

PENGGUNAAN LUMPUR SIDOARJO SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI ABU TERBANG DENGAN RASIO 1:4-6 PASIR PADA *GEOPOLYMER MORTAR* DENGAN KONDISI SS/SH 1,5 DAN NaOH 12 MOLAR DITINJAU DARI KUAT TEKAN DAN POROSITAS

Helmy Prayoga

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UNESA
Email: helmyprayoga@ymail.com

Arie Wardhono

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UNESA
Email: ariewardhono@unesa.ac.id

ABSTRAK

Pesatnya pembangunan dalam era ini mendorong kebutuhan akan material bahan bangunan seperti semen semakin meningkat. Diprediksi bahwa pembuatan *Ordinary Portland Cement* (OPC) akan naik dari 1,5 Milyar ton pada tahun 1995 meningkat menjadi 2,2 Milyar ton pada tahun 2010. Maka dari itu, perlu dilakukan riset sebagai upaya untuk mengurangi penggunaan OPC. Salah satunya adalah pembuatan mortar geopolimer dengan bahan dasar Lumpur Sidoarjo dan Abu terbang dengan aktivator hasil perpaduan antara sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat (Na_2SiO_3).

Penelitian dilaksanakan dengan uji laboratorium. Untuk *mix design*, ada 12 variasi karena adanya peningkatan substitusi sampai dengan 50% yang didapat dari penelitian sebelumnya (Dimas, 2019) dengan 8 variasi *mix design* dengan substitusi tertinggi sebesar 12,5%. Kemudian variasi larutan aktivator dengan molaritas sebesar 12 Molar dengan rasio SS/SH sebesar 1,5 dan persentase *water solid* sebesar 0,40. Hasil penelitian didapatkan dari eksperimen kubus mortar yang diuji dengan uji kuat tekan dan uji porositas saat benda uji sudah berusia 7, 14 dan 28 hari.

Hasil pengujian menunjukkan kadar optimum penggunaan Lumpur Sidoarjo sebagai bahan pengganti Abu Terbang terhadap mortar geopolimer dengan kondisi perbandingan 1:4-6 pasir; SS/SH 1,5 dan NaOH 12 Molar adalah sebanyak 0% melainkan tidak menggunakan Lumpur Sidoarjo sebagai bahan pengganti. Hal ini disebabkan karena pada hasil riset, kuat tekan dengan nilai tertinggi terdapat pada *mix design* 2 dengan presentase kapur 20% dan *fly ash* 80% yaitu kuat tekan dengan nilai sebesar 28,96 MPa; juga dengan kadar porositas terkecil dengan nilai sebesar 14,31%. Adanya kenaikan substitusi abu terbang dengan Lumpur Sidoarjo pada mortar geopolimer kondisi perbandingan 1:4-6 pasir; SS/SH 1,5 dan NaOH 12 Molar mengakibatkan menurunnya kuat tekan mortar.

Kata Kunci: Geopolimer, Mortar, Lumpur Sidoarjo, Abu Terbang, Porositas, Kuat Tekan

ABSTRACT

The rapid development of infrastructure in this era pushed the need for building materials such as cement to increase. It is estimated that Ordinary Portland Cement (OPC) production will continue to increase from 1.5 billion tons in 1995 to 2.2 billion tons in 2010. Therefore, research need to be completed to minimize the usage of OPC. The very oone of them is the manufacture of fly ash and Sidoarjo mud geopolimer mortars with sodium silicate (Na_2SiO_3) and sodium hydroxide (NaOH) activators.

The research was conducted by laboratory tests. There are 12 variations of mix design, due to an increase in substitution up to 50% obtained from previous researches (Dimas, 2019) with 8 variations of mix design with the highest percentage of substitution about 12.5%. Then the variation of the activator liquid with a molarity of 12 Molar with an SS/SH ratio of 1.5 and percentage of water solid is about 0.40. The experiment results were obtained from a tested mortar cube with compressive strength and porosity tests when the samples were 7, 14 and 28 days old.

The experiment results show that the optimum usage of Sidoarjo mud as a substitution material fly ash against geopolimer mortar with a ratio of 1:4-6 sand conditions; SS / SH 1.5 and 12 Molar NaOH is 0% but with out usage of Sidoarjo mud as replacement material. This due to the outcome of the research, the value of highest compressive strength is found in mix desiign 2 with a percentage of 20% lime and 80% fly ash with compressiive strength of 28.96 MPa, and with the lowest value of porosity is about 14.31%. The increase in fly ash substitution usage of Sidoarjo mud on geopolimer mortar with 1:4-6 sand conditions; SS / SH 1.5 and 12 Molar NaOH resulted in decreased compressive strength of mortar.

