

AGREGAT RINGAN GEOPOLIMER BERBASIS LUMPUR SIDOARJO

Erwin Suryawangi¹, Yohanes Takarendehang², Djwantoro Hardjito³

ABSTRAK : Penelitian ini membahas tentang pengaruh komposisi pasta dan waktu *curing* terhadap karakteristik agregat buatan yang terbuat dari lumpur sidoarjo berbasis geopolimer. Lumpur Sidoarjo di bakar pada suhu 945°C selama 5 jam, dan kemudian digiling untuk mengurangi ukuran partikel menjadi kurang dari 63µm. Karakteristik lumpur di cek menggunakan X-Ray fluorescence (XRF). Pasta geopolimer dicampurkan menggunakan penggabungan NaOH ke dalam campuran, bersama-sama dengan larutan sodium silikat dan juga tanpa NaOH. Konsentrasi sodium silikat divariasikan menjadi empat variasi yang berbeda, sedangkan waktu *curing* di variasikan menjadi 24 jam, 48 jam dan 72 jam. Keleccakan dari pasta geopolimer ditentukan terlebih dahulu untuk menentukan pembuatan pelet agregat dengan diameter kurang dari 1,5 cm. Uji berat jenis dan stabilitas pelet agregat dilakukan di dalam air, sedangkan pengujian terhadap kuat tekan dilakukan pada sampel kubus 5x5x5 cm³. Hasil menunjukkan bahwa komposisi terbaik memiliki berat jenis 1,6 gr/cm³ dan kuat tekan 3.2MPa. Ketika diterapkan sebagai agregat di dalam beton, kuat tekan Beton menjadi sekitar 10MPa dengan berat jenis 2kg/cm³.

KATA KUNCI: lumpur Sidoarjo, agregat ringan geopolimer, komposisi pasta, waktu *curing*.

1. PENDAHULUAN

Bertambahnya populasi manusia serta kebutuhannya akan bangunan menyebabkan menipisnya sumber daya material bangunan. Karena hal tersebut, para peneliti berusaha mencari material substitusi agregat ringan sebagai bahan campuran beton ringan untuk bangunan. Dewasa ini para peneliti mengembangkan agregat ringan geopolimer ,yaitu agregat ringan yang memakai bahan-bahan dasar yang banyak mengandung unsur silikon (Si) dan aluminium (Al) (Hardjito, 2002), dan unsur-unsur serupa dapat ditemukan pada lumpur Sidoarjo.

Pemanfaatan lumpur Sidoarjo juga mempunyai efek positif lain bagi lingkungan. Selain keuntungan dari sisi ekonomi, pemanfaatan lumpur Sidoarjo juga dapat mereduksi timbunan lumpur yang kian meresahkan masyarakat Sidoarjo dan sekitarnya.

Dengan mempelajari penelitian yang telah dilakukan oleh Fansuri et al (2012) tentang agregat buatan berupa geopolimer berbasis *fly ash*, peneliti akan meneliti lebih lanjut tentang dampak variasi komposisi pasta dan waktu *curing* pada agregat ringan geopolimer tersebut.

Berdasarkan penelitian Adiningtyas, Ekaputri, & Triwulan (2007), peneliti disarankan untuk menggunakan lumpur yang telah dibakar dengan suhu tinggi. Pembakaran lumpur tersebut dilakukan dengan tujuan agar ikatan kimianya berubah dari bentuk kristal menjadi lebih reaktif (*amorf*).

¹ Mahasiswa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Program Studi Teknik Sipil, m2148070@john.petra.ac.id

² Mahasiswa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Program Studi Teknik Sipil, m2148097@john.petra.ac.id

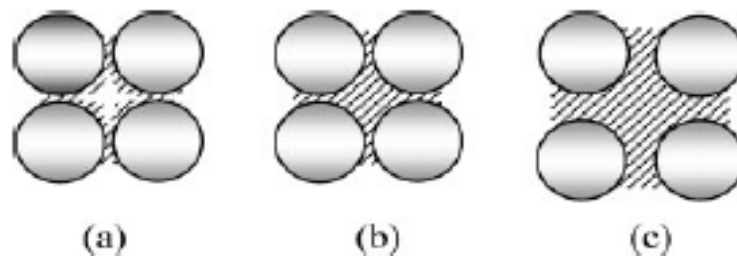
³ Dosen Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Program Studi Teknik Sipil, djwantoro.h@peter.petra.ac.id

