

PEMANFAATAN LUMPUR SIDOARJO PADA PEMBUATAN BATA RINGAN NON STRUKTURAL DENGAN METODE *CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE* (CLC)

Gerardus Abi¹, Billy Susilo², Antoni³, Djwantoro Hardjito⁴

ABSTRAK : Penelitian terhadap pemanfaatan lumpur Sidoarjo telah banyak dilakukan. Hasil penelitian mendapatkan bahwa lumpur Sidoarjo dapat digunakan sebagai material pozzolan karena kaya kandungan silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3). Pada penelitian ini, lumpur Sidoarjo dimanfaatkan dalam pembuatan bata ringan non-struktural dengan metode *cellular lightweight concrete* (CLC). Hal yang harus diperhatikan dalam pembuatan bata ringan ini adalah harus memenuhi syarat ASTM C 869, yaitu kuat tekan > 1.4 MPa, *dry density* < 700 kg/m³ dan *water absorption* $< 25\%$ berdasarkan volume. Variabel penelitiannya adalah perbandingan volume *foam agent* : air, perbandingan massa *foam* : *cementitious material* dan penambahan pasir silika sebagai agregat halus untuk mengurangi penggunaan pasta campuran. Dari hasil penelitian, perbandingan volume *foam agent* : air yang memenuhi syarat ASTM C 869 adalah 1 : 50. Bila dibandingkan dengan bata ringan tanpa pasir silika, penambahan pasir silika menyebabkan kuat tekan berkurang dan *water absorption* lebih tinggi, untuk *dry density* yang relatif sama.

KATA KUNCI : bata ringan CLC, lumpur Sidoarjo, *fly ash*, pasir silika

1. PENDAHULUAN

Lumpur Sidoarjo berawal dari kesalahan proses pengeboran oleh PT. Lapindo Brantas. Fenomena lumpur Sidoarjo ini mendapat perhatian sebagai semburan lumpur vulkanik terbesar di dunia. Karena jumlah volume lumpur yang hampir tidak terbatas, para peneliti berusaha mencari cara agar lumpur tersebut bisa dimanfaatkan. Hasil penelitian membuktikan bahwa komposisi utama dari Lumpur Sidoarjo adalah SiO_2 , Al_2O_3 and Fe_2O_3 , dimana total ketiganya lebih dari 80% dari keseluruhan, dengan SiO_2 ~55%, Al_2O_3 ~20%, dan Fe_2O_3 ~ 10% (Hardjito & Antoni, 2013). Kandungan Si yang berlimpah tersebut membuat lumpur Sidoarjo dapat berpotensi sebagai bahan mentah untuk material pozzolan. Jika dibandingkan dengan material pozzolan yang umum dipakai seperti *fly ash*, lumpur Sidoarjo ini bersifat kurang reaktif karena berbentuk kristal, sehingga harus diproses dulu agar bersifat reaktif. Proses yang dilakukan pada lumpur Sidoarjo terdiri atas 3 tahap, yaitu: Lumpur Sidoarjo dioven dengan suhu 110°C selama 1 hari. pembakaran dengan suhu antara 600°C – 800°C selama 6 jam, tahap berikutnya adalah penggilingan lumpur Sidoarjo hingga berukuran kurang dari 63µm. Ketiga tahap tersebut bertujuan agar lumpur Sidoarjo bersifat reaktif.

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, vebrianusabi@gmail.com

²Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, Billy_susilo@gmail.com

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

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

Pada penelitian ini, lumpur Sidoarjo ini akan digunakan sebagai bahan dasar dalam pembuatan bata ringan. Alasan utama pemakaian bata ringan adalah berat sendiri yang rendah, sehingga berat bangunan jauh lebih efisien. Walaupun kuat tekan bata ringan cukup rendah, tapi masih memenuhi syarat sebagai komponen non – struktural. Hal yang patut diperhatikan dalam pembuatan bata ringan adalah pemakaian *foam agent* yang bertugas untuk memerangkap void pada mortar, sehingga didapat *dry density* antara $500 \text{ kg/m}^3 - 1600 \text{ kg/m}^3$ (Jitchaiyaphum, Sinsiri, & Chindaprasirt, 2011).

