

Research Article

SIFAT FISIS TANAH LEMPUNG EKSPANSIF YANG DISUBSTITUSI DENGAN SERBUK LIMBAH KERAMIK

Ratna Dewi^{1*}, Yakni Idris¹⁾, Indra Chusaini San¹⁾, Lien DYN¹⁾, dan Putri Tisya R¹⁾¹⁾Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Ogan Ilir, Indonesia

Received: 7 December 2021, Accepted: 9 November 2022, Published: 28 December 2022

Abstract

Expansive soils have high compressibility, swelling, and shrinkage properties. So we need an effective method to improve soil conditions when the structure is built on it. This paper presents the results of research on the effect of the substitution of ceramic waste on the physical properties of the expansive soil. Soil improvement using construction waste will contribute to reducing the amount of waste and conserving natural resources. The stages of the research included testing the physical properties of both soil and waste materials, then testing the physical properties of the mixed soil which included the Atterberg limit test, soil compaction test, and SEM test. The addition of ceramic waste powder can function as a material that can chemically change the physical properties of the soil. There was a decrease in the optimum water content (w_{opt}) of the soil and an increase in the maximum dry density (γ_d max) value of the soil along with the addition of the percentage of ceramic waste powder that was up to 1.410 gr/cm³. The percentage of chemical content (SiO₂ and Al₂O₃) in ceramic powder affects soil compaction parameters and decreases soil plasticity index, where the content of SiO₂ and Al₂O₃ in ceramic powder 1 is higher than ceramic powder 2 giving lower IP (Index Plasticity) values and optimum moisture content, respectively by 16.26 and 28%, and a higher maximum dry density value of 14.4 gr/cm³.

Key Words: ceramic waste powder, expansive soil, soil properties.

1. PENDAHULUAN

Tanah merupakan material pendukung yang memiliki peran penting dalam bidang konstruksi. Namun, tidak semua jenis lapisan tanah memiliki karakteristik yang baik untuk digunakan dalam membangun sebuah konstruksi di atasnya. Beberapa kerusakan suatu bangunan jalan dan gedung terlihat yang salah satunya disebabkan oleh permasalahan tanah, seperti jalan bergelombang, retak-retak pada lantai dan dinding basement bangunan yang dikarenakan tanah tersebut memiliki karakteristik yang buruk (tanah lempung ekspansif).

Tanah lempung ekspansif menunjukkan sifat rekayasa yang umumnya tidak diinginkan. Tanah tersebut cenderung memiliki nilai kuat geser yang rendah dan kehilangan kekuatan geser lebih tinggi dalam kondisi basah atau gangguan fisik lainnya. Jenis tanah tersebut bisa menjadi plastis dan kompresibel. Jenis tanah ini mengembang ketika dalam kondisi basah dan menyusut ketika dalam kondisi kering. Tanah kohesif dapat bergerak secara perlahan dari waktu ke waktu di bawah beban konstan, terutama ketika tegangan geser mendekati kekuatan gesernya, membuat mereka rentan terhadap geser. Oleh karena itu tanah lempung ekspansif perlu

distabilisasi agar dapat digunakan dengan layak dalam membangun sebuah konstruksi di atasnya (Brooks dan Robert, 2009).

Stabilisasi tanah adalah proses mencampurkan bahan tertentu yang bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat fisis dan teknis tanah. Pada tanah ekspansif, perbaikan dengan bahan tambahan kimia adalah yang paling banyak digunakan di antara semuanya karena sifatnya yang cepat meningkatkan sifat fisik dan mekanik tanah. Bahan aditif dapat dikategorikan menjadi bahan tradisional dan non-tradisional. Bahan aditif tradisional dapat dalam bentuk soil semen (Firoozi, 2017; Paikiey dan Rabbani, 2017), fly ash (Kumar dan Harika, 2020), fly ash dan kapur (Indiramma, dkk., 2020), dan bahan bitumen (Andavan dan Kumar, 2020). Sedangkan polimer (Mirzababaei, dkk., 2017), bahan limbah (RHA) (Oktavia, dkk., 2019), kombinasi RHA dan CCR (Wahyuni, dkk., 2020) adalah contoh aditif non-tradisional.

Pemanfaatan bahan limbah dalam stabilisasi tanah ekspansif saat ini mendapat perhatian khusus untuk meminimalkan masalah lingkungan karena jumlah limbah terutama yang dihasilkan oleh konstruksi meningkat setiap tahun. Perbaikan tanah ekspansif

dengan menggunakan limbah konstruksi akan berkontribusi untuk mengurangi jumlah limbah dan melestarikan sumber daya alam. Selain itu, bahan additif kimiawi yang umum telah menciptakan beberapa masalah lingkungan dan membutuhkan biaya tinggi untuk aplikasi di lapangan. Dalam penelitian ini, limbah keramik dari pabrik pengolahan keramik dan pembongkaran rumah digunakan untuk memperbaiki sifat fisik dan mekanik tanah lempung ekspansif. Limbah ubin keramik yang dihasilkan di lokasi konstruksi biasanya dibuang secara legal atau ilegal di tempat pembuangan akhir. Limbah yang dibuang ini dapat mempengaruhi kesuburan tanah, menghabiskan ruang, dan merusak vegetasi di area penumpukan (Al-Bared, dkk., 2018a).

