

POTENSI LUMPUR SIDOARJO BAKAR DAN FLY ASH PADA PEMBUATAN MORTAR RINGAN GEOPOLIMER

M. Shofi'ul Amin¹⁾, Januarti Jaya Ekaputri²⁾ dan Triwulan³⁾

¹⁾Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Banyuwangi, Hp 082336056463, email: ofy.civil@gmail.com

²⁾Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS, Surabaya, Telp 031-5946094, email: januarti@ce.its.ac.id

³⁾Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS, Surabaya, Telp 031-5946710, email: triwulan@ce.its.ac.id

Abstrak : Semburan lumpur Sidoarjo (LUSI) yang terus-menerus sampai sekarang mengakibatkan jumlah lumpur yang semakin sulit dikendalikan. Unsur kimia yang terkandung pada lumpur Sidoarjo didominasi oleh silika (>50%), alumina (26%), dan beberapa unsur lain seperti besi, calcium dan magnesium dengan jumlah yang relatif kecil. Tujuan penelitian ini yaitu memanfaatkan lumpur Sidoarjo sebagai bahan dasar untuk pembuatan binder pada mortar ringan geopolimer. Komposisi mortar ringan geopolimer digunakan (binder+alkali+*naphtalene superplasticizer*+agregat halus+bahan pengembang *aluminium powder*). Adapun bahan dasar binder adalah campuran LUSI bakar + *fly ash*. Perbandingan binder dengan pasir yang digunakan adalah 1:0,15. Perawatan dilakukan dengan *steam* pada suhu 60°C selama 6 jam. Hasil mortar ringan geopolimer memiliki rata-rata kuat tekan dan berat volume berturut-turut yaitu 3,49 Mpa dan 1,29 gr/cm³. Sedangkan hasil pengujian kimia (XRD) menunjukkan mortar ringan geopolimer didominasi senyawa *silica oxide* dengan mineral quartz (SiO₂).

Kata kunci: LUSI Bakar, *fly ash*, mortar, geopolimer

Potential Sidoarjo Mud And Fly Ash On Geopolymer Lightweight Mortar

Abstract : Sidoarjo mud has been oozing out continuously which its amount was difficult to be controlled. Chemical elements in the Sidoarjo mud has been dominated by silica (> 50%), alumina (26%), iron, calcium and magnesium with a relatively small amount. This research is utilizing Sidoarjo mud as a raw material for geopolymer lightweight mortar. The composition of geopolymer lightweight mortar was used (binders+alkali+*naphtalene superplasticizer*+fine aggregate+*aluminium powder*). Base material of binders was mixture Sidoarjo fuel mud + *fly ash*. The binder paste and fine aggregate proportion was 1:0.15. The specimen treatment was steam curing at 60°C during six hours. The results show that geopolymer aerated mortar had average compressive strength 3.49 Mpa and density 1.29 gr/cm³. The results of chemical test using XRD (X-ray Diffraction) show that geopolymer aerated mortar was dominated by silica oxide with mineral quartz (SiO₂).

Keywords: Sidoarjo fuel mud, fly ash, mortar, geopolymer

1.1. Pendahuluan

Lumpur Sidoarjo mempunyai kandungan Si dan Al yang cukup tinggi sehingga cocok digunakan untuk beton geopolimer [7]. Kandungan kimia dalam lumpur Sidoarjo didominasi oleh silika, alumina dan besi dengan jumlah lebih dari 87% sehingga sangat baik digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan bahan bangunan keramik khususnya agregat ringan buatan [4]. Pada penelitian [2] diketahui hasil DTA (*Differential Thermal Analysis*) terlihat bahwa nilai kisaran suhu pembakaran LUSI yaitu pada suhu 700°C-850°C. Sehingga pada penelitian ini pembuatan binder dilakukan dengan membakar LUSI pada suhu 800°C selama 6 jam.

Pembuatan pasta ringan geopolimernya digunakan bahan pengembang berupa *aluminium powder* (Al) dengan perbandingan 0,2% terhadap

berat *bindernya* serta menggunakan alkali sodium silikat (Na₂SiO₃) dan sodium hidroksida (NaOH 12M) sebagai aktivatornya dengan perbandingan berat (Na₂SiO₃ / NaOH 12M) adalah 2,5. Bubuk aluminium berfungsi untuk proses pengembangan adonan bahan [6]. Tujuan dari penelitian ini yaitu potensi mortar ringan geopolimer yang ditinjau pada sifat mekanik dan mineraloginya.