Produksi dari bata ringan yang stabil tergantung dari beberapa faktor, yaitu: pemilihan jenis *foam agent*, metode pengolahan *foam agent*, *mix design*, cara produksi dan performa yang diinginkan (Ramamurthy, Kunhanandan Nambiar, & Indu Siva Ranjani, 2009). Dari beberapa faktor tersebut, fokus pada penelitian ini adalah *mix design*. Dari penelitian ini akan didapat jenis *mix design* yang memenuhi syarat spesifikasi bata ringan CLC non-struktural menurut ASTM C 869 yaitu berdasarkan kuat tekan, *dry density*, dan *water absorption* dengan pemakaian lumpur Sidoarjo sebagai material pozzolan.

Komposisi bata ringan dalam penelitian ini adalah semen, pozzolan, *foam agent*, pasir silika, dan air. Hal yang kami perhatikan pada penelitian ini adalah *mix design* dari bata ringan CLC tersebut. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat ditemukan komposisi *mix design* yang memenuhi syarat bata ringan CLC non struktural.

2. METODA PENELITIAN

Penelitian diawali dengan melakukan pengolahan pada lumpur Sidoarjo, pengolahan terdiri dari 3 tahap. Tahap pertama adalah lumpur Sidoarjo dioven dengan suhu $110 \text{ }^\circ\text{C}$ untuk menghilangkan kadar air. Tahap kedua adalah lumpur Sidoarjo dibakar pada *furnace* dengan suhu $600^\circ\text{C} - 800^\circ\text{C}$ selama 6 jam dengan tujuan lumpur Sidoarjo bersifat *amorf* dari sebelumnya bersifat kristal. Tahap ketiga adalah lumpur Sidoarjo digiling pada mesin penggiling agar lolos ayakan ukuran $63\mu\text{m}$.

Sebelum dilakukan pembuatan bata ringan CLC dengan penambahan *foam*, dicari terlebih dahulu *mix design* perbandingan massa *water/cementitious material* dan perbandingan massa semen : lumpur Sidoarjo : *fly ash* pada pasta campuran semen, lumpur Sidoarjo, dan *fly ash*. Sampel dicetak dengan ukuran $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$. *Mix design* yang didapatkan lalu ditetapkan pada pembuatan bata ringan CLC.

Pembuatan bata ringan CLC ini dibagi menjadi 2, yakni: dengan/tanpa menggunakan pasir silika sebagai agregat halus. Penelitian yang dilakukan terlebih dahulu adalah bata ringan CLC tanpa menggunakan pasir silika dengan 2 variabel bebas yaitu perbandingan volume *foam agent* : air dan perbandingan volume *foam* : massa *pcementitious material*. Penelitian selanjutnya yaitu bata ringan CLC dengan menambahkan pasir silika sebagai agregat halus dengan tujuan mengurangi penggunaan pasta. Variabel bebas pada penelitian ini ada 2 yaitu perbandingan adalah perbandingan massa *cementitious material* : pasir silika dan perbandingan volume *foam* : massa *cementitious material*.

3. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Analisa Variasi Perbandingan Massa Water/Cementitious Material terhadap Kuat Tekan dan Flow Pasta

Pada penelitian tahap pertama ini dilakukan percobaan untuk mendapatkan perbandingan massa *water/cementitious material* yang paling baik pada pasta. Dari setiap percobaan, dibuat tiga sampel dengan ukuran $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$. Variabel terikat pada penelitian tahap pertama adalah perbandingan massa semen : lumpur Sidoarjo : *fly ash* sebesar $1 : 0.75 : 0.75$. Massa semen ditetapkan sebesar 40% dari keseluruhan massa pasta pada bekisting $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ (900 gr). Variabel bebas pada penelitian tahap pertama adalah perbandingan massa *water/cementitious material*, dengan variasi sebagai berikut: 0.3, 0.35, 0.4 dan 0.45. Komposisi *mix design* dan hasil dari pengujian penelitian tahap pertama ditunjukkan pada **Tabel 1.** dan **Tabel 2.**

Tabel 1. Komposisi Campuran untuk Variasi Perbandingan Massa Water/Cementitious Material Pasta (per 375 cm³)

