

# PENGGUNAAN LUMPUR SIDOARJO (LUSI) SEBAGAI SUBSTITUSI FLY ASH DENGAN RASIO 1;3 PASIR PADA MORTAR GEOPOLIMER DENGAN NaOH 12 MOLAR DENGAN KONDISI SS/SH 0,5 DITINJAU DARI KUAT TEKAN DAN POROSITAS

**M. Trismandani Nur Prakoso**

Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

[muhamadnur@mhs.unesa.ac.id](mailto:muhamadnur@mhs.unesa.ac.id)

**Arie Wardhono**

Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

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

## Abstrak

Beton geopolimer di era saat ini sedang gencar dikembangkan karena berkemungkinan dibuat menggunakan bahan sisa yang tidak berguna lagi yang selanjutnya digunakan untuk menggantikan fungsi semen. Dengan setiap satu ton semen yang digunakan dapat menghasilkan lebih kurang satu ton CO<sub>2</sub> yang terlepas ke udara.

Tulisan ini meneliti tentang mortar geopolimer berbahan dasar fly ash dengan substitusi lumpur sidoarjo sebagai bahan yang difokuskan dalam penelitian ini dengan beberapa variasi rasio yaitu 0% hingga 50% dengan kelipatan 5% disetiap variasi Lumpur Sidoarjo dan mortar PCC sebagai kontrol. *Sample* mortar geopolimer yang digunakan berbentuk kubus 5x5x5 cm<sup>3</sup> dengan konsentrasi NaOH bermolaritas sebesar 12M yang dicampurkan Sodium Silikat sehingga berfungsi sebagai aktivator. Pokok pembahasan artikel ini adalah memeperlihatkan pengaruh serta mencari rasio maksimum penggantian FA dengan LUSI ditinjau dari kuat tekan, waktu ikat, dan porositas mortar geopolimer. Dilain variabel, ditentukan rasio Sodium Silikat/Sodium Hidroksida sebesar 0,5 dengan kadar water solid rasio aktivator (w/s) sebanyak 0,35 dan perbandingan rasio aktivator dengan pasir sebesar 1:3.

Hasil yang didapat menunjukkan bahwa penambahan kadar LUSI mengakibatkan penurunan kuat tekan pada mortar geopolimer. Kuat tekan tertinggi saat usia 28 hari terjadi pada rasio penambahan LUSI sebesar 0% yaitu sebesar 23,35 MPa dan porositas yang terjadi adalah paling kecil yaitu sebesar 12,23%.

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

## Abstract

*Geopolymer concrete is currently being developed because it is possible to make waste materials that are no longer used which are then used to replace the function of cement. For each use of cement as much as one ton can release approximately one tonne of CO<sub>2</sub>.*

*This paper examines the geopolymer mortar made from fly ash with the substitution of Sidoarjo mud as the focus material in this study with several variations in the ratio, namely 0% to 50% with a multiple of 5% for each variation Sidoarjo mud and PCC mortar as controls. The geopolymer mortar specimen used 5x5x5 cm<sup>3</sup> cubes with a concentration of 12M NaOH mixed with Sodium Silicate so that it functioned as an activators. The subject of this article is to show the effect and to find the maximum ratio of FA to LUSI replacement in terms of compressive strength, bonding time, and porosity of geopolymer mortar. On the other hand, the Sodium Silicate/Sodium Hydroxide ratio was determined to be 0,5 with a water solid activator ratio (w/s) of 0,35 and a ratio of the activator to sand of 1:3.*

*The results showed that the addition of LUSI levels results in a decrease in the compressive strength of the geopolymer mortar. The highest compressive strength at the age of 28 days occurred at a ratio of 0% addition of LUSI, namely 23,35 MPa and the smallest porosity that occurred was 12,23%.*

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

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

29 Mei 2006, telah terjadi bencana luapan lumpur akibat kegagalan saat pengeboran minyak bumi di Kec. Porong, Kab. Sidoarjo yang dilakukan oleh perusahaan Lapindo. Bencana ini di kenal dengan Bencana Lumpur Sidoarjo yang pada awalnya di sebut Bencana Lumpur Sidoarjo. Pada awal terjadinya bencana tersebut, jumlah

kubik lumpur yang meluap adalah mencapai 100.000 m<sup>3</sup>/hari. Sehingga penanganan awal adalah dengan memberikan tanggul di area sekitar luapan tersebut. Namun sejak tahun 2012 jumlah kubik yang meluap mengalami penurunan yaitu sebesar 25.000-50.000 m<sup>3</sup>/hari. Akibat terus meluapnya lumpur, berakibat pada daya tampung tanggul yang dapat menahan. Supaya tanggul tidak penuh, pihak Badan Penanggulangan Lumpur Sidoarjo (BPLS) membuat solusi mengalihkan sebagian lumpur yang meluap menuju ke sungai Porong

yang mengakibatkan dampak buruk ke lingkungan. Solusi lain yang dapat dibuat adalah dengan mempergunakan LUSI sebagai bahan campuran beton geopolimer.