1.2. Kajian Pustaka dan Teori

Lumpur Sidoarjo

Lumpur Sidoarjo merupakan material lumpur yang menyembur dari dalam tanah sejak tanggal 29 Mei 2006. Melalui uji kimia yang dilakukan oleh Balai Besar Keramik, dapat dilihat (Tabel 1 dan Tabel 2) bahwa komponen kimia dari lumpur ini mirip dengan komponen kimia dari abu terbang.

Tabel 1. Komposisi Lumpur Kering Didapatkan dengan XRF (%) [7]

Komposisi unsur	% Terhadap berat
SiO ₂	53.08
Al ₂ O ₃	18.27
Fe ₂ O ₃	5.6
CaO	2.07
Na ₂ O	2.97
K ₂ O	1.44
TiO ₂	0.57
MgO	2.89
SO ₂	2.96
LOI	10.15

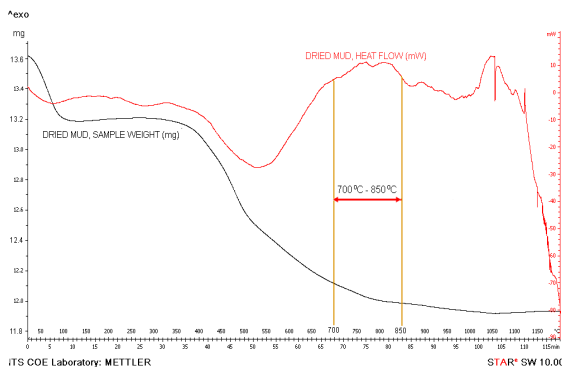
Abu Terbang (Fly Ash)

Fly ash ialah produk sampingan dari hasil pembakaran batu bara. Abu terbang terdiri dari partikel kaca berbentuk sfera yang berdiameter 1-150 mm dan lolos ayakan 45 mm (ACI 232 2R-96). Untuk melihat kandungan kimia abu terbang ada pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Abu Terbang Didapatkan dengan XRF (%) [7]

Komposisi unsur	% Terhadap berat
SiO ₂	52.24
Al ₂ O ₃	38.58
Fe ₂ O ₃	2.94
CaO	0.69
Na ₂ O	0.52
K ₂ O	0.44
TiO ₂	2.42
MgO	0.49
SO ₃	1.21
P ₂ O ₅	0.13
LOI	1.39

Pembakaran Lumpur Sidoarjo

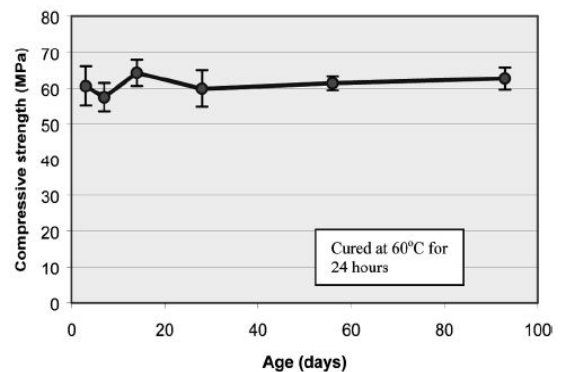


Gambar 1. Grafik DTA (*Defferential Thermal Analysis*) Lumpur Sidoarjo [2]

Dalam menentukan suhu bakar LUSI digunakan data hasil TGA/DTA yang sudah dilakukan pada penelitian [2]. Sebagai pertimbangan tolok ukur suhu pembakaran material dasar binder pada mortar geopolimer sesuai pada hasil DTA (*Differential Thermal Analysis*) tersebut. Dari hasil pemeriksaan DTA di atas, maka didapatkan nilai maksimum untuk pembakaran lumpur Sidoarjo antara 700°C-850°C agar memberikan nilai susut yang mulai stabil, tetapi pada penelitian ini akan digunakan pembakaran LUSI pada suhu 800°C.

Penelitian Dasar Geopolimer

Kuat tekan maksimum beton geopolimer tercapai pada periode awal begitu pasta selesai dicetak [3]. Hasil dari penelitian ini terlihat pada Gambar 2.

