

PERBANDINGAN DEFORMASI TANAH LEMPUNG PLASTISITAS TINGGI DENGAN PENAMBAHAN SAMPAH PLASTIK MENGGUNAKAN UJI LABORATORIUM DAN ANALISIS METODE ELEMEN HINGGA

Mahmudah¹⁾, Raden Harya Dananjaya²⁾, Niken Silmi Surjandari³⁾

^{1) 2), 3)} Program Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret
Jalan Ir. Sutami No. 36A Surakarta 57126. Telp: (0271) 647069
Email: mahmudah51293@gmail.com

Abstrak

Salah satu penyebab pencemaran lingkungan di Indonesia adalah banyaknya sampah plastik yang terbuang di alam. Maka dari itu, diperlukan suatu langkah yang tepat dalam menyelesaikan masalah sampah plastik ini. Salah satunya digunakan sebagai campuran bahan konstruksi sehingga diharapkan mampu memperbaiki kondisi tanah yang bermasalah, salah satunya tanah lempung plastisitas tinggi. Penelitian ini berupa usaha stabilisasi tanah lempung plastisitas tinggi dengan penambahan material lain berupa sampah plastik. Selain itu, digunakan metode elemen hingga untuk memperkirakan deformasi yang terjadi pada kadar plastik tertentu. Stabilisasi tanah ini menggunakan penambahan sampah plastik dengan variasi kadar dan ukuran plastik jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET) seperti botol air mineral. Variasi kadar yang digunakan adalah 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4%, dan 0.5% dari berat tanah kering. Sampah plastik dipotong dengan variasi ukuran 1cm×1cm, 2cm×1cm, 3cm×1cm, 4cm×1cm, dan 5cm×1cm. Data hasil pengujian UCS digunakan sebagai input data pada analisis metode elemen hingga untuk memprediksi nilai deformasi pada kadar tertentu. Hasil penelitian ini adalah penambahan sampah plastik ke dalam tanah dapat meningkatkan kuat tekan tanah dan menurunkan deformasi yang terjadi. Analisis metode elemen hingga yang dilakukan cukup akurat karena perbandingan deformasi yang dihasilkan oleh pengujian dan analisis metode elemen hingga hanya terdapat sedikit perbedaan, dengan nilai rata-rata selisih antara keduanya sebesar 0.02 cm.

Kata Kunci : stabilisasi tanah, lempung plastisitas tinggi, plastik, *Unconfined compressive strength*, MEH

Abstract

A problem of environmental pollutions in Indonesia is a lot of plastic waste in nature. Therefore, we need a suitable method to solve it. One of them, plastic waste is used as a mixture of construction materials to improve the condition of the problematic soil, that is a high plasticity clay. In this study, deformation of soil-plastic mixture will be predicted using Finite Element Method (FEM). High plasticity clay is taken from Grogol, Sukoharjo. To obtain relation of secant modulus (E_{50}) of soil-plastic mixture respect to size and content of plastic. Several variations of plastic content and size are utilized. The ratio of plastic and dry soil weight are 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4%, and 0.5%. Furthermore, the size of plastics are 1cm×1cm, 2cm×1cm, 3cm×1cm, 4cm×1cm, and 5cm×1cm. Moreover, the samples of soil-plastic mixture subjected to Unconfined Compressive Test (UCS). UCS tests are used as input data on the analysis of FEM to predict the deformation at certain content. In this research show that the addition of plastic waste in the soil can increase the compressive strength and decrease the soil deformation. The analysis of FEM is quite accurate because the predicted deformation and UCS test have a small average different, i.e 0.02 cm.

Keywords : stabilization of soil, high plasticity clay, plastic, *unconfined compressive strength*, FEM

PENDAHULUAN

Sampah plastik yang sering dibuang begitu saja menyebabkan penumpukan di alam karena sifat plastik yang sulit terurai. Maka dari itu, diperlukan suatu langkah yang tepat dalam menyelesaikan masalah sampah plastik ini. Salah satu alternatifnya digunakan sebagai campuran bahan konstruksi. Hal tersebut diharapkan mampu memperbaiki kondisi tanah yang bermasalah, yaitu tanah lempung plastisitas tinggi di Desa Grogol, Kabupaten Sukoharjo.