Keywords: Geopolymer, Mortar, Sidoarjo mud, Fly Ash, Porosity, Compressive strength

PENDAHULUAN

Pesatnya pembangunan dalam era ini mendorong kebutuhan akan material bahan bangunan seperti semen semakin meningkat. Diprediksi bahwa pembuatan *Ordinary Portland Cement* (OPC) akan naik dari 1,5 Milyar ton pada 1995 meningkat menjadi 2,2 Milyar ton pada 2010. OPC berkontribusi sebesar 7% sampai 10% dari total karbondioksida ke seluruh dunia, dan didapat data bahwa setiap 1 ton semen diproduksi akan mengeluarkan 1 ton karbondioksida ke atmosfer. Pengeluaran karbondioksida yang berlebihan berpengaruh besar terhadap *global warming*.

Mortar diartikan sebagai campuran material yang terdiri dari pasir (agregat halus), bahan perekat (tanah liat, kapur, semen portland) dan air dengan komposisi tertentu (SNI 03-6825-2002). Geopolimer sendiri merupakan gabungan dari geo yang berarti bumi dan polimerisasi yang merupakan proses pengikatan dari beberapa senyawa kimia. Jadi pada dasarnya geopolimer dapat diartikan proses polimerisasi dengan memanfaatkan bahan yang ramah lingkungan.

Ide dan riset untuk mengurangi atau mengganti semen sebagai material konstruksi terus dilakukan. Beberapa ilmuwan teknologi bahan sudah melakukan riset pembuatan bahan konstruksi dengan bantuan geopolimerisasi. Selain itu, bahan mineral alami yang mengandung senyawa silikat dioksida (SiO_2) yang tinggi dan bisa digunakan untuk substitusi semen adalah *fly ash*. *Fly ash* atau Abu Terbang merupakan limbah hasil pembakaran batu bara dari perindustrian dan PLTU, yang memiliki kandungan silikat yang tinggi. Namun bahan tersebut belum kemampuan mengikat yang cukup. Dengan kehadiran aktivator seperti sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat (Na_2SiO_3), oksida silika yang terdapat dalam benda tersebut dapat menimbulkan reaksi kimia dan terjadilah reaksi polimerisasi. Dalam campurannya, silika dan alumina bereaksi dengan larutan alkali sebagai aktivator. Maka dari itu, dibutuhkan campuran aktivator yang benar supaya pasta geopolimer dapat terbentuk sebagai pengikat agregat menjadi beton geopolimer.

Lumpur Sidoarjo merupakan limbah hasil dari bencana luapan lumpur yang berlokasi di daerah pengeboran migas PT. Lapindo Brantas, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur, sejak tahun 2006. Para peneliti maupun kalangan akademisi terus mengembangkan penelitian terkait limbah Lumpur Sidoarjo yang berpotensi besar untuk digunakan dan dimanfaatkan untuk riset. Satu contohnya yaitu sebagai pengganti semen.

Beberapa riset yang sudah dilaksanakan menunjukkan jika Lusi (Lumpur Sidoarjo) mengandung SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 , yang kurang lebih sebesar 53%, 18%, dan 6%

(Aristianto, 2006). Dengan susunan senyawa seperti ini, Lumpur Sidoarjo mempunyai potensi untuk dipakai untuk bahan substitusi sebagian OPC, yang disyaratkan untuk mengandung senyawa SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 minimum 70%. Sebelum adanya riset mengenai bahan Lusi yang bisa diaplikasikan sebagai bahan dasar mortar geopolimer muncul, Abu terbang sudah lebih dulu dikenal sebagai bahan dasar untuk pembuatan mortar geopolimer.

Maka dari itu dilakukannya pencampuran Lumpur Sidoarjo dengan Abu Terbang diharapkan dapat membuat kuat tekan sampel beton geopolimer yang tinggi. Sehingga material Lumpur Sidoarjo bisa dimanfaatkan semaksimal mungkin sebagai beton geopolimer bermutu tinggi.

Proses *treatment* geopolimer membutuhkan suhu yang relatif tinggi agar mempersingkat polimerisasi selama proses pengerasan (Wardhono dkk. 2012). Oleh karena itu, riset ini difokuskan pada produksi pasta mortar supaya proses pengerasan lebih singkat karena dimensi sampel benda uji yang relative kecil.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek dari Lumpur Sidoarjo sebagai bahan campuran mortar geopolimer dalam segi porositas dan kuat tekan mortar geopolimer serta mengetahui berapakah presentase campuran SS/SH sehingga memperoleh hasil kuat tekan dan porositas yang optimum.

