

INFRASTRUKTUR

PENGARUH SERAT ALAMI TERHADAP TINGKAT KEPADATAN DAN INTENSITAS KERETAKAN TANAH LUNAK PADA SIKLUS BASAH KERING

Effect Of Fiber On Degree Of Density and Crack Intensity Factor On Wet Dry Cycle

Sukiman Nurdin

Jurusan Teknik Sipil Universitas Tadulako Jl. Soekarno Hatta Km. 9, Palu, Sulawesi Tengah, Indonesia (94118)

Email: s.nurdin@gmail.com

Sulaiman H. Ahmad

Jurusan Teknik Sipil Universitas Tadulako Jl. Soekarno Hatta Km. 9, Palu, Sulawesi Tengah, Indonesia (94118)

Email: sulaiman_a15@yahoo.com

ABSTRACT

The use of natural fibers as a reinforcement material in clay becomes an alternative choice of materials widely used in the early decades of soil improvement techniques. This practice is to improve soil strength and resistance to cracks. This preliminary practice was done because the cost of procurement is relatively low cost and also available in almost all areas of Indonesia. Modification of the use of natural fiber with other materials such as synthetic fiber materials has begun to do a lot at this time.

The objectives of this research are: (1) Analyzing the physical and mechanical of soft soil mineralogy characteristics, (2) Analyzing the soft soil mechanical behavior by reinforcing the Palm oil fiber (POF) of the empty fruit bunch of palm oil whether it can increase soft soil capacity, (3) shrinkage and crack intensity factor (CIF) of soft soil in wet-dry cycles.

The results showed that the addition of natural fiber on soft soil tends to reduce the level of soil density and increase the water content of the soil, although not too large. The effect is only about max 2.35% on 2% fiber content. While the swelling potential and shrinkage of the soils can be reduced by fiber reinforcement. In the crack potential test showed a substantial reduction of crack intensity factor, whereas the addition of fibers in the soft soil can reduce cracks up to 444%. This shows that the fiber-soil has great ability in resisting the tensile strength of the soil-fiber interface due to the adhesion properties so that the soil is not easily cracked.

Keywords: soft soil, natural fiber, crack intensity, Swelling, Shrinkage, dry wet cycles.

ABSTRAK

Penggunaan serat alami sebagai bahan perkuatan pada tanah lempung menjadi pilihan material alternative yang banyak digunakan pada dekade awal teknik perbaikan tanah. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan kekuatan tanah dan ketahanan terhadap retak. Praktek awal ini dilakukan karena biaya pengadaan yang relative murah juga tersedia di hampir di seluruh wilayah Indonesia. Modifikasi penggunaan serat dengan bahan lain seperti serat sintetis sudah mulai banyak dilakukan pada saat ini.

Tujuan penelitian ini meliputi: (1) Menganalisis karakteristik fisik, mekanis dan mineralogi tanah lunak, (2) Menganalisis perilaku mekanis tanah lunak dengan perkuatan serat alami tandang buah kosong kelapa sawit apakah dapat meningkatkan kapasitas dukung tanah lunak, (3) Menganalisis perilaku kembang-susut serta intensitas keretakan tanah lunak yang diperkuat serat pada siklus basah kering.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan Serat tandang buah sawit pada tanah lunak cenderung mengurangi tingkat kepadatan tanah dan menambah kadar air pada tanah walaupun tidak terlalu besar. Pengaruhnya hanya sekitar 2,35% pada kondisi kandungan serat 2%. Sementara potensi pengembangan dan penyusutan tanah asli dapat dikurangi dengan perkuatan serat. Pada uji potensi retak memperlihatkan pengurangan potensi retak yang cukup besar, dimana dengan penambahan serat pada tanah lunak dapat mereduksi keretakan sampai 444%. Hal ini memperlihatkan bahwa tanah-serat mempunyai kemampuan besar dalam menahan gaya tarik antarmuka tanah-serat disebabkan sifat adhesi sehingga tanah tidak mudah retak.

Kata kunci: tanah lunak, serat alami, Intensitas keretakan, Pengembangan, Penyusutan, siklus basah kering.

PENDAHULUAN

Konsep memperkuat tanah dengan menambahkan beberapa jenis serat alam telah dipraktekkan pada peradaban awal. Beberapa usaha telah dilakukan untuk memasukkan bahan aditif untuk meningkatkan kekuatan tanah dan ketahanan terhadap retak. Pengaruh dari kapur, semen, pasir, dan kerikil pada volume penyusutan dan konduktivitas hidrolik dari tanah lempung mengindikasikan bahwa penyusutan tanah berkurang, tetapi konduktivitas hidrolik meningkat dalam beberapa kasus. Bahan-bahan ini adalah lebih berat daripada tanah lempung (Soltani, Leung M, dkk, 2010).

Saat ini ada beberapa kemungkinan dalam penggunaan bahan lain untuk meningkatkan kinerja tanah lempung sebagai hambatan hidrolik pada landfill. Freitag DR (1986), mempelajari effect dari serat pada kekuatan dari tanah residual kapur yang dipadatkan dengan menggunakan 3 serat yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekuatan meningkat sekitar 25% dan jenis serat yang digunakan tidak memberi pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan tanah. Maher dan Ho (1994), mempelajari efek dari serat pada konduktivitas hidrolik dari kaolinit-serat komposit. Pengaruh serat dapat menurunkan konduktivitas hidrolik dari komposit dan penurunan tersebut terjadi pada kondisi kandungan serat yang lebih tinggi (hingga 4% dari berat total). Terlepas dari penurunan tersebut, konduktivitas hidrolik komposit masih cukup tinggi untuk dipertimbangkan sebagai lapisan penutup landfill.

Penelitian terakhir telah menunjukkan bahwa penambahan serat dalam tanah dapat meningkatkan kekuatan geser maksimum dari tanah dan dapat mengurangi kehilangan kekuatan geser setelahnya. Peningkatan kekuatan geser tanah akibat penambahan serat biasanya diukur oleh peningkatan dari sudut geser dan kohesi. Haryanto dkk. (2008), menunjukan bahwa Intensitas keretakan berkurang dengan adanya serat. Namun, dibandingkan dengan perilaku mekanik dan kekuatan tanah tidak signifikan, informasi terkini terkait dengan perilaku retak tanah yang diperkuat serat relatif terbatas. Studi kuantitatif diperlukan untuk pemahaman yang lebih baik rentang keretakan dan peningkatan karakteristik dari serat perkuatan tanah.

Sebuah tinjauan umum penelitian sebelumnya mengungkapkan bahwa hampir semua penelitian hanya mengevaluasi effect dari serat sintetis pada perilaku lempung, dan banyak penelitian sebelumnya meninggalkan pertanyaan bagaimana mengatasi tentang dilema peningkatan kekuatan

tanah pada lempung yang diperkuat serat yang sekaligus diikuti penurunan hidrolik konduktivitas pada tanah.

Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki kinerja lempung dengan perkuatan serat alami (serat buah tandang kelapa sawit). Serangkaian tes akan dilakukan untuk melihat kinerja lempung, karakteristik lempung akan dianalisis secara makro dan mikro. Intensitas keretakan akibat siklus pembasahan dan pengeringan akan ditinjau, Efek dari prosentase serat akan dipelajari, kinerja lapisan lempung dengan perkuatan serat tandang buah kelapa sawit akan diteliti.

