

KAJIAN PENGGUNAAN LUMPUR SIDOARJO SEBAGAI *FILLER* TERHADAP KARAKTERISTIK *SELF COMPACTING CONCRETE*

Angelina Eva Lianasari dan Melita Kurnia Sarira

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Email: eva.lianasari@uajy.ac.id

Abstrak: Semburan lumpur panas di Sidoarjo (Lumpur Sidoarjo/Lusi), adalah peristiwa menyemburnya lumpur panas di lokasi pengeboran Lapindo Brantas. Inc di Dusun Balongnongo, Desa Renokenongo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Adanya semburan lumpur panas ini menyebabkan kawasan permukiman, pertanian, dan perindustrian, tergenang serta adanya permasalahan lain yang belum terselesaikan secara optimal. Oleh karena itu perlu adanya kajian lebih lanjut tentang pemanfaatan lumpur tersebut dalam bidang konstruksi. Lumpur Sidoarjo dapat digunakan pada bidang konstruksi karena bersifat pozzolan. *Self Compacting Concrete* (SCC) adalah adukan beton yang memiliki karakteristik khusus saat belum mengeras yaitu kemampuan memadat mandiri tanpa alat pemadat (*vibrator*), memiliki *flowability* (kemampuan mengalir) yang tinggi, dan dapat mengisi tinggi permukaan (*self leveling*) tanpa mengalami *bleeding* dan segregasi. *Bleeding* dan segregasi mudah terjadi pada beton SCC, maka perlu dipikirkan pencegahan hal tersebut yaitu dengan penambahan *filler*. Berlatar belakang hal ini maka Lusi dimanfaatkan sebagai *filler* dalam beton SCC. Penelitian ini menggunakan variasi Lusi sebagai *filler* sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat semen, superplasticizer sebesar 1% dari berat semen, dan kuat tekan rencana 50 MPa. Parameter yang diuji berupa kondisi beton segar SCC yaitu *passingability*, *fillingability*, dan *segregation resistance* serta sifat mekanik setelah beton mengeras pada umur 28 dan 56 hari. Hasil penelitian memperlihatkan sifat beton segar yang semakin baik dengan penambahan *filler* Lusi. Nilai optimum variasi Lusi sebagai *filler* sebesar 5% berat semen pada pengujian sifat mekanik SCC. Hasil pengujian kuat tarik belah 4,604 MPa, modulus elastisitas 34346,95 MPa, dan kuat tekan 66,876 MPa (naik 33.75% dari kuat tekan beton rencana).

Kata kunci: *self compacting concrete*, lumpur Sidoarjo, *filler*

A STUDY ON THE USE OF SIDOARJO MUD AS FILLER IN SELF-COMPACTING CONCRETE

Abstract: *Sidoarjo mud is generated from volcano mud eruption caused by the drilling of gas exploration by Lapindo Brantas Inc. in Balongnongo, Renokenongo, Porong, Sidoarjo, East Java. Sidoarjo mud has damaged the industry, agriculture, environment, and also some villages. These problems have not been solved. Sidoarjo mud can be used as a substitution material cement because it is one of pozzolanic materials. Self Compacting Concrete (SCC) is a concrete that can be placed and consolidated under its own weight without any vibration and has a cohesiveness to handle without segregation and bleeding. Self compacting concrete is most widely used because of its self compacting characteristics and strength. The using filler addition to SCC is due to its positive influence on viscosity, bleeding, and segregation resistance. Based on the background and the problems, Sidoarjo mud will be used as filler material and it can participate in pozzolanic reaction. This study uses variation on Sidoarjo mud 0%, 5%, 10%, and 15% of cement. The compressive strength of concrete about 50MPa and the fresh concrete use superplasticizer about 1% of cement. The parameter results of fresh concrete condition are fillingability, passingability, and segregation resistance. Strength of concrete is generally tested after 28 days and 56 days as concrete cylinder strength. The results showed that the properties of fresh concrete were better with Sidoarjo mud filler mining. The optimum value of Sidoarjo mud variation is a filler of 5% of cement in testing the mechanical properties of SCC. The results showed that the splitting tensile strength is 4.604 MPa, modulus of elasticity about 34346.95 Mpa, and compressive strength 66.876 MPa (33.75% higher from 50MPa).*

Keyword: *Self compacting concrete, Sidoarjo mud, Filler*

PENDAHULUAN

Metode pelaksanaan konstruksi pengecoran beton yang praktis adalah dengan menggunakan teknik beton memadat mandiri atau populer disebut *Self-Compacting Concrete* (SCC). Beton ini merupakan jenis beton yang mudah mengalir pada bekisting, mudah mengisi celah-celah sempit antar tulangan dengan berat sendirinya, sehingga tidak memerlukan pemadatan.

Beton SCC sangat mudah mengalir dan cukup cair sehingga segregasi dan *bleeding* sangat rentan terjadi. Untuk mencegah dan meminimalisir kejadian tersebut maka diperlukan adanya tambahan *filler* yang dapat berfungsi juga sebagai bahan pengisi disamping menambah retensi beton terhadap kejadian segregasi dan *bleeding*. Agar beton bertahan pada kondisi konsistensi tertentu dan mudah mengalir perlu adanya tambahan *superplasticizer* yang berbasis *polycarboxylate ether* yang selain berfungsi sebagai pengendali konsistensi adukan juga mengurangi jumlah tertentu air campuran. *Superplasticizer* tersebut berjenis *High Range Water Reducer* (HRWR).