Dalam penelitian ini diharapkan manfaat yang dapat diperoleh diantaranya:

- Memberikan ilmu pengetahuan tentang penggunaan Lumpur Sidoarjo sebagai material pengganti Abu Terbang terhadap porositas dan kuat tekan mortar geopolimer dengan kondisi perbandingan 1:4-6 pasir; SS/SH 1,5 dan NaOH 12 Molar yang optimum.
- Dapat mendukung dan membantu penelitian selanjutnya untuk mengembangkan pemanfaatan limbah Abu terbang dan Lumpur Sidoarjo dapat ditingkatkan dari mortar geopolimer menjadi *paving block* dan beton berstruktur.
- Mengurangi limbah/polusi udara yang dikeluarkan oleh pabrik OPC

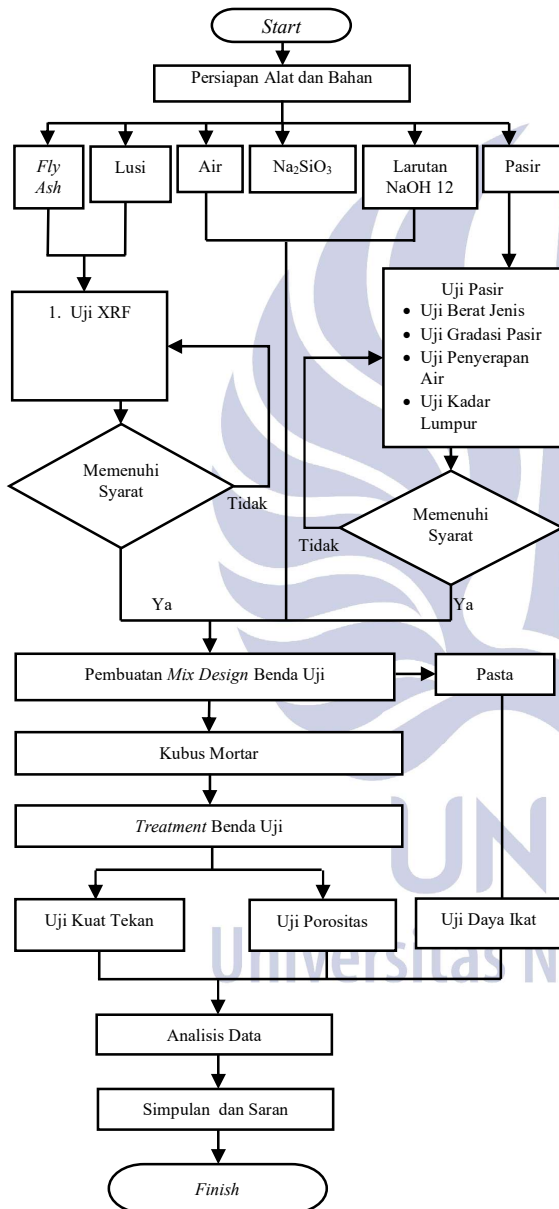
METODE

A. Jenis Penelitian

Penelitian dilaksanakan dengan uji laboratorium (eksperimental), karena menggunakan penelitian dan jurnal ilmiah terdahulu yang sudah dilaksanakan sebagai sumber. Untuk *mix design*, ada 12 variasi karena adanya peningkatan substitusi sampai dengan 50% yang didapat dari penelitian sebelumnya (Dimas, 2019) dengan 8 variasi *mix design* dengan substitusi tertinggi sebesar 12,5%. Kemudian variasi larutan aktivator dengan molaritas sebesar 12 Molar dengan

rasio SS/SH sebesar 1,5 dan persentase (w/s) sebesar 0,40. Untuk mendapatkan kadar persentase optimum substitusi Lusi terhadap abu terbang, maka dibuat benda uji mortar geopolimer dengan bahan dasar abu terbang, Lusi, aersuling, dan aktivator berupa kombinasi dari sodiium hidroksida dan sodiium silikat. Hasil penelitian didapatkan dari eksperimen kubus mortar yang diuji kuat tekan dan porositas.

Alur penelitian yang dilakukan secara bertahap dapat dilihat pada *flow chart* berikut ini:



Gambar 1. *Flowchart*

B. Waktu dan Lokasi Penelitian

Pembuatan sampel benda uji dan pengujiannya dilaksanakan di Laboratorium Ilmu Bahan Jurusan Teknik Sipil Unesa, dengan jam penelitian dimulai

dari jam 07.00 - 16.30 WIB, hari Senin sampai dengan Jumat, dengan kata lain menyesuaikan dengan jam operasional Laboratorium.