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam pengertian teknis secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel partikel padat tersebut (M. Das, 1985). Sedangkan dari disiplin ilmu teknik sipil (Mekanika Tanah), tanah dapat berfungsi sebagai bahan konstruksi maupun sebagai media (tempat) membangun konstruksi bangunan-bangunan sipil (Wesley, 1975).

a. Perilaku Tanah Perkuatan Serat Pada Siklus Basah Kering

Penggunaan tanah kohesif yang dipadatkan dengan konduktivitas hidrolik rendah biasanya digunakan sebagai lapis penutup landfill maupun lapisan dasar (*liners*). Proses basah kering adalah proses alami yang terjadi di negara-negara dengan iklim tropis seperti Indonesia. Proses basah kering ini disebabkan musim yang umum terjadi di Indonesia yaitu musim kemarau ditandai dengan intensitas hujan yang rendah dan musim hujan yang ditandai dengan intensitas hujan yang tinggi. Proses basah kering dapat yang diakibatkan iklim tersebut dapat menyebabkan pengembangan tanah kohesif pada musim hujan akibat air permukaan dan dapat menyebabkan penyusutan dan keretakan yang disebabkan musim kemarau. Hal ini dapat mengakibatkan menurunnya kinerja lapis penutup landfill sebagai sistem penutup. Proses pengeringan liners tanah lempung merupakan faktor utama yang mempengaruhi kinerja landfill. Proses pengeringan akan menyebabkan pada berkembangnya retak akibat penyusutan tanah. Keretakan akan menyediakan jalur untuk air permukaan untuk migrasi ke dalam sel landfill yang dapat

meningkatkan generasi limbah lindi, dan akhirnya meningkatkan potensi kontaminasi tanah dan air tanah (Miller et al. 1998).

Keretakan akibat proses pengeringan juga dapat membentuk macrospores. Fenomena ini penting dalam aplikasi lingkungan karena dampaknya pada air tanah. Berbagai upaya penelitian telah berusaha untuk mengatasi masalah pengeringan retak pada sistem penutup landfill.

Dalam penelitian ini, studi ini dilakukan untuk menyelidiki pengaruh serat alami di tanah kalukubula yang dipadatkan berpotensi digunakan sebagai bahan untuk sistem lapis penutup akhir landfill. Tes laboratorium dilakukan untuk menyelidiki efek dari serat alami pada swelling pada siklus pembasahan dan retak dan penyusutan volume pada siklus pengeringan tanah lempung kalukubula.

b. Siklus Pengeringan dan Pembasahan Tanah

Siklus pengeringan Tanah yang dipadatkan pada lapisan penutup landfill adalah kondisi yang harus dilewati setiap tahunnya, terutama pada musim kemarau. Lapisan penutup (liners) tanah yang dipadatkan telah digunakan selama bertahun-tahun sebagai rekayasa hambatan hidrolik untuk fasilitas landfill. Beberapa sistem penutup mengandung liners tunggal yang dipadatkan, tetapi yang lain mungkin berisi dua atau lebih liners. Masalah utama yang dihadapi sistem penutup landfill adalah selalu terkena kondisi cuaca yang berubah karena terletak dekat lingkungan atmosfer. Hal ini akan menyebabkan lapisan penutup tanah yang dipadatkan umumnya mengalami perilaku susut di bawah kondisi pengeringan dan mengembang pada kondisi pembasahan. Prilaku retak karena penyusutan yang berlebihan selama proses pengeringan dan pengembangan pada proses pembasahan akan sangat beresiko terhadap menurunnya kinerja lapisan.

Prilaku retak pengeringan tanah yang dipadatkan adalah masalah yang dihadapi di banyak disiplin rekayasa, termasuk geoteknik dan geoenvironmental. Masalah terkait dengan retak pengeringan dalam tanah termasuk pengembangan tanah pada pembasahan dan pelembutan tanah (softening) sebagai akibat dari air yang masuk struktur tanah (Mitchell 1993).

Bosscher dan Connell (1988) menunjukkan bahwa jointing di tanah lempung kering memiliki pengaruh yang signifikan terhadap konduktivitas hidrolik, kekuatan geser, kompresibilitas, dan stabilitas kemiringan tanah yang digunakan. Albrecht dan Benson (2001) menunjukkan bahwa karena pengeringan retak, maka hidrolik

konduktivitas tanah meningkat sekitar tiga kali lipat. Omid et al. (1996) menyelidiki hubungan antara penyusutan volumetrik dan konduktivitas hidrolik tanah dipadatkan. Mereka menyimpulkan bahwa hanya tanah dengan penyusutan regangan volumetrik kurang dari 11% harus digunakan untuk pembangunan liners untuk menghindari peningkatan yang signifikan terhadap nilai konduktivitas hidrolik.

Pengamatan perilaku retak liners dipadatkan di lapangan telah disajikan dalam berbagai penelitian. Basnett dan Brungard (1992) mengamati retakan pengeringan di sisi lereng liner tanah lempung selama proses konstruksi landfill. Keretakan dengan celah 13-25 mm lebar dan kedalaman 0,3 m. Miller dan Mishra (1989) mengamati pengeringan retak selama investigasi lapangan mereka terhadap landfill liners. Keretakan melebihi 10 mm lebar dan beberapa mencapai kedalaman (0,3 m) dari lapisan tanah lempung yang dipadatkan. Montgomery dan Parsons (1989) mengamati pengeringan retak selama 3 tahun, Ketebalan 0,2-0,25 m dari lempung yang dipadatkan telah menjadi kering, dengan lebar retak melebihi 13 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beberapa retakan dapat menembus ke seluruh ketebalan tanah yang dipadatkan.

Prilaku pengembangan pada tanah pada proses pembasahan yang diakibatkan cuaca basah (musim hujan) adalah suatu siklus yang terjadi pada lapisan penutup landfill sepanjang tahun. Terlebih di Indonesia di daerah tertentu mengalami musim hujan yang panjang dengan intensitas hujan yang tinggi.

c. Uji Keretakan Tanah

Untuk menentukan karakteristik retak tanah-serat yang dipadatkan dengan diameter 250 mm dan tinggi 100 mm dengan kondisi kepadatan kering maksimum, proses pembasahan dilakukan sebanyak 4 kali siklus dan pengeringan 4 kali siklus. Proses pembasahan dilakukan sampai kondisi tanah jenuh, kemudian dikeringkan dalam rentang waktu 2,5 hari, 5 hari, 10 hari dan 20 hari. Garis geometris celah-celah permukaan sampel dipantau pada akhir proses pengeringan dengan menggunakan gambar digital dari permukaan spesimen. Daerah retak pada permukaan spesimen digunakan untuk menentukan faktor intensitas retak (CIF) dalam spesimen retak. CIF adalah sebagai persentase dari daerah retak dengan luas permukaan total sampel. Selain itu, faktor reduksi retak (CR) dihitung untuk membuat perbandingan antara campuran tanah-serat. Nilai-nilai CIF dan CR faktor dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$CIF = \frac{A_c}{A_t} \times 100 \quad (1)$$

$$CR = \left[\frac{(CIF_n - CIF_f)}{CIF_n} \right] \times 100 \quad (2)$$

Dimana:

CR = Crack reduction

A_c = Luas area keretakan,

A_t = Luas area Sampel,

CIF = Crack intensity factor

CIF_n = Crack intensity factor untuk tanah asli tanpa perkuatan

CIF_f = Crack intensity factor untuk tanah dengan perkuatan

d. Perilaku Keretakan Pada Tanah Diperkuat Serat

Konsep penguatan tanah dengan serat alami dalam proyek geoteknik awalnya melibatkan penggunaan akar tanaman sebagai penguat. Kebanyakan peneliti melaporkan bahwa akar tanaman meningkatkan kekuatan geser tanah dan stabilitas lereng alami (Fan dan Su, 2008; Prandini et al, 1977; Wu et al, 1979). Dengan pengembangan penggunaan serat polimer sejak akhir 1980-an, triaksial compression test, *Unconfined compression test* dan tes geser langsung telah dilakukan untuk mempelajari pengaruh dari perkuatan dengan serat sintetik pada kekuatan geser tanah. Selain itu penguatan serat sebelumnya digunakan untuk memperbaiki struktur jalan. Perkuatan tanah dasar dengan serat (serat sabut dan serat sintesis) memiliki efektivitas pada kekuatan tekan bebas dari tanah pasir kelanauan (Chauhan et al. , 2008).

