Malang (UM) dengan metode pengujian *X-Ray Fluorecence (XRF)*

**Tabel 3** Data Hasil Pengujian Unsur Kimia

No	PC		FA		LUSI	
	Unsur Kimia	Unit (%)	Unsur Kimia	Unit (%)	Unsur Kimia	Unit (%)
1	Ca	77,36	Ca	24,1	Ca	7,49
2	Si	7,21	Si	18,7	Si	36,5
3	Fe	5,28	Fe	42,4	Fe	32,7
4	In	2,7	Ni	0,04	Cr	0,079
5	Mo	2,1	Mo	2,2	Br	0,16
6	Al	1,6	Al	6	Al	12
7	Sr	1,2	Sr	1	Sr	0,79
8	K	0,72	K	1,52	K	3,67
9	S	0,44	Hg	0,3	S	0,3
10	Yb	0,34	Yb	0,06	Mo	3
11	Ti	0,33	Ti	13,4	Ti	2,01
12	Ba	0,1	Ba	0,67	V	0,12
13	Re	0,13	Re	0,2	Re	0,2
14	Mn	0,11	Mn	0,66	Mn	0,46
15	Zr	0,07	Zn	0,02	Zn	0,07
16	Cr	0,061	Cr	0,094	Cu	0,13
17	Eu	0,06	Eu	0,5	Eu	0,42
18	Cu	0,055	Cu	0,076		
19	V	0,01	V	0,056		

Bedasarkan hasil pengujian komponen kimia tersebut dapat dilihat bahwa kandungan unsur kimia dari *fly ash* sesuai dengan *ACI Committee 232 Abu terbang C* umumnya mengandung lebih dari 20 persen bahan yang dilaporkan sebagai CaO; oleh karena itu jumlah SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mungkin jauh lebih kecil dari Kelas 70 persen batas minimum F.dan lumpur

Sidoarjo memiliki unsur Si dan Al dan yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai bahan dasar pengikat mortar geopolimer.

2. Pengujian Hasil Tes Kuat Tekan

Pelaksanaan Pengujian kuat tekan mortar pada penelitian ini berfungsi untuk mengetahui batas beban maksimum yang dapat diterima oleh benda uji. Penelitian ini yaitu berjumlah 12 *mix design* dengan 3 buah benda uji pada setiap pengujian dan usia yang direncanakan pada penelitian ini yaitu 7, 14 dan 28 hari.

**Tabel 4** Data Hasil Pengujian Kuat Tekan

Mix	Usia	Kuat Tekan (Mpa)	Mix	Usia	Kuat Tekan (Mpa)
I	7	9,81	VII	7	18,5
	14	9,84		14	19,05
	28	10,21		28	22,66
II	7	21,38	VIII	7	15,67
	14	22,86		14	16,18
	28	24,6		28	18,37
III	7	22,8	IX	7	13,62
	14	24,3		14	14,52
	28	26,22		28	16,21
IV	7	25,9	X	7	11,42
	14	27,43		14	13,27
	28	29,11		28	15,62
V	7	26,7	XI	7	10,57
	14	30,58		14	11,75
	28	31,21		28	13,86
VI	7	22,25	XII	7	8,75
	14	24,85		14	10,44
	28	24,67		28	11,63



**Gambar 2.** Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar Geopolimer 12M

Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa hasil kuat tekan usia 7, 14 dan 28 hari terjadi kenaikan secara konsisten baik dari usia ataupun dari variasi substitusi LUSI. *Mix design* I atau kontrol dengan hasil kuat tekan terendah yaitu 9,81MPa, 9,84MPa dan 10,21MPa hingga *mix design* V dengan hasil kuat tekan rata-rata tertinggi sebesar 26,7MPa, 30,58MPa dan 31,21MPa dan terjadi penurunan efektivitas substitusi LUSI setelah *mix design* V hingga *mix design* XII dengan kuat tekan sebesar 8,75MPa, 10,44MPa dan 11,63MPa dari rasio substitusi LUSI 50% terhadap *fly ash*. Hal ini dikarenakan terjadinya peningkatan Si, Al dan penurunan Ca seiring dengan bertambahnya substitusi LUSI terhadap *fly ash* yang

menghasilkan kuat tekan pada benda uji semakin meningkat seperti yang terlihat dari hasil pengujian. Namun seiring peningkatan Si yang tinggi dapat mengakibatkan Si tidak bereaksi dengan baik. Berdasarkan dari hasil pengujian reaksi optimum yang terjadi pada *mix design* V dan terjadi penurunan kondisi reaksi hingga *mix design* XII seperti yang ditampilkan pada data hasil pengujian.

Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Arie Wardhono dkk tahun 2017 tentang *The effect of slag addition on strength development of Class C fly ash geopolymer concrete at normal temperature* yang menyatakan Penambahan terak pada fly ash kelas F dengan silikat tinggi (Si) dan kandungan Ca yang rendah dapat memberikan kekuatan tambahan dengan reaksi polimerik beton geopolimer melibatkan Si dan *aluminat* (Al) namun kandungan Si yang semakin tinggi pada *fly ash* cenderung memiliki Si yang tidak bereaksi.

### 3. Pengujian Hasil Porositas

Pada penelitian ini pengujian porositas dilakukan guna mengetahui kadar rongga pori yang terdapat pada benda uji yang dibuat. Rancangan *Mix design* yang direncanakan berjumlah 12 *mix design* dengan jumlah 2 buah benda uji yang dibuat pada setiap usia rencana benda yang diuji.

**Tabel 5** Hasil Pengujian Porositas

Mix	Usia	Porositas	Mix	Usia	Porositas
I	7	26,49%	VII	7	19,45%
	14	24,05%		14	16,20%
	28	23,84%		28	15,27%
II	7	19,56%	VIII	7	20,40%
	14	15,82%		14	17,19%
	28	14,68%		28	15,87%
III	7	17,72%	IX	7	21,27%
	14	14,21%		14	18,37%
	28	14,17%		28	16,48%
IV	7	13,54%	X	7	21,76%
	14	13,06%		14	19,50%
	28	12,54%		28	18,79%
V	7	12,59%	XI	7	22,43%
	14	10,06%		14	20,06%
	28	9,17%		28	19,79%
VI	7	18,27%	XII	7	24,13%
	14	14,34%		14	21,54%
	28	13,10%		28	20,38%

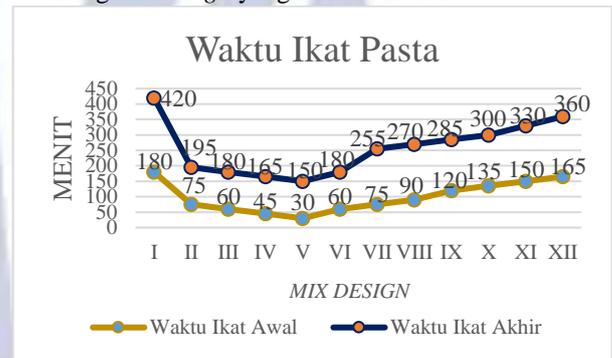


**Gambar 3.** Grafik Hasil Pengujian Porositas

Berdasarkan hasil grafik diatas menunjukkan sebaliknya dari hasil uji kuat tekan. Prosentase porositas tertinggi usia 7, 14 dan 28 hari terjadi pada *mix design* 1 yaitu sebesar 26,49%, 24,05% dan 23,84% dengan rasio 100% semen substitusi LUSI dan *fly ash* 0%. Terjadi penurunan prosentase rongga pori hingga yang terendah yaitu pada *mix design* 5 usia 7, 14 dan 28 hari dengan rasio substitusi LUSI terhadap *fly ash* 15% sebesar 12,59%, 10,06% dan 9,17% dan meningkat kembali prosentase porositas hingga *mix design* 12 usia 7,14 dan 28 sebesar 24,13%, 21,54% dan 20,38%.

### 4. Pengujian Hasil Vicat

Pengujian waktu ikat bermaksud untuk mengetahui durasi pengikatan yang terjadi pada sampel benda uji yang dilakukan pada suhu ruangan di laboratorium teknologi beton Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya. Sampel benda uji yang digunakan berjumlah 1 buah benda uji berupa adonan pasta pada masing-masing *mix design* yang direncanakan.

