

Aplikasi *Self Compacting Concrete* dari Limbah Kelapa Sawit Sebagai *Mini-column* Untuk Perkuatan Tanah

Rizki Maretia Novi Barus, Agus Setyo Muntohar, Restu Faizah
Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Penggunaan limbah kelapa sawit pada *self-compacting concrete* (SCC) juga penerapannya dalam perbaikan tanah belum diteliti. Pada penelitian ini, *self-compacting concrete* yang terdiri dari *palm oil fuel ash* (POFA), semen, pasir, visocrete, kerikil dan *oil palm shell* (OPS) sebagai pengganti parsial kerikil diaplikasikan sebagai kolom untuk perkuatan tanah lempung. Spesimen yang digunakan berupa tanah yang dipadatkan berbentuk silinder dengan diameter 156,6 mm dan tinggi 128,5 mm. Digunakan tiga variasi kadar air yaitu pada kadar air optimum, kurang dari kadar air optimum, dan lebih dari kadar air optimum. Tanah dilubangi dengan diameter 50,8 mm dan tinggi 128,5 mm kemudian diisi dengan SCC agar kolom terbentuk. Komposisi campuran SCC terdiri dari 119 g semen, 33 g POFA, 240 g pasir, 124,2 g kerikil, 13,8 g OPS, *superplasticizer superplasticizer* dengan kadar 1,14% dari berat *binder*, dan 0,5 *water binder ratio*. Dapat disimpulkan bahwa peningkatan nilai kuat tekan berbanding lurus dengan banyaknya jumlah kadar air. Nilai kuat tekan tertinggi didapatkan pada kondisi kadar air lebih dari kadar air optimum sebesar 802,97 kPa.

Kata-kata kunci : Kolom SCC, Lempung, Uji Kuat Tekan Bebas, OPS, POFA

1 Pendahuluan

Jalan raya merupakan suatu prasarana transportasi yang dibutuhkan sebagai penghubung antardaerah. Namun, pekerjaan konstruksi jalan raya tidak bisa begitu saja dilakukan mengingat tidak semua jenis tanah memiliki kuat dukung yang tinggi, seperti lempung untuk dijadikan sebagai *subgrade*. Sehingga dibutuhkan suatu cara untuk menanganinya, salah satunya adalah stabilisasi tanah menggunakan kolom. Material kolom yang digunakan untuk stabilisasi tanah dapat berupa limbah, seperti cangkang kelapa sawit (*oil palm shell*.OPS) dan abu sisa pembakaran (*palm oil fuel ash*) yang berasal dari sisa produksi Crude Palm Oil (CPO) yang terus meningkat seiring dengan bertambah banyaknya perkebunan kelapa sawit yang tersebar di beberapa wilayah Indonesia, seperti Riau, Jambi, Sumatera Selatan, Kalimantan Tengah, dan lain-lain.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa OPS dan POFA dapat dijadikan sebagai material pembuatan kolom untuk stabilisasi tanah berdasarkan sifat mekanis dan kimiawinya, seperti yang dilakukan oleh Gungat, dkk(2013), Muntohar dan Kusumahadi (2015), Pourakbar, dkk (2015). Muntohar dan Kusumahadi (2015) menggunakan OPS dan POFA dalam bentuk kolom pendek atau tiang pendek (*mini pile*) yang mengkaji pengaruh kolom beton komposit OPS terhadap kuat tekan akibat beban vertikal yang mana akan digunakan juga dalam penelitian ini. Perbedaannya terletak pada *mix design* dan material beton untuk kolom.

Pada penelitian ini digunakan SCC, yaitu jenis beton yang dapat memadat sendiri tanpa perlu menggunakan alat seperti *vibrator* maupun *compactor*. SCC yang digunakan terusun dari bahan-bahan OPS, kerikil, pasir, semen, POFA, dan *superplasticizer* . OPS berfungsi sebagai pengganti dari kerikil (*replacement*). Tujuan penelitian ini adalah mengkaji kuat tekan bebas dari kolom SCC kemudian membandingkannya dengan stabilisasi tanah menggunakan kolom beton komposit OPS yang dilakukan oleh Muntohar dan Kusumahadi (2015).

