

## Pemanfaatan Lumpur Sidoarjo dan *Fly Ash* Sebagai Material Buatan Berbasis Pasta Berdasarkan Nilai Kuat Tekan dan Keausan

Toni Budi Santoso<sup>1,\*</sup>, Catur Arif Prastyanto<sup>1</sup>, Januarti Jaya Ekaputri<sup>1</sup>

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya<sup>1</sup>

Koresponden\*, Email: [prawoto.poni@gmail.com](mailto:prawoto.poni@gmail.com)

Info Artikel		Abstract
Diajukan	11 Januari 2021	<i>Nowadays the Sidoarjo Mud (Lusi) is still ongoing. The innovation of using Lusi is an alternative option because there is no way to stop the mud. The waste fly ash from PLTU is also used to make a paste with Lusi as a paste-based artificial material based on its compressive strength and wear values. 5 cm x 10 cm cylindrical paste was made for compressive strength tests at the age of 7, 21, 28 days, which consists of geopolymer paste and cement paste. Lusi is calcined at 800 ° C with a sieve size of 200. The moist curing method is used to protect the specimens during the treatment period before the compressive strength test. The test results for the compressive strength of 20% Lusi geopolymer paste: 80% fly ash with a molarity of 12 M at the age of 28 days is 33.00 MPa with 25.08% wear. The higher compressive strength occurred at the age of 28 days found in cement paste with a ratio of 10% Lusi: 30% fly ash: 60% cement with 0.27 water to binder is 39.83 MPa with 30.60% wear. Thus, Lusi and fly ash materials can be made into a paste-based artificial material based on ASTM C 131-03.</i>
Diperbaiki	04 Februari 2020	
Disetujui	04 Februari 2020	

*Keywords: Sidoarjo Mud, Compressive Strength, Wear, Artificial material*

**Abstrak**  
Semburan Lumpur Sidoarjo (Lusi) masih berlangsung sampai sekarang. Inovasi pemanfaatan Lusi menjadi pilihan alternatif karena belum ada cara untuk menghentikan semburan. *Fly ash* limbah dari PLTU juga dimanfaatkan untuk dijadikan pasta dengan Lusi sebagai material buatan berbasis pasta berdasarkan nilai kuat tekan dan keausan. Pembuatan pasta silinder 5 cm x 10 cm untuk diuji kuat tekan pada umur 7, 21, 28 hari, dimana pasta terdiri dari pasta geopolimer dan pasta semen. Lusi terkalsinasi 800° C dengan ukuran lolos ayakan 200. Metode *moist curing* digunakan untuk menjaga benda uji selama masa perawatan sebelum pengujian tekan. Hasil pengujian kuat tekan pasta geopolimer Lusi 20% : *fly ash* 80% dengan molaritas 12 M pada umur 28 hari sebesar 33.00 MPa dengan keausan 25.08%. Kuat tekan lebih tinggi pada umur 28 hari didapatkan pada pasta semen, dengan perbandingan Lusi 10% : *fly ash* 30% : semen 60% dengan *water to binder* 0.27 sebesar 39.83 MPa dengan keausan 30.60%. Sehingga material Lusi dan *fly ash* bisa dijadikan material buatan berbasis pasta berdasarkan ASTM C 131-03.

Kata kunci: Lumpur Sidoarjo, Kuat Tekan, Keausan, Material Buatan.

### 1. Pendahuluan

Semburan Lumpur Sidoarjo terjadi sejak 2006, pada Agustus 2017 volume semburan tercatat 80.000 m<sup>3</sup> dan Desember 2017 mencapai 130.00 m<sup>3</sup> [1]. Penelitian tentang pemanfaatan Lusi perlu dilakukan [2], karena dalam waktu 40 tahun letusan skala besar atau kecil masih terjadi dan semburan Lusi bertahan hingga 84 tahun [3].