Luasnya penggunaan perkuatan dalam meningkatkan kinerja tanah menyebabkan perhatian terhadap sumber daya baru. Seperti serat polimer biasanya digunakan sebagai penguat seperti *woven* dan *nonwoven* geotekstil atau geogrid, baru-baru ini beberapa penelitian telah dipelajari dengan menggunakan serat diskrit, secara acak didistribusikan dalam massa tanah. Serat polimer dan serat alami adalah dua sumber serat utama yang telah digunakan untuk memperkuat tanah. Sumber daya alam banyak digunakan karena biaya yang lebih efektif dan ramah lingkungan sehingga bisa menjadi bahan yang baik untuk perbaikan struktur tanah (Prabakar dan Sridhar, 2002). Serat-serat selulosa yang berasal dari berbagai sumber terbarukan dan memiliki banyak sifat yang diinginkan untuk penguatan seperti kepadatan rendah, kekakuan tinggi dan biaya rendah (Jacob et al, 2004).

Omid Azadegan, (2012), melakukan penelitian untuk menguji pengaruh potensi pengembangan dan penyusutan tanah yang diperkuat serat kelapa sawit, menunjukkan bahwa penambahan serat pada tanah tidak memperbaiki potensi pengembangan pada tanah, bahwa semakin besar prosentase serat ditambahkan pada tanah semakin besar terjadi perubahan volume tanah akibat dari penyerapan air yang lebih besar karena meningkatnya permeabilitas tanah. Pada uji potensi penyusutan, dengan penambahan serat memberi kontribusi pada berkurang patahan (cracks) dari dalam, maupun secara horisontal maupun vertikal akibat peningkatan dari prosentase serat. Kuat tekan, modulus elastis dan regangan batas meningkat ketika prosentase serat ditambahkan pada tanah.

Perkuatan serat juga telah digunakan untuk stabilisasi tanah ekspansif (Puppala dan Musenda, 2000; Viswanadham et al, 2008.). Serat telah ditemukan dapat mengurangi potensi penyusutan (*shrinkage*) dan pengembangan dari tanah lempung ekspansif. Penggunaan serat juga telah dilaporkan dapat meningkatkan potensi ketahanan dari tanah terhadap pengembangan (*swelling*).

Fletcher dan Humphries (1991) melaporkan hasil tes pemadatan terhadap spesimen tanah lanau berlempung yang diperkuat dengan serat. Disimpulkan bahwa kehadiran serat menurunkan kemampuan tanah untuk menjadi padat. Berbeda dengan kasus pasir berkerikil dilaporkan oleh Hoare (1979), hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan kadar serat menyebabkan sedikit peningkatan dalam satuan berat kering maksimum. Kadar air optimum ditemukan menurun dengan meningkatnya kadar serat. Peneliti lain (AlWahab dan Al - Qurna, 1995; Nataraj dan McManis, 1997; Prabakar dan Sridhar, 2002) melaporkan hasil yang sama. Hasil uji pemadatan pada serat sawit untuk perkuatan pasir lanau menunjukkan penurunan kepadatan kering maksimum dan kadar air optimum meningkat dengan meningkatnya kadar serat (Marandi et al., 2008).

Fauziah Ahmad, Farshid Bateni dan Mastura Azmi (2009) melakukan percobaan perkuatan lanau kepasiran dengan serat tandang buah kosong kelapa sawit. Test Triaxial compression dilakukan untuk mengevaluasi kekuatan tanah lanau kepasiran yang diperkuat serat tandang buah kosong kelapa sawit. Terjadi kenaikan kekuatan geser tanah yang diperkuat serat dalam uji kondisi drained maupun undrained dengan prosentase serat sebesar 0.25% and 0.5% dengan panjang serat yang berbeda yaitu 15mm, 30mm and 45mm. Untuk serat yang dilapisi acrylic butadiene styrene (ABS) thermoplastic menunjukkan bahwa serat meningkatkan kekuatan

geser secara signifikan dibanding yang tidak dilapisi ABS. Fiber yang dilapisi ABS meningkatkan kekuatan gaya geser permukaan antara serat dan partikel tanah.

Try Harianto, (2008) Melakukan pengujian dengan menggunakan serat polypropylene pada tanah lempung guna melihat potensi perbaikan tanah terhadap perilaku keretakan. Bahwa Faktor intensitas Keretakan (*Crack Intensity Factor* (CIF)) tanah tanpa serat aditif jauh lebih besar dari tanah dengan serat aditif. Perilaku retak signifikan dipengaruhi oleh perubahan kadar air dalam tanah untuk kandungan fiber (FC = 0%). Nilai CIF yang diamati untuk tanah dengan serat aditif untuk FC = 0,6% dan 0,8% adalah nol, hal ini menunjukkan bahwa faktor fiber secara efektif mengurangi perilaku retakan. sejumlah kecil retakan ditemukan untuk FC 0,2%, 0,4%, 1,0%, dan 1,2%

Chao-Sheng Tang, dkk (2012) Peningkatan ketahanan retak tanah lempung dengan penguat serat diselidiki menggunakan spesimen tanah yang diperkuat serat. Teknik pengolahan citra digunakan untuk menggambarkan pengaruh penambahan serat secara kuantitatif pada karakteristik geometris dan morfologi dari pola retak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perilaku retak pada siklus pengeringan tanah secara signifikan dipengaruhi oleh serat. Intensitas keretakan berkurang secara signifikan dan jumlah retak kering secara signifikan berkurang dengan penambahan serat. Umumnya, rasio retak permukaan (Jumlah retak permukaan dibagi luas total permukaan), rata-rata panjang dan lebar retak, dan retak jaringan menurun dengan meningkatnya kandungan serat. Selama perambatan retak, rasio retak permukaan meningkat dengan menurunnya kadar air dan akhirnya mencapai stabilisasi. Perbandingan antara rasio retak permukaan spesimen tanah alami dengan spesimen tanah yang diperkuat serat menunjukkan bahwa tanah alami itu selalu lebih tinggi daripada yang diperkuat serat. Panjang serat ditemukan memiliki efek signifikan pada perilaku retak kering tanah.

Perkuatan serat juga telah digunakan untuk stabilisasi tanah ekspansif (Puppala dan Musenda, 2000; Viswanadham et al, 2008.). Serat telah ditemukan dapat mengurangi potensi penyusutan (*shrinkage*) dan pengembangan dari tanah lempung ekspansif. Penggunaan serat juga telah dilaporkan dapat meningkatkan potensi ketahanan dari tanah terhadap pengembangan (*swelling*).

Zalipah Jamellodin, dkk.,(2010),melakukan percobaan perkuatan tanah lunak dengan mencampur empat persentase yang berbeda dari serat kelapa sawit yaitu: 0,25%, 0,5%, 0,75% dan 1% dari berat tanah. Penyelidikan meliputi efek dari

serat kelapa sawit dalam tanah pada percobaan pemadatan dan perilaku kekuatan geser. Hasil percobaan menunjukkan terjadi peningkatan yang signifikan dalam kegagalan runtuh dan parameter kekuatan geser (C dan Φ) dari tanah yang diteliti. Hal ini menunjukkan bahwa serat bertindak untuk mengunci partikel tanah dan kelompok partikel dalam matriks kesatuan sehingga meningkatkan sifat kekuatan tanah. Ketika tanah diperkuat dengan serat kelapa sawit, hal ini dapat mengurangi kepadatan kering tanah karena gravitasi dan berat isi serat kelapa sawit rendah. Kadar air optimum juga menurun akibat kenaikan dari prosentase serat kelapa sawit. Tegangan geser tanah diperkuat serat meningkat karena penambahan serat kelapa sawit.

Maier dan Ho (1994) mempelajari efek dari serat pada konduktivitas hidrolik dari kaolinit-serat komposit. Pengaruh serat dapat meningkatkan konduktivitas hidrolik dari komposit dan peningkatan tersebut lebih kelihatan pada kandungan serat yang lebih tinggi (hingga 4 % dari berat total). Terlepas dari peningkatan tersebut, konduktivitas hidrolik komposit masih cukup rendah untuk dipertimbangkan untuk beberapa aplikasi TPA (landfill) dan dapat diterima untuk memenuhi persyaratan untuk desain TPA.