Di era sekarang dimana gencarnya dilakukan pengurangan dampak negatif terhadap lingkungan, Beton geopolimer merupakan salah satu bentuk solusi menangani permasalahan tersebut. Dengan digunakannya beton geopolimer dapat mempergunakan bahan sisa yang tidak berguna kembali (*reuse*). Kemudian, beton geopolimer dapat mengurangi atau meniadakan penggunaan dari bahan semen. Dengan tidak adanya penggunaan bahan semen pada beton, dapat mengurangi pelepasan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) ke atmosfer karena menurut Lloyd & Rangan pada tahun 2009, setiap penggunaan semen sebanyak satu ton dapat melepaskan kurang lebih satu ton  $\text{CO}_2$ .

Sejak terjadinya bencana luapan LUSI yang terlihat tidak kunjung berhenti, banyak peneliti melakukan penelitian tentang kandungan yang dimiliki oleh LUSI tersebut. Salah satunya, hasil penelitian oleh (Pretiwati dan Theresia, 2012) menunjukkan bahwa LUSI mempunyai senyawa  $\text{SiO}_2 = 53\%$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 18\%$ .

Penelitian serupa menerangkan bahwa *fly ash* dan LUSI mempunyai senyawa  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang banyak. Namun, pada saat ini untuk penelitian dengan bahan LUSI belum memenuhi persyaratan sesuai beton mutu tinggi (Antony dkk, 2014). Namun hasil yang didapat dalam penelitian tersebut menjelaskan bahwa campuran mortar geopolimer dengan rasio pasta dan pasir 1:2 dengan molaritas NaOH 8M dan 10M memenuhi syarat kuat tekan mortar mutu tinggi. Dimana kuat tekan optimum didapat pada molaritas NaOH tertinggi yaitu 10 M sebesar 64 MPa.

Melihat kandungan dan senyawa yang dimiliki LUSI, Dalam pembuatan mortar geopolimer dapat memanfaatkan LUSI sebagai bahan campurannya. Namun, bahan tersebut tidak dapat mengikat seperti halnya semen yang dapat bereaksi dengan tambahan air. Jadi perlu bahan kimia lain yang dapat membuat LUSI untuk bereaksi yaitu Sodium Hidroksida (SH) atau dikenal dengan nama kimia NaOH dan Sodium Silikat (SS) atau dikenal dengan nama kimia  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ . Oksida silika pada bahan tersebut akan bereaksi secara kimia dan membentuk ikatan polimer. Meninjau unsur kapur yang ada pada lumpur sedikit, maka diperlukan tambahan unsur kapur dari kapur padam. Sehingga diharapkan pada penelitian ini, polimerisasi yang terjadi dan ditambahkan bahan kapur padam dapat meningkatkan mutu mortar dan mempercepat proses polimerisasi yang diteliti.

### Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dapat ditelaah adalah berikut ini:

1. Apa hasil kuat tekan mortar geopolimer yang didapat dari penggunaan LUSI sebagai bahan substitusi *fly ash* dengan NaOH 12M dan SS/SH 0,5?
2. Berapa hasil persentase porositas yang terjadi dari pemakaian LUSI sebagai bahan pengganti *fly ash* dengan ditentukan kondisi SS/SH 0,5 dan NaOH 12M?

3. Berapa jumlah maksimum LUSI yang dapat digunakan sebagai bahan pengganti *fly ash* pada mortar geopolimer dengan ditentukan NaOH 12M dan SS/SH 0,5?
4. Apa analisa hubungan yang terjadi antara hasil kuat tekan dan porositas yang didapat pada pemakaian LUSI sebagai bahan pengganti *fly ash* dengan ditentukan kondisi SS/SH 0,5 dan NaOH 12M?

### Tujuan

Tujuan yang dapat terpenuhi dari penelitian ini adalah:

1. Didapatkan hasil kuat tekan dari penggunaan LUSI sebagai bahan substitusi *fly ash* dengan NaOH 12M dan SS/SH 0,5.
2. Mengetahui hasil persentase porositas yang terjadi dari pemakaian LUSI sebagai bahan pengganti *fly ash* dengan ditentukan kondisi SS/SH 0,5 dan NaOH 12M.
3. Didapatkan jumlah maksimum penggunaan LUSI sebagai bahan substitusi *fly ash* mortar geopolimer dengan NaOH 12M dan SS/SH 0,5.
4. Menampilkan analisa hubungan yang terjadi antara kuat tekan dan porositas pada pemakaian LUSI sebagai bahan pengganti *fly ash* dengan ketentuan kondisi SS/SH 0,5 dan NaOH 12M.

### Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah berikut ini:

1. Mendapatkan informasi kuat tekan, hasil porositas, dan jumlah maksimum dari pemakaian LUSI sebagai bahan pengganti *fly ash* pada mortar geopolimer dengan kondisi NaOH 12 Molar dan SS/SH 0,5 yang maksimum.
2. Semoga penelitian pada artikel ilmiah ini berguna untuk megebangkan penelitian berikutnya demi memberdayakan penelitian geopolimer sebagai bahan struktur yang selanjutnya penggunaan limbah seperti *fly ash* kemudian LUSI dapat ditingkatkan.