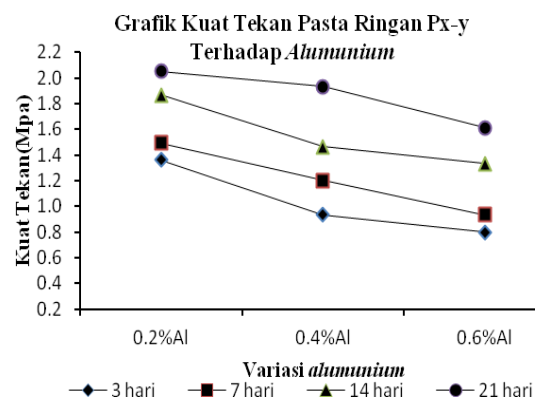


Gambar 2. Grafik kuat tekan terhadap umur perawatan [3]

Dalam penelitian ini pengujian mortar ringan geopolimer dilakukan pada periode awal yaitu saat berumur 7 hari.

Aluminium Powder

Pengaruh *aluminium powder* terhadap nilai kuat tekan ditunjukkan pada Gambar 3.

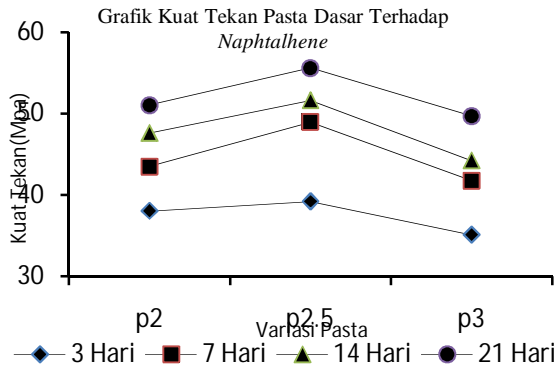


Gambar 3. Grafik Kuat Tekan Pasta Ringan Geopolimer Berbahan Dasar Campuran LUSI Bakar dan Fly Ash dengan *Curing Steam* 6 jam [1]

Penelitian ini digunakan tambahan *Aluminium powder* (Al) sebesar 0,2% dari berat binder. Sehingga diharapkan akan didapatkan hasil kuat tekan yang baik.

Naphtalene Superplasticizer (NSP)

Naphtalene digunakan untuk meningkatkan kinerja pengerjaan *fly ash* pada beton geopolimer. Pada penelitian [1], ditunjukkan pengaruh penambahan *naphtalene* (p2=2%, p2,5=2,5% dan p3=3%) dari berat total binder terhadap nilai kuat tekan pasta dasar geopolimer dengan perawatan *steam* pada suhu 60°C selama 6 jam.



Gambar 4. Grafik Kuat Tekan Pasta Terhadap Naphtalene dengan Steam 6 jam [1]

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa terjadi titik optimum penambahan *naphtalene* sebesar 2.5% dari berat binder. Selain itu terlihat semakin lama perawatan, maka semakin tinggi nilai kuat tekan yang dihasilkan.

1.3. Metode Penelitian

Tahap pertama yaitu dilakukan persiapan dan analisis material dasar meliputi pengujian leaching (AAS), pembakaran lumpur Sidoarjo (LUSI) dengan suhu 800°C selama 6 jam dan diayak dengan lolos ayakan no.200. Kemudian digunakan bahan *fly ash* tipe “F” lolos ayakan no.200, *alkali activation* (Na₂SiO₃ + NaOH 12 M), dan *Naphtalene Superplasticizer*. Tetapi untuk penggunaan NaOH 12 M akan dilakukan pada awal pencampuran saja, sedangkan dalam pengadukannya dicoba menggunakan tambahan air sebagai pelecaknya.

Tahap kedua yaitu dilakukan pengujian pada material dasar yang meliputi pengujian berat jenis dan kandungan mineral (X-ray Diffraction).

Tahap ketiga yaitu pembuatan pasta ringan geopolimer dengan campuran (binder + alkali + *naphtalene superplasticizer*), adapun binder yang digunakan yaitu campuran lumpur bakar dan *fly ash* dengan perbandingan berat 3 : 1. Adapun besarnya proporsi bahan kimia yaitu *Alkali activation* sebesar 1/3 berat bindernya, kemudian perbandingan Na₂SiO₃ dengan NaOH adalah 2,5. Kemudian ditambahkan *Naphtalene Superplasticizer* sebesar 2,5% dan *Aluminium powder* 0,2% terhadap berat bindernya.