2 Metode Penelitian

Material yang Digunakan

Tanah

Tanah yang digunakan berasal dari daerah Kasihan, Bantul, Yogyakarta. Tanah terdiri dari partikel butir halus sekitar 78-92%. Sifat-sifat tanah tersedia pada Tabel 1. Tanah termasuk dalam kelompok tanah lempung berplastisitas tinggi (CH) menurut *Unified Soil Classification System*.

Tabel 1. Sifat-sifat Tanah

Parameter	Nilai
Berat Jenis, G_s	2,48 – 2.80
Batas-batas Konsistensi :	
Batas Cair, LL (%)	68 – 73
Batas Plastis, PL (%)	26 – 29
Indeks Plastisitas, PI (%)	40 – 47
Ukuran Butir :	
Lanau/Lempung	78 – 92
Pasir	8.0 – 22
Pemadatan Proktor Standar:	
Berat volume kering maks, MDD (kN/m^3)	12,2 – 13.4
Kadar air optimum, OMC (%)	28 – 29

Semen

Semen yang digunakan adalah jenis Portland Pozzolan Cement (PPC) Semen Tiga Roda yang digunakan berdasarkan SNI 15-7064-2004. Komposisi kimiawi dari semen ditampilkan pada Tabel 2. Kehalusan dari PPC sebesar $325 \text{ m}^2/\text{kg}$ yang diukur menggunakan *Blaine air-permeability apparatus*.

Tabel 2 Komposisi kimiawi semen and POFA

Material	Komposisi Oksida (%)										
	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	MgO	Na_2O	K_2O	MnO	SiO_2	P_2O_5	TiO_2	LOI
Semen	8.76	58.66	4.62	0.90				23.13			1.69
POFA	8.87	3.24	1.06	1.42	0.57	3.22	0.03	52.63	1.86	0.31	27.7

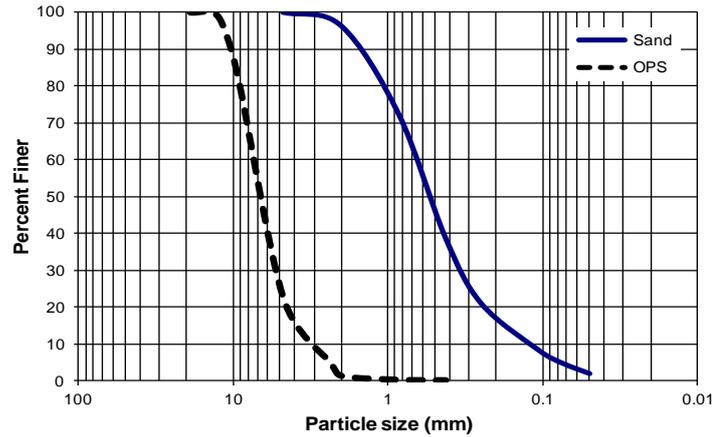
OPS dan POFA

OPS dan POFA yang digunakan berasal dari limbah produksi kelapa sawit di Provinsi Riau, Indonesia. OPS digunakan sebagai pengganti parsial dari agregat halus sebesar 5%, 10%, 25% dan 50%. Tekstur dan distribusi ukuran partikel dari OPS yang digunakan ditampilkan dalam Gambar 1. OPS berukuran antara 2 mm sampai 15 mm. Kurva yang ditunjukkan pada Gambar 1b menyatakan bahwa ukuran OPS rata-rata 7 mmhal tersebut berarti lebih dari 50% OPS berukuran lebih besar dari 7 mm.

