

ANALISA KUAT TEKAN DAN POROSITAS TERHADAP LUMPUR SIDOARJO (LUSI) PADA MORTAR GEOPOLIMER SEBAGAI PENGGANTI FLY ASH DENGAN RASIO 1:3 PASIR PADA KONDISI SS/SH 1,0 DAN NAOH 12 MOLAR

Sigit Sulaksono Putra

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

sigitputra@mhs.unesa.ac.id

Arie Wardhono

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

ariewardhono@unesa.ac.id

Abstrak

Ordinary Portland Cemen (PC) merupakan bahan utama dari beton dan mortar, karena hal tersebut PC berperan penting pada bidang konstruksi dan penggunaan PC tersebut akan semakin meningkat. Pada tahun 2011 permintaan kebutuhan semen juga semakin meningkat, dan sudah mencapai 48 juta ton. *Ordinary Portland Cemen (PC)* juga memberikan dampak buruk pada lingkungan berupa konsumsi daya energi cukup tinggi yang diperlukan untuk memproduksi, menambang, dan mengangkut semen; juga terkait polusi udara, adapun timbulnya gas-gas rumah kaca (contohnya, karbon dioksida), SO₂, dioksin, dan partikulatnya. Salah satu langkah untuk mengurangi penggunaan PC yaitu menggunakan mortar geopolimer, yang mana untuk bahan baku materialnya tanpa mempergunakan PC, melainkan mengganti PC tersebut menggunakan Lumpur Sidoarjo (LUSI). Penelitian ini meneliti tentang mortar geopolimer berbahan dasar *fly ash* dengan LUSI sebagai bahan pengganti, kedua bahan tersebut selanjutnya sebagai bahan utama yang akan difokuskan dalam penelitian ini dengan menggunakan komposisi campuran dengan prosentase sebesar 0% sampai dengan 50%, dan sebagai kontrol akan diberikan kelipatan 5% disetiap variasi LUSI dan PC. Penelitian ini menggunakan aktivator 12M dengan menggunakan larutan NaOH, SS/SH dengan rasio sebesar 1,0, tingkat kadar solid larutan aktivator (w/s) sebesar 0,35 dan perbandingan rasio aktivator dengan pasir sebesar 1:3. Dimana hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa pada pengujian nilai kuat tekan akan terus meningkat seiring dengan bertambahnya prosentase LUSI yang akan digunakan. Hasil pengujian nilai kuat tekan maksimal pada usia 28 hari dengan penambahan 0% yaitu sebesar 22,25MPa dan memiliki nilai terendah pada penambahan 50% yaitu sebesar 2,99 MPa. Dan pada hasil pengujian porositas usia 28 hari memiliki nilai yang berbanding terbalik dengan nilai kuat tekan dengan titik terendah terjadi pada substitusi 0% yaitu sebesar 12,38% dan terjadi peningkatan pada nilai maksimal pada substitusi 50% yaitu sebesar 25,25%. Dari hasil nilai kuat tekan dan porositas dapat dikatakan bahwa hubungan nilai kuat tekan dan porositas berbanding terbalik. Hal ini dapat ditunjukkan bahwa pengaruh substitusi LUSI pada mortar geopolimer akan memberikan nilai kuat tekan dan porositas yang lebih baik.

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

Abstract

Ordinary Portland Cement (PC) is the main ingredient of concrete and mortar, because of this, PC is very much needed in the construction sector and the use of PC will increase. In 2011, the demand for cement demand also increased, and had reached 48 million tons. *Ordinary Portland Cemen (PC)* also has an adverse impact on the environment in the form of high energy consumption required to mine, produce, and transport cement; and associated air pollution, including the release of greenhouse gases (eg, carbon dioxide), dioxins, SO₂, and particulates thereof. One alternative to reduce the use of PC is to use geopolimer mortar, where the material does not use PC, replacing the PC with Sidoarjo's Mud (LUSI). This research examines the geopolimer mortar made from fly ash with LUSI as a substitute, the two materials are then the main ingredients to be focused on in this study using a mixture composition with a percentage of 0% to 50%, and as a control, a multiple of 5 will be given in each of the LUSI and PC variations. This study used 12M activator using NaOH solution, SS / SH ratio of 1.0, solid content of activator solution (w/s) of 0.35 and the ratio of activator to sand was 1: 3. The results of this study indicate that in testing the compressive strength value will continue to increase along with the increase in the percentage of LUSI to be used. The test results of the maximum compressive strength value at the age of 28 days with the addition of 0%, namely 22.25MPa and the lowest value at the addition of 50%, namely 2.99 MPa. And the results of the 28-day age porosity test have a value that is inversely proportional to the compressive strength value with the lowest point occurring at 0% substitution, which is 12.38% and an increase in the maximum value at 50% substitution is 25.25%. From the results of the compressive strength and porosity values, it can be said that the relationship between the compressive strength and porosity values is inversely proportional. It can be shown that the effect of LUSI substitution on geopolimer mortar will provide better compressive strength and porosity values.

Keywords: Geopolymer Mortar, Sidoarjo's Mud, Fly Ash, Porosity, compressive strength,.