C. Sampel dan Populasi

Populasi yang digunakan dalam riset ini berupa data hasil uji laboratorium kubus mortar dengan dimensi 5 x 5 x 5 cm. Dan sampel yang digunakan berasal dari semua populasi yaitu 12 *mix design*, karena jumlah populasi bersifat data hasil uji porositas dan kuat tekan di Lab dengan benda uji berjumlah 15 buah pada setiap 12 *mix design* yang dibuat dengan total 180 buah benda uji. Detail sampel yang disusun dapat dilihat pada Tabel 1. dibawah:

Tabel 1. *Mix Design* Mortar Geopolimer

Mix Design dengan Kondisi SS/SH 12 Molar = 1,5 dan W/S = 0,40								
Mix Design	PC	Pasir	Fly Ash	LUSI	Kapur	Water	Sodium Silikat	NaOH 12 M
1	0,8	4	0	0	0,2	0,49	0,00	0,00
2	0	4	0,8	0	0,2	0,05	0,41	0,27
3	0	4	0,75	0,05	0,2	0,05	0,41	0,27
4	0	4	0,7	0,1	0,2	0,05	0,41	0,27
5	0	4	0,65	0,15	0,2	0,05	0,41	0,27
6	0	4	0,6	0,2	0,2	0,05	0,41	0,27
7	0	4	0,55	0,25	0,2	0,05	0,41	0,27
8	0	4	0,5	0,3	0,2	0,05	0,41	0,27
9	0	4	0,45	0,35	0,2	0,05	0,41	0,27
10	0	4	0,4	0,4	0,2	0,05	0,41	0,27
11	0	4	0,35	0,45	0,2	0,05	0,41	0,27
12	0	4	0,3	0,5	0,2	0,05	0,41	0,27

D. Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang berpengaruh terhadap datangnya variabel terikat. Variabel bebas yang digunakan yaitu rasio penambahan Lumpur Sidoarjo (Lusi) sebagai bahan pengganti atau substitusi abu terbang (*fly ash*).

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini yaitu porositas dan kuat tekan mortar geopolimer.

3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang tidak dapat diukur. Oleh karena itu, peneliti wajib mengontrol atau melakukan *trial and error* saat sebelum melakukan riset. Variabel kontrol dalam penelitian ini diantaranya adalah larutan NaOH dengan molaritas sebesar 12M, sodium silikat cair yang dibeli di PT. Brataco, rasio SS/SH 1,5 yang didapat dari penelitian terdahulu, *Water solid ratio* (w/s) = 0,40 yang didapat dari pertimbangan *trial mix design* dan penelitian sebelumnya, Abu terbang kelas C yang sudah diuji XRF, Lumpur

Sidoarjo, air suling atau *aquades*, kapur dan Pasir Lumajang sebagai agregat halus.

E. Instrument Penelitian

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan cara mengumpulkan dan mengelola data hasil pengujian yang telah dilakukan. Data yang akan didapat dan dikelola antara lain:

1. Uji Kuat Tekan

Sampel kubus mortar di uji kuat tekan dengan menggunakan alat kuat tekan hidrolis atau yang sering disebut UTM (*Universal Testing Machine*). Uji kuat tekan dilaksanakan sebanyak 3 kali untuk tiap sampel, kemudian dari 3 hasil uji kuat tekan sample direrata supaya kuat tekan rata-rata didapatkan. Uji kuat tekan dilaksanakan ketika sampel sudah berusia 7, 14, dan 28 hari.

2. Uji Porositas

Uji porositas dilakukan untuk mengetahui besar pori atau kepadatan yang dimiliki sampel, besaran pori tersebut dinyatakan dalam persen (%). Uji porositas kubus mortar dilaksanakan ketika sampel sudah berumur 48 jam.

F. Analisa data

Berdasarkan permasalahan yang diteliti, metode analisa yang digunakan yaitu deskriptif dengan pendekatan kuantitatif. Metode analisa ini dilakukan dengan cara menelaah data yang diperoleh dari eksperimen, yang memiliki wujud berupa data kuantitatif yang nantinya dijabarkan dalam bentuk tabel maupun grafik.

Kemudian peneliti akan menjelaskan dan menggambar data yang sudah diperoleh dalam bentuk sesuatu yang mudah dibaca, dipahami, dibandingkan dan dipresentasikan. Kemudian dilakukan analisa pembahasan pada tiap *mix design* agar dapat menentukan kesimpulan dari penelitian yang dilakukan.