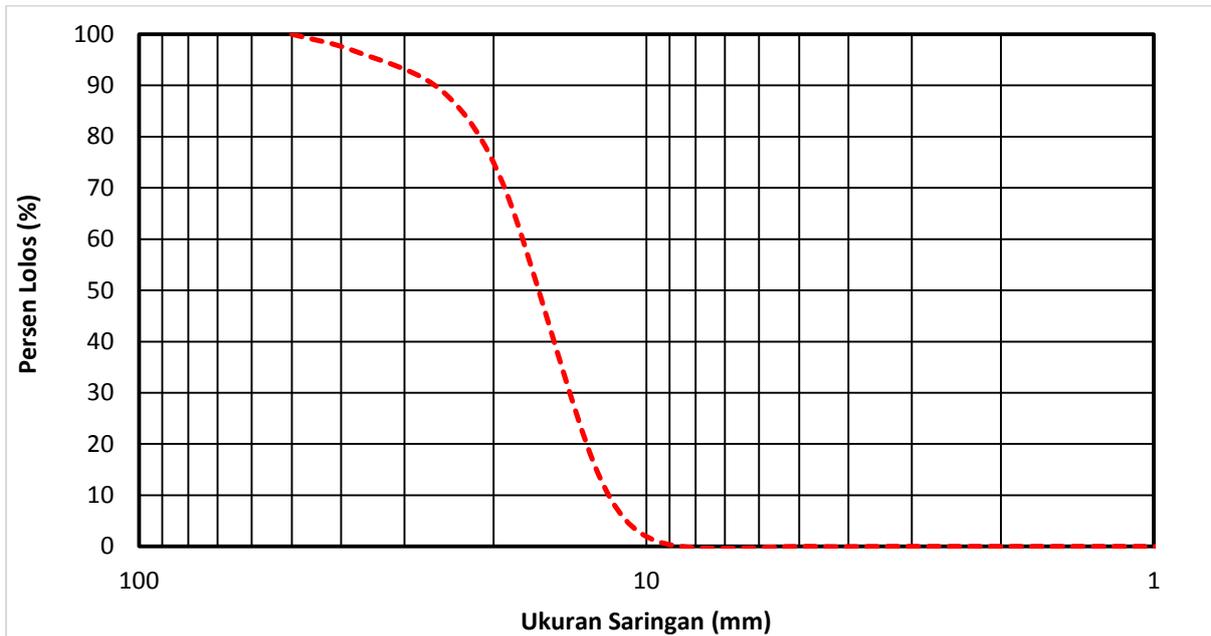
Sebelum digunakan sebagai campuran SCC, dan POFA dikeringkan terlebih dahulu selama dua hari dibawah terik matahari yang kemudian diayak menggunakan saringan $75 \mu\text{m}$ (No. 200) untuk menghilangkan serat yang tidak habis dibakar. Pada Tabel 2 disajikan komposisi kimiawi POFA.



(a)



(b)



(c)

Gambar 1 : (a) Tekstur dari OPS, (b) Distribusi ukuran partikel OPS, dan (c) Distribusi ukuran partikel kerikil

Pasir

Pasir sebagai agregat halus yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Sungai Progo, Yogyakarta dengan berat jenis 2,65. Distribusi ukuran partikel pasir disajikan pada Gambar 1b.

Kerikil

Kerikil sebagai agregat kasar utama pada penelitian ini berasal dari Clereng, Merapi dengan berat jenis. Distribusi ukuran partikel kerikil disajikan pada Gambar 1c.

Viscocrete

Viscocrete merupakan *superplasticizer* dari Sika tipe 3115 ID dengan kemampuan mengalir yang baik bersamaan dengan kohesi yang optimal juga pengurangan air hingga 30%.

Proporsi Campuran SCC

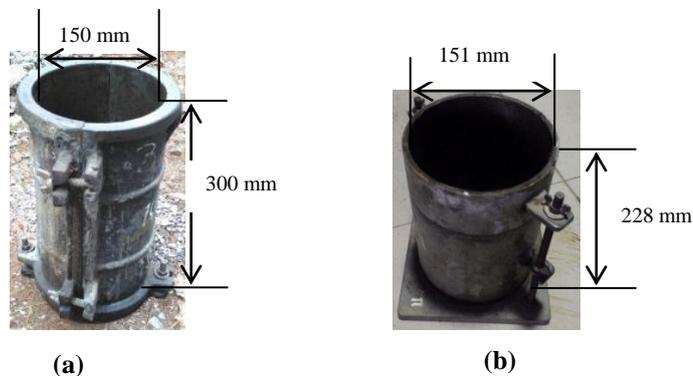
Kolom mini yang terbuat dari SCC dengan ukuran diameter 50,8 mm (2 inch) dan tinggi 128,5 mm (5 inch). Komposisinya terdiri dari 119 g semen, 33 g POFA, 240 g pasir, 124,2 g kerikil, 13,8 g OPS, *superplasticizer* dengan kadar 1,14% dari berat *powder* (Aggarwal, dkk.,