### Batasan Masalah

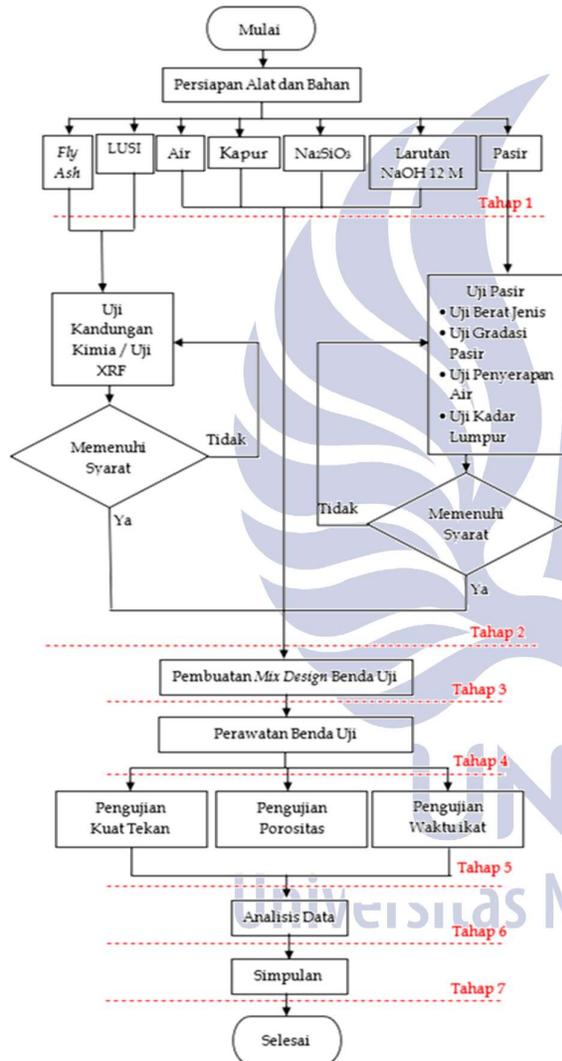
Batasan masalah dapat ditentukan sebagai berikut:

1. *Sample* dibuat berbentuk kubus dengan dimensi 5x5x5 cm.
2. Rasio bahan pengikat dan pengisi adalah 1:3.
3. Penggunaan bahan kapur sebagai bahan tambah pada *fly ash* sebesar 20%.
4. bahan pengikat, terdiri dari PC, *fly ash*, dan kapur. Serta air suling (aquades), Natrium Hidroksida (NaOH), dan Natrium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ).
5. Penggantian semen menggunakan 0,8 *fly ash* dan 0,2 kapur
6. Sodium Hidroksida (NaOH) dan Sodium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) sebagai larutan aktivator pada geopolimer memiliki komposisi rasio, yaitu SS/SH = 0,5.
7. Material *fly ash* yang digunakan adalah bertipe C.
8. Menggunakan LUSI yang telah di keringkan selama 24 jam dengan suhu 110°C.
9. Suhu normal yang dimaksud adalah suhu ruangan yang berkisar antara 27°C - 35°C.

10. Pengujian kuat tekan, dan porositas mortar geopolimer dilakukan pada saat usia *sample* mortar berumur 7-14-28 hari sejak pembuatan.

## METODE

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan pembuatan *sample* hingga pengambilan data hasil pengujian dilakukan di Lab. Beton, Jurusan Teknik Sipil UNESA. Berkenaan dengan proses alur penelitian yang dilakukan, dibuat diagram alir (*flow chart*) penelitian pada Gambar 1 di bawah ini:



Gambar 1. Flow Chart Penelitian

- Tahap (1) → Persiapan Penelitian  
Guna untuk kelancaran pelaksanaan penelitian keperluan alat dan bahan perlu dipersiapkan terlebih dahulu.
- Tahap (2) → Uji Bahan Penelitian

Sebelum membuat *sample*, bahan-bahan untuk membuat mortar dites terlebih dahulu. Dimana tujuan dari pengujian ini adalah untuk mendapatkan isi kandungan penyusun dan kualitas dari masing-masing bahan yang disiapkan. Bahan yang disiapkan untuk diuji adalah sebagai berikut:

- Fly ash* dan LUSI

Dalam pengujiannya digunakan metode uji XRF pada LUSI dan *fly ash* untuk mengetahui kandungan kimia yang dimiliki yang sama seperti semen.

- Pasir

Pengujian pasir meliputi uji berat per volume pasir, uji ukuran pasir, absorpsi pasir dan komposisi lumpur yang mengacu pada SNI 03-4428-1997.

- Tahap (3) → Pembuatan *Sample* Mortar Geopolimer

Keperluan bahan uji yang dibutuhkan pada penelitian ini, dibuat dari campuran komposisi bahan pengikat dan bahan pengisi *sample* mortar, yaitu terdiri dari *fly ash*, kapur, Sodium Silikat, dan Sodium Hidroksida sebagai bahan pengganti 100% *Portland Cement* yang bertindak sebagai bahan pengikat mortar serta pasir sebagai bahan pengisi mortar.

Selanjutnya, *sample* mortar geopolimer diuji kuat tekan dan porositas saat *sample* berusia 7-14-28 hari sejak pembuatannya *sample* dengan setiap usia pengujian dibuat *sample* sebanyak 3 buah benda sampel.