Grafik dan tabel disusun lalu dianalisa dan dijelaskan sehingga didapatkan adanya suatu hubungan atau perbandingan dari data tersebut. Data yang dimaksud diantaranya:

1. Kuat tekan benda uji mortar Abu terbang dengan bahan substitusi Lumpur Sidoarjo

Menurut SNI 03-1974-2011 untuk mengetahui besarnya kuat tekan digunakan rumus perhitungan seperti:

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

Keterangan:

σ = Kuat tekan (N/mm²)

P = Gaya tekan aksial (N)

A = Luas penampang melintang sampel (mm²)

2. Porositas benda uji mortar Abu terbang dengan bahan substitusi Lumpur Sidoarjo

Untuk menghitung besarnya porositas dapat digunakan rumus dibawah ini:

$$\text{Porositas} = \frac{M_b - M_k}{V_b} \times \frac{1}{p \text{ air}} \times 100\%$$

Keterangan:

M_b = Massa basah sampel setelah direndam (gr)

M_k = Massa kering sampel setelah direndam (gr)

V_b = Volume sampel (cm³)

$p \text{ air}$ = Massa jenis air (gr/cm³)

Sedangkan tahap pengujian porositas sampel dengan prosedur yang benar antara lain:

1) Benda uji dikeringkan menggunakan oven dengan suhu kurang lebih 110°C selama 1 hari.

2) Sesudah dikeringkan selama 1 hari, sampel didinginkan dengan suhu ruangan, yaitu dengan suhu sekitar 27 - 35°C, lalu benda uji yang telah kering tersebut ditimbang (M_k).

3) Sampel direndam kembali selama 1 hari. Setelah direndam, keringkan sampel dengan tisu, kemudian ditimbang lagi (M_b).

4) Lalu nilai porositas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan $\frac{M_b - M_k}{V_b} \times \frac{1}{p \text{ air}} \times 100\%$.

Data yang didapat langsung dianalisa hubungan antara variasi rasio penambahan Lusi pada Abu Terbang dari uji kuat tekan dengan uji porositas yang diperoleh selama penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Riset ini berfokus pada hasil kuat tekan sample benda uji, maka dari itu perlu di analisa faktor yang sangat berpengaruh terhadap hasil dari kuat tekan sampel. Terdapat 3 hal yang berpengaruh terhadap kuat tekan benda uji pada riset ini, yaitu porositas, *setting time* (vicat) dan berat per-volume. Berikut adalah perihal yang memiliki pengaruh terhadap hasil kuat tekan benda uji:

1. Hasil Uji Material

a. Pasir

Pasir Lumajang dipilih sebagai agregat halus pada penelitian ini, karena mengikuti dari penelitian terdahulu. Hasil pengujian pasir dapat dilihat pada **Tabel 3** dibawah:

Tabel 3. Hasil pengujian Pasir

NO.	URAIAN	HASIL PENGUJIAN	STANDART SNI
1	Berat Jenis	2,72 gram/cm ³	2,0 – 3,0 gram/cm ³
2	Penyerapan Air	1,215 %	< 5 %
3	Analisa Ayakan	Zona 2	-
4	Modulus Kehalusan	2,56	1,5 – 3,80
5	Berat Volume	1,653	1,5 – 2,0
6	Kotoran Organik	Lebih bening	Standart
7	Kadar Lumpur	4,82 %	< 5 %
8	Kadar Air Bebas	3,1 %	<5 %

b. Abu Terbang

Abu Terbang sebagai bahan penyusun mortar pada penelitian ini dilakukan uji XRF (*X-ray Fluorescence*) untuk mengetahui komponen kimia apa saja yang menyusun Abu terbang. Uji XRF dilaksanakan di Lab. Kimia Universitas Negeri Malang, Berikut adalah hasil dari uji XRF untuk Abu terbang dapat dilihat pada **Tabel 4:**

Tabel 4. Hasil Uji XRF Abu Terbang

No	Komponen Kimia	Unit (%)
1	Al	6
2	Si	18,7
3	K	1,52
4	Ca	24,1
5	Ti	1,134
6	V	0,056
7	Cr	0,094
8	Mn	0,66
9	Fe	42,44
10	Ni	0,04
11	Cu	0,076
12	Zn	0,02
13	Sr	1
14	Mo	2,2
15	Ba	0,67
16	Eu	0,5
17	Yb	0,06
18	Re	0,2
19	Hg	0,3

Hasil Uji XRF menunjukkan bahwa Abu Terbang tersebut mengandung kalsium (Ca) sebesar 24,1%. Dapat diambil kesimpulan bahwa Abu Terbang yang digunakan adalah kelas C, dengan syarat nilai kandungan Ca lebih dari 10%.

c. Lusi (Lumpur Sidoarjo)