Inovasi terkait peristiwa Lusi terus dilakukan, salah satunya sebagai bahan konstruksi. Dalam pemanfaatannya Lusi perlu dikalsinasi pada suhu 600°C - 800°C kemudian dihaluskan hingga ukuran 63 µm dengan tujuan mengubah sifat Lusi menjadi reaktif [4]. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Pemukiman sejak 2007 telah melakukan beberapa penelitian untuk memanfaatkan Lusi. Lusi dikembangkan menjadi bahan keramik dengan

penambahan bahan stabilitas dan dibentuk dengan proses kalsinasi hingga diperoleh produk yang kuat, stabil dan berpenampilan menarik [5].

Selain pemanfaatan Lusi, penelitian ini juga memanfaatkan *fly ash* dari limbah PLTU. Menurut data Kementerian Lingkungan Hidup Kehutanan Republik Indonesia, limbah dari PLTU di Indonesia sebesar 10 juta ton per tahun pada tahun 2019. *Fly ash* adalah produk sampingan dari pembakaran batu bara yang terdiri dari partikel berdiameter 1–150 mm dengan lolos ayakan 45 mm [6]. Dalam pemanfaatan *fly ash* direaksikan dengan alkali aktifator yang memiliki karakteristik positif serta memiliki ketahanan tinggi dan konduktivitas yang rendah [7].

Penelitian ini memanfaatkan Lusi dan *fly ash* untuk dijadikan agregat buatan berbasis pasta geopolimer dan pasta

semen untuk dibandingkan nilai kuat tekan dan keausan. Geopolimer dalam proses produksinya lebih cepat, mudah, menghemat waktu dan tenaga. Geopolimer menghasilkan produk yang bersifat keras, stabilitas termal, kehalusan permukaan yang tinggi dan kemampuan cetak yang presisi [8], sementara itu pasta semen digunakan sebagai perbandingan untuk pengujian kuat tekan agregat buatan. Agregat buatan pasta geopolimer Lusi : *fly ash* menggunakan alkali sebagai aktifator dengan molaritas 12 M. Perbandingan Si/Al diambil 1,8 karena rentan 1,8 – 2,0 merupakan perbandingan paling bagus untuk Si/Al [9]. Sementara pembuatan agregat buatan pasta semen menggunakan *water to binder* 0,27, dikarenakan dalam masa *trial mix design* merupakan *water to binder* dengan *work ability* paling bagus. Pembuatan agregat buatan berbasis pasta diuji pada umur 7, 21, dan 28 hari. Metode moist curing dilakukan karena agregat pasta mudah hancur apabila dilakukan curing dalam air langsung. Setelah mendapatkan kuat tekan kemudian diuji keausannya dengan mesin Los Angeles. Keausan tersebut dinyatakan dengan perbandingan antara beraat aus lewat saringan No. 12 terhadap berat semula dalam prosentase.

Agregat buatan berbasis pasta pada penelitian ini diharapkan dapat mencapai kuat tekan tinggi dan nilai keausan yang minimum untuk dijadikan agregat buatan berbasis pasta geopolimer maupun pasta semen. Agregat buatan hasil penelitian dapat menggantikan agregat dari alam dalam bidang konstruksi jalan, konstruksi gedung maupun konstruksi sipil yang memerlukan agregat dalam pelaksanaannya.

## 2. Metode

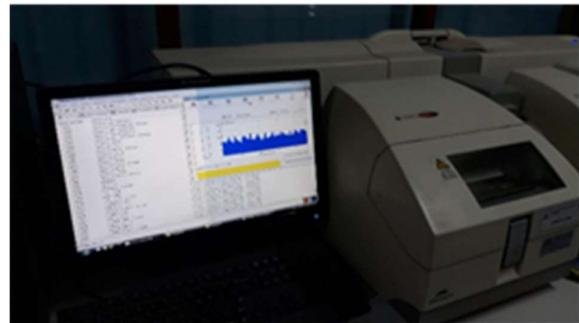
Penelitian ini berskala laboratorium di Laboratorium Beton Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan laboratorium Pusat Penelitian Semen di PT. Semen Indonesia Gresik. Pengambilan material Lusi di kelurahan Siring Porong Sidoarjo dan *fly ash* diambil di PLTU Petrokimia Gresik. Pengambilan Lusi pada titik koordinat yang sama dengan kedalaman maksimal 60 cm.