Sampel	Perbandingan Massa Water/Cementitious Material	Semen (gr)	Lumpur Sidoarjo (gr)	Fly Ash (gr)	Air (gr)
A1	0.30	360	270	270	270
A2	0.35	360	270	270	315
A3	0.40	360	270	270	360
A4	0.45	360	270	270	405

Tabel 2. Tabel Hasil Flow dan Kuat Tekan Rata-Rata Berdasarkan Perbandingan Massa Water/Cementitious Material

Sampel	Perbandingan Massa Water/Cementitious Material	d1 (cm)	d2 (cm)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)	
				3 hari	7 hari
A1	0.30	10.0	16.0	28.0	36.9
A2	0.35	10.0	19.7	25.5	32.5
A3	0.40	10.0	22.4	24.2	29.7
A4	0.45	13.3	*	17.8	20.0

*) Pada ketukan ke-20 kali, flow telah melebihi 25 cm

Pada penelitian tahap pertama dapat dilihat bahwa semakin besar *water/cementitious material* yang dipakai maka *flow* semakin besar, sehingga pasta lebih susah dibentuk pada *water/cementitious material* yang besar. Pada *water/cementitious material* = 0.45, pasta sudah tidak mempunyai d2 karena pada ketukan ke-20 pasta sudah melebihi 25 cm, yang berarti *water/cementitious material* terlalu tinggi. *Water/cementitious material* yang tinggi akan berpengaruh pada tes kuat tekan. Kondisi ideal yang paling efektif adalah *water/cementitious material* = 0.3 yakni pada sampel A1.

Analisa Variasi Perbandingan Massa Semen : Lumpur Sidoarjo : Fly Ash terhadap Kuat Tekan dan Flow Pasta

Pada penelitian tahap kedua ini, variabel terikat yang dipakai adalah perbandingan massa *water/cementitious material* yang ditetapkan dari penelitian pertama yaitu sebesar 0.3. Massa semen ditetapkan sebesar 40% dari keseluruhan massa pasta pada bekisting 5 x 5 x 5 cm³ (900 gr). Variabel bebas pada penelitian tahap kedua adalah perbandingan massa semen : lumpur Sidoarjo : fly ash, dengan variasi sebagai berikut: 1 : 0.75 : 0.75, 1 : 1 : 0.5 dan 1 : 1.25 : 0.25. Komposisi *mix design* dan hasil ditunjukkan pada **Tabel 3** dan **Tabel 4**.

Tabel 3. Komposisi Campuran untuk Perbandingan Massa Semen : Lumpur Sidoarjo : Fly ash (per 375 cm³)

Sampel	Perbandingan Massa Water/Cementitious Material	Perbandingan Massa Semen : Lumpur Sidoarjo : Fly Ash	Semen (gr)	Lumpur Sidoarjo (gr)	Fly Ash (gr)	Air (gr)
B1	0.30	1 : 0.75 : 0.75	360	270	270	270
B2	0.30	1 : 1 : 0.5	360	360	180	270
B3	0.30	1 : 1.25 : 0.25	360	450	90	270

Tabel 4. Tabel Hasil *Flow* dan Kuat Tekan Rata-Rata Berdasarkan Perbandingan Massa Semen : Lumpur Sidoarjo : *Fly Ash*

Sampel	Perbandingan Massa <i>Water/Cementitious Material</i>	Perbandingan Massa Semen : Lumpur Sidoarjo : <i>Fly Ash</i>	d1 (cm)	d2 (cm)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)	
					3 hari	7 hari
B1	0.30	1 : 0.75 : 0.75	10.0	16.0	29.9	36.7
B2	0.30	1 : 1 : 0.5	10.0	14.0	26.0	30.5
B3	0.30	1: 1.25 : 0.25	10.0	12.5	24.7	29.3

Pada penelitian tahap kedua dapat dilihat bahwa semakin banyak lumpur Sidoarjo yang digunakan dengan perbandingan massa *water/cementitious material* yang sama yaitu 0.3, kuat tekan dan *flow* pasta yang didapat semakin rendah. Pada perbandingan massa semen : lumpur Sidoarjo : *fly ash* sebesar 1 : 1.25 : 0.25, *flow* pasta sangatlah rendah sehingga pasta sangat susah dibentuk. Dari hasil nilai kuat tekan dan *flow* pada perbandingan massa semen : lumpur Sidoarjo : *fly ash*, kondisi yang ideal adalah pada perbandingan massa semen : lumpur Sidoarjo : *fly ash* sebesar 1 : 0.75 : 0.75 yakni pada sampel B1.