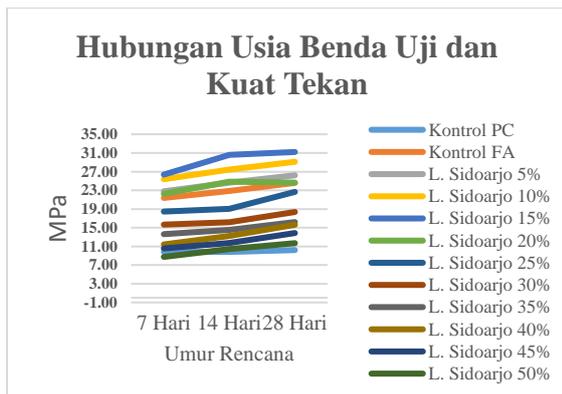


**Gambar 4.** Grafik Hasil Uji Vicat Mortar Geopolimer 12M

Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa pengujian yang dilakukan di Laboratorium. Hasil waktu ikat awal dari setiap *mix design* pasta mortar geopolimer lebih cepat dari pada waktu ikat awal dan akhir pasta semen, ini menunjukkan efektivitas dari substitusi LUSI terhadap *fly ash* dimana waktu ikat awal yang terjadi berbeda-beda tiap *mix design* dimana waktu ikat awal yang tercepat terjadi pada *mix design* V. Untuk waktu ikat akhir pada pasta mortar geopolimer pada *mix design* V memiliki waktu pengikatan akhir yang lebih cepat dibandingkan dengan *mix design* yang lain. Hal ini menunjukkan rasio substitusi LUSI terhadap *fly ash* sangat berpengaruh terhadap durasi pengikatan benda uji.

### 5. Hubungan Usia Terhadap Kuat Tekan

Variabel pengujian Penelitian ini memakai uji kuat tekan sesuai rencana usia 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Pembahasan ini dilakukan guna untuk mengetahui pengaruh usia terhadap kuat tekan.



**Gambar 5.** Hubungan Usia terhadap Kuat Tekan

Hasil perbandingan kuat tekan dan usia benda uji keseluruhan dari setiap mix design yang ditinjau dari usia rencana mendapatkan hasil yang berbeda-beda. Data yang dihasilkan menunjukkan bahwa nilai kuat tekan yang dihasilkan mix design yang diberikan campuran LUSI mix design I atau mix design kontrol tanpa LUSI dan fly ash hingga mix design XII mengalami peningkatan terhitung usia sesuai dengan usia yang direncanakan pada penelitian ini yaitu usia 7, 14 dan 28 hari. Dari hasil data grafik tersebut menunjukkan semakin bertambahnya usia hasil kuat tekan benda uji menjadi meningkat.

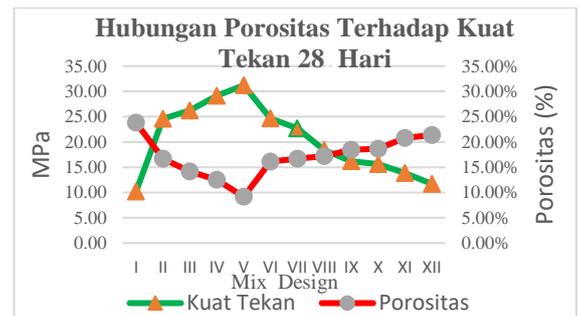
Hasil tersebut sesuai dengan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Prasetyo dkk pada tahun 2013 tentang karakteristik mortar dan beton geopolimer berbahan dasar lumpur Sidoarjo menjelaskan bahwa kuat tekan mengalami peningkatan seiring bertambahnya usia benda uji sedangkan untuk *shrinkage* tidak bertambah hingga 16 hari pengujian.

6. Hubungan Porositas Terhadap Kuat Tekan

Hubungan porositas terhadap kuat tekan dilakukan guna mengetahui pengaruh tingkat kadar pori yang tertutup terhadap hasil pengujian kekuatan tekan yang dapat ditahan dari pada benda uji yang ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik berikut.