2008). Semen dan POFA berfungsi sebagai pengikat dalam campuran tersebut. Jumlah air yang digunakan berdasarkan perbandingan air-serbuk (w/p ratio), yaitu 0,5 yang ditentukan dari beberapa kali percobaan. persentase berat *replacement* kerikil dengan OPS 10% berdasarkan *fresh properties* variasi *replacement* 5%, 10%, 25% dan 50%

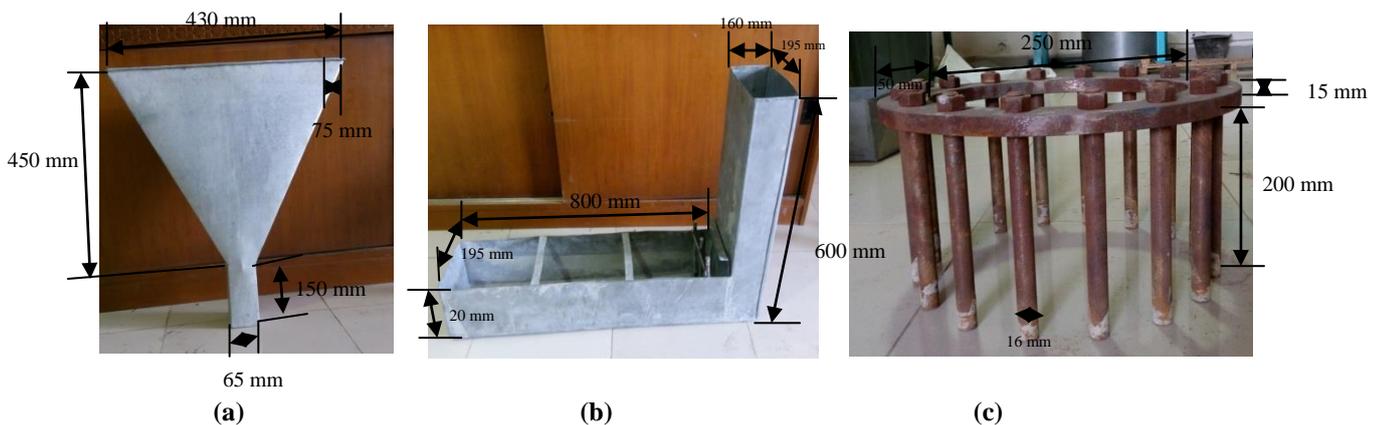
Alat yang Digunakan

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

- (1) alat-alat untuk membuat benda uji beton SCC yang meliputi : cetakan silinder beton (Gambar 2a), dan mesin pengaduk (Gambar 5a)
- (2) alat-alat untuk mengukur sifat-sifat beton segar SCC (*fresh concrete*) meliputi : V-funnel (Gambar 3a), L-Box (Gambar 3b), dan J-Ring (Gambar 3c),
- (3) mesin uji tekan beton berkapasitas 2000 kN (Gambar 4)
- (4) alat-alat untuk mencetak benda uji tekan bebas (Gambar 2b)
- (5) mesin uji tekan bebas berkapasitas 50 kN (Gambar 5b).



Gambar 2 : (a) Silinder cetakan beton, (b) Cetakan benda uji tekan bebas



Gambar 3 : (a) V-Funnel, (b) L-Box, (c) J-Ring



Gambar 4 : Mesin uji tekan beton



(a)



(b)

Gambar 5 (a) Mesin pengaduk campuran beton, (b) Mesin uji tekan bebas

Persiapan Benda Uji dan Prosedur Pengujian Tekan Bebas

Benda uji beton SCC

Persiapan tahap awal pada penelitian ini adalah menguji *fresh properties* SCC dari tiap-tiap variasi campuran. Adapun batas-batas yang dianjurkan EFNARC (European Federation Of National Trade Associations Representing Producers and Applicators of Specialist Building Products) disajikan pada Tabel 3.