Analisa Penambahan *Foam* dengan Variasi Perbandingan Volume *Foam Agent* : Air dan Variasi Pemberian *Foam* terhadap Kuat Tekan, *Dry Density*, dan *Water Absorption*

Penelitian tahap ketiga ini, mengacu pada penelitian tahap pertama dan kedua, maka ditetapkan perbandingan massa *water/cementitious material* sebesar 0.3 dan perbandingan massa semen : lumpur Sidoarjo : *fly ash* sebesar 1 : 0.75 : 0.75 yang merupakan komposisi untuk mendapatkan kuat tekan dan *flow* yang terbaik.

Untuk penelitian tahap ketiga, sampel yang sebelumnya berupa pasta ditambahkan *foam* untuk mendapatkan sampel berupa bata ringan, yang akan dilakukan tes kuat tekan, *dry density*, dan *water absorption*. Ada 2 variabel bebas pada tahap ini yaitu perbandingan volume *foam agent* : air dan variasi pemberian volume *foam* yang ditambahkan pada *slurry* (*cementitious material* yang terdiri dari semen, lumpur Sidoarjo dan *fly ash* yang ditambah dengan air). Untuk perbandingan volume *foam agent* : air sebesar 1 : 30, 1 : 40, dan 1 : 50 sedangkan variasi pemberian volume *foam* adalah 1 lt, 2 lt dan 3 lt di mana *foam* mempunyai berat ideal 80-90 gr/lt. Jumlah pemberian volume *foam* lalu dibandingkan dengan massa *cementitious material* dengan perbandingan sebesar 1 lt : 900 gr, 2 lt : 900 gr, 3 lt : 900 gr. Berikut komposisi *mix design* dan hasil yang ditampilkan pada **Tabel 5** dan **Tabel 6**.

Tabel 5. Komposisi Campuran untuk Variasi Perbandingan Volume *Foam Agent* : Air dan Perbandingan Massa *Foam* : *Cementitious Material* (per 375 cm³)

Sampel	Perbandingan Volume <i>Foam Agent</i> : Air	Perbandingan Volume <i>Foam</i> : Massa <i>Cementitious Material</i>	Semen (gr)	Lumpur Sidoarjo (gr)	<i>Fly Ash</i> (gr)	Air (gr)
C1	1:30	1 lt : 900 gr	360	270	270	270
C2		2 lt : 900 gr	360	270	270	270
C3		3 lt : 900 gr	360	270	270	270
C4	1:40	1 lt : 900 gr	360	270	270	270
C5		2 lt : 900 gr	360	270	270	270
C6		3 lt : 900 gr	360	270	270	270
C7	1:50	1 lt : 900 gr	360	270	270	270
C8		2 lt : 900 gr	360	270	270	270
C9		3 lt : 900 gr	360	270	270	270

Tabel 6. Hasil Tes *Density*, Kuat tekan dan *Water Absorption* Bata Ringan CLC Tanpa Pasir Silika

Sampel	Perbandingan Volume Foam Agent : Air	Perbandingan Volume Foam : Massa Cementitious Material	Dry Density (kg/m ³)	Kuat Tekan (MPa)		Water Absorption (% by volume)
				7 hari	28 hari	
C1	1:30	1 lt : 900 gr	1509	18.00	24.30	14.40
C2		2 lt : 900 gr	1158	6.33	19.20	20.80
C4	1:40	1 lt : 900 gr	1451	14.00	22.56	15.00
C5		2 lt : 900 gr	819	1.78	2.22	22.40
C7	1:50	1 lt : 900 gr	1376	6.02	14.22	19.20
C8		2 lt : 900 gr	660	1.68	1.98	23.00

Pada perbandingan volume foam : massa cementitious material sebesar 3 lt : 900 gr, hasil tes kuat tekan tidak ada karena sampel C3, C6, C9 terlalu rapuh (dapat diremukkan dengan tangan) sehingga tidak dapat dites dengan *compression machine* kapasitas 5 ton. Selain itu, sampel tersebut memiliki *dry density* di bawah 400 kg/m³.