Persiapan material dilakukan pada tahap awal penelitian untuk mengetahui karakteristik material Lusi dan *fly ash* sebagai material penyusun pasta geopolimer dan pasta semen. Analisa material halus terdiri dari analisa XRF dan reaktifitas. Lusi dalam penelitian ini dikalsinasi dalam suhu 800°C selama 15 jam dengan alat *furnace* (**Gambar 1**) untuk mengubah Lusi menjadi reaktif. Suhu tersebut diambil karena Lusi bisa menjadi reaktif dalam suhu 600° C - 800° C. Kereaktifan Lusi sangat berpengaruh dalam kekuatan untuk dijadikan material buatan, semakin reaktif Lusi maka semakin bagus dalam penelitian ini kuat tekan dan keausan.



**Gambar 1.** Pengkalsinasi Lusi dengan Alat *Furnace*

Penggilingan Lusi juga termasuk dalam pekerjaan persiapan. Penggilingan dimaksudkan untuk mengurangi ukuran partikel Lusi dan memudahkan dalam pembuatan benda uji pasta geopolimer dan pasta semen. Untuk penggilingan Lusi menggunakan *Ball Mill* hingga ukuran partikel mencapai 75 µm dengan analisa *Particel Size Distribution* dibantu dengan alat *Mastersizer 2000 ver. 5.60* (**Gambar 2**) di PT. Semen Indonesia Gresik.



**Gambar 2.** Alat *Mastersizer 2000 ver. 5.60*

Analisa *X-Ray Fluorescence* (XRF) kandungan Lusi bertujuan untuk mengetahui kandungan silika (Si) dan aluminium (Al) pada pekerjaan persiapan material. Si dan Al untuk perhitungan jumlah kebutuhan dalam pembuatan agregat. *Fly ash* yang digunakan kelas F dari PT. Petrokimia Gresik dengan pengujian XRF dan tidak dikalsinasi atau digiling karena material *fly ash* sudah dalam keadaan halus.

Pembuatan agregat pasta geopolimer menggunakan alkali sebagai aktifator. Alkali terdiri dari Natrium Hidroksida (NaOH) dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , dengan molaritas NaOH sebesar 12 M. Untuk membuat molaritas 12 M dalam 1 liter air suling dibutuhkan NaOH padat sebanyak 480 gram karena massa reaktif atom dari NaOH adalah 40 gram/mol. Pada penelitian

ini alkali aktifator menggunakan perbandingan 3 : 1 untuk  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  :  $\text{NaOH}$  dengan  $\text{Si}/\text{Al}$  yang didapatkan 1,8 untuk workability paling bagus. Alkali aktifator kemudian dicampur dengan Lusi dan *fly ash* pada pasta geopolimer dengan perbandingan Lusi 20% : *fly ash* 80%. Selanjutnya penuangan pada cetakan silinder 5 cm x 10 cm. Pasta semen sebagai pembanding dalam penelitian ini menggunakan perbandingan Lusi 10% : *fly ash* 30% : semen 60%. *Water to binder* 0,27 diambil berdasarkan hasil *trial mix design* dengan *workability* paling bagus. Semen dan air adalah material yang terlebih dahulu dicampur kemudian dilanjutkan dengan Lusi dan *fly ash*. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7, 21, dan 28 hari. Umur benda uji 14 hari tidak dilakukan pengujian karena ada peraturan tidak boleh menimbuh limbah B3 banyak, dan pertengahan penelitian ini saat pandemi Covid-19 sehingga pengambilan *fly ash* kembali di Petrokimia Gresik tidak dilakukan. Selama proses tunggu untuk diuji benda uji dirawat dengan metode *moist curing*.