Pada artikel ini, diketahui variabel berikut ini:

- Variabel Bebas: modifikasi pengganti LUSI terhadap *fly ash* sebesar 0% hingga 50% dengan rentang setiap *mix design* sebesar 5%.
- Variabel Terikat:
  - waktu ikat mortar geopolimer
  - porositas mortar geopolimer
  - kuat tekan mortar geopolimer.
- Variabel kontrol :
  - Larutan NaOH 12M
  - SS/SH 0,5
  - W/S 0,35
  - FA tipe C
  - Lumpur Sidoarjo
  - Pasir Lumajang
  - Aquades*

Dan *mix design* dapat dilihat Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. *Mix Design* Mortar Geopolimer 12M

Kebutuhan Bahan <i>Mix Design</i> dengan Kondisi SS/SH = 0,5 dan W/S = 0,35								
<i>Mix Design</i>	PC Berat (gram)	<i>Fly Ash</i> Berat (gram)	LUSI Berat (gram)	Kapur Berat (gram)	Pasir Berat (gram)	Water Berat (gram)	Sodium Silikat Berat (gram)	NaOH 12 M Berat (gram)
1	1451	0	0	0	5097.45	468.23	0	0
2	0	1309.12	0	156.61	5000.12	47.35	250.44	443.17
3	0	1227.30	50.08	156.61	5000.12	47.35	250.44	443.17
4	0	1145.48	100.15	156.61	5000.12	47.35	250.44	443.17
5	0	1063.66	150.23	156.61	5000.12	47.35	250.44	443.17
6	0	981.84	200.31	156.61	5000.12	47.35	250.44	443.17
7	0	900.02	250.39	156.61	5000.12	47.35	250.44	443.17
8	0	818.20	300.46	156.61	5000.12	47.35	250.44	443.17
9	0	736.38	350.54	156.61	5000.12	47.35	250.44	443.17
10	0	654.56	400.62	156.61	5000.12	47.35	250.44	443.17
11	0	572.74	450.69	156.61	5000.12	47.35	250.44	443.17
12	0	490.92	500.77	156.61	5000.12	47.35	250.44	443.17

4. Tahap (4) → Pelakuan Sample Mortar Geopolimer  
Perawatan *sample* mortar geopolimer yang telah dibuat selanjutnya disimpan dengan baik yaitu terhindar dari hujan dan terhindar dari terpaparnya sinar matahari dengan *sample* ditempatkan di ruangan bersuhu kamar (suhu ruangan) hingga waktu pengujian *sample* yang telah direncanakan.
5. Tahap (5) → Pelaksanaan Uji Mortar Geopolimer  
Pelaksanaan uji dilakukan dengan 3 pengetesan, yaitu pengujian kuat tekan mortar yang dilakukan dengan mesin UTM, pengujian porositas mortar dengan direndam di dalam air, dan pengujian waktu ikat mortar dengan menghilangkan kandungan pasir pada mortar sehingga didapatkan pasta *sample* mortar yang selanjutnya pasta di uji waktu ikatnya dengan menggunakan alat vicat.
6. Tahap (6) → Analisis Data  
Data hasil kuat tekan, porositas, dan waktu ikat *sample* mortar geopolimer kemudian dikaji untuk menampilkan hubungan yang terjadi dari penggunaan Lumpur Sidoarjo sebagai pengganti *fly ash*.
7. Tahap (7) → Simpulan Data  
Dari tahap sebelumnya, data hasil yang telah dikaji, kemudian disimpulkan untuk kemudian menjawab pertanyaan yang telah dirumuskan di rumusan masalah dan tujuan di atas.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Hasil Pengujian Bahan Mortar Geopolimer

#### a. Pasir Lumajang

Pasir Lumajang merupakan agregat halus yang digunakan pada artikel ini dipergunakan pasir berkondisi kering permukaan (SSD). Kemudian, diperoleh data uji pasir yang telah dilakukan, dibidang bahwa pasir lumajang yang diuji memenuhi syarat sebagai agregat halus. Lebih jelas terkait data pasir lumajang yang diuji dapat diperlihatkan **Tabel 2** dibawah ini.

**Tabel 2.** Hasil Uji Pasir Lumajang

No.	Uraian	Pasir Lumajang	Standart SNI
1	Berat Jenis	2,75 gr/cm <sup>3</sup>	Min. 2,5 gr/cm <sup>3</sup>
2	Penyerapan Air	1,63%	< 5%
3	Analisa Ayakan	Lapangan = Zona 2, FM=2,71 Campuran mortar = Zona 4, FM=2,0	Fineness Modulus (FM) = 1,50-3,80
4	Berat Volume	1,76 gr/cm <sup>3</sup>	1,5 – 2,0 gr/cm <sup>3</sup>
6	Kadar Lumpur	0,21%	< 5%

#### b. Fly Ash (FA)

Uji bahan *fly ash* dilakukan dengan metode pengujian XRF yang berlangsung di Laboratorium

FMIPA, Universitas Negeri Malang. Dan hasil uji bahan *fly ash* dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah.

Hasil uji XRF di bawah, menampilkan kandungan yang tertinggi pada *fly ash* adalah unsur Fe (besi) sebanyak 42,40%, di ikuti unsur Ca (kapur) sebanyak 24,10%, unsur Si sebanyak 18,7%, dan unsur Al sebanyak 6,00%. data tersebut termasuk XRF *fly ash* tipe C, dimana besar kandungan  $Fe_2O_3 + SiO_2 + Al_2O_3$  ( $42,4\% + 18,7\% + 6\% = 67,1\%$ ) > 50% dan unsur Ca = 24,1% > 10% selaras dengan ASTM C168.