Kumar et al. (2006) mempelajari pengaruh kandungan serat untuk meningkatkan daya dukung tanah lempung kompresif. Serangkaian tes tekan bebas dilakukan pada serat poliester polos dan berkerut yang didistribusikan secara acak. Kuat tekan bebas tanah lempung meningkat dengan penambahan serat dan lebih meningkat lagi ketika serat dicampur dalam campuran tanah lempung berpasir. Akbulut et al. (2007) mengevaluasi penggunaan bahan serat limbah seperti karet ban bekas, polyethylene, polypropylene dan serat untuk modifikasi tanah lempung di dalam uji tekan bebas, kotak geser, dan tes frekuensi resonansi. Serat limbah meningkatkan sifat kekuatan dan perilaku dinamis dari tanah lempung.

Scanning Electron Microscopy (SEM) digunakan untuk mempelajari struktur mikro dan morfologi permukaan tanah dan serat selulosa yang tidak dirawat (Sreekala et al., 1997). Maier dan Ho (1994) melakukan serangkaian tes tekan bebas di laboratorium, *splitting tension*, *three-point-bending*, dan tes konduktivitas hidrolik pada tanah lempung kaolinit diperkuat dengan serat, dan melaporkan bahwa serat yang didistribusikan secara acak dapat meningkatkan puncak kuat tekan bebas, keuletan, kuat tarik belah (*splitting tensile strength*) dan kekuatan lentur (*flexural toughness*) dari lempung kaolinit. Kontribusi dari perkuatan dengan serat

ditemukan lebih signifikan untuk spesimen dengan kadar air yang lebih rendah.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang akan dilaksanakan ini dapat dikategorikan sebagai bentuk penelitian eksperimental di laboratorium yang dapat didefinisikan sebagai sebuah pendekatan keilmuan dan sistematis dimana benda uji dan model uji di laboratorium diperiksa, diberi perlakuan, diamati, dikaji dan akhirnya dirangkum menjadi menjadi suatu kesimpulan penelitian tentang fenomena dan sasaran yang ingin dicapai.

1. Material Serat Tandang Buah Kelapa Sawit

Serat Yang digunakan dalam Program Pengujian Eksperimen adalah Serat kelapa sawit digunakan untuk memperkuat tanah yang tersedia di



Gambar 1. (a) Tandang Buah, (b) Serat Tandang Buah, (c). Serat Hasil Retting

pabrik-pabrik kelapa sawit yang dihasilkan dari tandang buah pada pabrik kelapa sawit. **Gambar 1a** menunjukkan tandang buah kosong. Serat tandang buah kosong sawit ditunjukkan pada **Gambar 1b** diekstraksi dengan proses retting pada tandang buah kosong tersebut dan **1c** Serat dipotong sesuai panjang yang diperlukan yaitu 15 mm untuk dicampur dengan massa tanah.

2. Material Tanah Lempung

Material tanah yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah sampel tanah lempung yang diambil dari Desa Kalukubula yang terletak di sebelah selatan dari Kota Palu. Tanah Lempung Kalukubula digunakan

a. Pengujian Kinerja Serat

Sampel tanah diambil dengan menggunakan mesin uji tarik Instron 3367 pada suhu kamar (25 ± 2). Serat yang dipasang dan diuji sesuai dengan ASTM C1557 - 03 (ASTM, 2007) standar dengan loading rate dari 1 mm/menit dan panjang ukuran dari 50 mm.



Gambar 2. Foto Uji Tarik Serat dengan Computer Material Testing Machine

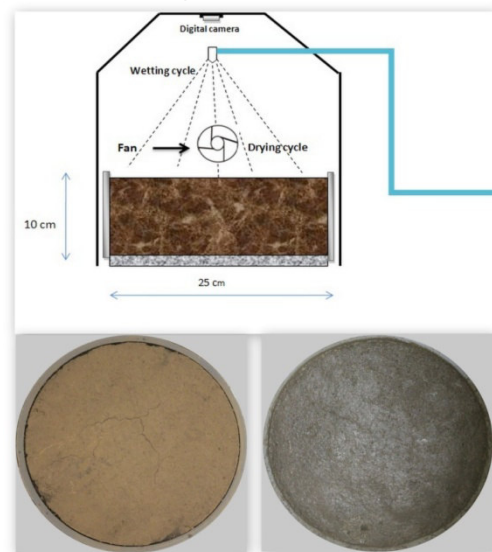
b. Pengujian Morfologi Serat

Scanning Electron Microscope (SEM), Energy Dispersive Spectroscopy (EDS, The X-ray Diffraction (XRD).

c. Pengujian Sifat Fisis dan Mekanik

Pemeriksaan Laboratorium menggunakan alat uji dengan standar ASTM. Adapun alat dan pengujian yang dilakukan:

- d. Uji siklus basah kering untuk mengetahui tingkat potensi swelling dan keretakan tanah. Adapun alat yang dipakai berupa kolom setinggi 10cm dan lebar 25 cm (**gambar 3**)



Gambar 3. Skema alat pengujian keretakan dan pengembangan

Prosedur Pengujian

Tes pengeringan crack, spesimen tanah disiapkan dengan 25 cm dan diameter 10 cm. Setup eksperimental terdiri dari cetakan tanah, sistem pengeringan (fan), kamera seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3**. Tanah yang digunakan dalam penelitian ini dipadatkan dalam cetakan di bawah kondisi berat kering maksimum dan kadar air optimum (OMC). Setelah dilakukan pemadatan sampel tanah diukur dan timbang ketebalan serta beratnya. Proses pembasahan dimulai dengan

melakukan pembasahan secara perlahan-lahan sampai ketinggian air dalam kolam melebihi dari ketinggian sampel tanah yaitu 10 cm. Di bawah kolom sampel ditutup dengan plastik wrapping dan lakban yang tidak tembus air agar air tidak masuk dari dasar sampel. Hanya air dari permukaan yang memberikan pengaruh pada pengembangan tanah. Beberapa kipas dipasang secara vertikal untuk mensimulasikan kondisi angin di permukaan tanah dan untuk meningkatkan tingkat udara pengeringan di bawah kondisi ruangan ($27 \pm 2^\circ\text{C}$). Sebuah kamera dipasang 50 cm di atas cetakan untuk merekam gambar secara berkala dari permukaan sampel.

Proses pembasahan dan pengeringan ini berlangsung selama 4 kali proses pembasahan. Proses pembasahan dilakukan sampai kondisi tanah jenuh, penjenruhan ini dilakukan dengan cara penyiraman secara perlahan-lahan dimana tidak merusak struktur permukaan tanah. Penyiraman dihentikan ketika sudah tidak terjadi lagi perubahan kadar air tanah. Proses pengeringan dilakukan secara bertahap sampai 4 kali. Proses pengeringan dilakukan setelah proses pembasahan telah selesai dilakukan. Setiap akhir proses pembasahan dan pengeringan dilakukan pengukuran pengembangan pada proses pembasahan, dan pengukuran penyusutan serta keretakan pada akhir proses pengeringan.