Pengujian kuat tekan untuk mengetahui seberapa besar kekuatan yang bisa diterima akibat pembebanan yang diberikan. Pengujian kuat tekan menggunakan alat *Tokyo Testing Machine* (TTM) (**Gambar 3**) dengan skala pembebanan 20 kg. Pembacaan uji kuat tekan dari alat TTM tersebut yang digunakan untuk hasil kuat tekan silinder pasta geopolimer dan pasta semen.



**Gambar 3.** Proses Pengujian Kuat Tekan Dengan *Tokyo Testing Machine*

Dari hasil uji kuat tekan kemudian dilanjutkan untuk pengujian keausan. Perhitungan keausan agregat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Keausan agregat} = (a-b)/a \times 100\%$$

dimana:

a : berat benda uji semula (gram),

b : berat benda uji tertahan saringan No. 12 (gram).

### 3. Hasil dan Pembahasan

Material Lusi dianalisa melalui pengujian XRF untuk mengetahui kandungan didalamnya, analisa XRF dilakukan di Sucofindo Surabaya. Pengkategorian didasarkan pada kandungan  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Jika kandungan  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  lebih dari 70% dikategorikan sebagai kelas F dan jika kandungan sama dengan atau lebih dari 50% dikategorikan sebagai kelas C. Berikut hasil analisa XRF Lusi dan *fly ash*.

**Tabel 1.** Hasil analisa *X-Ray Fluorescence*

Parameter	Lusi	<i>Fly ash</i>
$\text{SiO}_2$	44.17	50.93
CaO	1.17	2.01
$\text{Al}_2\text{O}_3$	16.75	25.09
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	5.80	12.75
MgO	3.04	2.32
$\text{TiO}_2$	0.10	0.16
$\text{MnO}_2$	0.12	0.16
$\text{Na}_2\text{O}$	7.77	0.32
$\text{K}_2\text{O}$	0.77	0.98
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	0.01	0.01
$\text{SO}_3$	0.93	1.92

Lusi termasuk kelas C, karena hasil penjumlahan  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  sebesar 66.72%. Sedangkan *fly ash* berdasarkan hasil analisa pada **Tabel 1** termasuk kelas F dengan penjumlahan  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  sebesar 88.77%. Lusi dan *fly ash* dapat digunakan sebagai material penyusun agregat buatan berbasis pasta geopolimer dan pasta semen karena kandungan Si dan Al yang tinggi.

Analisa reaktifitas Lusi dilakukan di Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara Bandung. Analisa reaktifitas Lusi untuk mengetahui besar prosentase reaktif Lusi untuk dijadikan material penyusun pasta. Reaktifitas Lusi setelah dihaluskan sebesar 38.21% (**Tabel 2**)

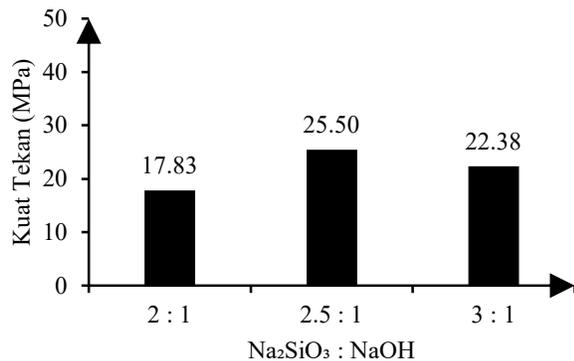
**Tabel 2.** Hasil analisa Reaktifitas Lusi

Lusi	Sebelum Dihaluskan	Sesudah Dihaluskan	Metode Pengujian
$\text{SiO}_2$ total	47.48 %	47.60 %	Gravimetri
$\text{SiO}_2$ bebas	9.86 %	9.39 %	Gravimetri
$\text{SiO}_2$ reaktif	37.62 %	38.21 %	Perhitungan

Pengujian kuat tekan pasta geopolimer Lusi dan pasta geopolimer *fly ash* dilakukan untuk mengetahui kuat tekan dari masing-masing pasta geopolimer pada umur 7 hari.