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk meneliti komposisi pasta geopolimer dan waktu *curing* terhadap karakteristik agregat ringan geopolimer berbasis lumpur Sidoarjo yang dievaluasi berdasarkan SNI, yang dapat dijadikan beton ringan yang memenuhi SNI juga. Penelitian ini diharapkan menjadi alternatif untuk pengolahan kembali lumpur Sidoarjo yang keberadaannya melimpah, dimana pembuatan agregat ringan geopolimer dengan berbahan dasar lumpur Sidoarjo diharapkan mempunyai sifat agregat ringan yang umum digunakan sebagai material penyusun beton ringan.

Geopolimer merupakan produk beton geosintetik dimana reaksi pengikatan yang terjadi adalah reaksi polimerisasi. Dalam reaksi polimerisasi ini Aluminium (Al) dan Silika (Si) mempunyai peranan penting dalam ikatan polimerisasi (Davidovits, 2008)

Pemilihan lumpur Sidoarjo sebagai material geopolimer dikarenakan kandungan senyawa utamanya memiliki kemiripan dengan *fly ash* yang sudah terbukti sebagai bahan dasar geopolimer yang baik. Lumpur Sidoarjo memiliki kandungan SiO_2 56.75%; Al_2O_3 23.31%; dan Fe_2O_3 7.37%. Peranan unsur silikat dan aluminium sangat penting dalam proses polimerisasi (Davidovits, 2008). Hal ini ditunjukkan dalam bentuk rasio perbandingan Si/Al, semakin besar ratio Si/Al karakter polimer semakin terbentuk kuat. Lumpur Sidoarjo termasuk material yang membutuhkan *treatment* dengan cara pemanasan dan penggilingan agar dapat digunakan sebagai material geopolimer.

Material beton ringan memiliki manfaat yang besar untuk pembangunan di masa mendatang, maka pengembangan beton ringan gencar dilakukan. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Fansuri et al (2012), diketahui ada pengaruh dari jumlah pemakaian sodium silikat pada kuat tekan serta adanya pengembangan di dalam benda uji geopolimer.



Gambar 1. Efek dari Penambahan Sodium Silikat dalam Mortar Geopolimer
(Sumber: Fansuri et al, 2012)

Pengaruh jumlah pemakaian sodium silikat dapat dilihat di **Gambar 1**. Pada **Gambar 1. (a)**, pemakaian sodium silikat terlalu sedikit sehingga ada rongga di antara partikel geopolimer, **Gambar 1. (b)** adalah gambaran pemakaian sodium silikat yang ideal, sedangkan pada **Gambar 1. (c)** adalah pemakaian sodium silikat yang terlalu berlebihan. Pada **Gambar 1. (c)** dapat dilihat bahwa semakin banyak sodium silikat yang digunakan maka jarak antar partikel geopolimer semakin besar, dengan kata lain benda uji geopolimer semakin mengembang pula.

2. RANCANGAN PENELITIAN

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah pasir silika, lumpur Sidoarjo, NaOH sebagai alkali aktivator dan Sodium Silikat sebagai katalisator. Lumpur yang didapat pada lokasi titik lokal 25 area semburan lumpur Sidoarjo dioven dalam bentuk bata terlebih dahulu dengan suhu 100°C selama 24

jam di Laboratorium Beton dan Konstruksi UK. Petra untuk mendapatkan lumpur kering. Proses pembakaran lumpur dilakukan di Pabrik Genteng dengan suhu 945 °C. Setelah pembakaran, proses penggilingan dengan mesin giling dapat dimulai. Setelah didapatkan lumpur halus dengan dengan waktu penggilingan selama 3 jam, maka dapat dimulai tahapan penelitian dengan membuat benda uji. Benda uji pasta berupa kubus dengan ukuran 5×5×5cm³ dan pasta berbentuk pelet (agregat ringan), lalu diuji semua persyaratannya sebagai agregat ringan yang sesuai dengan SNI yang berlaku.