PENDAHULUAN

Teknologi dan pengetahuan yang semakin berkembang pesat di bidang konstruksi memacu kita untuk lebih meningkatkan *standart* mutu untuk dapat ambil andil dalam meningkatkan kualitas pembangunan konstruksi, pada saat ini Indonesia menunjukkan terjadinya kondisi peningkatan kualitas mutu pembangunan seiring dengan pertumbuhan jumlah masyarakat Indonesia yang terus meningkat terutama di kota besar. Hingga saat ini mortar menjadi material utama penyusun beton yang sangat penting di bidang konstruksi yang mana material penyusunnya yang terdiri dari komposisi utama yaitu agregat, air, dan semen.

Bahan material utama dari beton dan mortar sebagai bahan pengikat ialah *Ordinary Portland Cemen (PC)*, oleh karena itu *PC* sangat berpengaruh dan diperlukan dalam dunia konstruksi seiring dengan dibutuhkannya 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 skala besar. Maka dari itu, untuk pengembangan di masa yang akan datang diperlukan bahan material lainnya pengganti *PC* sebagai usaha untuk menekan dampak buruk bagi lingkungan.

Mortar Geopolymer merupakan mortar yang menggunakan bahan pengikat utama abu terbang atau biasa disebut *fly ash* sebagai material dasar pengganti semen karena silika dan aluminanya yang dikandung sangat tinggi. *Fly ash* akan dicampurkan dengan larutan alkali berupa Sodium Hidroksida dan akan dicampurkan Sodium Silikat sebagai bahan aktivatornya. Mortar geopolimer bisa disebut sebagai alternatif untuk mengatasi permasalahan yang terjadi pada produksi *PC* yang semakin tinggi dan akan berdampak buruk bagi lingkungan.

Fly Ash (FA) merupakan bahan sampingan dari sisa pembakaran batu bara yang berasal dari perusahaan pembangkit tenaga listrik yang mengandung silika (SiO_2) yang tinggi dan bersifat pozzolan sehingga memenuhi syarat dan dapat digunakan sebagai campuran bahan dasar pengikat dalam beton. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Rachmi, 2013 menunjukkan hasil dari pengujian komposisi kimia yang terkandung pada *Fly Ash* yaitu CaO sebesar 2.68 %, SiO_2 sebesar 52 %, MgO sebesar 4.66 %, Al_2O_3 sebesar 31.86 %, dan Fe_2O_3 sebesar 4.89 %.

Bencana Lumpur Lapindo yaitu suatu peristiwa bencana yang disebabkan oleh menyemburnya lumpur panas disertai gas di lokasi pengeboran PT Lapindo Brantas di Desa Renokenongo, kecamatan Porong, kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Lumpur panas Sidoarjo dikatakan sebagai bencana alam yang sampai saat ini menyebabkan kerugian yang sangat besar pada masyarakat sekitar yang terkena terdampak. Hasil semburan lumpur tersebut memiliki komposisi material vulkanis yang disertai gas bumi, sehingga semburan gas tersebut dinamakan *mud volcano* (BPLS, 2009).

Dengan mengacu pada penelitian yang sudah dilakukan terlebih dahulu oleh (Antoni dkk, 2014) bahwa hasil campuran bahan lumpur Sidoarjo dengan *fly ash* sebagai bahan material dasar geopolimer, akan menghasilkan mortar geopolymer bermutu tinggi dengan kuat tekan maksimum 64 MPa pada usia 28 hari yang telah memenuhi kriteria mortar geopolimer mutu tinggi. Selanjutnya pada penelitian yang dilakukan oleh Pretiwi dan Theresia pada tahun 2012 yang mengatakan bahwa penambahan lumpur sidarjo (LUSI) dapat meningkatkan kualitas campuran, hasil dari penelitian tersebut menunjukkan hasil bahwa lumpur Sidoarjo (LUSI) memiliki komposisi SiO_2 sebesar 53% dan Al_2O_3 sebesar 18%.

Kedua bahan alternatif alami tersebut yaitu *fly ash* dan Lumpur Sidoarjo (LUSI) yang merupakan bahan pengganti semen dicampur dengan Sodium Hidroksida (NaOH) yang sebagai bahan aktivator dan Sodium Silikat (Na_2SiO_3) agar timbul reaksi kimia dan akan terbentuk ikatan polimer. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Januarti dan Triwulan, 2013) telah meneliti tentang sodium sebagai aktivator *Fly Ash*, bahan Trass dan Lumpur Sidoarjo (LUSI) dalam beton geopolimer dimana bahan lumpur sidarjo disubstitusikan pada *Fly Ash*. Hasil studi tersebut memperlihatkan bahwa kuat tekan beton sangat dipengaruhi oleh konsentrasi NaOH , perbandingan Na_2SiO_3 terhadap larutan NaOH dan material penyusun dasar bindernya. Berdasarkan kondisi tersebut dilakukan penelitian mortar geopolimer dengan Sodium Hidroksida (NaOH) dan Sodium Silikat (Na_2SiO_3) sebagai aktivatornya dan lumpur sidarjo sebagai bahan pengganti *Fly Ash* pada mortar geopolimer.