Hasil uji kuat tekan pasta geopolimer Lusi dan pasta geopolimer *fly ash* dijadikan acuan untuk menentukan proporsi campuran pasta geopolimer Lusi + *fly ash*.

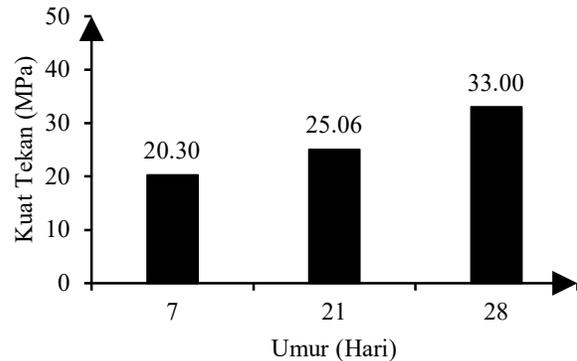
Hasil pengujian kuat tekan silinder pasta geopolimer Lusi pada umur 7 hari sebesar 6.38 MPa, dengan perbandingan Lusi 60% : alkali 40%,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  1 : NaOH 1 untuk Si/Al 1.8. Perbandingan *fly ash* 70% : alkali aktifator 30% memiliki *work ability* paling bagus pada saat *trial mix design* dengan uji kuat tekan yang didapat pada umur 7 hari dapat dilihat pada **Gambar 4**. Kuat tekan tertinggi pasta geopolimer *fly ash* pada umur 7 hari sebesar 25.50 MPa dengan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  2.5 dan NaOH 1. Pengujian pada umur 7 hari untuk melihat kuat tekan yang dicapai apabila *fly ash* sebagai *binder* sendiri tanpa *binder* Lusi. Umur 12, 21 dan 28 hari tidak dilakukan pengujian karena dalam penelitian ini memanfaatkan Lusi dan *fly ash* yang dicampur sebagai *binder*.



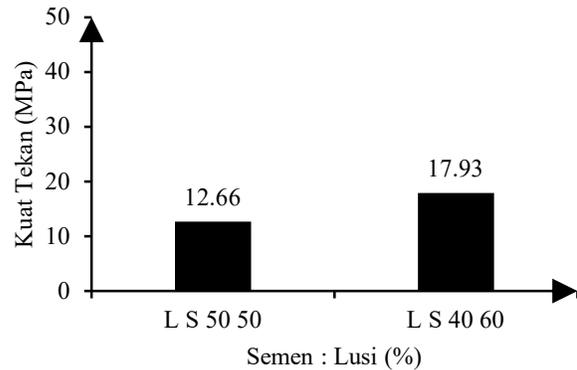
**Gambar 4.** Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Pasta Geopolimer *Fly Ash* 70% : Alkali Aktifator 30%

Pengujian kuat tekan pada umur 7, 21, dan 28 hari pasta geopolimer Lusi + *fly ash* dengan perbandingan Lusi 20% : *fly ash* 80% untuk molaritas 12 M dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  3 : NaOH 1. Pengambilan perbandingan berdasarkan *trial mix design* dengan prosentase *fly ash* lebih banyak dibandingkan Lusi karena material Lusi kurang reaktif dalam penelitian ini. Hasil uji kuat tekan pada **Gambar 5** menunjukkan kuat tekan pada umur 28 hari mencapai 33.00 MPa.

Pengujian kuat tekan pasta semen sama dengan pasta geopolimer. Pengujian dilakukan pada pasta Lusi sendiri pada umur 7 hari dan pasta *fly ash* sendiri pada umur 7 hari. Kemudian dilanjutkan dengan pengujian pasta semen Lusi + *fly ash*. Pembuatan pasta semen bertujuan sebagai pembanding pasta geopolimer. Pasta semen Lusi dengan perbandingan 40% : semen 60% menunjukkan hasil kuat tekan lebih tinggi dibandingkan Lusi 50% : semen 50% pada umur 7 hari sebesar 17.93 MPa (**Gambar 6**).