Tahap keempat dilakukan pembuatan mortar ringan geopolimer yaitu dengan mencampurkan pasta ringan geopolimer dengan agregat halus (pasir

Lumajang). Adapun perawatan mortar geopolimer dilakukan dengan *steam curing* pada suhu 60°C selama 6 jam dan diujikan pada umur 7 hari. Pengujian yang dilakukan yaitu kuat tekan dan berat volume untuk mengetahui kualitas mortar tersebut akibat pengaruh binder berbahan dasar campuran LUSI bakar dengan *fly ash*.

Tahap kelima/analisis yaitu berisikan tentang hasil kuat tekan dan berat volume dari mortar ringan geopolimer berbahan lumpur Sidoarjo bakar dan *fly ash*, sehingga dapat diketahui potensi kedepan untuk pemanfaatan Lumpur Sidoarjo sebagai beton ringan geopolimer.

1.4. Hasil dan Pembahasan

Tes Atomic Absorbition Spectrometer (AAS)

Tes ini dilakukan untuk mengetahui bahan logam berbahaya yang terkandung pada bahan awal/dasar pembuatan beton geopolimer. Kandungan logam timbal diudara dapat menyebabkan pemanasan global, karena logam ini akan mempengaruhi lapisan pada atmosfer. Pengujian senyawa logam ini dilaksanakan di Laboratorium Energi ITS Surabaya. Adapun konsentrasi senyawa logam berbahaya yang menjadi pertimbangan adalah kandungan Pb (*plumbum*) dalam LUSI dasar dan *Fly ash*. Metode yang digunakan dalam menganalisa adalah ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission Spectrometer*). Hasil pengujian disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Analisa AAS

No	Nama Sampel	Parameter	Hasil	Unit	Metode Analisis
1	Lumpur Sidoarjo	Timbal	Tidak terdeteksi	mg/L	ICP-OES
2	<i>Fly Ash</i>	Timbal	Tidak terdeteksi	mg/L	ICP-OES

Hasil dari pengujian menunjukkan hasil yang negatif (tidak terdeteksi), sehingga bahan-bahan yang digunakan pada beton geopolimer dapat dinyatakan aman dari kandungan logam Timbal (Pb).

Pengujian Berat Jenis Lumpur Sidoarjo dan Fly Ash (Bahan Dasar)

Pengujian berat jenis ini dilakukan pada material dasar pembuatan binder mortar geopolimer yaitu lumpur Sidoarjo (LUSI) yang dibakar pada suhu 800°C selama 6 jam dan *fly ash* Paiton sesuai dengan referensi [5]. Sedangkan campuran dalam pembuatan binder akan digunakan pozolan seperti halnya *fly ash* mengacu pada data pengujian penelitian [7]. Adapun hasil pengujian berat jenis terhadap lumpur Sidoarjo yang dibakar pada suhu 800°C pada durasi pembakaran 6 jam disajikan pada Tabel 4. Sedangkan pengujian berat jenis *fly ash* Paiton disajikan pada Tabel 5.

Tabel 4. Pengujian Berat Jenis LUSI Suhu Pembakaran 800°C-6 jam

Keterangan	Satuan	Percobaan no.	
		1	2
w1 (Berat lumpur bakar 800°C-6jam)	gr	5	5
w2 (Berat air + labu takar)	gr	132	132
w3 (Berat lumpur bakar 800°C-6jam + air + labu takar)	gr	135	135
Berat jenis	gr/cm ³	2,5	2,5
Rata-rata	gr/cm ³	2.5	