Pengujian yang dilakukan adalah uji flow table (ASTM C 230M), berat jenis (Mohd.Ismail, Fathi & Manaf, 2003), stabilitas (SNI 03-2461-2002) dan kuat tekan (ASTM C 109-05, 2005). Agregat ringan tersebut digunakan sebagai bahan dasar untuk membuat beton ringan. *Curing* dilakukan dengan memanaskan dalam oven bersuhu 110 °C selama 24 jam, setelah itu benda uji dibiarkan di suhu ruang sampai pada waktu pengujian kuat tekan. Setiap tahapan penelitian dilakukan pengujian berat jenis & stabilitas pada umur 1 hari, dan uji kuat tekan pada umur 7 hari. Setiap data adalah hasil rata-rata dari masing-masing 3 benda uji.

Pada penelitian tahap pertama, dibuat kubus geopolimer berukuran 5x5x5cm. Di tahap ini dilakukan dua kali mixing, yaitu mixing tanpa menggunakan NaOH, dan mixing menggunakan NaOH 12.6 gram untuk setiap 600 gram serbuk lumpur (Fansuri, 2012). Yang menjadi variabel bebas adalah jumlah Sodium Silikat pada pasta geopolimer. Dibuat komposisi dengan variasi Sodium Silikat = 90, 120, 180, dan 240 gram untuk tiap 600 gram serbuk lumpur. Untuk komposisi air yang digunakan, disesuaikan dengan workability pasta tersebut, sedangkan lama *curing* dijadikan variabel terikat yaitu 24 jam. Proses selanjutnya, untuk mengamati kelecakan digunakan alat *flow table*. Proses pengujian dari *flow table* dimana pasta geopolimer dicetak dan ditempatkan pada alat *flow table* lalu diketuk sebanyak 25 kali selama 15 detik kemudian diameter dan tinggi pasta diukur. Dilakukan uji berat jenis dan stabilitas pada hari pertama dan uji kuat tekan pada hari ketujuh. Dari penelitian ini didapatkan sebuah kesimpulan berupa penggunaan NaOH, dan komposisi sodium silikat yang terbaik untuk digunakan pada penelitian tahap selanjutnya.

Pada penelitian tahap selanjutnya, *mix design* yang dipakai berdasarkan pada hasil dari penelitian sebelumnya yang paling optimal. Pada tahapan ini yang menjadi variabel bebas adalah lamanya waktu *curing*, yaitu dengan menggunakan oven dengan suhu 110° C selama 24 jam, 48 jam, dan 72 jam. Dari penelitian ini didapatkan sebuah kesimpulan waktu *curing* yang terbaik untuk campuran pasta geopolimer yang akan dibentuk menjadi agregat ringan. Yang akan diuji dalam bentuk kubus 5x5x5cm adalah dari segi kekuatan, sedangkan yang akan diuji dalam bentuk pelet adalah dari segi berat jenis dan stabilitas.

Tahap berikutnya, *mix design* dan lama *curing* yang dipakai untuk membuat agregat ringan geopolimer adalah hasil dari penelitian sebelumnya yang paling optimal. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan beton konvensional dengan beton yang terdiri dari agregat ringan geopolimer. Kubus bekisting yang digunakan kali ini berukuran 10x10x10cm (SNI 03-1974-1990). Beton konvensional adalah beton yang terdiri dari air – semen – pasir - kerikil, sedangkan Beton dengan agregat ringan geopolimer adalah beton yang terdiri dari air – semen – pasir - agregat ringan geopolimer, Dari penelitian ini didapatkan perbandingan kuat tekan dan berat jenis antara beton konvensional dan beton yang terdiri dari agregat ringan geopolimer.