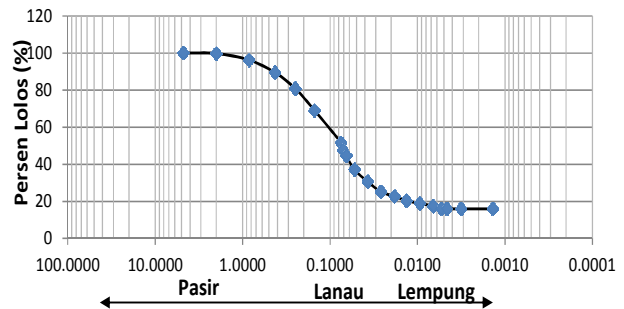
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 Hasil Pengujian Properties Tanah Asli

Propertis Tanah Asli	Satuan	Hasil
Klasifikasi (UCS)		CL
Distribusi Ukuran Butir*		
Sand	%	48,4
Silty	%	32,6
Clay	%	19
GS		2,68
LL	%	33,48
PL	%	19,51
PI	%	13,97
Shrinkage Limit	%	21,61
γ_d	(gr/cm^3)	1,975
w_{opt}	%	11,10
Porosity (n)	%	42,94
Degree Of Saturation	%	47,54
Tingkat Ekspansifitas**	%	sedang

*) Berdasarkan klasifikasi tanah sistem USCS

**) berdasarkan nilai PI dan IP klasifikasi Chen dan Gibbs



Gambar 4. Distribusi Ukuran Butiran Tanah Asli

Dari tampilan distribusi ukuran partikel tanah di atas dapat dilihat bahwa secara kuantitatif fraksi pasir (*sand*) mendominasi proporsi dari sampel tanah ini sebanyak 48,4%, disusul oleh lanau (*silt*) sebanyak 32,6% dan fraksi lempung (*clay*) sebesar 19,0%. Sehingga sampel tanah ini dapat dikatakan sebagai pasir lanau yang mengandung fraksi lempung. Karena deposit tanah mengandung lebih dari 50% partikel-partikel berukuran $< 0,002$ mm atau deposit lanau yang dominan dengan kandungan lempung dari 10% sampai 25%, maka material tersebut digolongkan sebagai lempung (Bowles, 1993).

Hasil pengujian batas-batas Atterberg diperoleh nilai batas cair (LL) = 33,48% dan indeks plastisitas (PI) = 13,97%. Klasifikasi tanah menurut sistem Unified Soil Classification System (USCS) menggolongkan jenis tanah tersebut sebagai CL (Lempung dengan plastisitas rendah).

Pengujian untuk mengetahui sifat-sifat indeks tanah hanya sampai pada mendapatkan besaran-besaran parameter fisik tanah, kemudian dengan nilai-nilai tersebut dibuatlah prakiraan karakteristik tanah secara empiris dan tidak langsung dengan mengacu pada hasil-hasil temuan studi. Penelitian dan pengalaman yang pernah dilakukan sebelumnya pada jenis tanah lain yang serupa atau mempunyai kemiripan dengan sampel tanah yang di uji. Pemahaman yang lebih mendalam bisa diperoleh dengan mengeksplorasi komponen-komponen mikro pendukung tanah tersebut lebih jauh, yang dalam konteks tanah berbutir halus (lanau dan lempung) adalah dengan mengetahui jenis dan kuantitas mineral-mineral yang terkandung di dalamnya.

Pengindraan terhadap komponen mikro atau mineral-mineral yang terkandung di dalam tanah berbutir halus dapat diidentifikasi dengan menggunakan X-Ray Diffractometer (XRD Metode). Hasil pengujian difraksi sinar-X untuk setiap benda uji akan menghasilkan suatu grafik yang menggambarkan hubungan antara besaran intensitas (counts) dengan besarnya 2 kali sudut difraksi (2θ) yang dikenakan pada setiap sampel

tanah. Panjang gelombang gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh sinar-X dan ordenya sama dengan jarak bidang atom dalam kristal yaitu berkisar antara 0,5 – 2,4 Amstrong, oleh sebab itu sinar-X mampu menganalisis struktur kristal dan mengidentifikasi mineral tanah yang berbentuk kristal (Sutarno di dalam Fathurrahmi, 2013). Dari grafik hasil pembacaan difraksi tersebut dapat diidentifikasi mineral yang terkandung dalam tanah, baik mineral lempung maupun mineral bukan lempung.

Hasil pengujian x-Ray Diffraction yang dilakukan terhadap sampel tanah asli berupa hubungan antara intensitas dan sudut difraksi (2θ) dapat dilihat pada tabel 2 di bawah.

Tabel 2 Kandungan mineral dan bukan mineral lempung

Jenis Kandungan	Formulasi Kimia	Konten (%)
Quartz, low HP, syn	SiO_2	67
Magnetite, syn	Fe_3O_4	1.5
Hematite, syn	Fe_2O_3	2.2
Rutile, syn	TiO_2	2.4
Albite	$\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$	17
Anorthite	$\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$	10

Umumnya pada tanah lempung natural mengandung lebih dari satu tipe mineral, baik mineral lempung, mineral bukan lempung, atau bahan organik dan inorganik lainnya. Hingga saat ini belum ada satupun hasil studi yang dapat menjelaskan secara gamblang mengenai bagaimana pengaruh dan interaksi dari masing-masing tipe mineral secara individu terhadap perilaku tanah, namun bagaimanapun juga informasi tentang komposisi dan proporsi mineral ini penting untuk memberikan pemahaman yang komprehensif dan digunakan sebagai acuan dalam mendeskripsikan perilaku tanah secara kualitatif dan empiris.

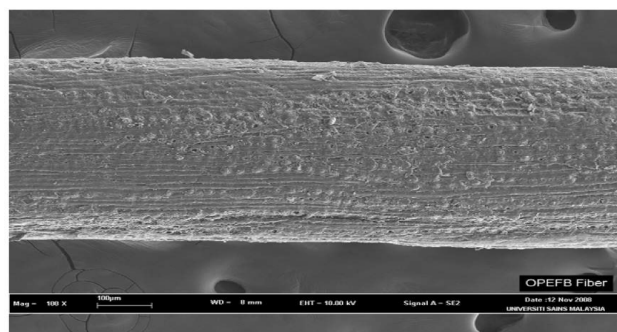
Hasil pengujian x-Ray Diffraction menunjukkan bahwa jenis mineral yang terkandung dalam sampel tanah yang diuji didominasi oleh mineral quartz atau silika (SiO_2) 67%, natrium dengan senyawa alumina (AlSi_3O_8) sebesar 17% dan senyawa alumina ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) 10%, sebagian kecil mineral logam misalnya (Fe_2O_3) = 2,2%. Dari komposisi mineral ini silika dan alumina tidak mempunyai sifat mengikat (Mitchell, J. K. 1993), maka apabila distabilisasi dengan bahan pozzolan seperti semen atau fly ash mineral ini akan bereaksi dengan air, membentuk senyawa CSH dan CAH, sehingga menjadi bahan pozzolan yang memiliki sifat sementasi. Menurut ASTM C618-92a ada tiga kelas N, F dan C, adalah mineral yang memiliki kualitas

pozzolan baik ketika $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 70\%$. Berdasarkan karakteristik di atas, maka sifat fisik dan kandungan senyawa kimia hasil uji tanah diperoleh spektrum seperti yang ditunjukkan pada tabel 10. Senyawa kimia dalam tanah untuk penelitian seperti yang ditunjukkan pada Tabel 10 menunjukkan bahwa senyawa kimia yang terkandung adalah didominasi $\text{SiO}_2 = 67\%$ dan $\text{AlSi}_3\text{O}_8 = 17\%$ serta $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8 = 10\%$.

a. Karakteristik Serat Tandang Buah Sawit

Uji properties serat mencakup uji kuat tarik serat dan uji pertambahan panjang. Uji dilakukan dengan serat tunggal. Adapun hasil pengujian tersebut disajikan pada **tabel 3** di bawah. Hasil pengujian kuat tarik serat adalah untuk pengukuran serat tunggal dengan diameter serat yaitu 20-40 mm dan panjang serat yang digunakan 30 mm. Adapun hasil pengujian kuat tarik serat berada di kisaran 2,5–3,5 kgf/mm. Atau 24,52–34,32 Mpa. Sementara untuk pengukuran pertambahan panjang serat berada pada 6,4%.

Hasil foto SEM Permukaan Serat Tandang Buah Kosong Kelapa Sawit diperlihatkan pada **gambar 5** di bawah. Gambar menunjukkan permukaan serat agak kasar dengan nilai *Microfibrillar angle* mencapai 46° . Hal ini juga menunjukkan juga komposisi kimia serat yang didominasi oleh *Cellulose* sampai 65%.