**Tabel 3.** Data XRF FA

No	Komposisi Kimia	Kandungan (%)
1	Al	6,00
2	Si	18,70
3	K	1,52
4	Ca	24,10
5	Ti	1,34
6	V	0,0056
7	Cr	0,094
8	Mn	0,66
9	Fe	42,40
10	Ni	0,04
11	Cu	0,076
12	Zn	0,02
13	Sr	1,00
14	Mo	2,20
15	Ba	0,67
16	Eu	0,50
17	Yb	0,06
18	Re	0,20
19	Hg	0,30

#### c. Lumpur Sidoarjo (LUSI)

Lumpur Sidoarjo yang telah dikeringkan dalam oven, kemudian diuji XRF yang berlangsung di Lab. FMIPA, UM. Dari uji XRF LUSI, didapatkan unsur Si adalah unsur terbesar yang terkandung dalam LUSI yaitu sebesar 36,5%. Untuk unsur kimia yang lain, dapat dilihat dari Tabel 4. sebagai berikut:

**Tabel 4.** Data XRF LUSI

No	Komponen Kimia	Unit (%)	No	Komponen Kimia	Unit (%)
1	Al	12,00	10	Fe	32,7
2	Si	36,50	11	Cu	0,13
3	S	0,30	12	Zn	0,07
4	K	3,67	13	Br	0,16
5	Ca	7,49	14	Sr	0,79
6	Ti	2,01	15	Mo	3,00
7	V	0,12	16	Eu	0,42
8	Cr	0,079	17	Re	0,20
9	Mn	0,46			

d. Portland Cement (PC)

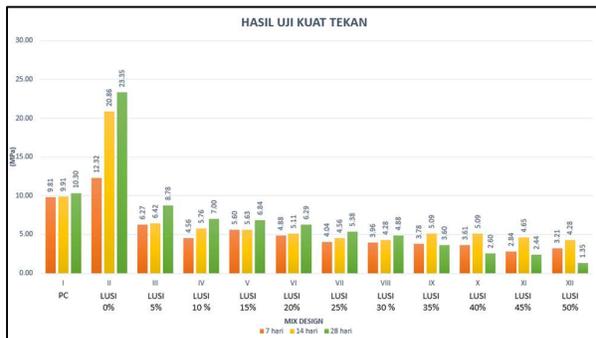
Portland Cement pada penelitian ini berfungsi sebagai bahan pengikat pada mortar dalam *mix design* 1 atau dapat disebut *mix design control*. Hasil Uji PC didapatkan dari pengujian yang sama dengan *fly ash* dan LUSI ,yaitu pengujian XRF. Dan data XRF PC dapat diperlihatkan Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Data XRF PC

No	Komponen Kimia	Unit (%)
1	Al	4,60
2	Si	13,60
3	S	0,01
4	K	0,99
5	Ca	55,10
6	Ti	1,20
7	V	0,075
8	Cr	0,063
9	Mn	0,42
10	Fe	20,4
11	Cu	0,13
12	Zn	0,07
13	Sr	0,52
14	Mo	1,40
15	In	0,60
16	Ba	0,20
17	Eu	0,20
18	Re	0,30
19	Hg	0,10

2. Data Kuat Tekan

Data kuat tekan didapatkan dari pengujian beban mortar geopolimer dengan diberi beban tekan yang berfungsi sebagai mutu mortar tersebut. Pemberian beban pada mortar geopolimer berlangsung saat mortar berusia 7-14-28 hari. Data uji kuat tekan ditampilkan pada Gambar 2 dibawah ini.

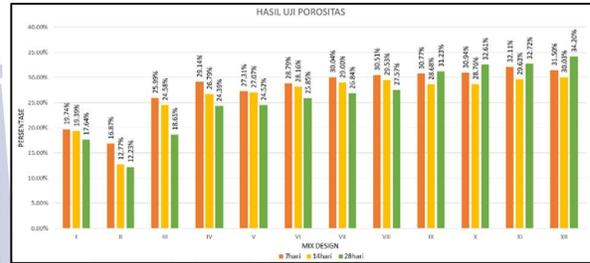


Gambar 2. Grafik Data Kuat Tekan Mortar Geopolimer 7-14-28 Hari

Dari data grafik diatas, didapatkan kuat tekan maksimum pada *mix design* 2 yaitu sebesar 23,35 MPa saat umur mortar geopolimer 28 hari.

3. Data Porositas

Data porositas didapatkan dari pengujian mortar dengan menenggelamkan mortar di dalam air selama sehari kemudian ditimbang berat air yang terpenetrasi ke dalam mortar tersebut. Nilai porositas yang diperoleh berfungsi sebagai seberapa besar pori yang dialami oleh mortar geopolimer. Data uji porositas ditampilkan pada Gambar 3 berikut.



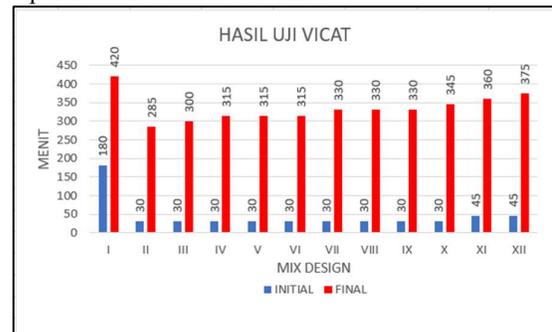
Gambar 3. Grafik Data Porositas Umur 7-14-28 Hari

Data grafik diatas, didapatkan data porositas tertinggi pada *mix design* 2 yaitu sebesar 34,20% dan porositas terendah pada *mix design* 2 yaitu sebesar 12,23%.