Penelitian ini berupa usaha stabilisasi tanah lempung plastisitas tinggi dengan penambahan material lain berupa sampah plastik. Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti, plastik terbukti mampu meningkatkan kuat tekan tanah lempung plastisitas tinggi.

Maka dari itu, pencemaran akibat sampah buangan dari plastik dapat dikurangi dengan memanfaatkannya sebagai bahan stabilisasi tanah. Selain itu, digunakan metode elemen hingga untuk memperkirakan deformasi yang terjadi pada kadar plastik tertentu.

TINJAUAN PUSTAKA

Supriyono dkk. (2000) melakukan penelitian tentang perhitungan deformasi tiga dimensi menara reaktor kartini menggunakan metode elemen hingga. Penghitungan ulang terhadap menara reaktor Kartini yang merupakan salah satu perangkat instalasi nuklir di P3TM-BATAN Yogyakarta ini menggunakan perangkat lunak SAP 90. Perhitungan dilakukan dengan tujuan sebagai evaluasi dan tinjauan keamanan bangunan terhadap Kayo Kempa di Yogyakarta. Perhitungan deformasi 3 dimensi ini dilakukan dengan metode pendekatan numeris yaitu metode elemen hingga dengan bentuk elemennya adalah shell. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa bangunan menara masih aman terhadap adanya gaya gempa yang ada.

Kurniawan (2011) melakukan penelitian mengenai pengaruh penggunaan serat plastik terhadap daya dukung tanah lempung. Penelitian tersebut menggunakan kadar campuran serat plastik 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4% dan 0.5% dari berat sampel tanah, serat plastik dipotong potong dengan ukuran 50 mm×10 mm serta dijemur selama 5×24 jam. Penelitian ini menggunakan tanah yang diambil dari Kecamatan Sentolo, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Nilai California Bearing Ratio (CBR) untuk tanah yang tidak diberi tambahan serat plastik adalah 3.8%. Nilai CBR tertinggi didapat pada penambahan serat plastik 0.3% dari berat sampel tanah dengan nilai CBR 6% atau naik sebesar 63% dari nilai CBR awal. Pada pengujian CBR soaked, nilai CBR untuk tanah yang tidak diberi tambahan serat plastik adalah 2.3%. Nilai CBR tertinggi didapat pada penambahan serat plastik 0.2% dengan nilai CBR 4% atau naik sebesar 70% dari nilai CBR awal tanpa penambahan serat.

Rajkumar dkk. (2013) melakukan penelitian mengenai perbandingan nilai CBR tanah lempung berlanau, tanah pasir dan tanah ekspansif. Kadar limbah plastik yang digunakan adalah 0.25%, 0.5%, 0.75%, dan 1%. Tanah yang digunakan pada penelitian ini untuk pengujian laboratorium diambil Jabalpur, India. Kepadatan kering maksimum dan kadar air maksimum tanah ditentukan melalui pengujian pada tanah asli. Limbah plastik yang digunakan bersumber dari pasar lokal. Hasil pengujian disajikan dalam Tabel 2.1. Kesimpulan yang didapat dari pengujian tersebut adalah tanah yang dicampur dengan limbah plastik dapat meningkatkan kepadatan kering maksimum. Kenaikan maksimum terdapat pada penambahan serat plastik 1% dengan nilai CBR dari 2.28% menjadi 5.06% untuk tanah ekspansif, dari 5.76% menjadi 7.25% untuk tanah lempung berlanau, sedangkan untuk tanah pasir mengalami penurunan nilai CBR yaitu dari 10.6% menjadi 10%.