Mengacu syarat ASTM C 869, dimana kuat tekan bata ringan harus lebih besar dari 1.4 MPa. Maka seluruh sampel pada **Tabel 6** sudah memenuhi syarat tersebut. Untuk *dry density*, syarat ASTM C 869 menyatakan bahwa *dry density* harus di bawah 700 kg/m³. Dari sampel pada **Tabel 6** yang memenuhi syarat adalah sampel dengan perbandingan volume foam agent : air sebesar 1 : 50 dan perbandingan volume foam : massa cementitious material sebesar 2 lt : 900 gr.

Analisa Penambahan Pasir Silika dengan Variasi Perbandingan Pasir Silika : Cementitious Material dan Jumlah Foam Terhadap Kuat Tekan, Dry Density, dan Water Absorption

Pada penelitian tahap ketiga, didapat kesimpulan bahwa perbandingan volume foam agent : air sebesar 1 : 50 mendapatkan hasil yang memenuhi syarat ASTM C 869 sehingga, perbandingan volume foam agent : air sebesar 1 : 50 ditetapkan sebagai variabel terikat pada tahap keempat. Jumlah perbandingan massa water/cementitious material sebesar 0.3 dan perbandingan massa semen : lumpur Sidoarjo : fly ash sebesar 1 : 0.75 : 0.75.

Sampel sama dengan tahap ketiga yaitu berupa bata ringan CLC, perbedaannya adalah penambahan pasir silika sebagai agregat halus. Variabel bebas pada tahap ini ada 2 yaitu perbandingan massa cementitious material : pasir silika dan variasi pemberian volume foam yang ditambahkan pada slurry (cementitious material yang terdiri dari semen, lumpur Sidoarjo dan fly ash yang ditambah dengan air dan pasir silika). Untuk perbandingan pasir silika : cementitious material sebesar 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50 sedangkan variasi pemberian volume foam adalah 1 lt, 1.5 lt dan 2 lt di mana foam mempunyai berat ideal 80-90 gr/lt. Jumlah pemberian volume foam lalu dibandingkan dengan massa cementitious material ditambah pasir silika dengan perbandingan sebesar 1 lt : 900 gr, 1.5 lt : 900 gr, 2 lt : 900 gr. Berikut komposisi *mix design* dan hasil yang ditampilkan pada **Tabel 7** dan **Tabel 8**.

Tabel 7. Komposisi Campuran untuk Perbandingan Massa *Foam* : *Cementitious Material* dan Perbandingan Massa Pasir Silika : *Cementitious Material* (per 375 cm³)

Sampel	Perbandingan Volume <i>Foam</i> : Massa <i>Cementitious Material</i> + Pasir Silika	Perbandingan Massa <i>Cementitious Material</i> : Pasir Silika	Pasir Silika (gr)	Semen (gr)	Lumpur Sidoarjo (gr)	<i>Fly Ash</i> (gr)	Air (gr)
D1	1 lt : 900 gr	30 : 70	630	108	81	81	81
D2		40 : 60	540	144	108	108	108
D3		50 : 50	450	180	135	135	135
D4	1.5 lt : 900 gr	30 : 70	630	108	81	81	81
D5		40 : 60	540	144	108	108	108
D6		50 : 50	450	180	135	135	135
D7	2 lt : 900 gr	30 : 70	630	108	81	81	81
D8		40 : 60	540	144	108	108	108
D9		50 : 50	450	180	135	135	135

Tabel 8. Hasil Tes Kuat Tekan, *Dry Density* dan *Water Absorption*

Sampel	Perbandingan Volume <i>Foam</i> : Massa <i>Cementitious Material</i> + Pasir Silika	Perbandingan Massa <i>Cementitious Material</i> : Pasir Silika	<i>Dry Density</i> (kg/m ³)	Kuat Tekan (MPa)		<i>Water Absorption</i> (% by volume)
				7 hari	28 hari	
D1	1 lt : 900 gr	30 : 70	1261	1.42	3.47	12.82
D2		40 : 60	1321	1.54	4.25	12.00
D3		50 : 50	1461	5.13	13.83	10.86
D4	1.5 lt : 900 gr	30 : 70	707	0.10	1.20	21.84
D5		40 : 60	798	0.12	1.80	15.68
D6		50 : 50	1069	1.80	5.33	18.54