Hasil analisis kandungan unsur kimia menunjukkan bahwa kandungan inti keramik didominasi oleh dua unsur yaitu unsur silika (SiO_2) dengan rerata 57.21% dan unsur alumina (Al_2O_3) dengan rerata 30.43% (Hossain, 2019). Senyawa SiO_2 dan Al_2O_3 yang merupakan senyawa utama dalam bahan pozzolan yang mempunyai peranan penting dalam pembentukan semen pada tanah ekspansive karena akan terjadi reaksi kimia untuk jangka panjang yang dapat meningkatkan kekuatan tanah.

Pengaruh substitusi limbah keramik pada uji indeks properties tanah, uji pemadatan standar, diselidiki terhadap kondisi tanah ekspansif. Selain itu, uji mikrostruktur dan kimia seperti scanning electron microscopic (SEM) dan spektroskopi sinar-X (EDS) digunakan untuk mengamati mekanisme stabilisasi sebelum dan sesudah penambahan limbah keramik.

Sifat Fisis Tanah

Sifat fisis tanah yaitu sifat yang berhubungan dengan elemen penyusun massa tanah yang terdiri dari 3 (tiga) bagian yaitu butiran padat (*solid*), bagian air (*water*) dan bagian udara (*air*). Keberadaan air dan udara biasanya menempati pada ruangan antara butiran atau pori pada massa tanah tersebut. Adapun pengujian-pengujian sifat fisis tanah bertujuan untuk mengetahui klasifikasi tanah dalam keperluan tertentu.

Tanah lempung ekspansif didefinisikan sebagai jenis tanah yang apabila kadar airnya bertambah akan mengalami pengembangan volume disertai dengan gaya tekan akibat pengembangan tersebut dan daya dukungnya akan menurun. Sebaliknya, akan terjadi penyusutan volume disertai dengan retak-retak pada lapisan tanah bila kadar air berkurang. Sifat kembang susut yang dimiliki oleh tanah lempung ekspansif berhubungan langsung dengan kadar mineral penyusun tanah lempung terutama mineral *montmorillonite* dan *illite*. Metode untuk

mengidentifikasi tanah lempung ekspansif dapat dikelompokkan menjadi dua kategori yaitu, metode identifikasi mineralogi dan metode pengujian inferensial. Metode pengujian inferensial yaitu pengujian sifat *properties* tanah seperti Atterberg *limit* dan *free swelling test*. Chen (1988) mengidentifikasi tanah lempung ekspansif berdasarkan nilai indeks plastisitas, dimana jika indeks plastisitasnya lebih dari 35, maka tanah dikategorikan memiliki potensi tingkat pengembangan yang tinggi (Chen, 1988).

Permasalahan yang ditimbulkan oleh tanah lempung ekspansif pada konstruksi antara lain retak pada lantai dan dinding basement bangunan, retak memanjang pada perkerasan jalan, dan stabilitas dalam arah lateral.

Limbah Keramik

Sejumlah besar limbah dihasilkan dari aktivitas konstruksi dan pembongkaran (sekitar 75% dari total limbah yang diproduksi di seluruh dunia), dan sekitar 54% limbah aktivitas konstruksi berbasis keramik. Limbah dari proses produksi di industri ubin keramik menyumbang sekitar 7% dari total produksi dan dibuang ke tempat pembuangan sampah (Elçi, 2016). Dengan banyaknya produksi limbah keramik, maka dilakukan penelitian untuk penggunaan kembali limbah keramik sehingga dapat bermanfaat. Penggunaan agregat limbah keramik dalam campuran beton telah diteliti dan memberikan hasil kuat tekan beton yang tinggi karena limbah keramik ini mengandung sebagian besar SiO_2 , Al_2O_3 dan CaO (Elçi, 2016).

Penambahan RCT (pecahan limbah keramik) dapat memperbaiki lempung lunak dan beberapa senyawa sementasi terbentuk dari reaksi antara RCT dengan partikel lempung lunak. Kuat tekan bebas meningkat secara signifikan ketika ditambahkan RCT 40% dan 10% dengan ukuran pecahan 0,3 mm dan 1,18 mm. Hasil yang diperoleh dari sampel perlakuan yang dianalisis menggunakan SEM menunjukkan beberapa perubahan permukaan sampel akibat pembentukan senyawa sementasi baru (Al-Bared, dkk., 2018b).