4. Data Waktu Ikat (Setting Time) Pasta

Data waktu ikat dibawah memperlihatkan *mix design* 1 atau *mix design* kontrol mempunyai *initial setting time* dan *final setting time* secara berturut-turut sebesar 180 menit dan 420 menit. Sehingga data tersebut sesuai dengan waktu ikat pasta semen konvensional, yaitu lebih dari 60 menit (180 menit > 60 menit) untuk *initial setting time*, dan kurang dari 480 menit (420 menit < 480 menit) untuk *final setting time*.

Berbeda dengan *sample* lain, pasta mortar geopolimer *mix design* 2 hingga *mix design* 12 tidak selaras dengan pasta semen normal. Dimana dari grafik data di bawah, *initial setting time* mengalami percepatan waktu yang signifikan sebesar < 60 menit namun waktuuikiatiakhir sudah selaras yaitu sebesar < 480 menit. Lebih spesifik, data waktu ikat diperlihatkan Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Data Waktu ikat

## 5. Pembahasan

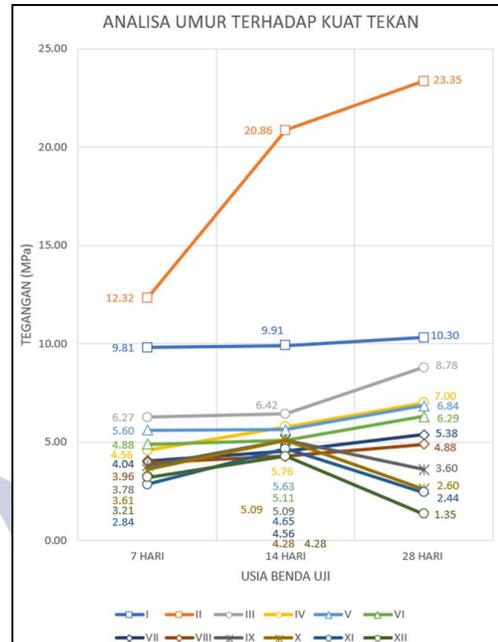
Data penelitian yang telah diperoleh pada sub bab sebelumnya, yaitu data kuat tekan, data porositas, dan data waktu ikat kemudian dianalisa seberapa efektif pemakaian LUSI pada mortar geopolimer sehingga uji kuat tekan dijadikan fokus utama dalam melakukan hubungan analisa dalam pembahasan penelitian ini. Sesuai penelitian sebelumnya, mortar geopolimer mengalami nilai kuat tekan tertinggi terjadi saat usia mortar berumur 28 hari.

Dengan acuan utama kuat tekan didapat 3 analisa hubungan, yaitu analisa kuat tekan x usia *sample*, analisa kuat tekan x waktu ikat, dan analisa kuat tekan x porositas.

### a. Analisa Kuat Tekan x Usia

Uji kuat tekan dilakukan saat mortar geopolimer berusia 7-14-28 hari dengan tujuan untuk menunjukkan hubungan yang terjadi antara usia mortar mempengaruhi kekuatan tekan mortar geopolimer. Penelitian sebelumnya, mortar memiliki nilai kekuatan tekan tertinggi saat usia mortar berumur 28 hari. Hal tersebut terjadi disebabkan oleh reaksi pada unsur kimia mortar telah sepenuhnya mengikat yang membuat kuat tekan pada usia 28 hari lebih tinggi bila dibandingkan mortar yang berusia 7-14 hari yang unsur kimia dalam mortar belum mengikat sepenuhnya. Lebih lanjut, data kuat tekan x usia mortar dapat dilihat pada grafik **Gambar 5** di samping.

Dari grafik data kuat tekan dan usia mortar yang ditampilkan di samping, bertambahnya usia mortar menyebabkan meningkatnya nilai uji kuat tekan. Namun dengan penambahan persentase LUSI berlebih mengakibatkan penurunan kuat tekan di Usia 28 hari. Seluruh mortar pada setiap *mix design* terkecuali *mix design 2* mengalami penambahan nilai kuat tekan pada saat *sample* berusia 7-14 hari dengan karakteristik grafik sama dengan *mix design* kontrol semen yaitu landai. Landainya kuat tekan disebabkan unsur dalam mortar belum mengikat sepenuhnya pada usia mortar 7 hari. Saat usia mortar 14-28 hari, kuat tekan mortar mengalami peningkatan sampai *mix design 8*, dan mengalami penurunan nilai kuat tekan dari *mix design 9* hingga *mix design 12*. Untuk selisih nilai kuat tekan tertinggi dari uji kuat tekan terhadap usia mortar didapatkan pada *mix design 2* dengan rincian mengganti LUSI dengan *fly ash* sebesar 0% antara usia 14 hari & 28 hari yaitu sebesar 2,49 MPa.