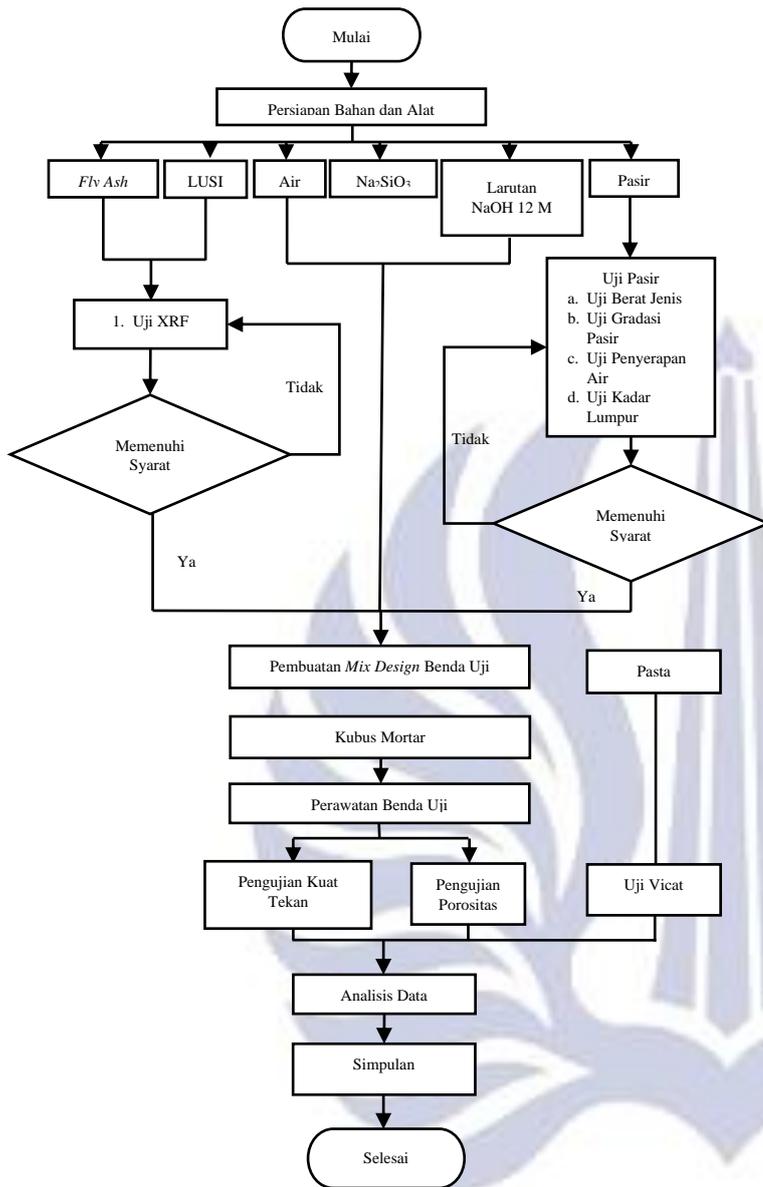
METODE PENELITIAN

Tahap-tahap penelitian ini dilakukan secara langsung di laboratorium Teknik Sipil Unesa dan menggunakan metode uji laboratorium (*experimental*) pada proses pengumpulan data. Penelitian ini dilakukan dengan melalui tahapan-tahapan, dengan proses persiapan sampai pengujian dan menggunakan referensi dari penelitian-penelitian sebelumnya sebagai acuan, kemudian dilakukan penelitian molar sebesar 1.0 dengan variasi perbandingan rasio SS/SH 12 dengan *water solid* larutan activator (w/s) sebesar 0.35. Penelitian ini menggunakan mortar kubus 5x5x5 cm yang mengacu pada hasil dari pengujian eksperimen yang dilakukan dengan uji kuat tekan serta uji porositas.

Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan nilai rasio optimum dari penambahan lumpur sidarjo terhadap *fly ash* pada mortar geopolimer dengan bahan dasar Lumpur Sidoarjo (LUSI), air, *fly ash* dan aktivator berupa campuran dari *sodium hidoroksida* dan *sodium silikat* terhadap kuat tekan dan porositas. Berikut ini merupakan tahapan-tahapan penelitian yang akan dilakukan, yaitu:

Tabel 1. Mix Design

Mix Design Dengan Kondisi SS/SH 12 Molar = 1.0 dan W/S = 0.35								
Mix Design	PC	Pasir	Fly Ash	Lusi	Kapur	Air	Sodium Silikat	NaOH 12M
1.	1	3	0	0	0	0.485	0	0
2.	0	3	0.8	0	0.2	0.05	0.260	0.260
3.	0	3	0.75	0.05	0.2	0.05	0.260	0.260
4.	0	3	0.7	0.1	0.2	0.05	0.260	0.260
5.	0	3	0.65	0.15	0.2	0.05	0.260	0.260
6.	0	3	0.6	0.2	0.2	0.05	0.260	0.260
7.	0	3	0.55	0.25	0.2	0.05	0.260	0.260
8.	0	3	0.5	0.3	0.2	0.05	0.260	0.260
9.	0	3	0.45	0.35	0.2	0.05	0.260	0.260
10.	0	3	0.4	0.4	0.2	0.05	0.260	0.260
11.	0	3	0.35	0.45	0.2	0.05	0.260	0.260
12.	0	3	0.3	0.5	0.2	0.05	0.260	0.260



Gambar 1. Bagan Tahapan Alur Penelitian

- Persiapan bahan dan alat
Guna memerlancar dalam proses pembuatan mortar *geopolymer* alat dan bahan akan dipersiapkan terlebih dahulu.
- Pengujian Bahan Material
Fly Ash, Lumpur Sidoarjo (LUSI) dan pasir yang merupakan bahan dasar mortar *geopolymer* akan diuji untuk mengetahui karakteristik bahan tersebut.
- Pembuatan Benda Uji Berdasarkan *Mix Design*
Laboratorium Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya merupakan tempat proses pembuatan benda uji dilakukan di sesuai dengan prosedur pelaksanaan. Perhitungan *mix design* untuk mendapatkan rasio dan kebutuhan bahan yang direncanakan terlebih dahulu sebelum proses ke tahap membuat benda uji.