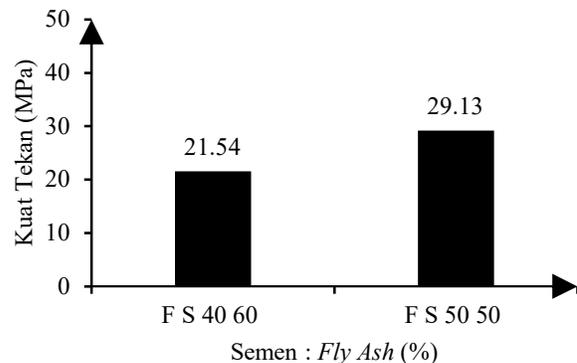


**Gambar 5.** Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Pasta Geopolimer Lusi 20% : *Fly ash* 80%



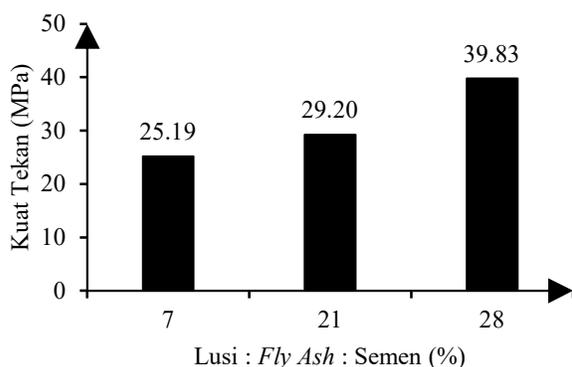
**Gambar 6.** Grafik Hasil Kuat Tekan Pasta Lusi : Semen

Pasta semen *fly ash* memiliki kuat tekan lebih bagus dibandingkan pasta semen Lusi pada umur 7 hari. Hasil pengujian pasta semen *fly ash* dapat dilihat pada **Gambar 7**. Water to binder untuk *fly ash* 50% : semen 50% sebesar 0.27%.



**Gambar 7.** Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Pasta *Fly Ash* : Semen

Pasta *fly ash* 50% : semen 50% memiliki kuat tekan 29.13 MPa pada umur 7 hari lebih tinggi dari pasta *fly ash* 40% : semen 60%. Hasil tersebut kemudian dijadikan acuan untuk pembuatan pasta Lusi : *fly ash* : semen dengan *fly ash* lebih banyak dibandingkan Lusi. Peningkatan kuat tekan terjadi pada perbandingan Lusi 10% : *fly ash* 30% : semen 60% dengan *water to binder* 0.27. **Gambar 8** menunjukkan hasil pengujian kuat tekan pasta Lusi 10% : *fly ash* 30% : semen 60% mencapai 39.83 MPa.



**Gambar 8.** Grafik Hasil Kuat Tekan Pasta Lusi 10% : *Fly ash* 30% : Semen 60%

Setelah melakukan pengujian kuat tekan, kemudian dilakukan pengujian keausan pada pasta geopolimer Lusi 20% : *fly ash* 80% dan pasta semen Lusi 10% : *fly ash* 30% : semen 60%. Pengujian keausan dilakukan pada umur benda uji 28 hari. Hasil pengujian aus pasta geopolimer Lusi 20% : *fly ash* 80% dapat dilihat pada **Tabel 3**.

**Tabel 3.** Hasil Uji Keausan Pasta Geopolimer Lusi 20% : *Fly ash* 80%

Gradasi Saringan	F (fraksi 25 mm – 60 mm)	
	Berat Sebelum (gram)	Berat Sesudah (gram)
Lolos	(a)	(b)
50,8 mm	5000	
38,1 mm	5000	
Jumlah Berat	10000	
Berat tertahan saringan no. 12		7492
Keausan $((a-b)/a) \times 100\%$	25,08%	

Hasil uji keausan pasta geopolimer Lusi 20% : *fly ash* 80% menunjukkan keausan 25.08%. Namun keausan lebih besar terjadi pada pasta semen dengan perbandingan Lusi

10% : *fly ash* 30% : semen 60%. Hasil pengujian pasta semen dapat dilihat pada **Tabel 4**.