3. HASIL PENGUJIAN & ANALISA

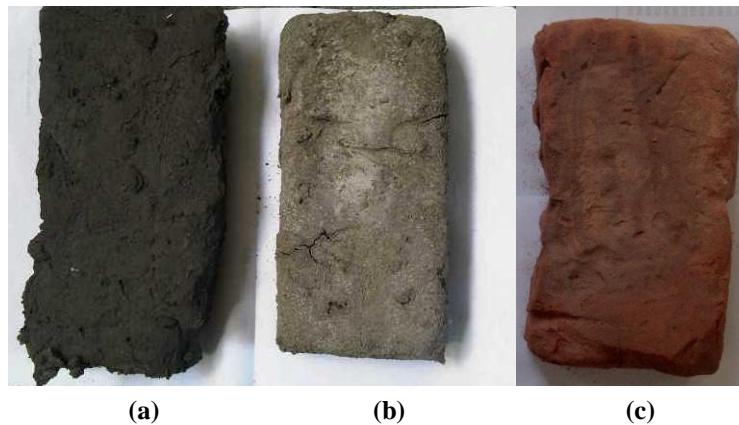
3.1. Analisa Material Lumpur

Berikut ini pada **Tabel 1.** adalah hasil analisa XRF yang dilakukan pada lumpur sebelum dilakukan pemanasan 945°C, yang diambil dari Sidoarjo dengan koordinat lokal titik 25.

Tabel 1. Komposisi Lumpur Kering

Senyawa	%	Senyawa	%	Senyawa	%
SiO ₂	56.75	Na ₂ O	2.7	MnO ₂	0.14
Al ₂ O ₃	23.31	K ₂ O	1.04	Cr ₂ O ₃	0.01
Fe ₂ O ₃	7.37	TiO ₂	0.38	SO ₃	0.96
CaO	2.13	MgO	2.95	LOI	1.2

Perubahan warna lumpur nampak pada **Gambar 2.**



Gambar 2. Perbedaan Warna Lumpur dalam Bentuk Bata

(a) Dalam keadaan basah; (b) Setelah pemanasan 110 ° C dalam oven; (c) Setelah pembakaran 945° C di pabrik genteng Goodyear

Seperti yang tertera pada **Gambar 2.** bata lumpur yang belum dipanaskan berwarna abu-abu, ketika sudah dilakukan proses pemanasan dengan suhu 945°C, maka warna lumpur mulai berubah menjadi merah.

3.2. Peninjauan Komposisi NaOH, Komposisi Sodium Silikat, Komposisi Air dan Waktu *Curing* terhadap Kuat Tekan, Densitas dan Stabilitas Agregat Ringan Geopolimer

Tabel 2. Penelitian Komposisi NaOH, Komposisi Sodium Silikat, Komposisi Air dan Waktu *Curing* terhadap Kuat tekan, Densitas dan Stabilitas Agregat Ringan Geopolimer

No	LUMPUR (gr)	SILIKAT (gr)	NaOH (gr)	AIR (gr)	CURING (jam)	KEKUATAN (Mpa)	DENSITAS (gr/cm ³)	STABILITAS (24 jam)
1	600	90	0	225	24	0.59	1.47	OK
2	600	120	0	220	24	0.31	1.55	OK
3	600	180	0	155	24	5.73	1.68	OK
4	600	240	0	100	24	8.40	1.76	OK
5	600	90	12.5	190	24	3.20	1.61	OK
6	600	120	12.6	165	24	2.53	1.66	OK
7	600	180	12.6	115	24	6.80	1.78	OK
8	600	240	12.6	190	24	8.67	1.81	OK
9	600	90	12.6	190	48	2.13	1.61	OK
10	600	90	12.6	190	72	2.93	1.60	OK

Mirip dengan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Fansuri et al (2012), komposisi yang dipakai pada penelitian kali ini tertera pada **Tabel 2**. Jumlah air yang digunakan tergantung pada kelecakan (*workability*) dari tiap mix design dalam pembuatan pelet.

Pada penelitian tahap pertama (sampel nomor 1 - 4) dibuat 3 benda uji untuk tiap komposisi, dengan volume yang sama yaitu $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$. Variabel bebas pada tahap ini adalah jumlah sodium silikat pada pasta geopolimer tanpa menggunakan NaOH, variasinya adalah Sodium silikat sebanyak 90, 120, 180, 240 gram untuk tiap 600 gram lumpur.