4. Perawatan (Curing)

Pada tahapan ini akan dapat dilakukan dengan cara menempatkan benda uji dengan baik pada suhu ruang dan melindungi dari cahaya matahari secara langsung sampai waktu benda uji siap diuji sesuai rencana.

5. Pengujian Benda Uji

Variabel dari pengujian penelitian ini yaitu melakukan pengujian kuat tekan, pengujian porositas dan pengujian vicat.

6. Analisis Data

Teknik analisa data ini dilakukan dengan menyusun hasil data dari penelitian dan disusun dalam bentuk tabel dan grafis.

7. Penarikan Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini dapat diambil dari analisis hasil dari pengujian benda uji yang diperoleh dan disusun dari penelitian guna penelitian lebih lanjut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengujian Material benda uji

Pada penelitian ini akan melakukan pengujian material utama penyusun mortar *geopolymer* yaitu : Pasir, *Fly Ash*, LUSI, dan PC

a. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus

Tabel 2 Data Hasil Pengujian Agregat Halus

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

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir lumajang dalam keadaan kering permukaan (SSD). Dari hasil pengujian, dapat dibuktikan bahwa pasir tersebut memenuhi standart sebagai agregat halus.

a. *Portland Cement* (PC)

Portland Cement yang digunakan pada penelitian ini digunakan sebagai bahan pengikat utama pada mortar dalam *mix design* 1 atau dapat disebut *mix design control*. Hasil Uji *Portland Cement* dengan metode XRF terlampir pada **Tabel 3** berikut ini.

Tabel 3. Hasil Data XRF PC

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

b. *Fly Ash* (FA)

Hasil pengujian *fly ash* dengan metode XRF diuji pada Laboratorium FMIPA, Universitas Negeri Malang.

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 4. Hasil Data XRF FA

No	Komponen Kimia	Unit (%)	No	Komponen Kimia	Unit (%)
1	Hg	0,03	11	Yb	0,06
2	Al	6,00	12	Fe	42,40
3	Si	18,70	13	Cu	0,076
4	Ni	0,04	14	Zn	0,02
5	K	1,52	15	Ba	0,67
6	Ca	24,10	16	Sr	1,0
7	Ti	1,34	17	Mo	2,20
8	V	0,0056	18	Eu	0,50
9	Cr	0,094	19	Re	0,20
10	Mn	0,66			

c. Lumpur Sidoarjo (LUSI)

Lumpur Sidoarjo dalam kondisi kering oven, selanjutnya dilakukan pengujian XRF yang dilakukan pada Laboratorium FMIPA, Universitas Negeri Malang. Dari hasil pengujian, didapatkan unsur Si adalah unsur yang paling tinggi terkandung pada LUSI tersebut yaitu sebesar 36,5%. Adapun unsur kimia yang lain, dapat dilihat dari **Tabel 5.** sebagai berikut:

Tabel 5. Hasil Data XRF LUSI

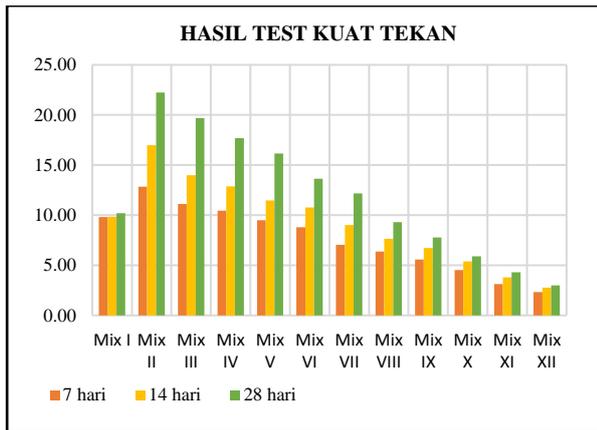
No	Komponen Kimia	Unit (%)	No	Komponen Kimia	Unit (%)
1	Re	0,20	10	Mn	0,46
2	Al	12,00	11	Fe	32,7
3	Si	36,50	12	Cu	0,13
4	S	0,30	13	Zn	0,07
5	K	3,67	14	Br	0,16
6	Ca	7,49	15	Sr	0,79
7	Ti	2,01	16	Mo	3,00
8	V	0,12	17	Eu	0,42
9	Cr	0,079			

2. Pengujian Hasil Tes Kuat Tekan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai beban maksimal yang dapat di oleh benda uji. Rancangan *Mix design* pada penelitian ini yaitu berjumlah 12 *mix design* dengan 3 buah benda uji pada setiap pengujian dan umur yang direncanakan yaitu 7, 14 dan 28 hari.