Yunashirson (2015), melakukan penelitian tentang stabilisasi tanah lempung menggunakan semen dengan variasi faktor air semen. Tanah lempung plastisitas tinggi diambil dari Sukoharjo pada indeks likuiditas 1 dan 1.25. Variasi semen:tanah (5%, 10%, dan 15% terhadap berat basah tanah) dan variasi Faktor Air Semen (FAS) 20%, 25%, 30%, dan 35% terhadap berat semen kering yang dibutuhkan. Pengujian Unconfined Compressive Strength (UCS) dilakukan pada 0, 3, 7, dan 14 hari saat kondisi tak-terendam dan terendam. Penggunaan semen dengan variasi FAS dapat meningkatkan kekuatan tanah pada tanah lempung plastisitas tinggi.

LANDASAN TEORI

Tanah Lempung Plastisitas Tinggi

Hardiyatmo (1992), mengatakan sifat-sifat yang dimiliki dari tanah lempung yaitu antara lain ukuran butiran yang halus(kurang dari 0.002 mm), permeabilitas tanah rendah, kenaikan air kapiler tinggi, sangat kohesif, kadar kembang susut tanah tinggi dan proses konsolidasi yang lambat. Plastisitas merupakan kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk

pada volume yang konstan tanpa mengalami retak-retak atau remuk (Hardiyatmo, 2010). Tanah lempung yang berplastisitas tinggi mempunyai karakteristik antara lain bersifat lunak pada kadar air tinggi, daya dukung tanah yang rendah, kompresibilitas tanah tinggi, mudah menyusut dan mengembang (Hardiyatmo, 2012).

Plastik

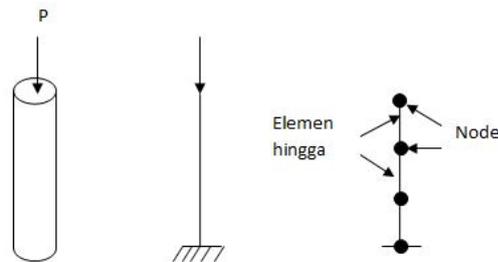
Plastik memiliki sifat antara lain sebagai berikut (Siska, 2014).

- 1) *Tensile Strength*
Tensile Strength adalah tegangan yang dibutuhkan untuk mematahkan suatu sampel.
- 2) *Compressive strength*
Compressive strength adalah ketahanan terhadap tekanan. Plastik merupakan material yang lentur dan elastis sehingga mempunyai kekuatan tekan yang bagus.
- 3) *Flexural strength*
Flexural strength adalah ketahanan terhadap *bending (flexing)*. Polimer dikatakan mempunyai *flexural strength* jika dia kuat saat dibengkokkan.
- 4) *Impact strength*
Impact strength adalah ketahanan terhadap tegangan yang datang secara tiba-tiba. Polimer mempunyai kekuatan impact jika dipukul dengan keras secara tiba-tiba.

Salah satu jenis plastik adalah *Polyethylene Terephthalate* (PETE atau PET). Jenis ini dipakai untuk botol plastik yang jernih/transparan seperti botol air mineral, botol jus, dan sejenisnya. Botol jenis ini hanya untuk sekali pakai dan jangan digunakan untuk air hangat atau panas. Jika botolnya sudah lecet dan/ atau sudah lama tidak dianjurkan untuk digunakan kembali, dibuang saja.

Analisis Kuat Tekan dengan Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah suatu metode pemaparan bagaimana perjalanan aksi hingga timbul reaksi dalam materi, atau metode untuk memperkirakan besar reaksi dan reaksi apa yang timbul dari materi tersebut. Konsep dasar dari metode elemen hingga adalah prinsip diskritisasi. Berikut adalah gambaran proses diskritisasi pada suatu kolom, penopang, atau batang dengan luas penampang sama yang dikenakan pembebanan aksial murni yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diskritisasi (Desai, 1998)

Langkah- langkah yang dilakukan untuk menganalisis deformasi pada tanah akibat kuat tekan menggunakan metode elemen hingga (Desai, 1998) adalah sebagai berikut:

- a. Diskritisasi dan Memilih Konfigurasi Elemen
Langkah ini menyangkut pembagian benda menjadi sejumlah benda “kecil” yang sesuai, yang dinamakan elemen- elemen hingga.
- b. Memilih Model dan Fungsi Perpindahan
Jika deformasi (u) sebagai besaran yang dicari, maka fungsi pendekatan dapat dinyatakan seperti pada Persamaan 1.

$$u(x) = a_1 + a_2 x \dots \dots \dots (1)$$

dengan:

- u = deformasi yang dicari
- $a_1, a_2, a_3, \dots, a_m$ = koordinat yang digeneralisasi
- x = koordinat titik dalam elemen

- c. Menentukan Hubungan Regangan-Perpindahan dan Tegangan-Regangan
 Hubungan regangan-perpindahan dapat dinyatakan dengan Persamaan 2.

$$\varepsilon_y = \frac{\Delta L}{L_0} \dots\dots\dots(2)$$

dengan:

- ε = regangan
- ΔL = perpindahan (mm)
- L_0 = panjang mula-mula (mm)

Hubungan tegangan-regangan dapat dinyatakan dengan hukum Hooke, seperti pada Persamaan 3.

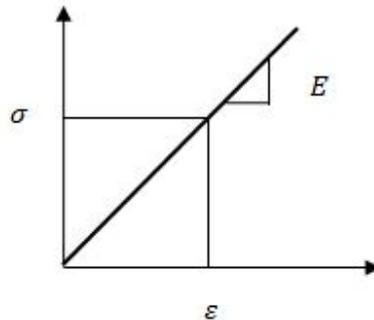
$$\sigma_y = E_y \varepsilon_y \dots\dots\dots(3)$$

dengan:

- σ = tegangan (kN/m²)
- E = modulus elastisitas (kN/m²)
- ε = regangan

Substitusikan Persamaan 2 ke dalam Persamaan 3, sehingga dapat dinyatakan dengan Persamaan 4.

$$\sigma = E \frac{\Delta L}{L_0} \dots\dots\dots(4)$$



Gambar 2. Hukum dasar elastik linear atau hukum (Hooke) tegangan regangan (Desai, 1998)

- d. Menurunkan Persamaan-Persamaan Elemen

Persamaan 3 telah diuraikan dengan panjang lebar dan menghasilkan persamaan yang menggambarkan perilaku suatu elemen, yang dinyatakan dalam Persamaan 5.

$$[k] \{d\} = \{f\} \dots\dots\dots(5)$$

dengan:

- $[k]$ = matriks kekakuan
- $\{d\}$ = vektor deformasi
- $\{f\}$ = vektor gaya luar

- e. Perakitan persamaan elemen untuk mendapatkan persamaan global atau persamaan rakitan dan mengenal syarat batas.

Perakitan ini berdasarkan pada hukum *compatibility* atau kontinuitas menggunakan metode kekakuan langsung (*direct stiffness method*). Pada hukum tersebut menyatakan bahwa benda harus tetap kontinu, sehingga menghasilkan persamaan global seperti pada Persamaan 6.

$$[K] \{D\} = \{F\} \dots\dots\dots(6)$$

dengan:

- $[K]$ = matriks kekakuan rakitan
- $\{D\}$ = vektor deformasi rakitan
- $\{F\}$ = vektor gaya luar rakitan

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan dua metode, yaitu pengujian di laboratorium dan analisis menggunakan metode elemen hingga.

Pengambilan Sampel Tanah

Tanah lempung plastisitas tinggi yang digunakan diambil dari Desa Grogol, Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah. Pengambilan tanah dilakukan dalam keadaan terganggu (*disturbed*) yaitu secara manual menggunakan skop pada kedalaman 0 sampai 1 m di bawah permukaan tanah.

