

**PEMBUATAN PASTA RINGAN GEOPOLIMER
CELLULER LIGHTWEIGHT CONCRETE (CLC)
BERBASIS CAMPURAN LUMPUR SIDOARJO DAN FLY ASH**

Febrina Ekaputri Susanto¹, Alvin Adiputra Widjaja², Antoni³, Djwantoro Hardjito⁴

ABSTRAK :Penelitian ini membahas upaya pemanfaatan lumpur Sidoarjo dan sisa pembakaran batubara berupa *fly ash* agar dapat bermanfaat untuk dunia konstruksi sebagai pengganti semen. Penelitian ini menggunakan bahan dasar lumpur Sidoarjo, *fly ash*, NaOH, sodium silikat, dan *foam agent*. Variasi kadar sodium silikat yang digunakan pada percobaan sebesar 30%, 40%, 50% dan 60% dari massa campuran lumpur dan *fly ash*, dengan memperhatikan perbandingan massa larutan sodium silikat dengan larutan NaOH. Variasi molaritas NaOH yang digunakan pada percobaan sebesar 5M, 6M, 7M dan 8M. Untuk menghasilkan berat jenis yang lebih kecil maka ditambahkan *foam agent*. Perbandingan volume *foam agent* dengan air yang digunakan adalah 1:50. Pada masing-masing penelitian tersebut diberikan variasi pemberian *foam* sebesar 0.5 liter, 1 liter, dan 1.5 liter yang dikonversi menjadi perbandingan massa *foam* dengan massa *binder* (campuran lumpur Sidoarjo, *fly ash*, NaOH padat, sodium silikat dan air). Pengujian yang dilakukan adalah tes kuat tekan pada benda uji berukuran 5×5×5 cm³, dan uji berat jenis. Hasil terbaik dari penelitian ini, yaitu campuran *fly ash* murni dengan komposisi larutan sodium silikat 480 gram (60%), NaOH 5M, dan penambahan *foam* 1.5 liter. Hasil kuat tekan umur 7 hari sebesar 1.44 MPa dan berat jenis sebesar 0.61 gr/cm³.

KATA KUNCI :pasta ringan, geopolimer, lumpur Sidoarjo, *fly ash*, *foam agent*

1. PENDAHULUAN

Banyak peneliti melakukan penelitian terhadap bencana lumpur Sidoarjo yang terjadi sejak tanggal 29 Mei 2006 di lokasi pengeboran Lapindo Brantas Inc. di Dusun Balongnongo, Desa Renokenongo, yang hingga saat ini masih belum menemukan solusi yang tepat. Salah satu yang dilakukan adalah meneliti kandungan dari lumpur tersebut agar dapat diolah menjadi sesuatu yang bermanfaat.

Pada umumnya, proses pembuatan beton masih menggunakan semen sebagai bahan pengikatnya. Nuruddin et al., (2010) memaparkan bahwa lumpur Sidoarjo yang telah melewati berbagai proses bisa menjadi material pengganti semen yaitu dengan caramembakar lumpur tersebut terlebih dahulu pada suhu yang tinggi.

Pada proses memproduksi semen terjadi emisi CO₂ ke udara sebanding dengan 1:1, artinya apabila memproduksi 1 ton semen sama dengan memproduksi 1 ton gas emisi CO₂ ke udara. Hal ini yang menyebabkan terjadinya *global warming*. Oleh sebab itu, salah satu cara dalam dunia konstruksi untuk dapat mengurangi terjadinya *global warming* adalah dengan penggunaan beton ringan geopolimer pada bangunan.

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, febrina.susanto@yahoo.com

²Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, crimson_flames93@hotmail.com

³Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, antoni@petra.ac.id

⁴Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, djwantoro.h@petra.ac.id

Lumpur Sidoarjo merupakan bahan yang baik untuk dijadikan material alternatif untuk beton ringan. Sifat lumpur yang dibakar bersifat *amorf* (reaktif), memungkinkan sebagai bahan pengikat. *Fly ash* adalah salah satu limbah yang dihasilkan dari pembakaran batubara. *Fly ash* mempunyai kandungan oksida silika dan alumina, dan dengan kehadiran air dan ukuran partikelnya yang halus maka oksida silika yang dikandung oleh abu terbang akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat (Priadana et al., 2012).