Tabel 6. Hasil Data Hasil Pengujian Kuat Tekan

Mix	Umur	Kuat Tekan (Mpa)	Mix	Umur	Kuat Tekan (Mpa)
I	7	9,81	VII	7	7.03
	14	9,84		14	9.02
	28	10,21		28	12.18
II	7	12.83	VIII	7	6.38
	14	16.98		14	7.66
	28	22.25		28	9.29
III	7	11.12	IX	7	5.59
	14	14.06		14	6.71
	28	19.68		28	7.77
IV	7	10.44	X	7	4.53
	14	12.86		14	5.38
	28	17.67		28	5.90
V	7	9.49	XI	7	3.11
	14	11.46		14	3.78
	28	16.15		28	4.30
VI	7	8.59	XII	7	2.34
	14	10.14		14	2.76
	28	13.63		28	2.99

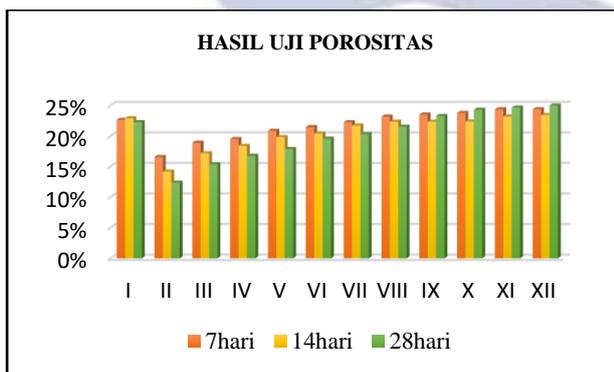


Gambar 2. Grafik Hasil Test Kuat Tekan

Dari Gambar 2. tersebut menunjukkan bahwa hasil kuat tekan usia 7, 14 dan 28 hari terjadi kenaikan secara konsisten dari *mix design* 1 atau kontrol dengan hasil kuat tekan terendah yaitu 9,81 MPa, 9,84 MPa dan 10,21 MPa hingga *mix design* 2 dengan hasil kuat tekan rata-rata tertinggi sebesar 12,83 MPa, 16,98 MPa dan 22,25 MPa dan terjadi penurunan substitusi LUSI setelah *mix design* 2 hingga *mix design* 12 dengan kuat tekan terendah sebesar 2,34 MPa, 2,76 MPa dan 2,99 MPa yang menggunakan substitusi LUSI 50% terhadap *fly ash*.

3. Hasil Pengujian Porositas

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



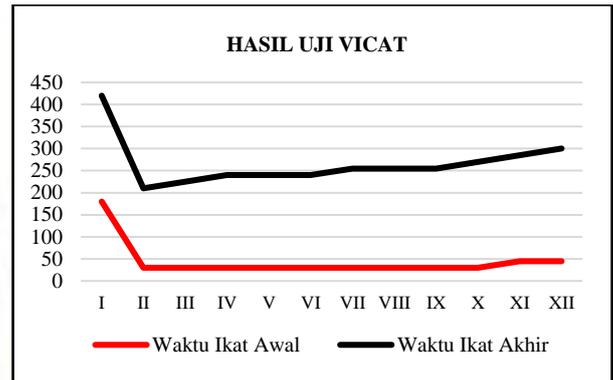
Gambar 3. Grafik Hasil Pengujian Porositas

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa hasil kuat tekan berbanding terbalik dengan hasil porositas. Prosentase porositas mortar dengan nilai terendah pada *mix design* 12 dan akan terus meningkat hingga *mix design* 2, hasil uji tertinggi usia 7, 14 dan 28 hari terjadi pada *mix design* 12 yaitu sebesar 23,49%, 23,44% dan 25,25% dengan rasio substitusi 50% LUSI terhadap *fly ash*. Terjadi penurunan hasil prosentase yang terendah yaitu pada *mix design* 2 usia 7, 14 dan 28 hari dengan

rasio substitusi LUSI terhadap *fly ash* 0% sebesar 16,59%, 14,19% dan 12,38%.

4. Hasil Pengujian Vicat

Untuk mengetahui durasi waktu pengikatan yang terjadi pada benda uji dilakukan pengujian vicat dengan kondisi suhu ruangan di laboratorium Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya. Dalam pengujian ini akan dibuat adonan dari 1 sampel benda uji pada masing-masing *mix design* yang direncanakan. Hasil pengujian ini didapatkan hasil sebagai berikut:



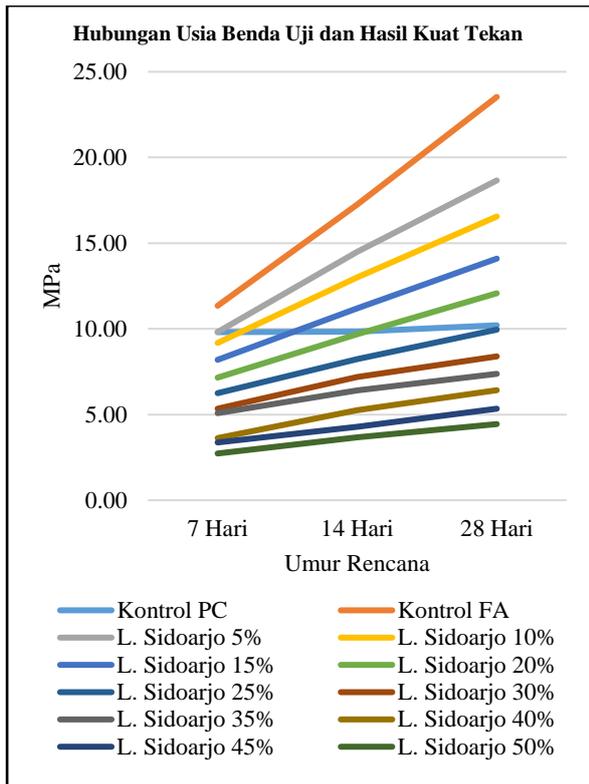
Gambar 4. Grafik Hasil Uji Vicat

Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa hasil waktu ikat awal dari setiap *mix design* pasta mortar geopolimer lebih cepat dari waktu ikat awal dan akhir pasta semen, ini menunjukkan data efektivitas dari substitusi LUSI terhadap *fly ash*, dimana waktu ikat awal yang terjadi bervariasi pada setiap *mix design* dimana pada waktu ikat awal yang tercepat terjadi pada *mix design* 2. Dan pada waktu ikat akhir pada pasta mortar geopolimer pada *mix design* 2 mempunyai waktu pengikatan akhir yang lebih cepat dibandingkan dengan semua *mix design* yang direncanakan. Hal tersebut dapat dikatakan bahwa rasio substitusi LUSI terhadap *fly ash* juga sangat berpengaruh pada durasi pengikatan benda uji.

5. Hubungan Usia Benda Terhadap Hasil Uji Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan pada mortar geopolimer akan dilakukan pada usia 7 hari, 14 hari, dan 28 hari untuk tujuan mengetahui hubungan yang terjadi antara usia mortar dengan kuat tekan mortar geopolimer. Mengacu pada penelitian yang sudah dilakukan, nilai kuat tekan optimal mortar yakni pada usia 28 hari. Hal tersebut terjadi karena reaksi komposisi kimia mortar telah mengikat seutuhnya, dibandingkan dengan mortar yang diuji pada usia 7 hari dan 14 hari yang komposisi unsur kimia dalam mortar tersebut belum mengikat seutuhnya membuat kuat tekan pada usia 28 hari dapat dikatakan lebih maksimal.

Untuk data hasil kuat tekan terhadap usia mortar dapat dilihat pada grafik Gambar 5 di bawah.



Gambar 5. Hubungan Usia Benda Uji dan Hasil Kuat Tekan

Dari grafik data kuat tekan dan usia mortar yang dapat dilihat dari **Gambar 5** di samping, dapat dikatakan bahwa usia mortar yang bertambah menyebabkan meningkatnya hasil nilai pengujian kuat tekan. Hasil perbandingan hasil pengujian keseluruhan dari setiap *mix design* yang dilihat dari usia rencana menghasilkan data yang berbeda, data tersebut menunjukkan bahwa nilai kuat tekan yang dihasilkan *mix design* yang diberikan campuran LUSI (*mix design 3* hingga *mix design 12*) hasil nilai kuat tekan mengalami penurunan yang konstan. Yang mana presentase penambahan LUSI memengaruhi penurunan kuat tekan mortar geopolymer dan semakin menyebabkan penurunan pada kuat tekan mortar geopolymer tersebut.

Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Januarti Jaya Ekaputri dan Triwulan (2013) yang menyatakan bahwa semakin banyak lumpur sidoarjo yang digunakan maka akan semakin besar penurunan kuat tekan yang terjadi tentang pasta normal dengan menggunakan lumpur bakar sidoarjo. Pada kondisi ini juga didukung oleh penelitian sebelumnya yaitu dari J. G. S. Van Jaarsveld, Jannie S. J. Van Deventer dan G. C. Luckey (2002) dalam buku Sumajouw et al, menunjukkan bahwa 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.

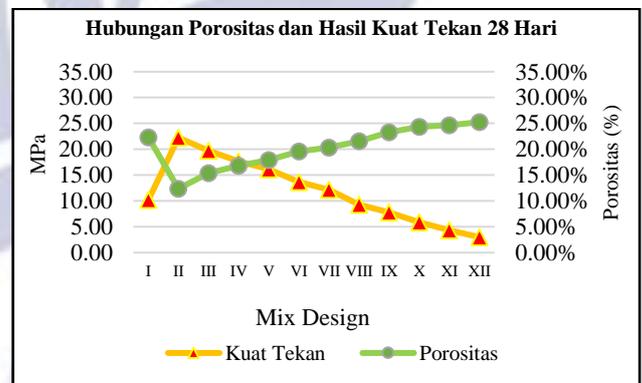
6. Hubungan Porositas Terhadap Hasil Kuat Tekan

Pada tahap penelitian ini akan dilakukan analisa porositas pada benda uji setiap *mix design* mortar geopolimer. Pada tahap pengujian porositas ini memiliki tujuan untuk mengetahui besaran persentase pori-pori yang dimiliki pada setiap benda uji mortar geopolimer.

Untuk data hasil kuat tekan terhadap porositas dapat dilihat pada grafik **Gambar 6.** di bawah.

Tabel 7. Hubungan Porositas Terhadap hasil Kuat Tekan

Mix	Umur	Kuat Tekan	Porositas
I	28	10.21	22.27%
II	28	22.25	12.38%
III	28	19.68	15.38%
IV	28	17.67	16.78%
V	28	16.15	17.90%
VI	28	13.63	19.57%
VII	28	12.18	20.31%
VIII	28	9.29	21.53%
IX	28	7.77	23.27%
X	28	5.90	24.31%
XI	28	4.30	24.68%
XII	28	2.99	25.25%



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

Dengan mengacu pada hasil uji kuat tekan dan porositas pada **Gambar 6.** yang diambil 28 hari, Dari hasil data penelitian tersebut dapat dikatakan bahwa *mix design 1* hingga *12* mengalami peningkatan dari *mix design 1* tanpa substitusi apapun dan mengalami keadaan kuat tekan maksimal pada *mix design 2* sebesar 22,25 Mpa dan mengalami kondisi penurunan nilai kuat tekan secara konstan hingga *mix design 12* dengan nilai kuat tekan sebesar 2,99 Mpa. Sedangkan pada uji porositas mortar mengalami peningkatan nilai dimulai dari *mix design 2* dengan nilai porositas 12,38% samapi dengan *mix design 12* dengan nilai porositas sebesar 25,25%. Penurunan nilai porositas terjadi pada *mix design 1* sampai dengan *mix design 12* dapat dikatakan bahwa hasil kuat tekan yang

bertolak belakang atau berlawanan terhadap hasil uji porositas.