Lumpur Sidoarjo sebagai bahan pengganti Abu terbang diujikan XRF juga di Laboratorium Kimia Universitas Negeri Malang. Hasil uji XRF disajikan pada **Tabel 5** dibawah ini:

Tabel 5. Hasil Uji XRF Lusi

No	Komponen Kimia	Unit (%)
1	Al	12
2	Si	36,5
3	S	0,3
4	K	3,67
5	Ca	7,49
6	Ti	2,01
7	V	0,12
8	Cr	0,079
9	Mn	0,46
10	Fe	32,7
11	Cu	0,13
12	Zn	0,07
13	Br	0,16
14	Sr	0,79
15	Mo	3
16	Eu	0,42
17	Re	0,2

Berdasarkan hasil pengujian, dapat dilihat bahwa kandungan unsur kimia Silika (Si) sebesar 36.5%. Tinggi nya kandungan Silika (Si) dalam uji XRF menyatakan bahwa Lusi dalam penelitian ini merupakan Lusi yang baik dikarenakan mengandung Silika dioksia (SiO₂) yang besar (Cox, 1973). Hal tersebut dikarenakan jika kandungan silika sangat sedikit, maka akan sulit terjadi pengikatan senyawa kimia /polimerisasi.

d. Semen Portland

Semen portland berperan sebagai material utama penyusun mortar dari *control mix design*. Berikut **Tabel 6** adalah hasil uji XRF dari semen portland:

Tabel 6. Hasil Uji XRF Semen Portland

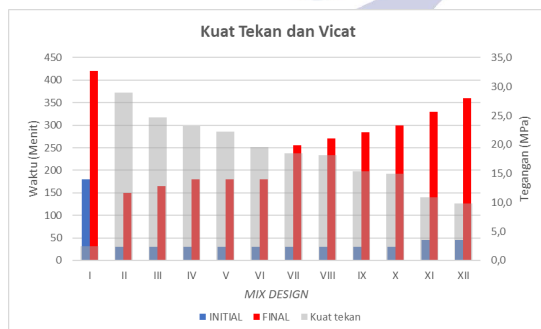
No	Komponen Kimia	Unit (%)
1	Al	2,1
2	Si	6,11
3	S	0,53
4	K	0,65
5	Ca	75,69
6	Ti	0,47
7	V	0,058
8	Cr	0,1

No	Komponen Kimia	Unit (%)
9	Mn	0,23
10	Fe	6,19
11	Cu	0,14
12	Sr	2,24
13	Eu	0,15
14	In	1,21
15	Mo	1,48
16	Ba	0,14
17	Zr	0,18
18	Re	0,49
19	Yb	0,27

Pada SNI 7064:2014, syarat kimia untuk semen Portland komposit adalah maksimum kandungan sulfur trioksida (SO₃) sebesar 4%, pada **Tabel 6** dapat dilihat kandungan sulfur (S) pada semen portland sebesar 0,53% sehingga dapat dikategorikan memenuhi syarat. Begitu juga dengan kandungan kalsium (Ca) yang cukup besar yaitu 75,69% membuat semen portland masuk dalam kategori komponen perekat material yang baik.

2. Analisa Kuat Tekan dan *Setting time* (Vicat)

Uji vicat merupakan pengujian daya ikat (*setting time*) bahan pengikat yang diterapkan pada sampel. Setiap material dan adonan bahan pengikat memiliki daya ikat yang berbeda. Grafik hubungan daya ikat dan kuat tekan disajikan pada **Gambar 2**. Berikut ini:



Gambar 2. Analisa Hubungan Kuat Tekan dan Uji Daya Ikat Benda Uji

Berdasarkan **Gambar 2** ada kenaikan waktu daya ikat dari *mix design* 1 sampai *mix design* 12, kejadian ini disebabkan oleh persentase material dan campuran bahan pengikat yang berbeda pada pasta. Data komposisi bahan penyusun pasta disajikan pada **Tabel 7** dibawah ini:

Tabel 7. Komposisi Campuran Bahan Pengikat Pasta

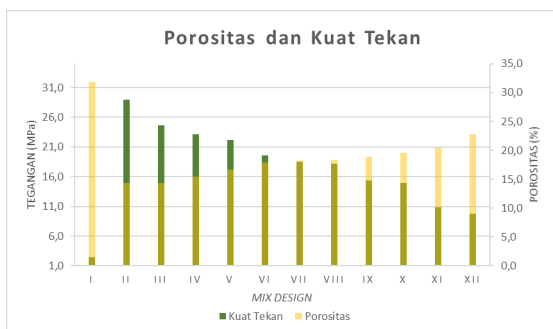
Mix Design	Persentase			
	PC	Fly Ash	Lusi	Kapur
1	1	0	0	0
2	0	0,8	0	0,2
3	0	0,75	0,05	0,2
4	0	0,7	0,1	0,2
5	0	0,65	0,15	0,2
6	0	0,6	0,2	0,2
7	0	0,55	0,25	0,2
8	0	0,5	0,3	0,2
9	0	0,45	0,35	0,2
10	0	0,4	4	0,2
11	0	0,35	0,45	0,2
12	0	0,3	0,5	0,2