Penelitian tentang inovasi material penyusun beton SCC dengan tujuan peningkatan mutu dan kualitas beton. Inovasi yang sering dilakukan adalah pemanfaatan limbah sebagai bahan pengganti atau bahan tambah pada adukan beton untuk meningkatkan sifat mekanik beton sekaligus mengurangi polusi akibat tumbukan limbah yang tidak diolah.

Peristiwa menyemburnya lumpur panas di lokasi pengeboran Lapindo Brantas *Inc*, Dusun Balangnongo, Desa Renokenongo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur dikenal dengan sebutan Lumpur Sidoarjo (Lusi) atau Lumpur Lapindo. Akibat yang ditimbulkan dari peristiwa tersebut adalah tergenangnya pemukiman penduduk, lahan pertanian, kawasan industri, serta masalah-masalah lain yang belum terselesaikan dengan baik.

Anom dan Sudarsana (2009), meneliti kandungan mineral Lumpur Sidoarjo (Lusi) yang ternyata cocok sebagai bahan dasar pengganti semen karena kandungan silika yang tinggi. Berdasarkan informasi hasil tersebut maka perlu dikaji lebih lanjut tentang pemanfaatan Lumpur Sidoarjo pada

bidang konstruksi karena sifat *pozolanic*-nya. Penelitian tentang Lusi (Lumpur Sidoarjo) perlu dikembangkan, dalam hal ini dimanfaatkan sebagai bahan pengisi (*filler*) pada beton khususnya beton SCC.

Dalam beton SCC (*Self-Compacting Concrete*) penggunaan *filler* diperlukan untuk meningkatkan kepadatan yang tinggi pada beton, mengurangi *segregasi* dan *bleeding*, untuk itu penggunaan Lusi sebagai *filler* perlu dikaji lebih lanjut. Kajian efek penggunaan Lusi (Lumpur Sidoarjo) sebagai *filler* dengan variasi jumlah penambahan diuji terhadap beberapa parameter beton segar dan beton setelah mengeras (kuat tekan, kuat Tarik belah, modulus elastisitas, serapan air).

Penelitian Lianasari (2012) yang menggunakan zeolite sebagai *filler* pada beton SCC dan penambahan *superplasticizer* yang bersifat *High Range Water Reducer* menunjukkan hasil penggunaan *filler* mampu meningkatkan kuat tekan beton pada umur 28 hari sebesar 14%. Hasil tersebut didapatkan pada variasi 10% zeolite dari berat semen dan *superplasticizer* 1% dari berat semen.

Penggunaan *filler* dalam beton SCC telah dilakukan pula oleh Nugraha dan Lianasari (2017). Penelitian tersebut menggunakan metakaolin sebagai *filler* dengan varian sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat semen dan *superplasticizer* 1% dari berat semen. Diperoleh nilai optimum pada penambahan metakaolin 10% dari berat semen. Kuat tekan beton yang dihasilkan pada umur 28 hari 67MPa (naik 67.5%) dan umur 56 hari sebesar 71,43 MPa (naik 78,6%) dibanding dengan kuat tekan rencana 40MPa (umur 28 hari).

Pemanfaatan Lusi sebagai bahan susun beton berkualitas tinggi telah dilakukan oleh Hardjito (2014). Pemanfaatan ini dilakukan dengan menggunakan Lusi sebagai material substusi sebanyak 50% berat semen. Lusi yang digunakan melalui proses kalsinasi selama 4 jam dengan suhu 600° C. Kuat tekan yang dihasilkan mencapai 50,8 MPa pada umur 28 hari.

Berikut ditunjukkan hasil proses kalsinasi dari lumpur Sidoarjo pada suhu 200°C dan 600°C selama 4 jam pada Tabel 1, mempunyai kandungan Silika (SiO₂) dan Alumina (Al₂O₃) yang cukup tinggi

sehingga memungkinkan mejadikan Lusi sebagai bahan mentah material pozolan.

Tabel 1. Kandungan Lumpur Sidoarjo

Oksida	Tanpa Kalsinasi		600°C
	200°C	300°C	
Silika (SiO ₂)	44,8	27,6	30
Alumunium (Al ₂ O ₃)	14	10,1	6,2
Besi (Fe ₂ O ₃)	30,2	42,84	43,27
Kapur (CaO)	5,24	6,9	7,68
Kalium (K ₂ O)	3,1	4,44	4,53

Sumber: Mustopa dan Risanti (2013)

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan teknik studi eksperimental dengan percobaan langsung di Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Tujuan dilakukan penelitian ini untuk mengkaji pengaruh lumpur Sidoarjo dalam beton SCC (sebagai *filler*) terhadap sifat beton segar dan beton mengeras. Pengujian beton segar bertujuan untuk mengetahui kondisi beton segar memenuhi kriteria beton SCC. Pengujian pada *fresh concrete* (beton segar) terutama adalah *workability* adukan dengan metode pengujian menggunakan *slump-flow*, *L-shape box*, dan *V-funnel*.

Bahan yang digunakan dalam penelitian beton *Self-Compacting Concrete* dengan penambahan *filler* lumpur Sidoarjo adalah sebagai berikut seperti yang tertera di bawah ini.