Gambar 5 Foto SEM Permukaan Serat Tandang Buah Kosong Kelapa Sawit
(sumber Ahmad F, 2010 with permission).

Tingkat Daya Serap Air Serat

Pengujian daya serap air pada serat ini dilakukan untuk mengetahui potensi untuk terjadinya penambahan kadar air pada serat yang juga akan mempengaruhi kadar air pada massa tanah apabila dicampur dengan serat. Sehingga apabila diketahui tingkat daya serap air pada serat, maka bisa mempengaruhi tingkat kepadatan tanah maupun potensi pengembangan dan penyusutan tanah pada pengujian mekanis.

Adapun hasil dari pengujian properties yang dilakukan pada serat ditampilkan pada **tabel 3** di bawah.

Tabel 3 Properties Serat Tandang Buah Kelapa Sawit

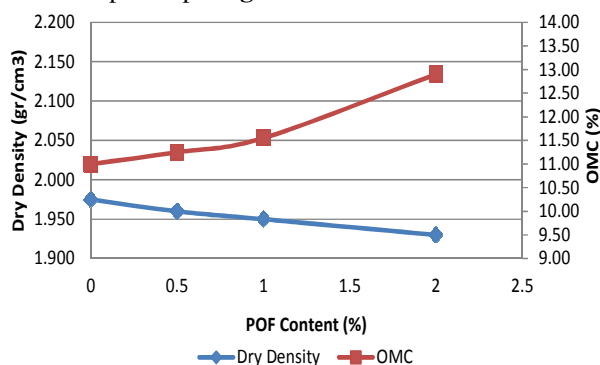
Physical properties of palm Oil fibre	
Diameter (mm)	0.20-0.50
Density (g/mm ³)	0.7-1.55
Tensile strength (Mpa)	24,52 – 34,32
Elongation at break (%)	6,5
Microfibrillar angle (°)	46
Water Absorption (%)	20-30
Chemical Composition of Palm Oil fibre*	
Chemical constituents (%)	
Cellulose	65
Hemi cellulose	-
Lignin	19
Ash content	2

Sumber: Ahmad F, (2010).

A. Kinerja Perkuatan Tanah Lunak Dengan Serat

1. Hasil Uji Proctor Standart

Untuk pengaruh penambahan serat terhadap kepadatan kering tanah dan kadar air optimum ditampilkan pada **gambar 6**.



Gambar 6. Perubahan Berat Isi Kering Maksimum dan Kadar air Optimum terhadap Penambahan Serat Kelapa Sawit (*Palm Oil Fiber* (POF))

Penambahan serat tandang buah sawit dari 0,5%, 1,0% dan 2 % tidak memberi pengaruh yang besar terhadap perubahan nilai kepadatan kering maksimum maupun kadar optimum tanah. Hasil memperlihatkan bahwa kadar optimum cenderung bertambah dengan peningkatan prosentase serat. Kenaikan kadar air konsisten sekitar 5% pada setiap penambahan serat dari 0,5% sampai 2%. Sementara tingkat kepadatan cenderung menurun terhadap penambahan serat sampai dengan 2%. Hal ini kemungkinan disebabkan antara lain sifat serat alami yang bersifat menyerap air yaitu sekitar 20 sampai dengan 30% (**tabel 3**), hal ini diperkirakan faktor utama yang menyebabkan tingkat kepadatan cenderung menurun dan kadar air meningkat. Selain itu ada faktor lain yang diperkirakan ikut mempengaruhi hal ini yaitu

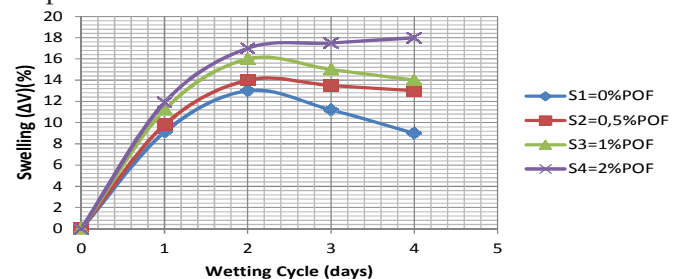
dimana nilai berat jenis maupun kepadatan serat yang lebih kecil dari pada tanah. Dari **gambar 6** dapat disimpulkan bahwa pengaruh perubahan kepadatan kering maksimum terhadap penambahan serat pada tanah lunak menunjukan bahwa penambahan serat alami cenderung dapat menurunkan tingkat kepadatan kering tanah serta dapat menaikkan kadar air optimum tanah. Fenomena ini berbanding terbalik dengan penelitian yang dilakukan dengan menggunakan serat sintetik yang dilakukan beberapa penelitian sebelumnya yaitu antara lain (Chao-Sheng Tang, dkk, 2012., Harianto, T., Hayashi, S., Du, Y.J., and Suetsugu, D. (2007)., Kumar A, Walia, Bajaj A. 2007., dan Puppala A, Musenda, 2000., Rao, G.V,dkk, (2000).

2. Uji Model Siklus Basah Kering

Uji model ini dilakukan untuk meneliti perubahan perilaku kembang susut dan intensitas keretakan tanah yang diperkuatan serat yang dipadatkan terhadap proses basah kering berulang. Pegujian model untuk meneliti perubahan perilaku tanah yang diperkuatan serat yang dipadatkan terhadap proses basah kering berulang disajikan pada **Gambar 3**. Test potensi keretakan akan dilakukan dengan proses pengeringan 2,5 hari, 5 hari, 10 hari dan 20 hari. serta 4 kali proses pembasahan dengan ketentuan tanah sampai pada kondisi jenuh air. Perubahan volume tanah di ukur pada saat akhir siklus pembasahan maupun siklus pengeringan. Volume cracking baik horisontal maupun vertikal di ukur pada saat akhir proses pengeringan

3. Hasil Siklus pembasahan

Proses pembasahan tanah-serat ditampilkan pada **gambar 7**. Pada siklus pembasahan ini diukur ketinggian kenaikan tanah dari ketinggian awal dan juga ditimbang berat pada akhir siklus pembasahan.



Gambar 7. Volume Pengembangan Tanah-serat Vs Siklus Pembasahan

Pengembangan volume tanah (*swelling*) pada semua sampel tanah cenderung meningkat untuk proses pembasahan berulang. Kecenderungan

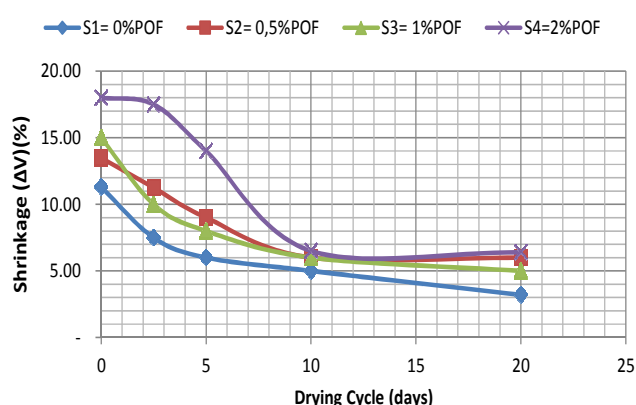
perubahan pengembangan ini hanya terjadi pada proses pembasahan ke-2, kemudian proses pembasahan berikutnya yaitu ke-3 dan ke-4 cenderung stabil dan sedikit menurun.

Potensi pengembangan yang terjadi pada **gambar 7** memperlihatkan bahwa serat dapat mempengaruhi potensi pengembangan tanah asli. Pengembangan tanah asli yang terjadi akibat penambahan serat dari 0,5%, 1% sampai 2% mencapai 18% diakhir proses siklus pembasahan ke-3. Proses pengembangan ini cenderung menurun pada siklus pembasahan ke-4.