**Tabel 4.** Hasil Uji Keausan Pasta Geopolimer Lusi 10% : *Fly ash* 30% : Semen 60%

Gradasi Saringan	F (fraksi 25 mm – 60 mm)	
	Berat Sebelum (gram)	Berat Sesudah (gram)
Lolos	(a)	(b)
50,8 mm	5000	
38,1 mm	5000	
Jumlah Berat	10000	
Berat tertahan saringan no. 12		6940
Keausan $((a-b)/a) \times 100\%$	30,60%	

Berdasarkan data, pasta geopolimer Lusi 20% : *fly ash* 80% memiliki nilai keausan yang lebih bagus dibandingkan dengan pasta semen Lusi 10% : *fly ash* 30% : semen 60% yang memiliki keausan mencapai 30.60%. Berdasarkan hasil analisa pada penelitian ini pasta geopolimer lebih bagus untuk dijadikan material buatan dibandingkan pasta semen.

#### 4. Simpulan

Hasil pengujian kuat tekan pasta geopolimer dan pasta semen menunjukkan bahwa pasta geopolimer Lusi 20% : *fly ash* 80% tertinggi pada umur 28 hari sebesar 33.00 MPa dengan nilai keausan sebesar 25.08%. Sedangkan pasta semen dengan perbandingan Lusi 10% : *fly ash* 30% : semen 60% memiliki kuat tekan lebih tinggi dibandingkan pasta geopolimer sebesar 39.83 MPa dengan keausan yang lebih tinggi sebesar 30.60%. Persyaratan maksimum keausan untuk dijadikan material pada ASTM C 131-03 sebesar 50%, sehingga dapat disimpulkan pasta geopolimer Lusi 20% : *fly ash* 80% dan pasta semen Lusi 10% : *fly ash* 30% : semen 60% dapat dijadikan sebagai material buatan berbasis pasta.

#### Daftar Pustaka

- [1] A. Mazzini, "10 years of Lusi eruption: Lessons learned from multidisciplinary studies (LUSI LAB)," *Mar. Pet. Geol.*, vol. 90, no. xxxx, pp. 1–9, 2018.
- [2] J. J. Ekaputri, Triwulan., and T. Adiningtyas, "Analisa Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash dan Lumpur Porong Kering sebagai Pengisi," *J. Teknol. dan Rekayasa Sipil*, vol. 33, no. 3, pp. 33–45, 2007.
- [3] M. L. Rudolph, L. Karlstrom, and M. Manga, "A prediction of the longevity of the Lusi mud eruption, Indonesia," *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 308, no. 1–2,

- pp. 124–130, 2011.
- [4] J. J. Ekaputri, “Study on porong mud-based geopolymer concrete,” pp. 91–99, 2007.
  - [5] B. Sugiharto and Lasino, “Lusi Sebagai Material Konstruksi,” in *Tim Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan Permukiman*, 2018.
  - [6] J. J. Ekaputri, Triwulan., and S. Amin, “Potential Sidoarjo Mud And Fly Ash On Geopolymer Lightweight Mortar,” *LOGIC*, vol. 14, no. 1, pp. 54–59, 2014.
  - [7] S. H. Kang, Y. Jeong, M. O. Kim, and J. Moon, “Pozzolanic reaction on alkali-activated Class F fly ash for ambient condition curable structural materials,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 218, pp. 235–244, 2019.
  - [8] J. Davidovits, “Géopolymère New Materials,” vol. 37, pp. 1–14, 1991.
  - [9] A. Leonard Wijaya, J. Jaya Ekaputri, and Triwulan, “Factors influencing strength and setting time of fly ash based-geopolymer paste,” *MATEC Web Conf.*, vol. 138, 2017.