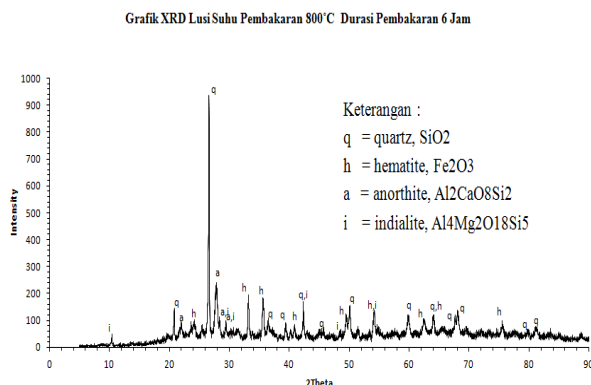
Tabel 5. Pengujian Berat Jenis Fly Ash

Keterangan	Satuan	Percobaan no.	
		1	2
w1 (Berat fly ash)	gr	200	200
w2 (Berat minyak + labu takar)	gr	660	660
w3 (Berat fly ash + minyak + labu takar)	gr	800	795
Berat jenis	gr/cm ³	2.667	2.462
Rata-rata	gr/cm ³	2.564	

Tabel 4 di atas menunjukkan bahwa LUSI dengan pembakaran suhu 800°C selama 6 jam memiliki berat jenis 2,5 gr/cm³. Nilai tersebut lebih kecil dibandingkan dengan nilai berat jenis pada fly ash yang berkisar 2,56 gr/cm³ (Tabel 5).

Pengujian XRD (X-Ray Deffraction)

Pengujian ini dilakukan terhadap lumpur Sidoarjo yang dibakar pada suhu 800°C dengan durasi 6 jam sebagai bahan dasar binder untuk mortar. Hasil analisis XRD menunjukkan pola difraksi yang terekam dengan sudut 2θ dari rentang 5° hingga 90°. Hasil XRD menunjukkan pola difraksi untuk lumpur bakar dengan suhu pembakaran 800°C durasi 6 jam disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Analisa XRD LUSI Suhu Pembakaran 800°C dengan Durasi 6 Jam

Tabel 6. Nilai Intensitas Mineral Dominan

No.	Nama mineral	Nama Senyawa	Intensitas
1	quartz	SiO ₂	925
2	anorthite	Al ₂ CaO ₈ Si ₂	240
3	hematite	Fe ₂ O ₃	190
4	indialite	AL ₄ Mg ₂ O ₁₈ Si ₅	175

Gambar 5 dapat dilihat bahwa pola difraksi yang terbentuk dari hasil XRD pada sudut 2Theta 10° adalah mineral indialite. Sedangkan puncak difraksi tertinggi terdapat mineral jenis quartz (SiO₂) yang terdapat pada axis 2θ rentang 26,6° dengan intensitas 925. Selain quartz juga terdapat mineral jenis hematite (Fe₂O₃), anorthite (Al₂CaO₈Si₂), dan indialite (AL₄Mg₂O₁₈Si₅).

Mortar Ringan Geopolimer

Pembuatan Benda Uji Kubus 5 x 5 x 5 cm

Dalam penelitian ini mortar didapatkan dengan campuran Pasta ringan geopolimer + Agregat halus (pasir Lumajang) dengan jumlah benda uji berbentuk kubus 5x5x5 cm sebanyak 3 buah untuk setiap variasinya. Perawatan mortar dengan menggunakan uap (*steam*) pada suhu ±60°C selama 6 jam. Adapun langkah pembuatannya adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan bahan berupa agregat halus dan bindernya.
2. Setelah itu dilakukan pembuatan mortar ringan geopolimer yang sesuai dengan komposisi binder + alkali + Al powder + *naphthalene superplasticizer* (NSP) + Agregat halus (kondisi tidak SSD) + air (aquades). Adapun jumlah agregat halus ditentukan 15% terhadap berat binder dengan berat volume 2200 kg/m³. Sedangkan penambahan air yang disiapkan sekitar 10% dari berat binder (dilakukan *adjustment* pada saat pencampurannya). Hasil perhitungan proporsi yang digunakan disajikan pada Tabel 7.