Prilaku pengembangan tanah yang terjadi terhadap penambahan serat alami ini terjadi karena sifat serat alami tandang buah sawit dengan prosentase kandungan senyawa selulosa dan lignin yang dominan akan cenderung mempunyai daya serap air yang tinggi. Dimana hasil pengujian daya serap air menunjukkan tingkat daya serap air serat tandang buah kelapa sawit mencapai 20% sampai dengan 30% dari berat serat (**tabel 3**).

4. Hasil Siklus Pengeringan.

Proses pengeringan tanah untuk sampel tanah-serat ditampilkan pada **gambar 8**. Proses penyusutan tanah ini diukur setelah selesainya proses pengeringan. Proses pengeringan tanah dilakukan setelah proses pembasahan, dimana proses pembasahan ini dilakukan sampai kondisi tanah sampai jenuh, baru proses pengeringan dilakukan.



Gambar 8. Volume Penyusutan Tanah-Serat Pada Siklus Pengeringan

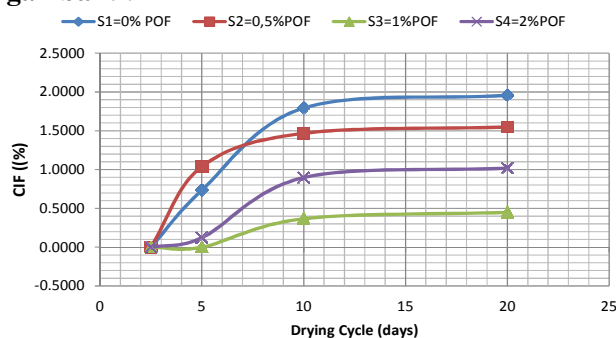
Penyusutan volume tanah (*shrinkage*) pada semua sampel tanah cenderung menurun pada hampir seluruh sampel. Kecenderungan perubahan penyusutan tanah ini cenderung secara konstan sampai proses siklus pengeringan untuk siklus ke-2 yaitu 10 hari dimana siklus ini adalah siklus penyusutan yang paling besar yang terjadi. Selanjutnya untuk siklus pengeringan ke-3 (15 hari)

dan ke-4 (20 hari) proses penyusutan cenderung stabil.

Potensi penyusutan yang terjadi pada **gambar 8** memperlihatkan bahwa tanah-serat mempunyai potensi penyusutan yang besar, hal ini disebabkan proses pengembangan volume tanah yang besar pada siklus pembasahan sebelumnya. Penyusutan yang terbesar terjadi pada prosentase serat 2% dimana tanah menyusut sampai 11%. Sedangkan penyusutan terkecil terjadi untuk campuran 0,5%. Dapat disimpulkan bahwa Penambahan serat dalam hal ini cenderung akan menambah potensi penyusutan maupun pengembangan tanah asli, karena sifat serat alami yang telah kita bahas sebelumnya yang mengandung senyawa selulosa dan lignin yang dominan hampir 95% cenderung mempunyai daya serap air yang tinggi, sehingga secara signifikan mempengaruhi proses pengembangan dan penyusutan tanah karena mempengaruhi perubahan kadar air pada tanah pada siklus basah maupun kering.

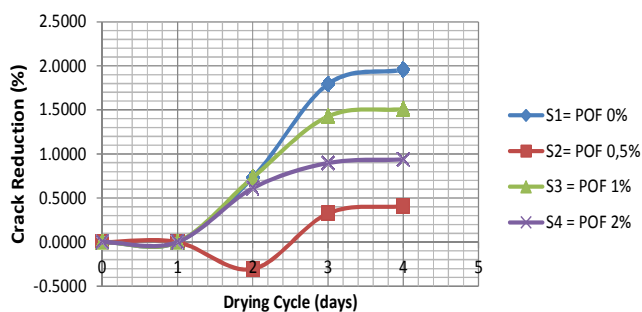
5. Intensitas Keretakan Tanah (CIF)

Untuk menentukan karakteristik retak tanah-serat yang dipadatkan dengan diameter 250 mm dan tinggi 100 mm dengan kondisi kepadatan kering maksimum, proses pembasahan dilakukan sebanyak 4 kali siklus dan pengeringan 4 kali siklus. Proses pembasahan dilakukan sampai kondisi tanah jenuh, kemudian dikeringkan dalam rentang waktu 2,5 hari, 5 hari, 10 hari dan 20 hari. Garis geometris celah-celah permukaan sampel dipantau pada akhir proses pengeringan dengan menggunakan gambar digital dari permukaan spesimen. Daerah retak pada permukaan spesimen digunakan untuk menentukan faktor intensitas retak (CIF) dalam spesimen retak. CIF adalah sebagai persentase dari daerah retak dengan luas permukaan total sampel. Selain itu, faktor reduksi retak (CR) dihitung untuk membuat perbandingan antara campuran tanah-serat. Hasil pengujian potensi keretakan ditampilkan pada **gambar 9**.



Gambar 9. Intensitas Keretakan Tanah (CIF) Pada Siklus Pengeringan

Siklus pengeringan tanah adalah proses keluarnya air dalam pori-pori tanah akibat tekanan air tanah negatif (*suction*), dimana hal ini terjadi pada proses penyusutan volume tanah (*shrinkage*). Pada **gambar 9** memperlihatkan bahwa campuran tanah-serat memberikan pengaruh terhadap pengurangan CIF. Dimana tambah besar prosentase serat semakin besar pula pengaruhnya mengurangi nilai CIF. Pengaruh penambahan serat sangat efektif dalam mengurangi CIF. Nilai retak yang paling kecil terjadi pada penambahan serat 1% dimana nilai CIF = 0,44% pada akhir siklus kering dimana hal ini dapat mengurangi potensi intensitas retak tanah asli dari 1,95 menjadi hanya 0,44% atau tereduksi sebesar 444 %, Sebaliknya nilai CIF terbesar untuk penambahan serat 0,5% dimana nilai CIF=1,549%. Hasil ini memperlihatkan bahwa bahwa tanah-serat mempunyai kemampuan besar dalam menahan gaya tarik antarmuka antara tanah serat, sehingga keretakan yang terjadi bisa diminimalisasi.



Gambar 10 Faktor Reduksi Retak (CR) Tanah-Serat Pada Siklus Pengeringan

Pada **gambar 10** memperlihatkan bahwa campuran tanah-serat memberikan pengaruh terhadap faktor reduksi retak. Dimana nilai CR yang paling besar berpengaruh terhadap pengurangan keretakan tanah adalah pada prosentase serat 1%. Dimana dapat mengurangi keretakan tanah sampai 1,5%. Sementara untuk penambahan serat 0,5% dan 2% tidak terlalu signifikan mengurangi tingkat keretakan tanah. Hal ini dapat disimpulkan bahwa prosentase serat alami buah tandang kelapa sawit yang ideal untuk mereduksi potensi keretakan tanah lunak pada siklus pengeringan berada pada prosentase ideal sekitar 1%.

KESIMPULAN DAN SARAN

Beberapa simpulan dan saran yang dapat dikemukakan untuk penelitian ini adalah

A. Kesimpulan

Secara umum hasil penelitian ini dapat mengungkapkan kinerja tanah lunak yang diperkuat serat tandang buah kelapa sawit dapat

mengoptimalkan kinerja lapisan tanah. Adapun beberapa simpulan dijabarkan sebagai berikut:

1. Analisis gradasi tanah menunjukkan bahwa tanah asli merupakan jenis tanah pasir lanau yang mengandung fraksi lempung. Hasil pengujian batas-batas Atterberg diperoleh nilai plastisitas berada pada kategori tanah dengan plastisitas rendah. Sehingga identifikasi tanah tanah menurut sistem Unified Soil Classification System (USCS) menggolongkan jenis tanah tersebut sebagai tanah Lempung dengan plastisitas rendah (CL).
2. Kapasitas tanah yang diperkuat serat alami berupa tingkat kepadatan tanah menunjukkan kecenderungan penurunan kapasitas dukung tanah walaupun tidak terlalu signifikan penurunannya yaitu hanya sekitar 0,045 gr/cm³ atau hanya sekitar 2,35% maksimal pada kondisi kandungan serat 2%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa serat alami kurang ideal apabila dipakai untuk meningkatkan berat isi kering tanah.
3. Potensi pengembangan dan penyusutan tanah asli dapat dikurangi dengan perkuatan serat. Pada uji potensi retak memperlihatkan pengurangan potensi retak yang cukup besar, dimana dengan penambahan serat tanah lunak tidak mengalami keretakan. Prilaku ini memperlihatkan bahwa tanah-serat mempunyai kemampuan besar dalam menahan gaya tarik antarmuka tanah-serat disebabkan sifat serat berfungsi memperkuat gaya tarik permukaan antara serat dan tanah karena sifat adhesi sehingga tanah tidak mudah retak, sehingga keretakan dan penyusutan yang terjadi sangat kecil.