1. Semen menggunakan semen PPC merek Gresik.
2. *Filler* menggunakan Lumpur Sidoarjo yang diambil dari daerah Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Dengan variasi penambahan dalam adukan beton sebanyak 0%, 5%, 10%, dan 15% terhadap berat semen. Perlakuan pada Lumpur Sidoarjo sebelum digunakan adalah dengan dibakar pada suhu 800°C selama 4 jam. Sebelum proses pembakaran tersebut kadar air dalam lumpur Sidoarjo dihilangkan dengan dioven selama 24 jam suhu 110°C. Tahap selanjutnya lumpur kering dihaluskan dan disaring dengan ayakan no 100.
3. Agregat halus berupa pasir alam dari sungai Progo, dengan berat jenis 2,661

gr/cm³, berat satuan volume 1,688 kg/m³, penyerapan 2,11%

4. Agregat kasar berukuran butir maksimum 10 mm berasal dari Clereng, dengan berat jenis 2,62 gr/cm³, berat satuan volume 1,368 kg/m³, penyerapan 2,88%, seta hasil pengujian abrasi dengan mesin aus Los Angeles 21,42%.
5. Bahan tambah kimiawi yang digunakan adalah *superplasticizer* dengan merek dagang Sika® Viscocrete® -1003. Kadar yang ditambahkan sebanyak 1% terhadap berat binder untuk setiap variasi kadar Lusi.

Flow-ability, *viscosity*, *passing ability*, dan *segregation* adalah karakteristik dasar beton SCC yang menunjukkan kemampuan pengisian dan stabilitas beton segar SCC. Pengujian setiap karakteristik tersebut dilakukan dengan beberapa metode uji. Beton dapat dikategorikan sebagai beton SCC jika hasil pemeriksaan kondisi beton segar memenuhi kriteria berikut ini.

1. *Flowability* dan *filling-ability*, yaitu kemampuan beton SCC dengan menggunakan berat sendirinya untuk mengalir dan mengisi keseluruhan bagian cetakan. Pengujian kriteria ini dengan menggunakan *Slump-flow test*. Syarat hasil pengujian *slump-flow* beton segar SCC adalah hasil pengujian menunjukkan diameter penyebaran adukan beton SCC mencapai antara 760 mm - 850 mm, untuk agregat maksimum di bawah 16 mm (EFNARC, 2005).
2. *Viscosity*, adalah kemampuan beton SCC untuk menjaga kondisi adukan beton tetap homogen. Viskositas rendah pada beton ditunjukkan adanya aliran awal yang sangat cepat dan kemudian berhenti. Sedangkan kondisi adukan beton dengan viskositas tinggi, adukan dapat terus merambat ke depan dalam waktu yang lama. Untuk mengetahui kemampuan kriteria ini dilakukan pengujian menggunakan metode *slump-flow T500-time* dan *V-funnel*. Pengujian T500-time digunakan untuk memeriksa sifat homogenitas beton SCC dengan syarat pencapaian diameter sebaran 500mm selama kurang lebih 2-5. Pengujian dengan *V-funnel* dilakukan dengan cara menghitung waktu alir saat beton segar mengalir melalui ujung

bawah alat ukur selama 6 - 12 detik (EFNARC, 2005).

3. *Passing ability*, yaitu kemampuan mengalir melalui celah-celah antar baja tulangan ataupun celah sempit pada bekisting dari beton SCC tanpa mengalami segregasi atau *blocking*. Metode pengujian yang digunakan adalah dengan alat *L-shaped box* yaitu mencatat perbedaan tinggi pada aliran beton arah horizontal (H2/H1) harus lebih besar dari 0,8 (EFNARC, 2005).

Pengujian pada beton keras (*hard concrete*) bertujuan untuk mengetahui kondisi akhir beton yang berhubungan dengan performa/kemampuan dan durabilitas/ketahanan beton. Dalam hal ini adalah pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, modulus elastisitas, dan serapan air. Kemampuan/performa beton ditunjukkan berdasarkan nilai hasil pengujian kuat tekan dengan benda uji silinder yang sesuai dengan SNI 03-1974-1990 (Badan Standardisasi Nasional, 1990). Kuat tarik belah beton merupakan nilai kuat tarik tidak langsung dari benda uji beton silinder yang didapat dari hasil pembebanan benda uji yang diletakkan mendarat sejajar dengan permukaan mesin uji tekan berdasarkan SNI 03-2491-2002 (Badan Standardisasi Nasional, 2002). Pengujian modulus elastisitas merupakan perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk persatuan panjang (pengujian sesuai dengan SNI 03-4169-1996, BSN 1996).

Berikut persamaan-persamaan yang dipergunakan untuk pengujian kemampuan beton.

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

dengan $f'c$ = kuat tekan beton (MPa), A = luas bidang desak benda uji (mm^2), P =beban tekan (N)

$$f'ct = \frac{2P}{\pi DL} \quad (2)$$

dengan $f'ct$ = kuat tarik belah beton (MPa), P = beban maksimum (N), L = tinggi silinder beton (mm), D = diameter silinder beton (mm)

$$Ec = w_c^{1,5} (0,043) \sqrt{f'c} \quad (3)$$

dengan w_c = berat beton (kg/m^3), $f'c$ = kuat tekan beton (MPa), dan Ec = modulus elastisitas (MPa)

Menurut Wang dan Salmon (1986), nilai modulus elastisitas dapat ditentukan berdasarkan dari pengujian pada 25% - 50% dari modulus elastisitas sekan beton (dalam hal ini peneliti menentukan sebesar 40%). Nilai modulus elastisitas beton diperoleh dengan rumus :

$$E_c = \frac{f_{maks}}{\epsilon p} \quad (4)$$

dengan Ec = modulus elastisitas (MPa), f_{max} = tegangan beton maksimum (MPa), ϵp = regangan beton