**Gambar 5.** Data Kuat Tekan x Usia Mortar

Berikut selisih nilai kuat tekan mortar geopolimer 28 hari:

- *mix design 3* (LUSI 5%) → 2,36 MPa
- *mix design 4* (LUSI 10%) → 1,24 MPa
- *mix design 5* (LUSI 15%) → 1,21 MPa
- *mix design 6* (LUSI 20%) → 1,18 MPa
- *mix design 7* (LUSI 25%) → 0,83 MPa
- *mix design 8* (LUSI 30%) → 0,60 MPa
- *mix design 9* (LUSI 35%) → -1,49 MPa
- *mix design 10* (LUSI 40%) → -2,48 MPa
- *mix design 11* (LUSI 45%) → -2,21 MPa
- *mix design 12* (LUSI 50%) → -2,94 MPa

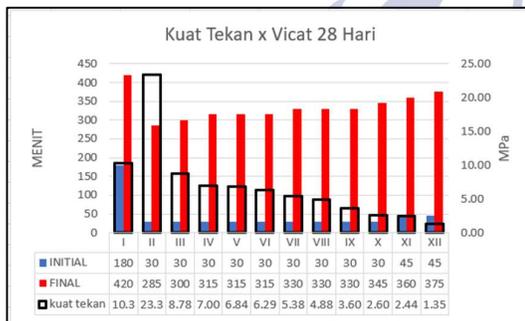
Dari analisa di atas, dapat dilihat bahwa bertambahnya kadar Lumpur Sidoarjo (LUSI) mempengaruhi beda pertumbuhan nilai kuat tekan mortar antara usia mortar 14 hari dan usia mortar 28 hari. Beda pertumbuhan nilai kuat tekan mortar yang terjadi terus menurun, dengan beda nilai yang terjadi terus membuat mortar geopolimer kehilangan kuat tekannya pada *mix design 9* hingga *mix design 12*. Sehingga dapat ditarik penjelasan apabila kekuatan tekan mortar berbanding lurus dengan umur mortar.

Hal ini selaras dengan penelitian sebelumnya menurut Van Jaarsveld, Van Deventer dan Luckey (2002) dalam buku Sumajouw et al, memperlihatkan properti dari material geopolimer dipengaruhi oleh proses disolusi material yang terjadi saat geopolimerisasi. Kandungan air, waktu perawatan, dan temperatur perawatan terhadap beton segar memberikan pengaruh terhadap karakteristik material geopolimer. Khusus untuk temperatur perawatan dan waktu perawatan sangat mempengaruhi kuat tekan pasta

geopolimer. Pada temperatur 70°C dengan lama perawatan 24 jan terjadi peningkatan berarti pada kuat tekan pasta geopolimer, akan tetapi perawatan yang lebih lama hanya akan menurunkan kuat tekan saja.

b. Analisa Kuat Tekan x Waktu ikat

Uji waktu ikat mortar dilakukan untuk mengetahui seberapa cepat waktu yang diperlukan pasta mortar geopolimer yang diteliti untuk mengikat unsur yang dikandungnya. Analisa ini berfungsi sebagai pembandingan dari waktu ikat yang terjadi pada mortar akan memiliki efek meningkatkan atau menurunkan kuat tekan pada mortar tersebut. Lebih jelas, data analisa kuat tekan x waktu ikat mortar geopolimer diperlihatkan **Gambar 6** berikut.

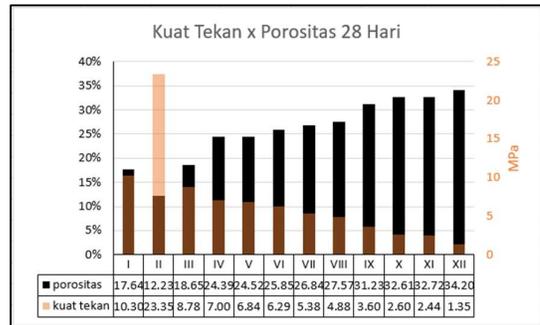


**Gambar 6.** Data Waktu Ikat x Kuat Tekan

Data grafik analisa kuat tekan x waktu ikat yang disajikan pada **Gambar 6**. semakin banyak LUSI yang digunakan pada setiap *mix design* mengakibatkan bertambahnya waktu ikat pada pasta. Hasil uji vicat cenderung naik secara stabil dengan penambahan waktu sebesar 15 menit. Namun pada beberapa *mix design* penambahan terhenti sejenak, yaitu pada *mix design 5*, *mix design 6*, *mix design 8*, dan *mix design 9*. Bertambahnya waktu ikat disebabkan kandungan Ca pada Lumpur Sidoarjo yang cukup rendah yaitu 7.49%. Sehingga dapat di tarik penjelasan jika bertambahnya kadar Lumpur Sidoarjo (LUSI) mengakibatkan kuat tekan mortar berbanding terbalik dengan waktu ikat (setting time) mortar geopolimer.

c. Analisa Kuat Tekan x Porositas

Dilakukan pengujian porositas setiap *mix design* mortar geopolimer. Pengujian bertujuan untuk memperlihatkan persentase pori-pori yang dimiliki pada mortar geopolimer. Data analisa kuatitekan x porositasi mortar geopolimer diperlihatkan pada **Gambar 7** berikut.