B. Saran-saran

1. Ketebalan lapisan pada uji model laboratorium siklus basah kering pada penelitian ini yaitu 10 cm, perlu dicoba pada penelitian selanjutnya untuk ketebalan sampel uji sampai 50 cm. Untuk melihat pengaruh ketebalan lapisan terhadap pengaruh basah kering,
2. Untuk penelitian lanjutan perlu dikembangkan dengan beberapa jenis tanah yang berbeda dan jenis serat yang berbeda,
3. Untuk penelitian selanjutnya perlu melakukan pemetaan untuk keperluan standarisasi jenis serat yang bisa dipakai sebagai material perkuatan tanah.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad F, Bateni F, Azmi M., (2010), “*Performance evaluation of silty sand reinforced with fibers*”, Geotext Geomembr 28:93

- ASTM, (2007a), *Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using standard effort*, D698, West Conshohocken, PA.
- ASTM, (2007d), *Standard test method for particle-size analysis of soils*, D422-63, West Conshohocken, PA.
- ASTM, (2008), *Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete*, C618, West Conshohocken, PA.
- ASTM, (2009b), *Standard test method for unconfined compressive strength of compacted soil-lime mixtures*, D5102, West Conshohocken, PA.
- ASTM, (2010a), *Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils* D4318, West Conshohocken, PA.
- ASTM, (2010b), *Standard test methods for specific gravity of soil solids by water pycnometer*, D854, West Conshohocken, PA.
- Azadegan O., E. Akbari Kaffash, M.J. Yaghoubi., G.R. Pourebrahem., (2012), “Laboratory Study on the Swelling, Cracking and Mechanical Characteristics of the Palm Fiber Reinforced Clay”, *EJGE Journal*, Vol. 17, Bund. A.
- Bateni F, Ahmad F, Yahya S, Azmi M., (2011), “Performance of oil palm empty fruit bunch fibres coated with acrylonitrile butadiene styrene”, *Construct Build Mater* 25:1824–9
- Bowles, J. E., (1979), *Physical and geotechnical properties of soils*, McGraw-Hill, New Jersey.
- CAI Yi, dkk., (2006), “Experimental study on engineering properties of fibre-lime treated soils”, *Chinese Journal of Geotechnical Engineering.*, Vol.28 No.10.
- Consoli C, Prietto M, Pasa S., (2002), “Engineering behavior of a sand reinforced with plastic waste”, *J Geotech Geoenviron Eng ASCE* 128:462–72.
- Consoli C, Prietto M, Ulbrich A., (1989), “Influence of fiber and cement addition on behavior of sandy soil”, *J Geotech Eng ASCE* 124:1211–4. [24]
- Fauziah Ahmad*, Farshid Bateni, Mastura Azmi, (2010), “Performance evaluation of silty sand reinforced with fibres”, *Geotextiles and Geomembranes journal* 28.93–99.
- Freitage DR., (1986), “Soil randomly reinforced with fibers”, *J Geotech Eng-ASCE*, 112: 823-826.
- Gray H, Al-Refeai T., (1986), “Behavior of fabric versus fiber reinforced sand”, *J Geotech Eng ASCE*, 112:809–20
- Gray H, Ohashi H., (1983), “Mechanics of fiber-reinforcement in sand”, *J Geotech Eng ASCE* 109:335–53.
- Harianto, T., Hayashi, S., Du, Y.J., and Suetsugu, D., (2007), “Studies on compacted soil with fiber reinforcement as a landfill cover system”, *Proceedings of the 22nd International Conference on Solid Waste Technology and Management*, Philadelphia, USA, pp. 1000-10.
- Jamellodin, Z., Abu Talib, Z., Kolop, R., Md Noor, N., (2010), “The Effect Of Oil Palm Fibre On Strength Behaviour Of Soil”, *Proceedings of the 3rd SANREM Conference*, Malaysia. 09.
- Hong, Zhenshun, Tateishi, Yoshitaka Han, Jie., (2006), “Experimental Study of Macro- and Microbehavior of Natural Diatomite”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol 132.
- Kaniraj R, Havanagi G., (2001), “Behavior of cement stabilized fiber reinforced fly ash soil mixtures”, *J Geotech Geoenviron Eng ASCE* 127:574–84.
- Kumar A, Walia, Bajaj A., (2007), “Influence of fly ash, lime, and polyester fibers on compaction and strength properties of expansive soil”. *J Mater Civil Eng ASCE* 19:242–8.
- Levlaive, E., (1982), “The Reinforced of Garnular materials with Continous Fibres”, *Proc.Of Second Int. Conf.On Geotextile*, Las Vegas.
- Maher, M. H. and Ho, Y. C., (1994), “Mechanical properties of kaolinite fiber soil composite”, *Journal of Geotechnical Engineering*, 120(8), 1381-1393.
- Mercer, F.B, Andrawes, K.Z, McGown, A., and hytiris, N., (1984), *A New Method of Soil Stabilization*, proc, Sym. Polymer Grid Reinforcement, Thomas Telford Ltd., London.
- Miller, C. J. and Rifai, S., (2004), “Fiber reinforcement for waste containment soil liners”, *Journal of Environmental Engineering ASCE*, 8, 891-895.

- Miller, C. J. Hong, M., and Yesiller, N., (1998), *“Experimental analysis of desiccation crack propagation in clay liners”*, *Journal of Am. Water Resources Assoc.*, 34(3), 677-684.
- Mitchell, J. K., (1993), *Fundamentals of soil behavior*, Wiley, New York.
- Mohamed A. Ismail, and Huzaifa Bin Hashim., (2008), *“Palm Oil Fiber Concrete”*, proc The 3rd ACF International Conference – ACF/VCA 2008, 409 A.40. Malaysia.
- Musenda C., (1999), *Effects of fiber reinforcement on strength and volume change behavior of expansive soils*. MS thesis, The University of Texas at Arlington, Arlington, Texas
- Nurdin S., Samang L., Patanduk J., Harianto T., (2016), *“Performance of Soft Soil Stabilized by Fly Ash with Natural Fiber Reinforcement as Landfill Cover Layer”*, *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE)*. issue 12, Volume 3 (December 2016).
- Nurdin Sukiman, (2010), *“Pengaruh Siklus Pengeringan dan Pembasahan terhadap Kuat Geser dan Volume Tanah”*, *Jurnal MEKTEK TAHUN XII NO. 1*, Hal 8-20.
- Puppala A, Musenda C., (2000), *“Effects of fiber reinforcement on strength and volume change behavior of two expansive soils”*, *Trans Res Boa* 1736:1
- Rao, G.V and Dutta, R.K., (2000), *“Strength Characteristic of Sand Reinforced with Coir Fibres and Coir Geotextiles”*, *Journal of Geotechnical Engineering*.
- Tang, C.S., Shi, B., Cui, Y.J., Liu, C., Gu, K., (2012), *“Desiccation cracking behavior of polypropylene fiber-reinforced clayey soil”*, *Canadian Geotechnical Journal*, 49(9): 1088-1101, 10.1139/t2012-067