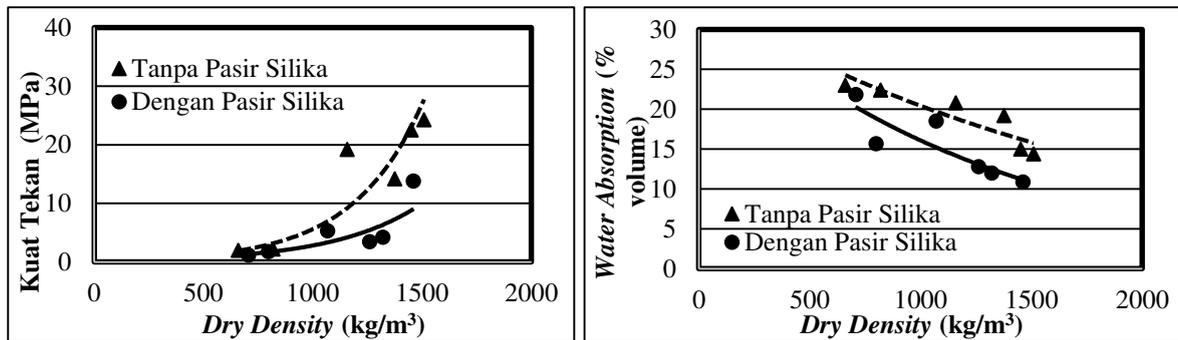
Pada perbandingan volume *foam* : massa *cementitious material* ditambah pasir silika sebesar 2 lt : 900 gr, kuat tekan sampel D7, D8, dan D9 terlalu lemah sehingga tidak dapat dites dengan *compression machine* dengan kapasitas 5 ton (dapat diremukkan dengan tangan), Selain itu, hasil *dry density* di bawah 500 kg/m³.

Mengacu syarat ASTM C 869, dimana kuat tekan bata ringan CLC harus lebih besar dari 1.4 MPa. Pada **Tabel 8** kecuali sampel dengan perbandingan volume *foam* : massa *cementitious material* ditambah pasir silika sebesar 1.5 lt : 900 gr dan perbandingan massa *cementitious material* : pasir silika sebesar 30 : 70, sudah memenuhi syarat tersebut. Untuk *dry density*, syarat ASTM C 869 menyatakan bahwa *dry density* harus di bawah 700 kg/m³. Dari sampel pada **Tabel 8** tidak ada sampel yang memenuhi syarat ASTM C 869 berdasarkan *dry density* karena *dry density* semua sampel di atas 700 kg/m³ tetapi untuk *water absorption* di bawah 25% dari volume seluruh sampel sudah memenuhi syarat tersebut. Maka dari **Tabel 8** hasil terbaik adalah bata ringan CLC dengan pasir silika dengan perbandingan volume *foam* : massa *cementitious material* ditambah pasir silika sebesar 1.5 lt : 900 dan perbandingan massa *cementitious material* : pasir silika sebesar 50 : 50 karena menghasilkan kuat tekan terbaik pada umur 7 hari dan 28 hari yaitu di atas 1.4 MPa dengan *dry density* yang paling mendekati 700 kg/m³.

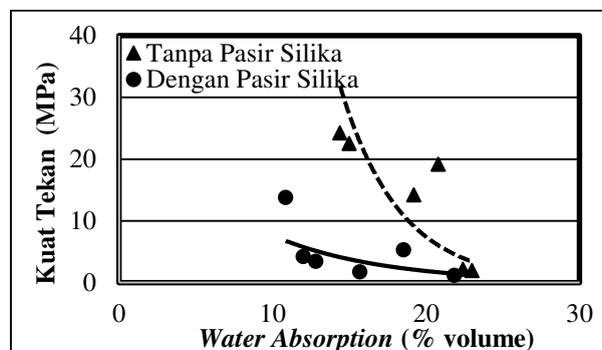
Analisa Perbandingan Bata Ringan CLC tanpa Pasir Silika dan dengan Pasir Silika Berdasarkan Kuat Tekan, *Dry Density* dan *Water Absorption*.