Dalam penelitian ini, material campuran pasta ringan dibuat dari campuran lumpur Sidoarjo dengan *fly ash* dan campuran *fly ash* murni. Komposisi campuran yang diteliti antara lain variasi penambahan sodium silikat, variasi molaritas NaOH, dan penambahan *foam agent*. Penambahan *foam agent* bertujuan agar bahan pasta dapat lebih mengembang sehingga dapat menghasilkan berat yang lebih ringan (Manfaluty et al., 2012).

2. RANCANGAN PENELITIAN

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan adalah lumpur Sidoarjo, *fly ash*, NaOH *flake*, larutan sodium silikat, air, dan *foam agent*. Lumpur Sidoarjo dioven terlebih dahulu selama 1 hari dengan suhu 110°C, lalu dibakar dengan menggunakan alat *furnace* selama 6 jam, dan digiling dengan menggunakan mesin giling selama 12 jam dengan suhu 700°C, kemudian diayak hingga kehalusannya < 63 µm.

Metode Penelitian

Pada penelitian ini, perbandingan komposisi campuran lumpur Sidoarjo dan *fly ash* yang digunakan adalah 1:1 (Subroto et al., 2014). Awalnya dilakukan persiapan bekisting untuk pembuatan 3 benda uji sebesar 5x5x5 cm³. Bekisting yang sudah dirakit diberi *wax* mobil sebagai pelumas bekisting. Sebaiknya bekisting yang sudah dilumasi *wax* didiamkan 1 hari agar *wax* tersebut tidak basah dan siap dipakai. Di hari yang sama, larutan NaOH mulai dibuat juga dengan melarutkan NaOH *flake* dengan air. Larutan NaOH dibuat 1 hari sebelumnya dikarenakan larutan NaOH yang panas dapat membuat hasil pasta tidak baik. Setelah itu menimbang lumpur Sidoarjo, *fly ash*, dan larutan sodium silikat untuk membuat adonan campuran pasta.

Pada tahap pertama, melakukan percobaan variasi larutan sodium silikat dengan larutan NaOH 5M sebagai variabel tetap. Kadar sodium silikat yang digunakan adalah 30%, 40%, 50%, dan 60% dari *massapozzolan*. *Massa pozzolan* adalah massa yang diperoleh dari campuran lumpur Sidoarjo dan *fly ash*. Larutan NaOH 5M yang telah dibuat 1 hari sebelumnya dicampur dengan larutan sodium silikat, lalu diaduk selama 3 menit. Setelah itu, campuran larutan NaOH dan sodium silikat dicampurkan dengan lumpur Sidoarjo yang sudah digiling dan *fly ash*. Campuran tersebut diaduk tangan dengan menggunakan sekop selama 1 menit lalu dilanjutkan dengan pengadukan mekanik selama 1 menit. Tujuan percobaan ini adalah agar dapat menemukan komposisi larutan sodium silikat yang terbaik setelah dicampur dengan lumpur Sidoarjo dan *fly ash*. Komposisi yang terbaik digunakan untuk melakukan penelitian tahap kedua yaitu percobaan variasi molaritas NaOH.

Pada tahap kedua, variasi molaritas NaOH yang digunakan adalah 5M, 6M, 7M, dan 8M. Langkah-langkah kerja yang dilakukan pada tahap ini sama dengan pada tahap pertama, akan tetapi pada tahap ini komposisi variasi sodium silikat yang didapat dari percobaan tahap pertama dijadikan sebagai variabel tetap.