**Tabel 6** Hubungan Porositas Terhadap Kuat Tekan

Mix	Usia	Kuat Tekan	Porositas
I	28	10,21	23,84%
II	28	24,60	16,68%
III	28	26,22	14,17%
IV	28	29,11	12,54%
V	28	31,21	9,7%
VI	28	24,67	16,10%
VII	28	22,66	16,67%
VIII	28	18,37	17,22%
IX	28	16,21	18,48%
X	28	15,62	18,67%
XI	28	13,86	20,79%
XII	28	11,69	21,38%



**Gambar 6.** Hubungan Porositas Terhadap Kuat Tekan Usia 28 Hari

Dari hasil pengamatan hubungan uji porositas terhadap kuat tekan usia 28 hari. Dari hasil tersebut memperlihatkan *mix design* I sampai XII mengalami peningkatan dari *mix design* I tanpa substitusi apapun dan bertahan pada angka maksimal pada *mix design* V sebesar dan terjadi penurunan nilai kuat tekan hingga *mix design* XII. Sedangkan peningkatan nilai porositas dimulai dari *mix design* VI hingga *mix design* XII. Penurunan nilai porositas terjadi pada mix design I hingga mix design V yang dilanjutkan peningkatan nilai porositas hingga mix design XII Pada *mix design* yang lain menunjukkan hasil kuat tekan yang bertolak belakang atau berlawanan terhadap hasil uji porositas.

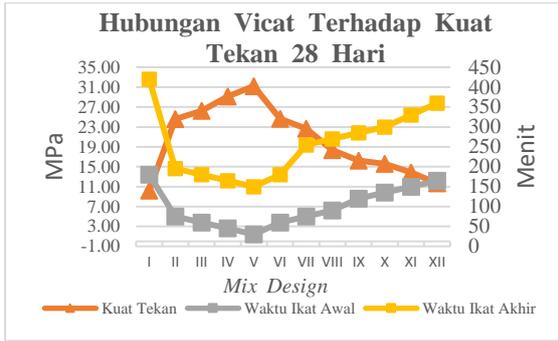
Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian terdahulu oleh Januarti Jaya Ekaputri dan Triwulan pada tahun 2013 yang menyatakan berdasarkan hasil tes porositas, dapat disimpulkan bahwa beton yang memiliki prosentase pori tertutup optimum mengindikasikan perilaku mikrostruktur yang baik. Hasil tes porositas ini berhubungan erat dengan hasil tes tekan dan belah. Semakin banyak jumlah pori tertutup dalam beton, dan semakin sedikit jumlah pori terbukanya, maka semakin tinggi kuat tekan yang dihasilkan.

7. Hubungan Vicat Terhadap Kuat Tekan

Pengamatan dari hubungan *vicat* terhadap kuat tekan pada kondisi ini untuk memperoleh durasi waktu pengikatan yang akan terjadi pada benda uji mortar geopolimer. Hasil *vicat* setiap *mix design* yang terjadi akan berbeda sesuai dengan rasio substitusi tiap *mix design*.

**Tabel 7** Hubungan Vicat Terhadap Kuat Tekan

Mix	Usia	Kuat Tekan	Waktu Ikat Awal	Waktu Ikat Akhir
I	28	10,21	180	420
II	28	24,60	75	210
III	28	26,22	60	180
IV	28	29,11	45	165
V	28	31,21	30	150
VI	28	24,67	60	180
VII	28	22,66	75	255
VIII	28	18,37	90	270
IX	28	16,21	120	285
X	28	15,62	135	300
XI	28	13,86	150	330
XII	28	11,69	165	360



**Gambar 7.** Hubungan *Vicat* Terhadap Kuat Tekan

hubungan waktu ikat pasta dengan kuat tekan mortar geopolimer menunjukkan pengikatan waktu ikat pasta dipengaruhi oleh variasi dari komposisi bahan yang digunakan. *Mix design* I (kontrol semen) yaitu tanpa adanya substitusi lumpur Sidoarjo dan *fly ash* mengalami durasi waktu pengikatan awal dan akhir yang lebih lama dan mengalami penurunan tercepat pada *mix design* V dengan hasil kuat tekan tertinggi sebesar 31,21 hingga *mix design* XII mengalami peningkatan durasi waktu pengikatan awal dan akhir pasta mortar geopolimer sebesar 11,69 MPa yang menggunakan variasi lumpur Sidoarjo sebesar 50% dikarenakan berkurangnya presentase *fly ash* dan bertambah besarnya presentase dari lumpur Sidoarjo.