Menurut penelitian Jazzaul Aummah (2017) bahan yang banyak mengandung Ca dapat mempercepat proses pengikatan pasta dalam suhu normal ruangan. Hal ini terbukti pada **Tabel 6** dan **Gambar 2** menunjukkan bahwa *mix design* 1 dengan bahan utama semen portland memiliki kadar Ca sebesar 75,69% dan waktu ikat paling cepat. Sedangkan untuk abu terbang sebesar 24,1% dan Lusi sebesar 7,49%. Maka dari itu, berdasarkan **Gambar 2** dan **Tabel 7** diketahui bahwa peningkatan persentase substitusi Lusi pada Abu terbang menjadi sebab bertambahnya waktu ikat pada adonan karena kadar Ca pada abu terbang yang semula 24,1% digantikan oleh Lusi dengan kadar Ca yang hanya sebesar 7,49%.

Selain waktu ikat pada pasta meningkat, data juga menunjukkan bahwa kuat tekan dari sampel *mix design* 3 dan seterusnya menurun saat penggantian Lusi pada Abu terbang ditingkatkan rasionya. Sehingga bisa ditarik kesimpulan bahwa waktu ikat pasta geopolimer berbanding terbalik dengan kuat tekan benda uji.

3. Analisa Kuat Tekan dan Porositas

Uji porositas dilaksanakan dengan maksud untuk mengetahui tingkat porositas pada benda uji yang dapat mempengaruhi kuat tekan suatu benda uji. Uji porositas dilakukan terhadap semua *mix design* mortar geopolimer. Berikut adalah hubungan antara kuat tekan dan porositas pada benda uji dapat dilihat pada **Gambar 3**. Dibawah ini:



Gambar 3. Analisa Hubungan Kuat Tekan dan Porositas Benda Uji

Berdasarkan **Gambar 3** menunjukkan bahwa:

- Nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada *mix design* 2 dengan rasio bahan pengikat Abu terbang sebesar 80% dan Kapur sebesar 20% dengan kuat tekan sebesar 28,96 MPa dan porositas terendah dengan nilai sebesar 14,31%.
- Sedangkan nilai kuat tekan paling kecil ditemukan pada *mix design* 1 yang berperan *mix design control* dengan rasio bahan pengikat semen portland setinggi 100% dengan nilai kuat tekan setinggi 2,48 MPa dan porositas tertinggi dengan nilai 31,91%.

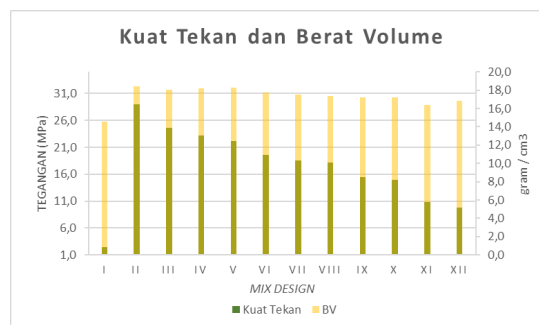
Menurut penelitian Juniawan (2012), Lumpur Sidoarjo memiliki nilai porositas yang hampir sama dengan nilai porositas tanah yang berkisar antara 30-60%. Semakin besar porositas yang dimiliki suatu benda, maka semakin mudah benda tersebut menyerap air dan mengurangi kuat tekan benda tersebut. **Gambar 3** juga mengindikasikan bahwa naiknya nilai porositas pada benda uji menyebabkan kuat tekan pada benda uji tersebut menurun. Sehingga bisa ditarik kesimpulan bahwa kuat tekan benda uji berbanding terbalik dengan kuat tekan benda uji.

4. Analisa Kuat Tekan dan Berat per-volume

Berat per-volume adalah satuan berat pada tiap volume benda uji, makin besar berat benda uji maka semakin padat susunan partikel dari benda uji tersebut. Hubungan antara kuat tekan dan berat per-volume benda uji ditampilkan pada **Gambar 4** berikut ini:

Berdasarkan **Gambar 4** diketahui bahwa:

- Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh *mix design* 2 dengan persentase bahan pengikat Abu terbang sebesar 80% dan Kapur sebesar 20% dan memiliki Nilai kuat tekan sebesar 28,96 MPa dengan berat per-volume sebesar 18,46 gram/cm³.