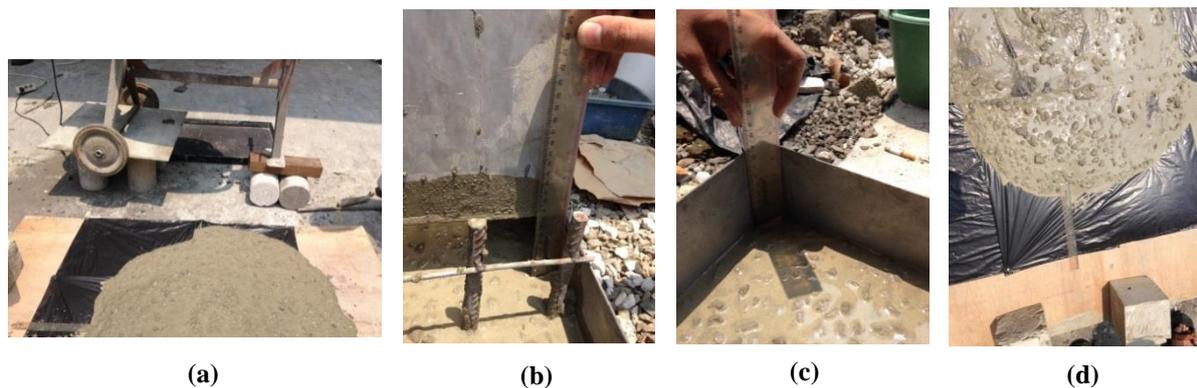
Tabel 3 Batas-batas sifat beton segar SCC

Parameter	Kisaran
T _{50cm}	2-5 sec.
V-Funnel	6-12 sec.
L-Box H ₂ /H ₁	≥ 0,8
Diameter aliran J-Ring	± 10 mm

Gambar 7 menunjukkan pengujian V-Funnel, L-Box dan J-ring. Pengujian V-Funnel dilakukan untuk mengukur waktu yang dibutuhkan beton segar mengalir seperti yang ditunjukkan ada Gambar 8a. Menurut EFNARC (European Federation of national trade associations representing producers and applicators of specialist building products), waktu yang dibutuhkan SCC untuk mengalir minimal 6 detik. Kemampuan untuk melewati hambatan seperti tulangan diuji menggunakan L-Box ditampilkan dalam Gambar 8b. Indikasi kemampuan beton segar melewati hambatan berdasarkan rasio ketinggian akhir (H2/H1), yaitu $\geq 0,8$. J-Ring digunakan untuk mengukur luas aliran melewati hambatan yang ditunjukkan dalam Gambar 8c, di mana luas aliran berdiameter 500 mm dalam rentang waktu 2-5 detik. Sementara diameter akhir pada pengujian J-Ring ± 10 mm.



Gambar 7 : (a) Pengujian V-Funnel, (b) Pengujian L-Box, (c) Pengujian J-Ring



Gambar 8 : Hasil pengujian *fresh properties* SCC, (a) hasil pengujian V-Funnel, (b) Hasil pengujian L-Box (H1), (c) Hasil pengujian L-Box (H2), (d) Hasil pengujian J-ring