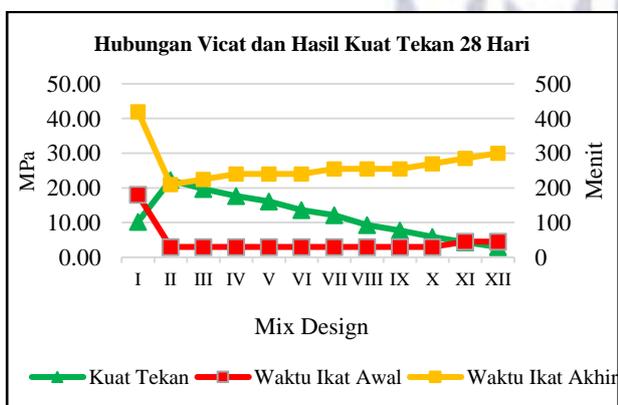
Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Januarti Jaya Ekaputri dan Triwulan (2013) yang menyatakan berdasarkan hasil tes porositas, dapat disimpulkan bahwa beton yang memiliki prosentase pori tertutup optimum mengindikasikan perilaku mikrostruktur yang baik. Hasil tes 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 Hasil Kuat Tekan

Maksud dari dilakukan pengujian vicat dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa cepat waktu yang dibutuhkan campuran pasta mortar geopolimer untuk mengikat unsur yang dikandungnya. Untuk setiap *mix design* pada penelitian ini sudah direncanakan sedemikian rupa sesuai dengan rasio substitusi tiap *mix design*. Mix design untuk setiap benda uji dapat dilihat pada **Tabel 8.** berikut ini.

Tabel 8. Hubungan Vicat Terhadap Hasil Kuat Tekan

Mix	Umur	Kuat Tekan	Waktu Ikat Awal	Waktu Ikat Akhir
I	28	10.21	180	420
II	28	22.25	30	210
III	28	19.68	30	225
IV	28	17.67	30	240
V	28	16.15	30	240
VI	28	13.63	30	240
VII	28	12.18	30	255
VIII	28	9.29	30	255
IX	28	7.77	30	255
X	28	5.90	30	270
XI	28	4.30	45	285
XII	28	2.99	45	300



Gambar 7. Hubungan Vicat Terhadap Hasil Kuat Tekan

Dari hasil data penelitian tersebut yang dapat dilihat pada **Gambar 7.** menyatakan bahwa pengikatan unsur pada pasta geopolimer dari

hubungan waktu ikat pasta dengan kuat tekan mortar geopolimer dapat dikatakan dipengaruhi oleh variasi dari komposisi bahan yang digunakan. Tinjauan pertama pada *Mix design* I (kontrol semen) yaitu dengan tanpa menggunakan lumpur Sidoarjo dan *fly ash* mengalami waktu pengikatan awal dan waktu pengikatan akhir yang lebih lama dan cenderung mengalami penurunan tercepat pada *mix design* 2 dengan nilai hasil pengujian kuat tekan tertinggi sebesar 22,25 Mpa sampai dengan *mix design* 12 waktu ikat akhir dan waktu ikat awal pasta mortar geopolimer cenderung mengalami peningkatan sebesar 2,99 MPa dengan remcama *mix design* menggunakan variasi lumpur Sidoarjo sebesar 50% dikarenakan kandungan presentase *fly ash* yang semakin berkurang dan kandungan presentasi lumpur Sidoarjo yang semakin bertambah.

Pada kondisi ini menyatakan bahwa telah terjadi penurunan kondisi setelah *mix design* 2 dan dengan presentase lumpur Sidoarjo yang bertambah telah mengakibatkan hasil waktu ikat pasta yang lebih lama. Hasil nilai kuat tekan mortar geopolimer yang bertambah akan memengaruhi durasi waktu ikat pasta, semakin besar nilai kuat tekan yang dihasilkan akan mengakibatkan waktu ikat pasta mortar geopolimer menjadi lebih cepat meningkatkan, begitupun dengan kebalikannya, semakin menurunnya hasil nilai kuat tekan yang dihasilkan akan dapat mempengaruhi semakin lamanya durasi waktu ikat pasta mortar geopolimer.