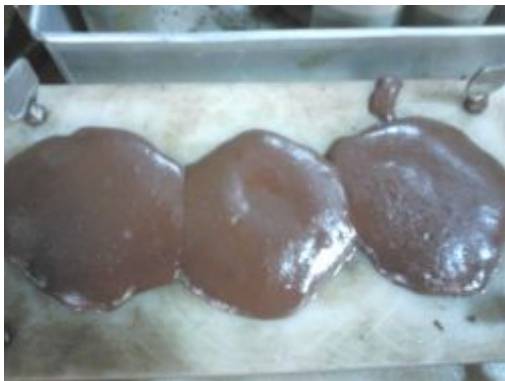
Keterangan

- Binder : Perbandingan LUSI bakar dan Fly ash (3:1)
- Alkali : $\frac{Na_2SiO_3}{NaOH} = 2,5$ dengan perbandingan Alkali dan Binder (1:3)
- NSP : 2,5% x Berat binder
- Al : 0,2% x Berat binder
- Volume 1 kubus : 125 cm³

Tabel 7. Proporsi Material Mortar Ringan Geopolimer

Jumlah benda uji (buah)			1	2	3
Binder	Lusi	gr	154.7	309.4	464.1
	Fly ash	gr	51.6	103.1	154.7
Alkali	Na ₂ SiO ₃	gr	49.1	98.2	147.3
	NaOH	gr	19.6	39.3	58.9
NSP		gr	5.16	10.31	15.47
Al Powder		gr	0.41	0.83	1.24
Pasir		gr	30.94	61.88	92.81
Air		ml	20.63	41.25	61.88

- Setelah bahan diaduk secara merata, selanjutnya bahan tersebut dituang pada cetakan dengan jumlah sesuai pada kebutuhan penelitian dan dibiarkan ditempat kering. Selanjutnya setelah 1-2 jam mortar dimasukkan pada mesin *steam* dilakukan perawatan (*curing*) dengan suhu $\pm 60^{\circ}\text{C}$ selama 6 jam. Hal ini bertujuan untuk menjaga kestabilan/presisi dan menghindari rongga yang tidak seragam pada mortar ringan geopolimer. Hasil secara visual disajikan pada Gambar 6.



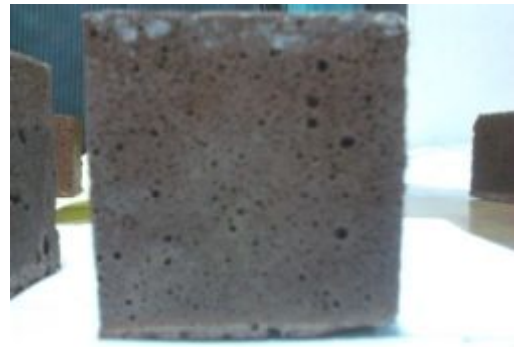
(a)



(b)

Gambar 6. (a) Tampak Atas dan (b) Samping Sesaat Setelah Dituang pada Cetakan Kubus 5x5x5 cm

Dalam pembuatan mortar geopolimer akan mengembang sangat cepat sesaat setelah dituang pada cetakan berkisar 1-1,5 cm tergantung tingkat kelecakan daripada campurannya. Semakin rendah tingkat kelecakannya, maka campuran akan cepat sekali berubah/mengembang. Hal ini harus diimbangi dengan penuangan yang lebih cepat. Sedangkan untuk permukaan mortar setelah dilakukan *steam* akan disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Tampak Permukaan Mortar Setelah *Curing Steam*

Gambar 7 terlihat rongga-rongga pada permukaan mortar, ini disebabkan oleh pengaruh dari penambahan pengembang (*aluminium powder*) yang memberikan udara di dalamnya. Semakin kecil dan seragam rongga tersebut akan membuat mortar memiliki nilai yang lebih stabil dan bagus terhadap kuat tekannya maupun beratnya. Sebaliknya jika rongga yang dibentuk sangat besar dan tidak beraturan akan menyebabkan bagian dalam mortar tidak akan memberikan perlawanan yang tidak seragam jika dilakukan pengujian kuat tekannya.

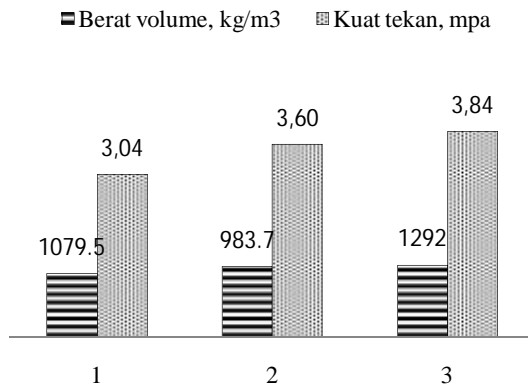
Pengujian Fisik dan Mekanik

Pengujian mekanik benda uji mortar ringan geopolimer antara lain berat volume (*density*) dan kuat tekan. Adapun hasil pengujian masing-masing akan disajikan pada Tabel 8 dan Gambar 8.