SNI 03-2914-1992, BSN dengan cara direndam air selama 10+0,5 menit, dan hasil pengujian resapan maksimum yang diperbolehkan maksimum 2,5% terhadap berat beton kering oven. Untuk perendaman selama 24 jam, resapan maksimum yang diperbolehkan 6,5% terhadap beton kering oven. 1992, beton kedap air harus memenuhi persyaratan berikut ini. Beton kedap air normal diuji

Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$S = \frac{w_2 - w_1}{w_1} \times 100\% \quad (5)$$

Dengan w_1 = berat beton kering oven, w_2 = berat beton kering permukaan, S = daya serap air.

HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Pengujian Lumpur Sidoarjo (Lusi)

Hasil pemeriksaan kandungan unsur kimia dan gambaran susunan partikel dalam lumpur Sidoarjo (Lusi) menggunakan *Energy Dispersive X-Ray* pada Tabel 3 dan pengujian *Scanning Electrone Microscope* (Gambar 3). Hasil pengujian tersebut untuk mendapatkan data morfologi lumpur yang akan berpengaruh terhadap sifat lumpur tersebut. Hasil pengujian EDX memperlihatkan bahwa unsur terbanyak lumpur Sidoarjo adalah O, Si, dan Al sehingga disimpulkan bahwa lumpur Sidoarjo didominasi oleh senyawa alumina (Al_2O_3) dan silika (SiO_2).

Tabel 2 menampilkan rencana proporsi campuran beton dengan target kuat tekan rencana 50 MPa yang mengacu pada SNI-03-6468-2000 (Badan Standardisasi Nasional, 2000).

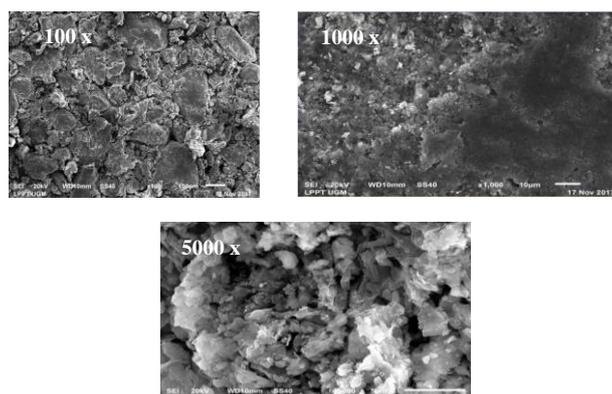
Tabel 2. Rencana Campuran Adukan Beton untuk 1 m³

Kode	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Lusi (kg)	Air (liter)	Superplasticizer (liter)
BLS0	447,09	840,74	840,74	-	149,09	4,77
BLS5	447,09	840,74	840,74	23,85	149,09	4,77
BLS10	447,09	840,74	840,74	47,71	149,09	4,77
BLS15	447,09	840,74	840,74	71,56	149,09	4,77

Keterangan : BLS0 = beton tanpa *filler* Lusi, BLS5 = beton dengan *filler* Lusi 5% berat semen, BLS10 = beton dengan *filler* Lusi 10% berat semen, BLS15 = beton dengan *filler* Lusi 15% berat semen

Tabel 3. Hasil Pengujian EDX Lumpur Sidoarjo

Jenis Unsur	%
OK	54,19
AIK	11,79
SiK	22,55
Lainnya	11,47



Gambar 3. Detail Lumpur Sidoarjo hasil foto SEM

Pengujian lain terhadap lumpur Sidoarjo adalah pengujian untuk memperoleh gambaran susunan partikel secara mikro dengan menggunakan foto *Scanning Electron Microscope* (SEM). Pengujian dilakukan dengan perbesaran 100, 1000, 5000 kali.

Pada perbesaran 100 kali terlihat bahwa strukturnya masih berbentuk gumpalan, dan pada saat perbesarannya dibuat menjadi 1000 kali mulai terlihat adanya poros dan gambar struktur berubah bentuk menjadi kristal. Kristal yang terbentuk merupakan lempeng dalam satuan 10 µm. Pada perbesaraan 5000 kali terlihat dengan jelas bentuk struktur partikel lumpur serta rongga

antar lempeng yang cukup besar. Lebar lempeng kristal tersebut diperkirakan mencapai 5 µm dan ketebalannya kurang dari 1 µm. Rata-rata lumpur yang diamati memiliki porositas mencapai 20-30% hal ini menyebabkan bahwa ada sekitar 20-30% dari material lumpur ini akan dapat diisi/disisipi oleh air.

Kadar air dalam lumpur Sidoarjo cukup tinggi yaitu 60%, oleh karena itu dalam penggunaan lumpur Sidoarjo sebagai bahan dalam beton harus melalui pengelolaan dan perawatan khusus. Proses tersebut adalah pembakaran untuk menghilangkan kadar air awal yang dikandung lumpur. Untuk

selanjutnya dilakukan proses pembakaran kembali dengan suhu tinggi untuk menghasilkan senyawa kimiawi yang diperlukan untuk bahan susun beton (setara dengan semen). Lumpur Sidoarjo ini diambil dari saluran pusat semburan yang kemudian dialirkan menuju kolam penampungan. Dari kolam penampungan tersebut lumpur Sidoarjo kemudian dialirkan kembali menggunakan pipa menuju kali Porong.