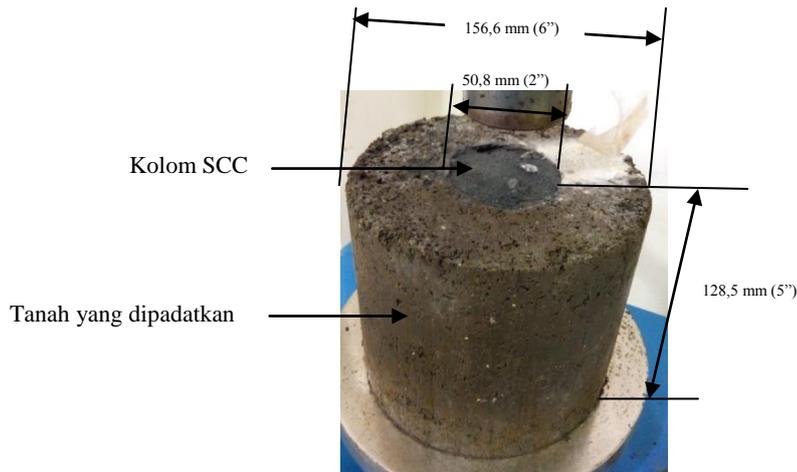
Benda Uji Tekan Bebas

Benda uji berupa tanah yang dipadatkan berdiameter 156,6 mm (6 inch) dan tinggi 128,5 mm (5 inch). Tanah kering oven dengan berat 5 kg dicampur dengan variasi air pada tiga kondisi yaitu mendekati OMC, ODMC (optimum-kering, di bawah OMC), dan OVMC (optimum-basah, di atas OMC). Tanah basah di masukkan ke dalam cetakan dan dipadatkan menggunakan *proctor standart* yang tersaji pada Gambar 9a. Tanah dilubangi dengan menggunakan *auger* sebagai tempat untuk kolom seperti pada Gambar 9b. SCC disiapkan berdasarkan campuran yang sudah di desain sebelumnya. Untuk membentuk kolom, SCC segar dimasukkan ke dalam lubang tanpa harus dipadatkan. Selama 72 jam, kolom SCC yang dicetak di dalam tanah dibiarkan mengeras. Kemudian, benda uji dikeluarkan dari cetakan, diukur diameter, tinggi, dan beratnya lalu di masukkan ke dalam plastik guna menjaga kadar air di dalam tanah pada suhu ruangan $28^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Benda uji disimpan dalam masa perawatan selama 7 hari di mana setiap variasi kadar air dibuat dua benda uji. Gambar 9c menunjukkan benda uji dengan kolom SCC.



(a)

(b)



(c)

Gambar 9 Kondisi tanah : (a) Sudah dipadatkan, (b) Sudah dilubangi, (c) Tanah yang dipadatkan dan kolom SCC

Pengujian Kuat Tekan Bebas

Pengujian tekan bebas dilakukan pada 7 hari masa perawatan. Sebelum pengujian, diameter, tinggi, dan berat benda uji diukur ulang. Pengujian berdasarkan prosedur ASTM D2166. Benda uji diletakkan pada alat uji tepat di pusat pelat. Alat uji diatur agar pelat atas bersinggungan dengan benda uji. Indikator deformasi datur pada angka 0. Pembebanan dilakukan secara menerus untuk mendapatkan tingkat deformasi aksial sekitar 1,0% per menit. Gaya aksial, nilai deformasi, dan waktu pada interval tertentu dicatat untuk membentuk kurva tegangan-regangan. Pembebanan pada benda uji dilakukan hingga nilai beban menurun atau hingga regangan mencapai 5% terpenuhi. Nilai kuat tekan bebas untuk gaya aksial dihitung menggunakan persamaan (1).

$$q_u = \frac{P_{\max}}{A_f} \quad (1)$$

yang mana $A_f = \frac{A_o}{1 - \varepsilon_f}$ (2)

di mana :

P_{\max} = Beban Tekan Maksimum
 A_f = Luas Benda Uji pada saat Runtuh
 A_o = Luas Benda Uji
 ε_f = Regangan pada saat Runtuh

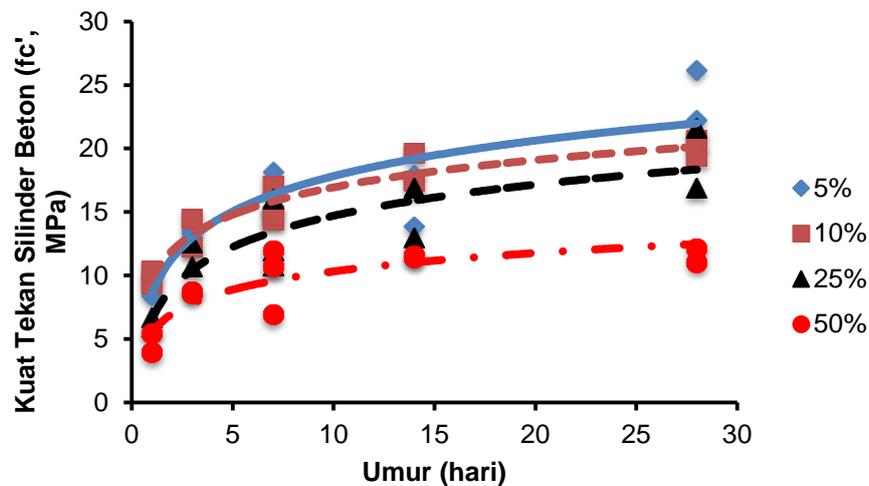
3 Hasil Dan Pembahasan

Sifat-Sifat Beton Segar dan Kuat Tekan Beton SCC

Adapun hasil pengujian *fresh properties* variasi pengganti parsial ditunjukkan pada Tabel 4 dan Gambar 4. Hasil pengujian kuat tekan pada setiap variasi penggantian parsial dengan umur perawatan terlampir pada Gambar 10.