Penelitian tahap kedua (sampel nomor 5 - 8), variabel bebas adalah jumlah sodium silikat pada pasta geopolimer tetapi dengan menggunakan NaOH 6.3 gram, variasinya adalah Sodium silikat sebanyak 90, 120, 180, 240 gram untuk tiap 600 gram lumpur.

Setelah benda uji dibuat, *curing* dilakukan selama 24 jam dengan suhu 110°C di Laboratorium Beton dan Konstruksi Universitas Kristen Petra, lalu dilakukan uji densitas dan stabilitas pada masing-masing benda uji yang telah berusia 1 hari. Setelah dilakukan uji densitas dan stabilitas, dilakukan uji kuat tekan pada masing-masing benda uji yang telah berusia 7 hari. Hasil uji densitas, stabilitas dan kuat tekan dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Hasil dari uji kuat tekan dan densitas pada tahap pertama (sampel nomor 1 - 4) memperlihatkan bahwa lumpur dengan kadar Sodium silikat yang lebih banyak akan membuat pasta geopolimer (tanpa NaOH) lebih berat juga lebih kuat. Untuk pengujian stabilitas, semua sampel memenuhi syarat yaitu direndam dalam air selama 24 jam dan tidak larut.

Hasil dari uji kuat tekan dan densitas pada tahap kedua (sampel nomor 5 - 8) memperlihatkan bahwa lumpur dengan tambahan NaOH akan membuat pasta geopolimer lebih berat juga lebih kuat. Dari segi stabilitas, semua sampel memenuhi syarat yaitu tidak larut ketika direndam air selama 24 jam.

Untuk penelitian tahap ketiga (sampel nomor 5, 9, 10) yaitu dengan variabel waktu *curing*, peneliti memilih mix design yang paling optimal dari segi kekuatan dan densitas pada penelitian tahap, yaitu mix design dengan komposisi: 600 gram lumpur, 90 gram larutan Sodium Silikat, 6.3 gram NaOH, 190 gram air. Variabel bebas adalah waktu *curing* selama 24 jam, 48 jam dan 72 jam. Hasil uji densitas, stabilitas dan kuat tekan di tahap ini dapat dilihat pada **Tabel 2**. pula.

Percobaan pada tahap ketiga ini (sampel 5,9,10) menunjukkan bahwa waktu *curing* tidak terlalu berpengaruh pada kuat tekan maupun berat jenis benda uji.

Dari seluruh percobaan diatas, didapatkan agregat ringan dengan komposisi 600 gram lumpur : 12,6 gram NaOH : 90 gram Sodium silikat dan waktu *curing* 24 jam merupakan agregat ringan yang paling optimal baik dari segi kekuatan (3,2 MPa) maupun berat jenisnya ($1,61 \text{ g/cm}^3$). Meskipun berat jenis agregat ini masih memenuhi syarat (SNI 03-2461-2002) yaitu antara $1,0-1,8 \text{ g/cm}^3$, tetapi agregat ini masih kurang ringan dibandingkan batu apung yang mempunyai berat jenis $0,8 \text{ g/cm}^3$ yang sering digunakan sebagai campuran beton ringan.

3.3. Penelitian Tahap Pengembangan Agregat Ringan Geopolimer yang dijadikan Campuran Beton Ringan

Pada penelitian tahap ini, peneliti mencoba membuat beton konvensional dan beton yang menggunakan agregat ringan geopolimer sebagai perbandingan. Beton konvensional dibuat dengan komposisi semen:pasir:kerikil = 1:2:3. Hasil uji kuat tekan dan Berat Jenis Beton dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Uji Kuat Tekan dan Berat Jenis Rata-rata Beton Konvensional

Air (kg/m ³)	Semen (kg/m ³)	Pasir Silika (kg/m ³)	Kerikil (kg/m ³)	Berat Jenis (kg/m ³)	Kuat Tekan (MPa)
250	350	700	1050	2340	22