Setelah didapatkan komposisi optimum sodium silikat dan molaritas NaOH pada tahap sebelumnya, percobaan dilanjutkan dengan penambahan *foam agent*. Campuran pasta geopolimer dengan perbandingan *foam agent* : air = 1:50 merupakan campuran yang memiliki kuat tekan dan berat jenis yang baik (Subroto et al., 2014). Komposisi campuran pada tahap ini menggunakan komposisi optimum

sodium silikat dan molaritas NaOH pada penelitian sebelumnya. Variasi *foam* yang diberikan sebesar 0.5 liter, 1 liter, dan 1.5 liter dengan memperhatikan perbandingan massa *foam* dengan massa *binder*. Kriteria *foam* yang baik yaitu massa dari 1 liter *foam* adalah 80-90 gram. *Foam* didapatkan dengan menggunakan *foam generator*. Pencampuran *foam* dilakukan setelah campuran lumpur Sidoarjo, *fly ash*, sodium silikat, dan NaOH menjadi rata. Pengadukan *foam* dilakukan dengan adukan mekanik selama kurang lebih 1 menit dan dengan adukan tangan selama 1 menit. Pada saat pengadukan mekanik, sebaiknya tidak menggunakan kecepatan penuh akan tetapi dengan kecepatan sedang dengan sesekali berhenti. Apabila dengan kecepatan penuh maka *foam* akan meletus dan tidak mengembang.

Setelah itu, tahap ketiga dilakukan lagi, akan tetapi dengan campuran *fly ash*, larutan sodium silikat, larutan NaOH, dan *foam*, tanpa menggunakan lumpur Sidoarjo. Tujuannya adalah agar dapat menemukan komposisi pasta ringan optimum dari campuran *fly ash* murni.

Pada setiap tahap penelitian ini, benda uji yang dicetak di bekisting 5x5x5 cm³ dilakukan proses *curing* dengan menggunakan oven bersuhu 60°C selama 1 hari. Benda uji yang berbentuk kubus ini digunakan untuk melakukan tes kuat tekan, berat jenis, dan stabilitas. Tes berat jenis dilakukan dengan menggunakan hukum Archimedes.

3. HASIL DAN ANALISA

Peninjauan Perbandingan Massa Kadar Sodium Silikat dengan Larutan NaOH 5M terhadap Kuat Tekan dan Berat Jenis Pasta Geopolimer

Pada penelitian tahap pertama dilakukan percobaan untuk mendapatkan perbandingan antara kadar larutan sodium silikat dengan larutan NaOH 5M yang paling baik pada pasta geopolimer. Dari setiap percobaan, dibuat tiga benda uji dengan ukuran 5x5x5 cm³. Variasi pemakaian kadar larutan sodium silikat diambil berdasarkan persentasenya terhadap massa *binder*. Massa *binder* adalah campuran massa lumpur Sidoarjo dan massa *fly ash*. Pada percobaan ini massa sodium silikat yang dipakai yaitu 30%, 40%, 50% dan 60% dari massa *binder* sehingga didapatkan perbandingan massa larutan sodium silikat: massa larutan NaOH 5M yaitu, 1.14:1; 1.74:1; 2.52:1 dan 3.62:1. Komposisi campuran dapat dilihat pada **Tabel 1** dan hasil dari uji penelitian dapat dilihat pada **Tabel 2**. Hasil pencetakan benda uji 5 x 5 x 5 cm³ dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Tabel 1. Komposisi Campuran Pasta Geopolimer Percobaan Variasi Sodium Silikat (Untuk 12 Benda Uji)

Larutan Sodium Silikat:Larutan NaOH 5M	Lumpur (gr)	Fly Ash (gr)	Larutan Sodium Silikat (gr)	NaOH Padat (gr)	Air (gr)	Molaritas NaOH	w/b
1.14:1	400	400	240	35.04	175.2	5	0.3
1.74:1	400	400	320	30.72	153.6	5	0.3
2.52:1	400	400	400	26.40	132.0	5	0.3
3.62:1	400	400	480	22.08	110.4	5	0.3

Tabel 2. Hasil Uji Kuat Tekan dan Berat Jenis Umur 7 Hari

Larutan Sodium Silikat:Larutan NaOH 5M	Kuat Tekan (MPa)	Berat Jenis (g/cm ³)
1.14:1	21	1.89
1.74:1	32	1.89
2.52:1	36	1.88
3.62:1	40.67	1.87



Gambar 1. Hasil Pencetakan Bekisting 5x5x5 cm³ dan Area Retak Benda Uji

Dari penelitian ini didapatkan hasil yang paling baik yaitu pemakaian sodium silikat sebesar 60% dari massa *pozzolan* dengan perbandingannya antara massa larutan sodium silikat:massa larutan NaOH 5M yaitu 3.62:1. Hal ini dikarenakan percobaan dari campuran tersebut memiliki kuat tekan paling tinggi yaitu 40.67 MPa dan keretakannya hampir tidak ada.