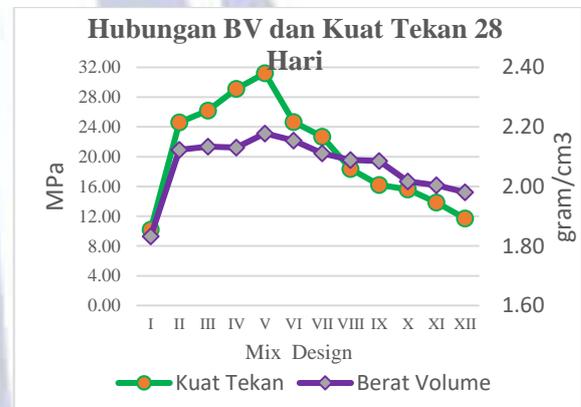
Hal ini dapat dikatakan bahwa pada *mix design* V terjadi reaksi polimer yang baik sehingga waktu pengikatan lebih cepat. penurunan kondisi setelah *mix design* V terjadi dengan bertambahnya presentase lumpur Sidoarjo dapat menyebabkan hasil waktu ikat pasta yang lebih lama. Peningkatan kuat tekan mortar 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 mempengaruhi semakin lamanya durasi waktu ikat pasta mortar geopolimer.

8. Hubungan Berat Volume Terhadap Kuat Tekan

Analisa keterkaitan berat volume terhadap kuat tekan yaitu untuk mengetahui pengaruh dari berat volume mortar geopolimer terhadap kuat tekan yang dihasilkan. Berat volume mortar juga dipengaruhi oleh presentase bahan yang digunakan karena setiap campuran memiliki proporsi yang berbeda-beda, serta proses pencampuran di lapangan berpengaruh. Besarnya berat mortar menunjukkan kepadatan dari benda uji tersebut dimana sangat berpengaruh terhadap nilai kuat tekan yang dihasilkan.

**Tabel 8** Hubungan Berat Volume Terhadap Kuat Tekan

Mix	Usia	Kuat Tekan	Berat Volume
I	28	10,21	1,83
II	28	24,60	2,12
III	28	26,22	2,13
IV	28	29,11	2,13
V	28	31,21	2,18
VI	28	24,67	2,15
VII	28	22,66	2,11
VIII	28	18,37	2,09
IX	28	16,21	2,09
X	28	15,62	2,02
XI	28	13,86	2,00
XII	28	11,69	1,98



**Gambar 8.** Hubungan Berat Volume Terhadap Kuat Tekan

Hasil yang didapatkan berdasarkan Gambar tentang pengaruh hubungan berat volume terhadap kuat tekan mortar usia 28 hari menunjukkan bahwa kuat tekan terbesar pada *mix design* V dengan penggunaan lumpur Sidoarjo sebesar 15% yaitu menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 31,21MPa dengan hasil berat volume sebesar 2,18gram/cm<sup>3</sup>. Sedangkan pada *mix design* terendah terjadi pada *mix design* I(kontrol semen) tanpa bahan campuran LUSI dan *fly ash* dengan kuat tekan sebesar 10,21MPa dengan hasil dari berat volume yang didapat sebesar 1,83gram/cm<sup>3</sup>.

Berat volume yang didapatkan dari masing-masing *mix design* benda uji mengalami peningkatan hingga *mix design* V dan terjadi penurunan berat seiring bertambahnya LUSI hingga *mix design* XII, namun tidak memberikan dampak perbedaan yang begitu besar pada berat tiap benda uji. Ini menunjukkan berat benda uji memiliki tingkat kepadatan yang berbeda-beda tiap *mix design*. Sehingga dapat dikatakan bahwa nilai berat per-volume mortar yang besar dapat berpengaruh terhadap besarnya kuat tekan yang dihasilkan dari mortar geopolimer.