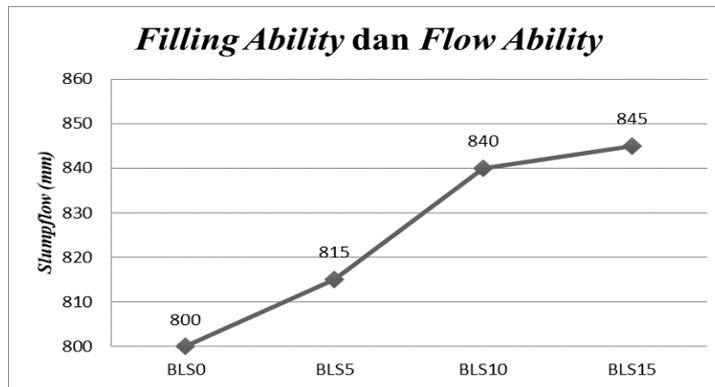
Pengujian Beton Segar (*Fresh Concrete*)

Pengujian terhadap beton segar dilakukan setelah pengadukan material penyusun beton tercampur secara homogen. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi adukan beton memenuhi syarat sifat beton segar SCC. Sifat beton segar yang diuji dalam penelitian ini yaitu *flowability/filling ability*, *viscosity*, dan *passing ability* (Tabel 4, Gambar 4, 5, dan 6).

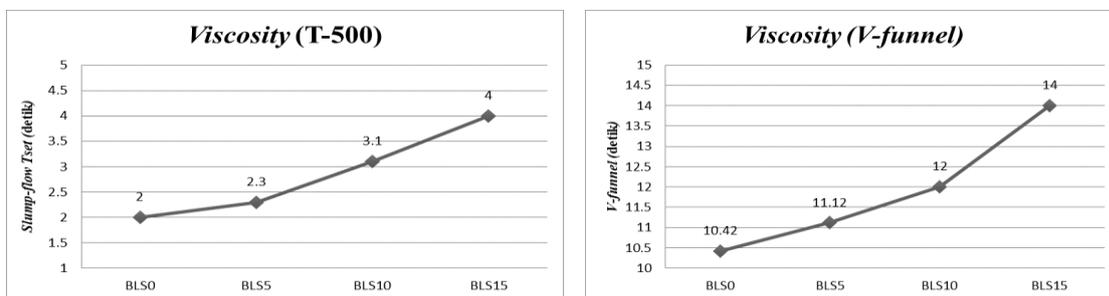
Tabel 4. Hasil pengujian sifat beton segar SCC

Kode	<i>Flow-ability/filling-ability</i>	<i>Viscosity</i>		<i>Passing Ability</i>
	<i>Slump flow test (mm)</i>	<i>T500_{time} (detik)</i>	<i>V-funnel (detik)</i>	<i>L-shaped box (H2/H1)</i>
BLS0	800	2	10,42	0,8
BLS5	815	2,3	11,12	0,81
BLS10	840	3,1	12	0,87
BLS15	845	4	14	0,95

Keterangan : BLS0 = beton tanpa *filler* Lusi, BLS5 = beton dengan *filler* Lusi 5% berat semen, BLS10 = beton dengan *filler* Lusi 10% berat semen, BLS15 = beton dengan *filler* Lusi 15% berat semen

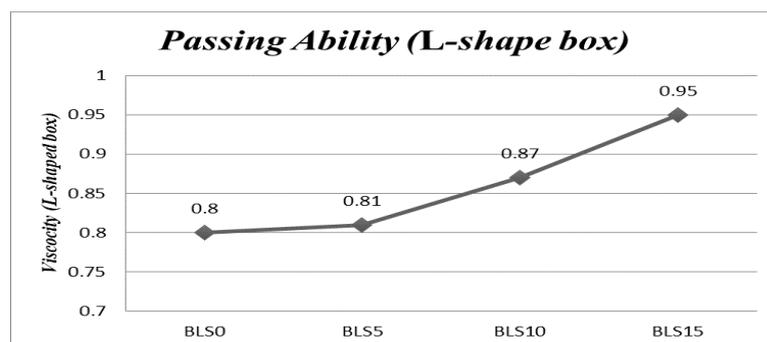


Gambar 4. Hasil pengujian *Flow-ability* dan *Filling-ability* dengan metode *slump-flow test* pada berbagai kadar variasi *filler* Lusi



(a) Pengujian *Viscosity* dengan metode T500 (b) Pengujian *Viscosity* dengan V-funnel

Gambar 5. Hasil pengujian *Viscosity* berbagai kadar variasi *filler* Lusi



Gambar 6. Hasil pengujian *Passing Ability* berbagai kadar variasi *filler* Lusi

Berdasarkan hasil pengujian beton segar SCC yaitu *filling ability* dan *flow ability* (Gambar 4) terlihat bahwa dengan bertambahnya persentase Lusi pada campuran beton mempengaruhi nilai *filling ability* menjadi semakin besar (pengujian dengan menggunakan metode *slump flow*). Nilai tertinggi hasil pengujian dengan metode *slumpflow* didapatkan pada beton dengan *filler* Lusi 15% (BLS15) yaitu 855 mm, dan terendah pada beton tanpa *filler* Lusi (BLS0) yaitu 800 mm. Hal ini memperlihatkan pengaruh penggunaan Lusi sebagai *filler* yaitu dengan bertambahnya persentase Lusi akan menambah berat campuran beton segar, sehingga capaian aliran dari beton segar meningkat (semakin jauh). Aliran beton yang semakin jauh karena beton SCC mengalir berdasarkan berat sendirinya. Dari keseluruhan pengujian dengan metode *slumpflow* sesuai dengan standar yaitu 550-850 mm (EFNARC, 2005).