Sedangkan Beton Ringan dari Agregat ringan dibuat dengan komposisi semen:pasir:agregat ringan geopolimer = 1:2:2. Perbandingan ini didapatkan sesuai perbandingan volume kerikil dan agregat ringan geopolimer yang dibutuhkan untuk suatu campuran beton berdasarkan berat jenis kerikil, yaitu 2,5 g/cm³ dan berat jenis agregat ringan geopolimer, yaitu 1,6 g/cm³. Hasil uji kuat tekan dan nerat jenis Beton dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Uji Kuat Tekan dan Berat Jenis Beton Ringan Rata-rata dari Agregat Geopolimer

Air (kg/m ³)	Semen (kg/m ³)	Pasir Silika (kg/m ³)	Kerikil (kg/m ³)	Berat Jenis (kg/m ³)	Kuat Tekan (MPa)
300	350	700	700	2000	10



Gambar 3. Beton dari Agregat Ringan Geopolimer, Sebelum dan Sesudah Uji Kuat Tekan

Dari kedua tabel diatas dapat dilihat bahwa beton ringan berbahan agregat ringan geopolimer memiliki berat jenis yang lebih ringan daripada beton konvensional. Tetapi masih belum memenuhi syarat beton ringan di Indonesia (SNI 03-3449-2002), yaitu beton dengan berat jenis maksimum 1.85 g/cm³ dengan kekuatan tekan minimum 17.24 MPa

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan penelitian dapat ditarik kesimpulan mengenai agregat ringan geopolimer, sebagai berikut:

1. Dengan adanya NaOH pada campuran agregat, benda uji akan semakin kuat dan berat jenisnya semakin besar.
2. Semakin banyak kandungan Sodium Silikat pada campuran agregat, benda uji akan semakin kuat dan berat jenisnya semakin besar. Hal ini berbeda dengan hipotesa peneliti yang mengasumsikan semakin banyak Sodium Silikat yang digunakan akan menyebabkan banyak rongga pada pasta geopolimer dan mengakibatkan pasta tersebut semakin ringan.

3. *Curing* yang dilakukan selama 24 jam, 48 jam dan 72 jam terbukti tidak terlalu berpengaruh pada kuat tekan maupun berat jenis benda uji.
4. Agregat yang diproduksi kali ini memenuhi syarat berat jenis (SNI 03-2461-2002) yaitu antara 1,0-1,8 g/cm³, tetapi masih tergolong berat jika dibandingkan batu apung yang mempunyai berat jenis 0,8 g/cm³.
5. Beton yang diproduksi kali ini mempunyai berat jenis sebesar 2,00 g/cm³ yang lebih ringan dibanding beton konvensional (2,4 g/cm³), tetapi masih belum memenuhi syarat beton ringan di Indonesia (SNI 03-3449-2002), yaitu beton dengan berat jenis maksimum 1.85 g/cm³ dengan kekuatan tekan minimum 17.24 MPa

5. DAFTAR REFERENSI

- ASTM C 230M. *Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement*
- ASTM C 109-05, 2005. *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)*
- Adiningtyas, T., Ekaputri, J. J., & Triwulan. (2007). Analisa Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sipil "Torsi"*, 27 (3), 33-47
- Davidovits, J. (2008). *Geopolymer Chemistry and Application*. Geopolymer Institute: Saint Quentin.
- Fansuri, H., Prasetyoko, D., Zhang, Z., & Zhang, D. (2012). The Effect of Sodium Silicate and Sodium Hydroxide. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering* 7, 73-79
- Hardjito, D. (2002). Geopolimer lagi. Retrieved from <http://www.scribd.com/doc/38273312/Geopolimer>
- Mohd.Ismail, H. K., Fathi, M. S., & Manaf, N. bte. (2003). *Study of Lightweight Concrete Behaviour*. Universiti Teknologi Malaysia
- SNI 03-3449-2002. *Tata Cara Perancangan Campuran Beton Ringan Dengan Agregat Ringan*.
- SNI 03-1974-1990. *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*.
- SNI 03-2461-2002. *Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural*.