Gambar 4. Analisa Hubungan Kuat Tekan dan Berat per-Volume Benda Uji

- Nilai kuat tekan paling kecil diperoleh *mix design* 1 yang merupakan *mix design control* dengan rasio bahan pengikat utama *Portland cement* sebesar 100% dengan nilai kuat tekan sebesar 2,48 MPa dan nilai berat per-volume sebesar 14,55 gram/cm³.

Grafik diatas juga menunjukkan terjadinya kenaikan nilai kuat tekan ketika nilai berat per-volumenya meningkat. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa berat per-volume berbanding lurus dengan kuat tekan benda uji.

PENUTUP

A. Simpulan

Berdasarkan dari penelitian menggunakan Lumpur Sidoarjo sebagai bahan pengganti Abu terbang terhadap mortar geopolimer dengan kondisi perbandingan 1:4-6 pasir; SS/SH 1,5 dan NaOH 12 Molar dapat ditarik kesimpulan:

1. Peningkatan substitusi Abu terbang menggunakan Lumpur Sidoarjo berakibat penurunan kuat tekan mortar geopolimer. Kuat tekan pada *mix design* 3 sampai *mix design* terakhir mengalami penurunan nilai secara teratur.
2. Kadar optimum penggunaan Lumpur Sidoarjo sebagai bahan pengganti Abu terbang terhadap mortar geopolimer dengan kondisi perbandingan 1:4-6 pasir; SS/SH 1,5 dan NaOH 12 Molar adalah sebanyak 0% melainkan tidak menggunakan Lumpur Sidoarjo sebagai bahan pengganti. Hal ini disebabkan karena pada hasil riset, kuat tekan dengan nilai tertinggi terdapat pada *mix design* 2 dengan presentase kapur 20% dan Abu terbang 80% yaitu kuat tekan dengan nilai sebesar 28,96 MPa; juga dengan kadar porositas terkecil dengan nilai sebesar 14,31%.

B. Saran

Berdasarkan riset yang sudah dilaksanakan, ada beberapa masukan yang dapat disampaikan kepada

peneliti selanjutnya baik untuk membuat benda uji geopolimer diantaranya:

1. Pastikan alat pelindung diri (APD) seperti *masker*, *rubber hand gloves* telah disiapkan sebelum proses pembuatan benda uji dimulai, karena berfungsi untuk melindungi kulit dari NaOH yang bersifat korosif.
2. Sebelum melaksanakan uji kuat tekan, pastikan UTM (*Universal Testing Machine*) sudah dikalibrasi, agar data yang didapat benar-benar baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Andoyo. 2006. *Pengaruh Penggunaan Abu Terbang (Fly Ash) terhadap Kuat Tejan dan Serapan Air pada Mortar*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Aummah, Jazaul. 2017. *Pengaruh Penambahan Kapur dengan Bahan Dasar Fly Ash untuk Pembuatan Paving Stone Geopolymer terhadap Nilai Kuat Tekan dan Permeabilitas (Penyerapan)*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Aristianto. 2006. *Pemeriksaan Pendahuluan Lumpur Panas Lapindo Sidoarjo untuk Produk Keramik*. Balai Besar Keramik, Bandung.
- Ekaputri, JJ. 2013. *Sodium sebagai Aktivator Fly Ash, Trass dan Lumpur Sidoarjo dalam Beton Geopolimer*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Juniawan, Alvin. 2012. *Karakteristik Lumpur Lapindo Dan Fluktuasi Logam Berat Pb dan Cu Pada Sungai Porong dan Aloo*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Jodjana, Aleksander. 2014. *Pemanfaatan Campuran Lumpur Sidoarjo dan Fly Ash dalam Pembuatan Mortar Geopolimer Mutu Tinggi*. Surabaya: Universitas Kristen Petra.
- SNI 03-1974-2011. 2011. *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan benda uji Silinder*. Badan Standar Nasional.
- SNI 03-6825-2002. 2002. *Metode Pengujian Kuat tekan Mortar Semen Portland untuk Pekerjaan Sipil*. Badan Standar Nasional.
- Setiawan, Dimas Fery. 2019. *Penggunaan Abu Sekam Padi sebagai Bahan Substitusi Fly Ash pada Mortar Geopolimer dengan NaOH 8 Molar ditinjau dari Kuat Tekan dan Porositas*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Wardhono, Arie, David W. Law, dan Thomas C. K. Molyneaux. (2012). "Strength of Alkali Activated Slag and Fly Ash-based Geopolymer Mortar". Melbourne, Australia : RMIT University.