Penyediaan Sampah Plastik

Sampah plastik yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari sampah kos, berupa sampah botol jenis PET dengan ketebalan kurang lebih 0.18 mm. Sampah plastik dipotong-potong sesuai ukuran yang ditentukan. Variasi kadar sampah plastik yang digunakan adalah 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4%, 0.5% dari berat tanah kering. Variasi ukuran yang digunakan adalah 1×1 , 2×1 , 3×1 , 4×1 , 5×1 seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Sampel plastik PET

Pembuatan Benda Uji

Langkah pembuatan benda uji dilakukan dengan Pencampuran tanah dan sampah plastik dilakukan dengan prosedur sebagai berikut: Tanah lempung plastisitas tinggi kering oven yang sudah ditumbuk dan lolos saringan no.4 ditambah sampah plastik yang sudah dipotong-potong sesuai ukuran dan kadar yang telah ditentukan ke dalam tanah kemudian aduk hingga rata. Tambahkan air sesuai kadar yang telah ditentukan kemudian aduk hingga rata (digunakan 60 ml air). Campuran tersebut kemudian dicetak ke dalam cetakan silinder UCS dengan tinggi cetakan 8.5 cm dan diameter 3.7 cm. Sampel yang digunakan terdiri dari campuran tanah dan sampah plastik dengan 5 variasi kadar dan 5 variasi ukuran. Sehingga jumlah sampel yang digunakan untuk pengujian kuat tekan bebas adalah $5 \times 5 = 25$ sampel uji.

Pengujian Kuat Tekan *Unconfined Compressing Test (UCS)*

Pengujian ini menggunakan Standart Nasional Indonesia (SNI) 3638:2012 tentang Metode Uji Kuat Tekan-Bebas Tanah Kohesif. Dari analisis data, akan menghasilkan grafik hubungan antara kuat tekan (q) dan regangan (ϵ) sehingga didapat modulus sekan E_{50} pada masing-masing campuran.

Analisis Metode Elemen Hingga

Input data dalam analisis metode elemen hingga ini adalah data modulus secant E_{50} , luas penampang (A), panjang sampel (L), dan gaya (F). Hasil dari analisis ini adalah data prediksi deformasi yang terjadi pada campuran tanah dengan sampah plastik PET kadar 0.35%. Hasil deformasi yang diperoleh akan diverifikasi menggunakan pengujian laboratorium kembali. Sampel yang diuji adalah campuran tanah+sampah plastik 0.35%. Penentuan kadar dilakukan secara sembarang karena akan diprediksi deformasi di rentang campuran 0%-0.5% PET.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Indeks Propertis Tanah

Hasil pengujian indeks properties tanah didapat dari penelitian sebelumnya terhadap tanah lempung Sukoharjo, yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik tanah lempung sukoharjo

Propertis Tanah	Notasi	Nilai
Kadar air (%)	W	57.59
Berat jenis tanah	G_s	2.54
Batas cair (%)	LL	66.49
Batas plastis (%)	PL	29.25
Indeks plastisitas (%)	PI	37.24
Berat volume basah (kN/m^3)	γ_b	16
Berat volume kering (kN/m^3)	γ_d	10.1
Berat volume butiran (kN/m^3)	γ_s	25.4
Porositas	N	0.60
Angka pori	E	1.51
Berat isi tanah jenuh (kN/m^3)	γ_{sat}	16.1
Berat isi tanah efektif (kN/m^3)	γ_{eff}	6.1
Derajat kejenuhan (%)	S_r	97.11
Lolos saringan no.4		0.96
Klasifikasi tanah (USCS)		CH

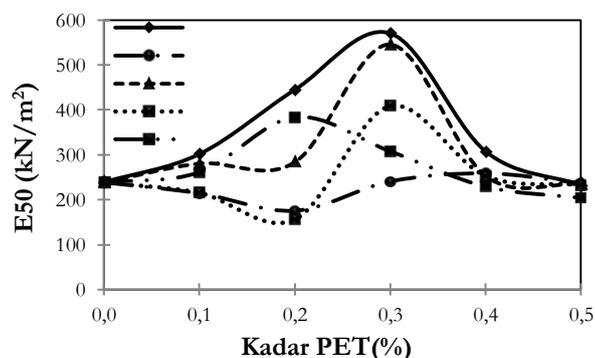
(Sumber: Yunashirson, 2015)