Gambar 5 menampilkan hasil pengujian *viscosity* pada beton segar SCC dengan metode T_{500} *slumpflow* dan *V-funnel*. Hasil pengujian menunjukkan semakin dengan bertambahnya persentase Lusi pada campuran beton, nilai *viscosity* semakin besar. Hal ini disebabkan Lusi sebagai *filler* dapat mencegah segregasi dan *bleeding* pada beton segar sehingga nilai kekentalan adukan beton bertambah. Waktu alir tertinggi pada metode T_{500} *slumpflow* pada adukan beton dengan *filler* Lusi 15% (BLS15) yaitu 4 detik, sedangkan waktu alir tercepat didapat pada beton tanpa *filler* Lusi (BLS0) yaitu 2 detik. Begitu pula hasil pengujian menunjukkan perilaku yang sama dengan metode *V-funnel*. Adukan beton SCC dengan *filler* Lusi 15% (BLS15)

memperoleh waktu terlalu lama yaitu 15 detik, dan beton tanpa *filler* Lusi (BLS0) terpendek yaitu 10,42 detik. Seluruh pengujian beton segar dengan metode T_{500} *slumpflow* dan *V-funnel* memenuhi syarat standar beton segar SCC dalam kategori *viscosity* dengan, yaitu 2-5 detik untuk pengujian dengan menggunakan metode T_{500} *slumpflow* dan 0-25 detik untuk pengujian dengan metode *V-funnel* (EFNARC, 2005).

Pengujian *passing ability* dengan metode *L-shaped box* sesuai Gambar 6, memperlihatkan bahwa semakin bertambahnya persentase Lusi pada campuran beton, maka akan semakin menambah berat campuran beton, sehingga campuran beton dapat dengan mudah terdesak keluar dan melewati tulangan membentuk beda ketinggian antara campuran pada bidang horizontal dengan campuran pada bidang vertikal. Beda ketinggian akan mengecil karena beton segar mengalir melewati tulangan dengan menggunakan berat sendirinya. Hasil pengujian ini memenuhi nilai persyaratan standar yaitu nilai *passing ability* dengan metode *L-shaped box* antara 0,8 – 1 (EFNARC, 2005)

Pengujian Beton Keras (*Hard concrete*)

Pengujian beton setelah mengeras dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian berat beton, kuat tekan beton umur 28 hari dan 56 hari, kuat tarik belah, modulus elastisitas beton, dan penyerapan air pada beton (Tabel 5).

Pengujian kuat tekan beton menggunakan alat CTM merek ELE,

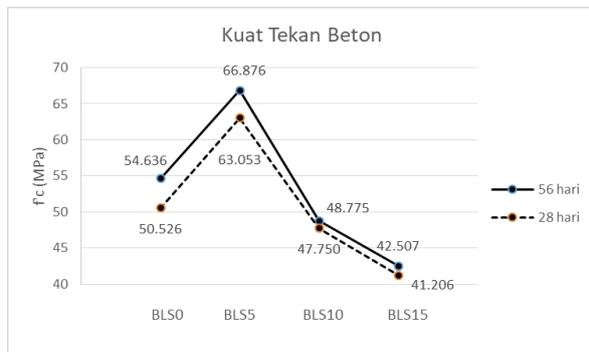
pengujian dilakukan pada umur beton 28 hari dan 56 hari dengan kuat tekan rencana 50 MPa. Pada Tabel 5, Gambar 7, dan Gambar 8 menunjukkan kecenderungan penurunan kuat tekan dan tarik beton seiring dengan bertambahnya jumlah *filler* Lusi. Namun pemberian *filler* Lusi sebesar 5% dari berat semen meningkat sebesar 26,1% (umur 28 hari) dan 33,7% (umur 56 hari) dibandingkan dengan kuat tekan rencana 50 MPa. Target kuat tekan rencana 50 MPa tercapai seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5 dan Gambar 7, yaitu pada beton SCC tanpa *filler* sebesar 50,526 MPa. Penurunan kuat tekan dan kuat tarik terjadi pada beton

dengan *filler* Lusi sebanyak 10% dan 15%. Peningkatan kuat tekan beton diakibatkan peranan Lusi yang digunakan sebagai *filler*. Ukuran Lusi yang kecil mengisi rongga-rongga kosong pada beton sehingga volume pori berkurang sehingga beton menjadi lebih padat. Namun penambahan Lusi pada kadar 10% dan 15% menyebabkan penurunan kuat tekan beton. Hal ini dikarenakan porositas Lusi yang cukup besar 20-30% (Badan Penanggulangan Lumpur Sidoarjo, 2009) sehingga kemungkinan penyisipan air cukup banyak dan mengakibatkan menurunnya kekuatan beton.