Pengaruh Penambahan Molaritas NaOH pada Pasta Geopolimer terhadap Kuat Tekan dan Berat Jenis

Pada penelitian tahap 2, dilakukan percobaan dengan variasi perbedaan molaritas yaitu sebesar 5M, 6M, 7M dan 8M. Percobaan ini berbasis pada percobaan sebelumnya. Hal ini dilakukan dengan tujuan mengetahui pengaruh molaritas terhadap kuat tekan. Penggunaan kadar sodium silikat diambil dari hasil yang optimum dari penelitian tahap 1 yaitu dengan menggunakan sodium silikat sebesar 60% dari massa *pozzolan*. *Water/binder* yang digunakan pada percobaan ini sama yaitu 0.3. Komposisi pada tahap penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3**. Benda uji ini dicuring dengan suhu 60° C selama 1 hari di dalam oven. Kemudian setelah 7 hari, benda uji tersebut diuji kuat tekan dan berat jenis. Permasalahan yang timbul pada saat percobaan adalah hasil sampel terjadi retak dan pada saat akan dilakukan tes tekan benda uji rusak akibat terjadi retak itu sendiri. Hasil kuat tekan umur 7 hari dan berat jenis benda uji dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 3. Komposisi Campuran Pasta Geopolimer Percobaan Variasi Molaritas NaOH (Untuk 12 Benda Uji)

Lumpur (gr)	Fly Ash (gr)	Larutan Sodium Silikat (gr)	NaOH Padat (gr)	Air (gr)	Molaritas NaOH	w/b
400	400	480	22.08	110.4	5	0.3
400	400	480	26.50	110.4	6	0.3
400	400	480	30.91	110.4	7	0.3
400	400	480	35.33	110.4	8	0.3

Tabel 4. Hasil Uji Kuat Tekan dan Berat Jenis Umur 7 Hari

Molaritas NaOH	Kuat Tekan (MPa)	Berat Jenis (gr/cm ³)
5	39.67	1.85
6	28.33	1.89
7	29.33	1.88
8	29.67	1.90

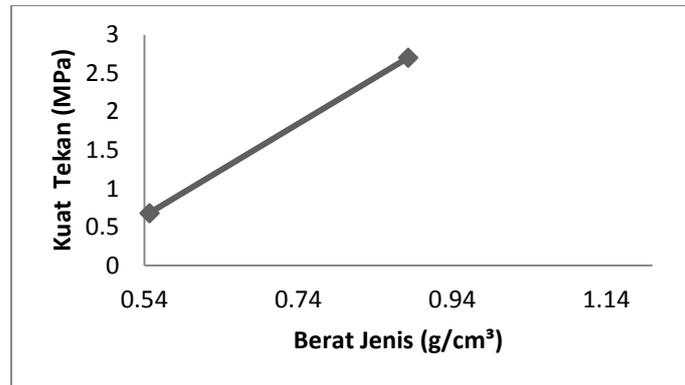
Pada penelitian ini kami berpikir semakin tinggi kemolaran maka semakin terjadi retak yang timbul akibat konsentrasi yang tinggi. Dan pengaruh PH pada bahan-bahan juga mempengaruhi retak yang terjadi pada sampel kami. Hasil sampel kami mengalami retak yang seiring waktu semakin besar dan mempengaruhi kekuatan tekan sampel berumur 7 hari. Besaran pH Lumpur Sidoarjo menunjukkan angka 7.8 sedangkan pH *Fly Ash* 11.6. Dari penelitian ini didapatkan hasil yang paling baik yaitu penggunaan NaOH dengan molaritas 5M. Hasil kuat tekan umur 7 hari paling tinggi yaitu 39.67 MPa dan berat jenis 1.85 g/cm³.