## PENUTUP

### Simpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil dan pembahasan pada penelitian ini antara lain:

1. Hasil substitusi LUSI terhadap *fly ash* pada mortar geopolimer memberikan pengaruh yang baik terhadap kuat tekan usia 28 hari dengan nilai kuat tekan optimum didapatkan pada *mix design V* dengan rasio substitusi Lumpur Sidoarjo (LUSI) terhadap *fly ash* sebesar 15% dan lebih besar dari *mix design I* atau kontrol tanpa semen sebagai yang terendah yaitu 10,21MPa. Hasil kuat tekan diperoleh menurun setelah *mix design V* hingga *mix design XII* yaitu sebesar 11,69MPa.
2. Kadar pori dari variasi substitusi LUSI pada *fly ash* memberikan pengaruh porositas tertutup yang baik dengan porositas terendah pada *mix design V* dengan substitusi LUSI sebesar 15%. Hal ini ditunjukkan bahwa dari hasil uji kuat tekan, *mix design V* dengan substitusi LUSI sebesar 15% mencapai nilai kuat tekan tertinggi dan nilai porositas terkecil sebesar 9,17%.

### Saran

Saran yang dapat didapat dari penelitian yang telah dilaksanakan untuk penelitian mortar geopolimer selanjutnya yaitu:

1. Memperhitungkan waktu pencampuran cairan alkalin aktivator (sodium hidroksida dan sodium silikat), karena jika pencampuran yang terlalu lama akan menyebabkan *setting-time* mortar segar menjadi lebih cepat sehingga sulit untuk dicetak.
2. Memperhatikan penggunaan pelumas untuk bekisting benda uji, karena sangat mempengaruhi volume benda uji, penggunaan pelumas yang salah dapat menyebabkan lengketnya dan kerusakan benda uji pada saat pembukaan bekisting.
3. Proses pengadukan adonan mortar, harus menyesuaikan waktu supaya campuran tidak terjadi *setting* dan diharuskan supaya adonan mortar telah tercampur secara merata guna menghindari kondisi keropos yang dapat mengakibatkan rongga pori yang besar pada mortar geopolimer.

## DAFTAR PUSTAKA

ACI 232.2R-03 (2003). *Use of Fly Ash in Concrete. Reported by ACI Committee 232, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan 48333-9094.*

ASTM Standarts. 2002. ASTM 109/C 109M-02. *Standart Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in or 50-mm Cube Specimens). ASTM International, West Conshohocken, PA.*

Badan Standarisasi Nasional . (1990). *SNI 03-1970-1990. Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus.* Bandung: Badan Standarisasi Nasional.

Badan Standarisasi Nasional.(1990). *SNI 03-1968-1990. Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halusi dan Kasar.* Bandung: Badan Standarisasi Nasional.

Badan Standarisasi Nasional . (2002). *SNI 03-6825-2002. Metode Pengujian Kuat Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil.* Bandung: Badan Standarisasi Nasional.

Davidovits, J., 2005, *Green Chemistry and Sustainable Development Solutions*, Perancis: *Geopolymer Institute*.

Ekaputri, Januarti J, dan Triwulan. (2013). "*Sodium sebagai Aktivator Fly Ash, Trass dan Lumpur Sidoarjo dalam Beton Geopolimer*" Surabaya: Intitut Teknologi Sepuluh Nopember.

Fitriani, D.R., 2010, *Pengaruh Modulus Alkali dan Kadar Aktivator Terhadap Kuat Tekan Fly Ash-Based Geopolymer Mortar*, Solo: Skripsi Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.

Hardjito, D., Wallah S.E and Rangan, B.V, 2004, *Factor Influencing The Compressive Strength of Fly Ash Based Geopolymer Concrete, Civil Engineering Dimension. 6. Issue: 2, hal. 88.*

Jodjana Aleksander, Alvin Cahyadi, Antoni dan Djwantoro Hardjito (2014) "*Pemanfaatan Campuran Lumpur Sidoarjo dan Fly Ash Dalam Pembuatan Mortar Geopolimer Mutu Tinggi*". Surabaya: Universitas Kristen Petra.

Prasetio, Permana P. ,Gary Kartadinata, Djwantoro Hardjito, dan Antoni. (2014). "*Karakteristik Mortar dan Beton Geopolimer Berbahan Dasar Lumpur Sidoarjo*". Surabaya: Universitas Kristen Petra.

Wardhono, Arie, David W. Law, Sutikno dan Hasan Dani. (2017). "*The effect of slag addition on strength development of Class C fly ash geopolymer concrete at normal temperature*". Melbourne, Australia : RMIT University.