Tabel 4 Hasil pengujian *fresh properties* berdasarkan variasi pengganti parsial

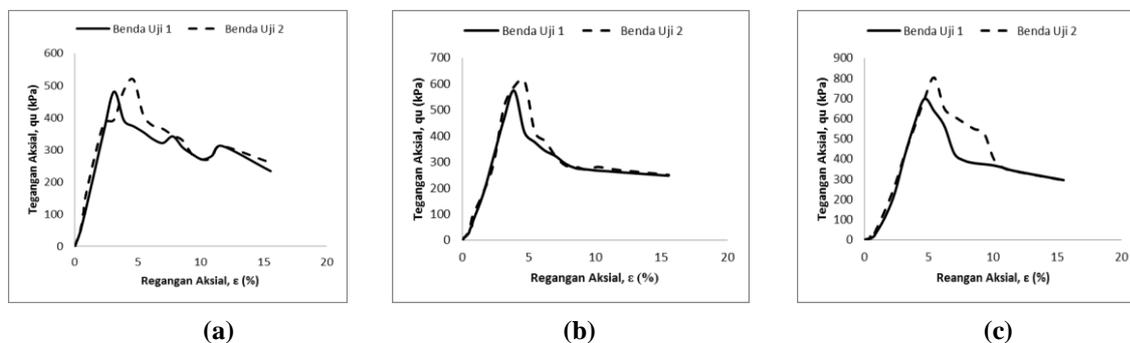
Variasi	T _{50cm}	V-Funnel	L-Box H ₂ /H ₁	J-Ring
5 %	4 detik	5 detik	0,8	53 cm
10 %	4 detik	6 detik	0,875	51 cm
25 %	5 detik	8 detik	0,9	51 cm
50 %	5 detik	10 detik	1	51 cm



Gambar 10 Hubungan antara kuat tekan SCC dengan umur

Kuat Tekan Bebas Komposit Tanah - Kolom SCC

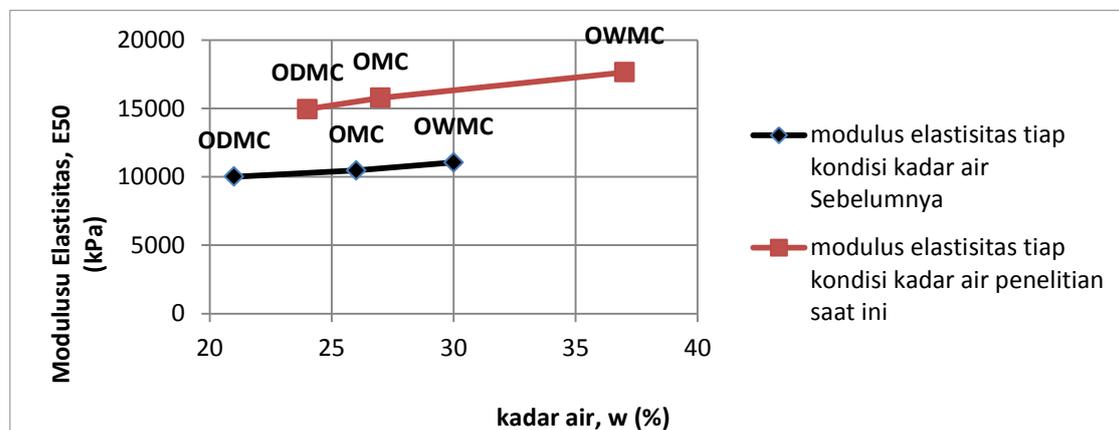
Hubungan antara tegangan aksial dengan regangan aksial pada umur perawatan 7 hari dapat dilihat pada Gambar 11. Pada umumnya tegangan aksial didapatkan pada regangan 6-7%. Setelah mencapai tegangan maksimum, tegangan sisa diperoleh hingga 20% regangan. (Muntohar dan Kusumahadi, 2015)



Gambar 11 : Tipikal hubungan teganga aksial dengan regangan kolom SCC – tanah komposit (a) Kondisi ODMC, (b) Kondisi OMC, (c) Kondisi OWMC

Berdasarkan penelitian Muntohar dan Kusumahadi (2015), nilai tegangan tertinggi diperoleh pada kondisi OWMC, yaitu 741 kPa pada umur 28 hari. Sedangkan pada penelitian ini, tegangan aksial tertinggi diperoleh pada kondisi OWMC sebesar 802,97 kPa dengan usia perawatan 7 hari. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi tegangan aksial yang diperoleh dipengaruhi oleh banyaknya kadar air. Selain itu, nilai yang diperoleh pada penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan nilai pada penelitian sebelumnya. Dilihat dari material yang digunakan, perbaikan tanah dengan kolom SCC lebih meningkatkan kuat dukung tanah.