Pengaruh Metode Pengerjaan pada Waktu Pencampuran *Foam Agent* dengan Campuran Lumpur Sidoarjo dan *Fly Ash*

Penelitian tahap ini bertujuan untuk melihat pengaruh perbedaan metode pengerjaan pencampuran *foam agent* dengan pasta geopolimer sehingga dapat dipakai sebagai acuan dalam penelitian selanjutnya. Metode pembuatan pasta ringan ini mengambil proses pembuatan bata ringan CLC (*Cellular Lightweight Concrete*), CLC memiliki prinsip menambahkan gelembung udara dan tidak ada reaksi kimia dalam proses pencampuran adonan, *foam* berfungsi sebagai media untuk membungkus udara. Komposisi campuran pada tahap penelitian ini menggunakan kadar optimum sodium silikat dan molaritas NaOH pada tahap penelitian sebelumnya. Pada percobaan sebelumnya pemakaian NaOH 5M dan 480 gram sodium silikat menunjukkan hasil yang paling baik. Komposisi campuran dapat dilihat pada **Tabel 5** dan hasil kuat tekan serta berat jenis dapat dilihat pada **Tabel 6**. Perbandingan berat jenis dan kuat tekan bisa dilihat pada **Gambar 2**.

Tabel 5. Komposisi Campuran Lumpur Sidoarjo dan *Fly Ash* Pasta Geopolimer dengan Perbandingan Volume *Foam Agent* : Air = 1 : 50 (Untuk 12 Benda Uji)

Volum <i>Foam</i> (lt) : Massa <i>Binder</i>	Massa <i>Foam</i> : Massa <i>Binder</i>	Lumpur (gr)	<i>Fly Ash</i> (gr)	Larutan Sodium Silikat (gr)	NaOH Padat (gr)	Air (gr)	Molaritas NaOH	w/b
2:1412	0.12:1	400	400	480	22.08	110	5	0.3
3:1412	0.18:1	400	400	480	22.08	110	5	0.3
4:1412	0.24:1	400	400	480	22.08	110	5	0.3
5:1412	0.30:1	400	400	480	22.08	110	5	0.3



Gambar 2. Perbandingan Berat Jenis dan Kuat Tekan Benda Uji Umur 7 Hari

Tabel 6. Hasil Uji Kuat Tekan dan Berat Jenis Umur 7 Hari

Volum Foam (lt) : Massa Binder	Massa Foam : Massa Binder	Kuat Tekan (MPa)	Berat Jenis (g/cm³)	Keterangan
2:1412	0.12:1	2.76	0.88	Tidak retak
3:1412	0.18:1	0.76	0.54	Tidak retak
4:1412	0.24:1	*	*	Rusak
5:1412	0.30:1	*	*	Rusak

Pengaruh Metode Pengerjaan pada Waktu Pencampuran Foam Agent dengan Campuran Fly Ash
 Percobaan ini dilakukan karena hasil dari campuran lumpur Sidoarjo mengalami retak dan menunjukkan hasil yang kurang bagus, dan hasil pembuatan dengan fly ash murni menunjukkan hasil pasta yang tidak retak. Pemakaian larutan sodium silikat dan NaOH 5M sama seperti percobaan sebelumnya yaitu saat mengerjakan campuran lumpur Sidoarjo dan fly ash. Komposisi campuran dapat dilihat pada Tabel 7 dan hasil kuat tekan serta berat jenis dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 7. Komposisi Campuran Pasta Geopolimer dengan Fly Ash dengan Perbandingan Volume Foam Agent : Air = 1:50 (Untuk 12 Benda Uji)

Volum Foam (lt) : Massa Binder	Massa Foam : Massa Binder	Fly Ash (gr)	Larutan Sodium Silikat (gr)	NaOH Padat (gr)	Air (gr)	Mola-ritas NaOH	w/b
0.5:1412	0.03:1	800	480	22.08	110	5	0.3
1:1412	0.06:1	800	480	22.08	110	5	0.3
1.5:1412	0.09:1	800	480	22.08	110	5	0.3