Kuat Tekan Tanah Tanpa Campuran Plastik

Pengujian kuat tekan tanah tanpa campuran plastik dilakukan untuk mendapatkan sebuah parameter sehingga dapat diketahui besar peningkatan nilai kuat tekan tanah setelah dilakukan stabilisasi. Sampel tanah diambil dari Desa Grogol, Sukoharjo. Sampel tanah tersebut kemudian dicetak ke dalam cetakan silinder UCS. Hasil pengujian UCS sampel tanah tanpa campuran plastik sebesar 6.961 kN/m^2 .

Pengaruh Kadar dan Ukuran Sampah Plastik Terhadap E_{50} Tanah

Variasi ukuran sampah plastik mempengaruhi tingkat E_{50} yang dihasilkan. Semakin tinggi nilai E_{50} yang dihasilkan maka dapat dikatakan sampel tersebut semakin kaku. Secara umum, E_{50} yang dihasilkan mengalami peningkatan. Nilai E_{50} rata-rata pada kadar PET 0%, 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4%, dan 0.5% adalah 238.620 kN/m^2 , 254.72 kN/m^2 , 288.629 kN/m^2 , 414.701 kN/m^2 , 260.198 kN/m^2 , 228.132 kN/m^2 . Hubungan antara variasi ukuran serat sampah plastik PET terhadap E_{50} tanah rata-rata pada setiap kadar PET dengan variasi ukuran sampah plastik yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh variasi kadar dan ukuran sampah plastik terhadap E_{50} tanah

Analisis Metode Elemen Hingga

Hasil dari analisis ini adalah data prediksi deformasi yang terjadi pada campuran tanah dengan sampah plastik PET kadar 0.35%, yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil prediksi deformasi tanah + 0.35% PET

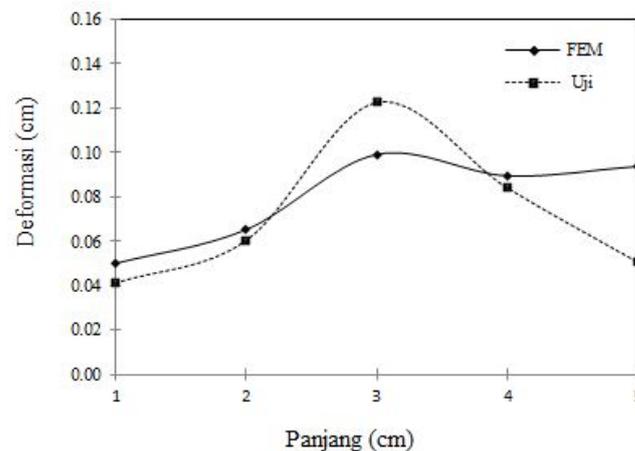
Kadar PET (%)	Ukuran Plastik (cm)	Deformasi (cm)
0.35	1×1	0.050
	2×1	0.065
	3×1	0.099
	4×1	0.089
	5×1	0.094

Verifikasi Hasil Deformasi Tanah Lempung Plastisitas Tinggi

Verifikasi ini dilakukan dengan pengujian laboratorium terhadap campuran tanah dengan sampah plastik PET kadar 0.35% pada masing-masing variasi ukuran dan menghasilkan nilai deformasi yang disajikan pada Tabel 3 dan Gambar 5.

Tabel 3. Perbandingan hasil deformasi

Ukuran Plastik (cm)	Deformasi (cm)		Selisih (cm)
	MEH	Pengujian	
1×1	0.050	0.041	0.009
2×1	0.065	0.060	0.005
3×1	0.099	0.122	0.023
4×1	0.089	0.084	0.006
5×1	0.094	0.051	0.043



Gambar 5. Hubungan variasi ukuran sampah plastik dengan deformasi pada campuran tanah + 0.35% PET

Analisis metode elemen hingga yang dilakukan cukup akurat karena hasil deformasi antara analisis metode elemen hingga dengan uji laboratorium hanya terdapat sedikit perbedaan. Sebagai contoh, deformasi yang terjadi pada ukuran plastik 1×1 menghasilkan data deformasi pada analisis metode elemen hingga sebesar 0.5 cm dan pada pengujian menghasilkan 0.412 cm.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian adalah sebagai berikut.