Nilai modulus deformasi (E_{50}) pada penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa nilai kuat tekan dipengaruhi oleh kondisi kadar air. Hal ini pun berlaku pada penelitian ini, seperti yang terlihat pada Gambar 13. Hasil pengujian sebelumnya menunjukkan bahwa modulus deformasi setelah 28 hari diperoleh pada kadar air kering optimum 10005 kPa, pada kadar air optimum 10.465 kPa, dan pada kadar air basah optimum 11.046 kPa. Sedangkan pada penelitian ini, modulus deformasi pada umur 7 hari diperoleh pada kadar air kering optimum sebesar 14941,8 kPa, pada kadar air optimum sebesar 15.771,2 kPa, dan pada kadar air basah optimum sebesar 17632,1 kPa. Pada penelitian ini dan sebelumnya, nilai modulus deformasi tertinggi (E_{50}) diperoleh pada kondisi kadar air basah optimum, yaitu sebesar 11046 kPa dan 17632,1 kPa.



Gambar 12 Perbandingan nilai hubungan antara kadar air dengan modulus deformasi (E_{50})

4 KESIMPULAN

Penelitian eksperimental mengkaji tentang nilai kuat tekan bebas dari tanah lempung yang diperkuat menggunakan kolom SCC. Berdasarkan penelitian sebelumnya, penelitian ini dilakukan pada tiga jenis kondisi kadar air tanah yang berbeda. Membandingkan antara penelitian ini dan sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa peningkatan nilai kuat tekan berbanding lurus dengan banyaknya jumlah kadar air. Nilai kuat tekan tertinggi didapatkan pada kondisi OWMC (optimum-basah, di atas OMC) sebesar 802,97 kPa. Dalam penelitian ini, tidak dilakukan perbandingan antara umur perawatan dengan nilai kuat tekan.

Nilai modulus deformasi meningkat seiring dengan meningkatkan nilai kuat tekan maksimum di setiap kadar air. Hasil penelitian menunjukkan modulus deformasi pada umur 7 hari diperoleh pada kadar air kering optimum sebesar 14.941,8 kPa, pada kadar air optimum sebesar 15.771,2 kPa, dan pada kadar air basah optimum sebesar 17.632,1 kPa. Nilai modulus deformasi tertinggi (E_{50}) diperoleh pada kondisi kadar air basah optimum, yaitu sebesar 17.632,1 kPa

5 DAFTAR PUSTAKA

- ASTM D2166 - 06 Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil. ASTM International, 2013.
- Aggarwal, P., Aggarwal, Y., Gupta, S.M., Siddique, R., 2008, Self-Compacting Concrete – Procedure for Mix Design, Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies p. 15-24.
- BSN, “SNI 15-7064-2004: Semen portland komposit”, Badan Standardisasi Nasional, 2004.
- EFNARC (European Federation of national trade associations representing producers and applicators of specialist building products), Specification and Guidelines for self-compacting concrete, February 2002, Hampshire, U.K.
- Gungat, L., Putri, E.E., and Makinda, J. “Effects of Oil Palm Shell and Curing Time to the Load-Bearing Capacity of Clay Subgrade”, *Procedia Engineering*, Vol. 54, 2013: 690–697.
- Muntohar, A.S., Kusumahadi, Y., Barus, R.M.N., “Evaluation of the Compressive Strength of the Clay Soil Reinforced with the Column of Oil Palm Shell Concrete”, *The Seventh Regional Symposium on Infrastructure Development*, Vol.7, 2015 : 147-153.
- Pourakbar, S., Asadi, A., Huat, B.K., Fasihnikoutala, M.H., “Stabilization of clayey soil using ultrafine palm oil fuel ash (POFA) and cement”, *Transportation Geotechnics*, Vol. 3, 2015: 24–35.