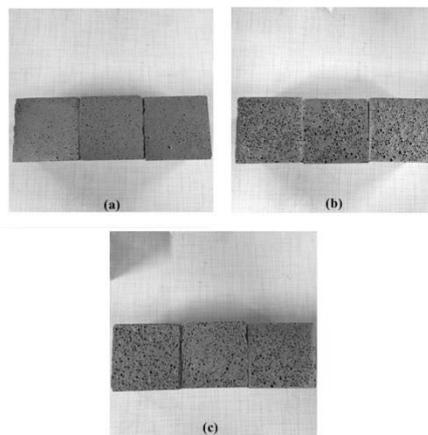
Tabel 8. Hasil Uji Kuat Tekan dan Berat Jenis Umur 7 Hari Campuran Pasta Geopolimer Fly Ash dengan Perbandingan Volume Foam Agent : Air = 1:50

Volum Foam (lt) : Massa Binder	Massa Foam : Massa Binder	Kuat Tekan (Mpa)	Berat Jenis (gr/cm³)
0.5:1412	0.03:1	20.67	1.69
1:1412	0.06:1	5.00	1.04
1.5:1412	0.09:1	1.25	0.61

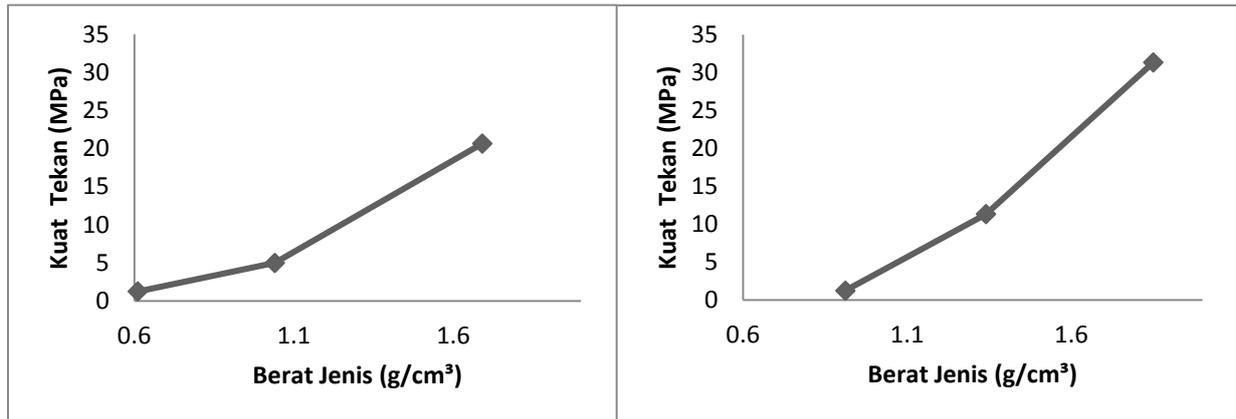
Hasil campuran pasta yang telah diaduk menjadi satu, selain langsung dituangkan ke bekisting, juga ada yang ditunggu 5 menit sebelum dituangkan ke bekisting. Kedua metode penuangan ini memiliki hasil kuat tekan dan berat jenis yang berbeda. Hasil kuat tekan dan berat jenis pasta yang didiamkan 5 menit sebelum dituangkan ke bekisting dapat dilihat pada **Tabel 9**. Hasil pencetakan benda uji pada bekisting 5 x 5 x 5 cm³ dapat dilihat pada **Gambar 3**. Perbandingan berat jenis dan kuat tekan dapat dilihat pada **Gambar 4**.