- a. Metode elemen hingga yang digunakan cukup akurat karena hasil deformasi antara analisis metode elemen hingga dan pengujian UCS hanya terdapat sedikit perbedaan. Nilai deformasi pada sampel tanah+0.35% PET menggunakan MEH setelah dilakukan penambahan sampah plastik pada ukuran 1 cm × 1 cm, 2 cm × 1 cm, 3 cm × 1 cm, 4 cm × 1 cm, dan 5 cm × 1 cm adalah 0.050 cm, 0.065 cm, 0.099 cm, 0.089 cm, dan 0.094 cm. Nilai deformasi pada sampel tanah+0.35% PET menggunakan pengujian setelah dilakukan penambahan sampah plastik pada ukuran 1 cm × 1 cm, 2 cm × 1 cm, 3 cm × 1 cm, 4 cm × 1 cm, dan 5 cm × 1 cm adalah 0.041 cm, 0.060 cm, 0.122 cm, 0.084 cm, dan 0.051 cm.
- b. *Modulus secant* E_{50} tanah lempung plastisitas tinggi meningkat karena penambahan sampah plastik ke dalam tanah dan kembali turun setelah mencapai titik puncak. Penambahan plastik dengan ukuran 1 cm × 1 cm pada kadar 0.3% menghasilkan peningkatan terbesar. E_{50} tanah asli sebesar 238.620 kN/m² meningkat menjadi sebesar 570.839 kN/m².

Saran

Saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut.

- a. Beberapa pengujian tambahan perlu dilakukan, misalnya pengaruh terhadap variasi kadar air dan variasi umur agar diperoleh data yang lebih beragam.
- b. Bahan tambah lain bisa digunakan sebagai bahan perkuatan tanah.
- c. Analisis metode elemen hingga 2 dimensi atau 3 dimensi bisa diterapkan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Afria, Siska. 2014. "*Sifat Fisik dan Mekanik Bahan Polimer*". Diakses pada 15 Agustus 2016 dari <http://www.scribd.com/doc/246247456/Sifat-Fisik-Dan-Mekanik-Bahan-Polimer>.
- Desai, C. S. 1988. *Dasar-dasar Metode Elemen Hingga*. Jakarta: Erlangga.
- Hardiyatmo, H. C. 1992. *Mekanika Tanah I*. Jakarta: Gramedia Pustaka Umum.
- Hardiyatmo, H. C. 2010. *Stabilisasi Tanah untuk Perkerasan Jalan*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. 2012. *Tanah Longsor dan Erosi*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Kurniawan, S.H. 2011. "*Pengaruh Penggunaan Serat Plastik Terhadap Daya Dukung Tanah*". Skripsi Universitas Atma Jaya. Yogyakarta.
- Rajkumar, dkk. 2013. "*Comparative Study Of CBR Of Soil Reinforced With Natural Plastic Material*". International Journal Of Engineering & Science Research. 4(6), 304-308.
- Standart Nasional Indonesia. 2012. SNI 3638: 2012 Metode Uji Kuat Tekan- Bebas Tanah Kohesif.
- Supriyono. 2000. "*Metode Elemen Hingga Untuk Perhitungan Deformasi Tiga Dimensi Menara Reaktor Kartini?*". Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah, hlm. 182-187, P3TM-BATAN, Yogyakarta.
- Yunashirson, N. F. 2015. "*Stabilisasi Tanah Lempung Plastisitas Tinggi pada Indeks Likuiditas 1 dan 1,25 menggunakan Semen dengan Variasi Faktor Air Semen*". Skripsi Tidak Dipublikasikan, Universitas Sebelas Maret.