**Gambar7.** Data Porositas x Kuat Tekan

Dari grafik analisa di atas, dapat diperhatikan jika nilai kuat tekan maksimum diperoleh *mix design 2* dengan kuat tekan senilai 23,35 Mpa dan porositas yang dimiliki senilai 12,23%. Sebaliknya, nilai kuat tekan minimum diperoleh *mix design 12* dengan kuat tekan senilai 1,35 Mpa dan porositas yang dimiliki senilai 34,20%. Kemudian, *mix design 3 – 11* menampilkan bahwa kuat tekan yang terjadi berbanding terbalik terhadap hasil uji porositas.

Hal ini selaras dengan hasil dari penelitian sebelumnya, yaitu menurut Van Jaarveld, Van Deventer, and Schwartzman (1999) dalam buku Sumajouw et al menjelaskan, beberapa faktor yang mempengaruhi kuat tekan adalah proses pencampuran dan komposisi kimia dari abu terbang. Kandungan CaO yang tinggi akan menurunkan porositas mikrostruktur material yang mengakibatkan peningkatan kuat tekan.

**PENUTUP**

**Simpulan**

Pemakaian Lumpur Sidoarjo sebagai pengganti *fly ash* dengan ketentuan larutan NaOH 12 Molar, SS/SH=0,5, dan W/S=0.35 pada mortar geopolimer dalam penelitian ini, dapat disimpulkan sebagai berikut:

a. Kuat tekan tertinggi diperoleh *mix design 2* senilai 22,35 MPa yang merupakan *mix design* kontrol pada penelitian ini. Dan kuat tekan *mix design* lain adalah sebagai berikut:

- *mix design 3* (LUSI 5%) → 2,36 MPa
- *mix design 4* (LUSI 10%) → 1,24 MPa
- *mix design 5* (LUSI 15%) → 1,21 MPa
- *mix design 6* (LUSI 20%) → 1,18 MPa
- *mix design 7* (LUSI 25%) → 0,83 MPa
- *mix design 8* (LUSI 30%) → 0,60 MPa
- *mix design 9* (LUSI 35%) → -1,49 MPa
- *mix design 10* (LUSI 40%) → -2,48 MPa
- *mix design 11* (LUSI 45%) → -2,21 MPa
- *mix design 12* (LUSI 50%) → -2,94 MPa

b. Hasil persentase porositas adalah sebagai berikut:

- *mix design* 2 (LUSI 5%) → 12,23%
- *mix design* 3 (LUSI 5%) → 18,65%
- *mix design* 4 (LUSI 10%) → 24,39%
- *mix design* 5 (LUSI 15%) → 24,52%
- *mix design* 6 (LUSI 20%) → 25,85%
- *mix design* 7 (LUSI 25%) → 26,84%
- *mix design* 8 (LUSI 30%) → 27,57%
- *mix design* 9 (LUSI 35%) → 31,23%
- *mix design* 10 (LUSI 40%) → 32,61%
- *mix design* 11 (LUSI 45%) → 32,72%
- *mix design* 12 (LUSI 50%) → 34,20%

Sehingga persentase porositas terendah dan tertinggi secara berurutan yaitu *mix design* 2 (12,23%) dan *mix design* 12 (34,20%).

- c. Berdasarkan hasil uji kuat tekan, hasil uji porositas, dan hasil uji waktu ikat mortar geopolimer pada penelitian ini, jumlah penambahan yang dianjurkan LUSI sebagai pengganti *fly ash* dengan ketentuan larutan NaOH 12 Molar, SS/SH 0,5, dan W/S 0,35 adalah 0% (sesuai *mix design* 2 atau *mix design* kontrol).
- d. Pada analisa kuat tekan x porositas, hubungan yang terjadi pada uji keduanya adalah berbanding terbalik. Semakin bertambahnya nilai kuat tekan, maka semakin berkurang persentase porositas yang terjadi, dan sebaliknya.

#### Saran

Berlandaskan penelitian yang telah dilakukan, diberikan beberapa saran untuk penelitian berikutnya maupun untuk produksi mortar geopolimer yang akan datang, ialah proses pencampuran bahan mortar dipastikan mortar telah tercampur secara homogen untuk menghindari mortar mengalami keropos pada permukaan dan bagian terdalam 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 C 618-93. "*Standard Test Method for Fly Ash and Raw or calcined Natural Pozzolan for Use as a mineral Admixture in Portland Cement Concrete*," American Society for Testing of Concrete's, 1991
- Badan Standarisasi Nasional (1990). *SNI 03-1968-1990. Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional (1990). *SNI 03-1970-1990. Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. 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 (1991). *Geopolymer: Inorganic Polymeric New Materials*. Geopolymer Institute, France.

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

Hardjito, D. and Rangan, B. V., *Development and Properties of Low Calcium Fly Ash-based Geopolymer Concrete, Research Report GCI, Faculty of Engineering, Curtin University of Technology, Perth, 2005*

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.

Rangan, B.V. "*Low-Calcium Fly Ash-based Geopolymer Concrete*", Chapter 26 in *Concrete Construction Engineering Handbook*, Editor-in Chief: E.G. Nawy, Second Edition, CRC Press, New York, 2008.

Sumajouw, Martin D. J. dan Dapas, Servie O. (2013), *Elemen Struktur Beton Bertulang Geopolimer*. Penerbit Andi, Jalan Beo 38-40, Yogyakarta.

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.