Tabel 9. Hasil Campuran Pasta Geopolimer Fly Ash dengan Perbandingan Volume Foam Agent : Air = 1:50 Pencetakan kedalam Bekisting Menunggu 5 menit

Volum Foam (lt) : Massa Binder	Massa Foam : Massa Binder	Kuat Tekan (MPa)	Berat Jenis (gr/cm³)
0.5:1412	0.03:1	31.33	1.85
1:1412	0.06:1	11.33	1.34
1.5:1412	0.09:1	1.24	0.92



Gambar 3. Benda Uji Campuran Fly Ash Langsung Cetak untuk Perbandingan Massa Foam : Massa Binder (a) 0.03 : 1 ; (b) 0.06 : 1 ; dan (c) 0.09 : 1



Gambar 4. Perbandingan Kuat Tekan dan Berat Jenis Umur 7 Hari Campuran *Fly Ash* Langsung Cetak (kiri) Tunggu 5 Menit (kanan)

Dari penelitian ini didapatkan hasil yang paling baik yaitu dengan perbandingan massa *foam* : massa *binder* = 0.09:1. Hasil kuat tekan umur 7 hari paling tinggi yaitu 1.25 MPa dan berat jenis 0.61 g/cm³.

4. KESIMPULAN

1. Metode pengerjaan pada saat pencampuran *foam* yang paling baik yaitu dengan menggunakan pengadukan mekanik ketika mengaduk, mencetak langsung campuran pastayang sudah jadi pada bekisting, dan menggunakan *wax* sebagai lapisan pada bekisting.
2. Dengan bertambahnya kandungan larutan sodium silikat pada campuran pasta geopolimer, kuat tekan benda uji akan semakin meningkat. Hasil kuat tekan umur 7 hari paling tinggi yaitu 40.67 MPa dan berat jenis 1.87 g/cm³ dengan komposisi sodium silikat sebesar 60% dari massa lumpur Sidoarjo dan *fly ash* dengan perbandingan larutan sodium silikat : larutan NaOH 5M = 3.62 : 1.
3. Campuran pasta geopolimer *fly ash* memiliki kuat tekan yang paling tinggi dibandingkan dengan campuran lumpur Sidoarjo dengan *fly ash*, yaitu sebesar 40 MPa dengan berat jenis 1.95 g/cm³.
4. Penggunaan material lumpur Sidoarjo dan *fly ash* serta perbandingan *foam agent* : air = 1:50 dengan menggunakan 2 liter *foam* atau perbandingan massa *foam*:massa *binder* = 0.18:1, didapatkan pasta ringan geopolimer yang paling optimum yaitu hasil kuat tekan 2.76 MPa dengan berat jenis 0.88 g/cm³. Benda uji ini sudah memenuhi syarat SNI 03-2461-2002 yaitu kuat tekan minimum 2 MPa dan berat jenis kurang dari 1 g/cm³.
5. Penggunaan material *fly ash* dengan perbandingan massa *foam* : massa *binder* = 0.09:1 atau dengan menambahkan 1.5 liter *foam*, didapatkan pasta geopolimer ringan yang paling optimum dengan kuat tekan 1.25 MPa dan berat jenis 0.61 gr/cm³. Benda uji ini sudah memenuhi syarat ASTM C869 yang menyatakan bahwa berat jenis minimum 0.7 gr/cm³.

5. DAFTAR REFERENSI

- Manfaluty, L., Triwulan, & Aji, P. (2012). *Beton Ringan Berserat dengan Memanfaatkan Lumpur Bakar Sidoarjo dan Serat Alam*, Surabaya, Indonesia.
- Nuruddin, M. F., Bayuaji, R., Masilamani, M. B., & Biyanto, T. R. (2010). Sidoarjo Mud : A Potential Cement Replacement Material. *Civil Engineering Dimension*, 12, 18–22.
- Priadana, K. A., Triwulan, Januarti J. E., & Pujo A. (2012). *Karakterisasi Fly Ash Berdasarkan Sifat Fisik dan Kimia*. Teknik Sipil ITS.
- SNI 03-2461-2002. (2002). *Spesifikasi Agregat Ringan untuk Beton Ringan Struktural*.
- Subroto. R. A., Utomo. D. J., Antoni, & Hardjito D. (2014). *Pembuatan Agregat Ringan Geopolimer Berbasis Lumpur Sidoarjo dan Fly Ash dengan Menggunakan Foam Agent*. Teknik Sipil. Universitas Kristen Petra.