8. Hubungan Berat Volume Terhadap Hasil Kuat Tekan

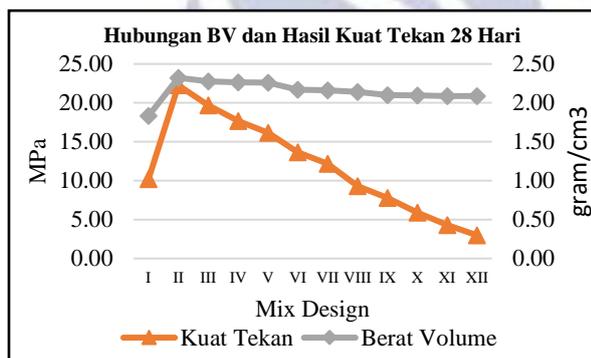
Tujuan pada tahap penelitian ini yaitu bertujuan untuk mengidentifikasi pengaruh dari berat volume mortar geopolimer terhadap kuat tekan yang dihasilkan. Presentase bahan material yang akan digunakan juga akan memengaruhi berat volume mortar dikarenakan setiap campuran memiliki rencana yang berbeda-beda, serta proses pencampuran material benda uji di lapangan juga akan sangat berpengaruh. Tingginya nilai berat mortar menunjukkan kondisi kepadatan dari benda uji tersebut dan akan sangat berpengaruh terhadap nilai kuat tekan yang dihasilkan.

Dari hasil yang didapatkan berdasarkan **Gambar 8.** dibawah tentang pengaruh hubungan berat volume dengan kuat tekan mortar 28 hari menunjukkan bahwa kuat tekan terbesar pada *mix design* 2 dengan penggunaan lumpur Sidoarjo sebesar 0% yaitu memiliki kuat tekan sebesar 22,25 MPa dengan berat per-volume sebesar 2,32 gram/cm³. Sedangkan pada *mix design* terendah terjadi pada *mix design* 1 dengan kuat tekan sebesar 10,21 MPa dengan berat per-volume sebesar 1,83 gram/ cm³. Berat per-volume yang didapatkan dari masing-masing *mix design* benda uji mengalami penurunan berat, namun tidak memberikan perbedaan yang begitu besar pada

berat tiap benda uji. Ini menunjukkan berat tiap benda uji memiliki kepadatan yang berbeda-beda. Sehingga dapat dikatakan nilai berat per-volume mortar yang besar dapat mempengaruhi besarnya kuat tekan mortar yang dihasilkan.

Tabel 9. Hubungan Berat Volume Terhadap Hasil Kuat Tekan

Mix	Umur	Kuat Tekan	Berat Volume
I	28	10.21	1.83
II	28	22.25	2.32
III	28	19.68	2.28
IV	28	17.67	2.26
V	28	16.15	2.26
VI	28	13.63	2.17
VII	28	12.18	2.16
VIII	28	9.29	2.14
IX	28	7.77	2.10
X	28	5.90	2.10
XI	28	4.30	2.09
XII	28	2.99	2.09



Gambar 8. Hubungan Berat Volume Terhadap Hasil Kuat Tekan

PENUTUP

Simpulan

Dari hasil berbagai tahapan penelitian diatas, didapatkan hasil simpulan sebagai berikut:

1. Hasil substitusi LUSI terhadap *fly ash* pada mortar geopolimer berpengaruh baik terhadap hasil kuat tekan dengan usia 28 hari pada hasil kuat tekan maksimal terdapat pada hasil rencana *mix design* 2 yaitu menggunakan rasio substitusi Lumpur Sidoarjo (LUSI) terhadap *fly ash* senilai 0% dengan hasil nilai kat tekan geopolimer sebesar 22,25 Mpa dan lebih besar dari hasil nilai *mix design* 12 dengan nilai kuat tekan yang terendah yaitu dengan nilai 2,99 MPa.
2. Mengacu pada data dari hasil tahapan penelitian yang telah dilakukan, dapat dikatakan bahwa hasil substitusi LUSI pada *fly ash* memberikan pengaruh yang cukup baik pada porositas dengan hasil nilai porositas terendah pada *mix design* 2 dengan substitusi LUSI sebesar 0% dengan hasil nilai porositas sebesar 12,38%. dan untuk hasil uji nilai

porositas dengan hasil nilai yang maksimal yaitu terdapat *mix design* 5 sebesar 9,17% dengan substitusi LUSI sebesar 15%.

Saran

Dari hasil semua tahap penelitian yang telah dilakukan, adapun beberapa saran untuk produksi mortar geopolimer yang akan dilakukan ataupun untuk penelitian selanjutnya yang akan dilakukan yakni:

1. pada proses pembuatan *mix design* yang direncanakan, sebaiknya perlakuan pada proses pembuatan benda uji harus sama, agar mendapatkan kualitas benda uji yang maksimal.
2. Pada proses pengadukan adonan mortar, sebaiknya harus menyesuaikan waktu supaya campuran tidak terjadi *setting* dan agar dipastikan semua komposisi dari mortar telah tercampur dengan homogen agar tidak terjadi pengeroposan pada benda uji yang dapat mengakibatkan rongga pori yang besar pada mortar geopolimer.
3. Saat pembacaan data kuat tekan, sebaiknya dilakukan dengan hati-hati dan teliti, juga perlu diperhatikan alat uji UTM (*Universal Testing Machine*) telah dikalibrasi sehingga didapatkan data yang akurat.

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 Methods for Fly Ash and Row 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 03-1970-1990. "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.
- 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.
- Jaarsveld, J. G. S. Van, Deventer Jannie S. J. Van, Luckey G. C. (2002) "The Effect Of Compositon And Temperature On Properties Of Fly Ash And Kaolinite-Based Geopolymers"
- Ekaputri Januarti J, dan Triwulan. (2013). "Sodium sebagai Aktivator Fly Ash, Trass dan Lumpur

Sidoarjo dalam Beton Geopolimer” Surabaya:
Intitut Teknologi Sepuluh Nopember.

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.