Tabel 5. Pengujian beton keras (*hard concrete*)

Kode	Berat Beton (kg/m ³)	Kuat Tekan 28 Hari (MPa)	Kuat Tekan 56 Hari (MPa)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Modulus Elastisitas (MPa) pengujian	Modulus Elastisitas (MPa) teoritis	Penyerapan air (%)
BLS0	2531,74	50,526	54,636	4,464	33959,58	38936,29	4,76
BLS5	2401,83	63,053	66,876	4,604	35312,47	40191,63	4,98
BLS10	2458,99	47,75	48,775	3,135	31631,51	36231,83	6,79
BLS15	2419,85	41,206	42,507	2,971	26347,43	32857,26	7,47

Keterangan : BLS0 = beton tanpa *filler* Lusi, BLS5 = beton dengan *filler* Lusi 5% berat semen, BLS10 = beton dengan *filler* Lusi 10% berat semen, BLS15 = beton dengan *filler* Lusi 15% berat semen

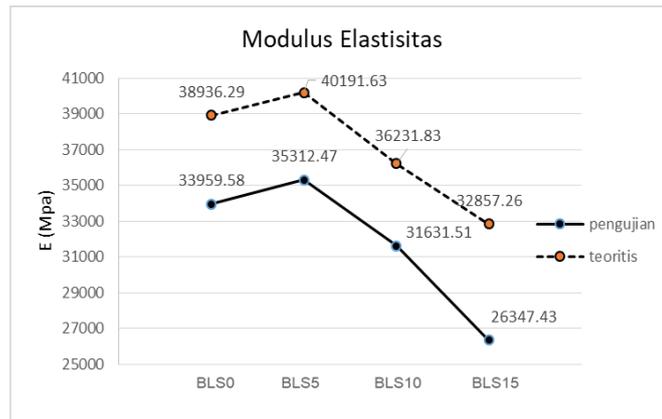


(a) Kuat tekan beton umur 28 hari dan 56 hari



(b) Kuat tarik belah beton umur 28 hari

Gambar 7. Hasil pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton



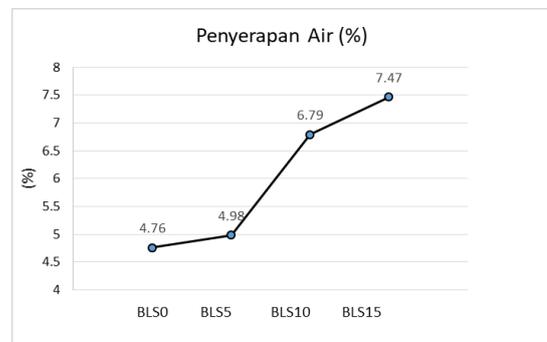
Gambar 8. Hasil pengujian modulus elastisitas dan nilai modulus elastisitas teoritis

Modulus elastisitas merupakan perbandingan beban yang diberikan dengan perubahan bentuk persatuan panjang, sebagai akibat dari beban yang diberikan. Pengujian ini dilakukan pada umur beton 28 hari dan nilai modulus elastisitas beton dianalisis pada kondisi 30% dari kuat tekan beton. Wang dan Salmon (1986) menyatakan bahwa nilai modulus elastisitas beton berada diantara 25% - 50% dari kekuatan desak. Besarnya nilai modulus elastisitas tergantung pada umur beton, sifat-sifat agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran dari benda uji.

Modulus elastisitas berbanding terbalik dengan regangan. Semakin besar nilai modulus elastisitas maka regangan yang terjadi semakin kecil. Besarnya nilai modulus elastisitas beton ditentukan oleh kemiringan kurva pada grafik tegangan regangan. Semakin tegak kurva yang didapat maka beton tersebut mempunyai nilai kuat tekan yang besar. Berdasarkan Tabel 5 dan Gambar 8, hasil pengujian modulus elastisitas didapatkan nilai modulus beton tertinggi terjadi pada beton dengan filler Lusi sebanyak 5%, namun nilai tersebut menurun seiring bertambahnya persentase filler Lusi dalam beton. Modulus elastisitas sangat berhubungan dengan nilai kuat tekan beton. Semakin tinggi nilai kuat tekan beton, maka nilai modulus elastisitas beton juga akan semakin meningkat. Pada peraturan struktur beton bertulang Indonesia (SNI 03-2847-2002), terdapat persamaan tentang modulus elastisitas teoritis beton yang diperoleh dari kuat tekan beton dengan trend hasil yang tidak jauh berbeda dengan

hasil pengujian (Badan Standardisasi Nasional, 2002) seperti yang terlihat pada Gambar 8.

Gambar 9 dan Tabel 5 menampilkan hasil pengujian penyerapan air pada beton keras terus meningkat seiring dengan penambahan kadar Lusi sampai dengan persentase 15%. Hasil ini sesuai dengan foto pengujian SEM yang menunjukkan bentuk butiran Lusi yang berbentuk lempeng dan berongga sehingga kemampuan butiran Lusi untuk menyerap air cukup besar (20-30%). Berdasarkan SNI 03-2914-1992, beton dikatakan kedap air apabila penyerapan yang terjadi pada beton tidak lebih dari 6,5% (Badan Standardisasi Nasional, 1992). Dari hasil pengujian resapan air pada beton didapat disimpulkan beton SCC dengan filler Lusi yang dapat dikategorikan sebagai beton kedap air adalah dengan penggunaan Lusi sebesar 5% dari berat semen, di atas 5% beton yang dihasilkan tidak masuk kategori sebagai beton kedap air.



Gambar 9. Penyerapan air pada beton

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai penambahan Lusi sebagai filler pada *Self-Compacting Concrete* ini, dapat ditarik kesimpulan seperti tercantum dibawah ini.