Analisa ini dilakukan untuk membandingkan sampel bata ringan CLC yang menggunakan pasir silika dengan bata ringan tanpa pasir silika sebagai agregat halus sehingga hanya berupa pasta campuran semen, lumpur Sidoarjo, dan *fly ash*. Perbandingan ini berfokus pada 3 karakteristik, yaitu: kuat tekan

umur 28 hari, *dry density* dan *water absorption*, dimana setiap karakteristik tersebut akan dikorelasikan satu sama lain. Korelasi antara kuat tekan umur 28 hari, *dry density* dan *water absorption* pada bata ringan CLC ditampilkan pada **Gambar 1**. Dan **Gambar 2**.



Gambar 1. Perbandingan Bata Ringan CLC tanpa/dengan Pasir Silika Berdasarkan *Dry Density* dan Korelasinya terhadap Kuat Tekan Umur 28 Hari dan *Water Absorption*



Gambar 2. Perbandingan Bata Ringan CLC tanpa Pasir Silika dan dengan Pasir Silika Berdasarkan Kuat Tekan Umur 28 Hari dan *Water Absorption*

Berdasarkan **Gambar 1** menunjukkan bahwa kuat tekan bergantung pada *dry density*, yaitu semakin rendah *dry density* menyebabkan kuat tekan semakin rendah begitu juga sebaliknya. **Gambar 1** juga menunjukkan bahwa semakin rendah *dry density* menghasilkan *water absorption* yang semakin rendah. Ini dikarenakan *dry density* yang rendah mempunyai volume pori kapiler yang lebih besar, sehingga berdampak pada kapilaritas yang lebih tinggi dan menurunkan *water absorption* (Nambiar & Ramamurthy, 2006). Berdasarkan **Gambar 2** memperlihatkan kuat tekan juga dipengaruhi oleh *water absorption* yaitu semakin tinggi kuat tekan semakin tinggi *water absorption* begitu juga sebaliknya. Dari **Gambar 1** dan **Gambar 2** korelasi antara kuat tekan, *dry density* dan *water absorption* adalah peningkatan *dry density* diikuti dengan peningkatan kuat tekan dan *water absorption*, sebaliknya penurunan *dry density* diikuti dengan penurunan kuat tekan dan *water absorption*. Pengaruh penambahan pasir silika menyebabkan kuat tekan dari bata ringan CLC berkurang. Ini disebabkan karena massa *cementitious material* berkurang, sehingga proses hidraulic, yaitu proses pengikatan bahan-bahan lain menjadi keras berlangsung kurang efektif. *Water absorption* yang dihasilkan semakin tinggi dikarenakan volume pori kapiler lebih kecil dibandingkan bata ringan CLC tanpa pasir silika.

4. KESIMPULAN

1. Dari variasi perbandingan massa *water/cementitious material* yaitu 0.30, 0.35, 0.40, dan 0.45, nilai *water/cementitious material* 0.30 menghasilkan kuat tekan terbaik sebesar 36.9 MPa pada umur 7 hari dan tes *flow table* mendapatkan *flow* yang paling rendah yaitu 16 cm. Sedangkan nilai

water/cementitious material 0.45 menghasilkan kuat tekan terendah sebesar 20 MPa tetapi *flow* yang paling tinggi. *water/cementitious material* dengan nilai 0.3, 0.35, 0.4 memiliki kuat tekan dan *flow* yang baik, sedangkan *water/cementitious material* 0.45 memiliki *flow* yang jelek karena tes *flow table* pada ketukan ke-20 *flow* lebih dari 25 cm.