Tabel 8. Berat Volume dan Kuat Tekan (Umur 7 Hari) Mortar Ringan Geopolimer

No.	Mortar Ringan Geopolimer			
	Berat (gr)	BV (gr/cm ³)	Bacaan (kg)	Kuat Tekan (MPa)
1	149.3	1.19	760.0	3.04
2	166.4	1.33	900.0	3.60
3	168.8	1.35	960.0	3.84
Rata-rata		1.29		3.49

Pengujian mortar ringan geopolimer ini dilakukan saat benda uji berumur 7 hari. Dari Tabel 8 terlihat nilai berat volume mortar ringan geopolimer memiliki rata-rata berat volume 1,29 gr/cm³ (1292 kg/m³). Jika melihat pada mortar yang biasa digunakan untuk pembuatan batu bata ringan (*autoclaved*) rata-rata memiliki berat volume berkisar 800 kg/m³, maka mortar ringan geopolimer berbahan dasar campuran Lumpur Bakar dan *fly ash* masih kurang baik. Sehingga untuk penggunaan lumpur Sidoarjo (LUSI) yang digunakan sebagai binder pada mortar ringan geopolimer, diperlukan bahan-bahan penyusun yang memiliki berat jenis lebih ringan seperti contohnya agregat ringan.



Gambar 8. Grafik Hubungan Nilai Berat Volume dengan Kuat Tekan

Tabel 8 menunjukkan nilai mortar ringan geopolimer pada umur 7 hari yang memiliki rata-rata kuat tekan beragregat pasir adalah 3,49 MPa. Tetapi untuk umur yang lebih lama mortar akan dapat mencapai mutu yang lebih baik. Hal ini ditunjukkan oleh Gambar 8 pada penelitian Hardjito dkk. (2004). Selain itu, ukuran partikel pozolanic LUSI juga sangat berpengaruh pada kuat tekan mortar. Dalam penelitian [3] menyimpulkan bahwa semakin kecil ukuran partikel dari LUSI semakin besar kuat tekan mortar serta semakin besar *strength activity index* (SAI).

1.5. Kesimpulan

Penelitian ini dapat disimpulkan antara lain:

1. Mortar ringan geopolimer dengan *filler* pasir berpotensi sebagai konstruksi non struktural.
2. Untuk mengurangi berat dari mortar disarankan untuk mengganti agregat halus (pasir) dengan agregat yang lebih ringan.
3. Hasil pengujian kimia (XRD) menunjukkan mortar ringan geopolimer didominasi senyawa *silica oxide* dengan mineral quartz (SiO_2).

1.6. Daftar Pustaka

- [1] Diky, F., "Analisa Sifat Mekanik Pasta Geopolimer dengan Berbahan Dasar Lumpur Sidoarjo Bakar dan Fly Ash dengan Aluminium sebagai Pengembang". Tugas Akhir. Teknik Sipil-ITS. (2013).
- [2] Ekaputri dan Triwulan. "Sodium sebagai Aktivator *Fly Ash*, Trass dan Lumpur Sidoarjo dalam Beton Geopolimer". *Jurnal Teknik Sipil*, Vol.20, No.1, hal. 1-9, (2013).
- [3] Hardjito, D., Wallah, Sumajouw, dan Rangan, "Development of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete", *ACI Mater.* No.101, hal. 467-472, (2004).
- [4] Lasino dkk., "Penelitian Pemanfaatan Lumpur Sidoarjo untuk Agregat Buatan". *Jurnal Permukiman*, Vol.2, No.1, hal. 29-38, (2007).
- [5] SNI 03-1970-1990, Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus, Balitbang Departemen Kimpraswil, Jakarta, (2002).
- [6] Subari dan Abdul R., "Pembuatan Bata Beton Ringan Untuk Diterapkan di IKM Bahan Bangunan". *Jurnal Bahan Galian Industri*, Vol.12, No.33, hal. 10-16, (2008).
- [7] Triwulan dan Ekaputri, Januarti J., *Study on Porong Mud-Based Geopolymer Concrete*. Teknik Sipil ITS, (2006).