1. Berdasarkan hasil pengujian *Slumpflow*, T_{500} , *V-funnel*, dan *L-shaped box*, karakteristik beton segar dengan penambahan Lusi menunjukkan bahwa seluruhnya memenuhi syarat karakteristik sebagai beton segar SCC (*filling ability*, *passing ability*, dan *viscosity*).
2. Terjadi peningkatan kuat tekan beton sebesar 26,1% (umur 28 hari) dan 33,7% (umur 56 hari) dibandingkan dengan kuat tekan rencana 50 MPa pada penggunaan *filler* Lusi 5%.
3. Penambahan Lusi sebagai *filler* dengan jumlah lebih dari 5% dari berat semen, menunjukkan hasil yang menurun (semua hasil pengujian).
4. Nilai optimum modulus elastisitas beton SCC diperoleh pada beton dengan penambahan Lusi sebesar 5%, yaitu 35312,47 MPa..
5. Beton SCC dengan kadar Lusi 5% masuk dalam kategori beton kedap air, sedangkan untuk kadar Lusi lebih tinggi syarat sebagai beton kedap air tidak terpenuhi.
6. Kadar Lusi sebagai *filler* dalam beton SCC ini yang paling optimal adalah dengan penambahan Lusi sebesar 5% dari berat semen.. Hal ini terbukti dengan adanya peningkatan pada kuat tekan beton, kuat tarik belah, modulus elastisitas, dan kekedapan air.
7. Pada hasil pengujian EDX yang dilakukan menunjukkan bahwa unsur terbanyak lumpur Sidoarjo yaitu O, Si, dan Al. Hal ini menunjukkan bahwa lumpur Sidoarjo didominasi oleh senyawa alumina (Al_2O_3) dan silika (SiO_2).
8. Pada hasil pengujian SEM, pada perbesaraan 5000 kali memperlihatkan dengan jelas bentuk struktur partikel lumpur serta rongga antar lempeng yang cukup besar. Diperkirakan lebar lempeng kristal tersebut dapat mencapai 5 μm dan ketebalannya sendiri kurang

dari 1 μm , serta strukturnya yang berongga sehingga dimungkinkan penyerapan air cukup tinggi.

Saran

Berikut di bawah ini saran yang dapat penulis berikan setelah melihat hasil penelitian penggunaan lusi sebagai filler dalam beton SCC

1. Proses pembakaran Lusi juga sangat berpengaruh terhadap kondisi lusi, dalam hal ini berkaitan dengan komposisi kimiawi lusi. Oleh sebab itu disarankan menggunakan oven yang dapat memastikan suhu yang digunakan stabil dan dapat membakar lusi secara sempurna.
2. Ukuran butiran lusi dapat diperhalus lagi dengan lolos saringan 200 sehingga akan dapat maksimal dalam berperan sebagai *filler* dalam SCC.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Penanggulangan Lumpur Sidoarjo. 2009. *Karakteristik Lumpur Sidoarjo*, <http://www.bpls.go.id/teknis/36-karakteristik-lumpur-sidoarjo>. Diakses 7 Juli 2018
- Badan Standarisasi Nasional. 1990. *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton (SNI 03-1974-1990)*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 1992. *Spesifikasi Beton Bertulang Kedap Air (SNI 03-2914-1992)*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 1996. *Metode Pengujian Modulus Elastisitas Statis Dan Ratio Poison Beton Dengan Kompresometer (SNI 03-4169-1996)*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2000. *Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi dengan Semen Portland Dengan Abu Terbang (SNI 03-6468-2000)*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002 *Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton (SNI 03-2491-2002)*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002)*. BSN. Jakarta
- EFNARC. 2005. *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete*.

- https://www.theconcreteinitiative.eu/images/ECP_Documents/EuropeanGuidelinesSelfCompactingConcrete.pdf. Diakses 3 Agustus 2017.
- Hardjito. 2014. *Lumpur Lapindo Jadi Beton Kualitas Tinggi*. <http://surabaya.tribunnews.com/2014/04/22/ubah-lumpur-lapindo-jadibeton-kualitas-tinggi>. 22 April 2014
- Lianasari, A.E. 2012. *Penggunaan Material Lokal Zeolit Sebagai Filler Untuk Produksi Beton Memadat Mandiri (Self Compacting Concrete)*. *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil 6, Jakarta, 1-2 November 2012*, p. MB57-MB63
- Mustopa, R.S. dan Risanti, D. D. 2013. *Karakterisasi Sifat Fisis Lumpur Panas Sidoarjo dengan Aktivasi Kimia dan Fisika*. *Jurnal Teknik Pomits, Vol. 2, No. 2*, p.256-261
- Nugraha, A.A.P. dan Lianasari, A.E. 2017. *Pengaruh Variasi Metakaolin Sebagai Filler Pada Self-Compacting Concrete*. Tugas Akhir. Universitas Atma Jaya Yogyakarta, tidak dipublikasikan.
- Wang dan Salmon. 1986. *Desain Beton Bertulang Jilid 1*, Erlangga, Jakarta.
- Anom, N.M.. dan Sudarsana, I.W. 2009. *Pemanfaatan Lumpur Lapindo Sebagai Bahan Substitusi Semen Pada Pembuatan Bata Beton Pejal*. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil (Online), Vol. 13, No.1, Januari 2009*, p. 39-46