2. Perbandingan massa semen : lumpur Sidoarjo : *fly ash* dengan hasil kuat tekan paling tinggi adalah 1 : 0.75 : 0.75. Semakin tinggi persentase penggunaan lumpur Sidoarjo (hingga 50 %) pada perbandingan massa semen : lumpur Sidoarjo : *fly ash* sebesar 1 : 1.25 : 0.25 maka kuat tekan yang dihasilkan semakin rendah dan *flow* yang dihasilkan semakin rendah. Dengan kata lain semakin tinggi persentase penggunaan *fly ash* (hingga 30 %) pada perbandingan massa semen : *fly ash* : lumpur Sidoarjo sebesar 1 : 0.75 : 0.75, kuat tekan yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan perbandingan massa semen : lumpur Sidoarjo : *fly ash* sebesar 1 : 1.25 : 0.25.
3. Pada pembuatan bata ringan CLC tanpa pasir silika sebagai agregat halus, semakin besar jumlah penggunaan *foam agent* pada perbandingan volume *foam agent* : air maka kuat tekan dan *dry density* yang dihasilkan semakin besar. Perbandingan volume *foam agent* : air mendapatkan hasil yang terbaik berdasarkan kuat tekan dan *dry density* menurut ASTM C 869 adalah 1 : 50. Untuk perbandingan volume *foam agent* : air sebesar 1 : 40 dan 1 : 30, *dry density* yang dihasilkan tidak memenuhi syarat ASTM C 869, yaitu kurang dari 700 kg/m³.
4. Pada pembuatan bata ringan CLC tanpa pasir silika, semakin banyak pemberian *foam* pada *slurry* (*cementitious material* yang terdiri dari semen, lumpur Sidoarjo dan *fly ash* yang ditambah dengan air) akan menghasilkan kuat tekan dan *density* yang semakin rendah. Perbandingan volume *foam* : massa *cementitious material* yang optimum berdasarkan ASTM C 869 adalah 2 lt : 900 gr dengan berat ideal *foam* adalah 80-90 gr/lt.
5. Pada bata ringan CLC dengan pasir silika, semakin besar penggunaan pasir silika dalam perbandingan massa *cementitious material* : pasir silika menghasilkan kuat tekan dan *dry density* yang semakin rendah. Perbandingan massa *cementitious material* : pasir silika yang terbaik menurut ASTM C 869 adalah 50 : 50.
6. Pada bata ringan CLC dengan pasir silika, semakin banyak pemberian *foam* pada *slurry* (*cementitious material* yang terdiri dari semen, lumpur Sidoarjo dan *fly ash* yang ditambah dengan air dan pasir silika) akan menghasilkan kuat tekan dan *density* yang semakin rendah. Perbandingan volume *foam* : massa *cementitious material* yang optimum berdasarkan ASTM C 869 adalah 1.5 lt : 900 gr dengan berat ideal *foam* adalah 80-90 gr/lt.
7. Kuat tekan pada bata ringan CLC tergantung pada *dry density* dan *water absorption*. Peningkatan *dry density* diikuti dengan peningkatan kuat tekan dan *water absorption*, sebaliknya penurunan *dry density* diikuti dengan penurunan kuat tekan dan *water absorption*.
8. Penambahan pasir silika menyebabkan penurunan kuat tekan dan peningkatan *water absorption*, bila dibandingkan bata ringan CLC tanpa pasir silika.

5. DAFTAR REFERENSI

- ASTM C 869-91. (1991). *Specification for Foaming Agents Used in Making Preformed Foam for Cellular Concrete*.
- Hardjito, D., & Antoni. (2013). Potentials of LUSI Volcanic Mud as Construction Materials. *Asian Bulletin of Engineering Science and Technology (ABEST)*, 1(1), 1–6.
- Jitchaiyaphum, K., Sinsiri, T., & Chindaprasirt, P. (2011). Cellular Lightweight Concrete Containing Pozzolan Materials. *Procedia Engineering*, 14, 1157–1164. doi:10.1016/j.proeng.2011.07.145
- Nambiar, E. K. K., & Ramamurthy, K. (2006). Influence of Filler Type on the Properties of Foam Concrete. *Cement and Concrete Composites*, 28, 475–480. doi:10.1016/j.cemconcomp.2005.12.001
- Ramamurthy, K., Kunhanandan Nambiar, E. K., & Indu Siva Ranjani, G. (2009). A Classification of Studies on Properties of Foam Concrete. *Cement and Concrete Composites*, 31(6), 388–396 doi:10.1016/j.cemconcomp.2009.04.006