2. METODOLOGI

Metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah studi eksperimental. Studi eksperimental merupakan serangkaian pengujian di laboratorium terhadap sifat-sifat fisik dan kimiawi tanah dan bahan limbah sehingga lebih dapat diidentifikasi ikatan antar unsur-unsur dalam tanah. Dengan demikian diharapkan sifat kembang susut tanah dapat berkurang.

Program penelitian ini meliputi tiga tahapan yaitu survei lapangan dan pengambilan sampel, eksperimental, dan tahap analisis.

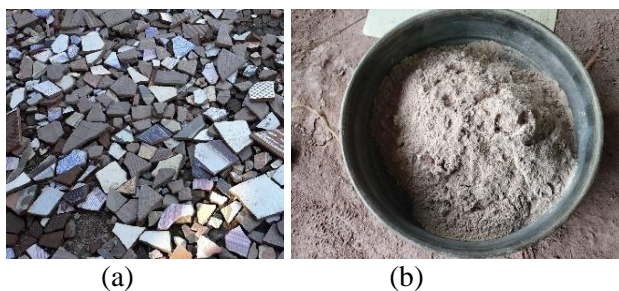
Survei Lapangan dan Pengambilan Sampel

Survei lapangan dilakukan untuk menentukan posisi tanah yang akan diambil sampel untuk pengujian awal, dimana ditetapkan lokasi pengambilan sampel di Desa Sriguna, Pedamaran, Kabupaten Ogan Komering Ilir, Sumatera Selatan (Gambar 1). Penetapan lokasi tersebut karena jalan di lokasi tersebut mengalami retak memanjang yang merupakan indikator tanah lempung ekspansif. Tanah diambil dalam kondisi terganggu (*remoulded*). Bahan limbah keramik pada penelitian ini diambil dari dua lokasi yaitu dari PT. Arwana Citra Mulia Tbk, Kabupaten Ogan Ilir dan salah satu toko keramik di inderalaya.



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel tanah

Sampel limbah keramik (Gambar 2) yang diambil dari lapangan masih dalam bentuk bongkahan sehingga sebelum dicampur dengan tanah dilakukan penghalusan dengan menggunakan bantuan alat abrasi Los Angeles, lalu disaring dengan nomor saringan tertentu.



Gambar 2. Limbah keramik, sebelum dihaluskan (a), setelah dihaluskan (b)

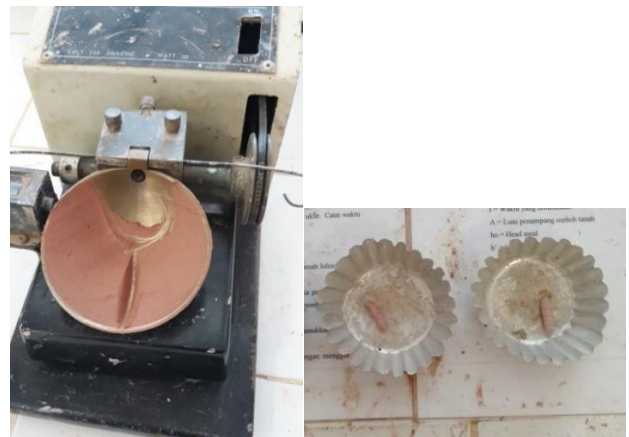
Pengujian Material

Sebelum pengujian dilakukan, tanah dipersiapkan dahulu dengan melakukan proses pengeringan terhadap sampel tanah terganggu. Adapun tahapan dalam pengujian sebagai berikut:

a. Pengujian *Soil Properties*.

Pengujian *soil properties* dilakukan untuk mengetahui karakteristik dan sifat tanah yang digunakan sebagai bahan penelitian pengujian kadar

air (ASTM D-2216-90), berat jenis butiran tanah / specific gravity (ASTM D-854), *atterberg limit* (ASTM D 423-66 dan ASTM D 424-74) seperti terlihat pada Gambar 3, analisis saringan (ASTM D 421 dan ASTM D 422).



Gambar 3. Pengujian *Atterberg limit* tanah

b. Pengujian Mineralogi Tanah

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan mineral-mineral pembentuk tanah, dimana tanah lempung dikatakan tanah ekspansif jika tanah tersebut mengandung mineral *montmorillonite*.

c. Pengujian Unsur Kimiawi Material

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan unsur kimiawi pembentuk tanah dan bahan campuran, dilakukan pada UPT Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro.

d. Pengujian Pemadatan Tanah

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan kadar air optimum sebelum dilakukan pencampuran tanah. Sistem pemadatan yang digunakan adalah standar *proctor*. Pengujian ini mengacu pada standar ASTM D 698 dan AASHTO D T-180-74 (Gambar 4).



Gambar 4. Pengujian pemadatan tanah

Setelah dilakukan pengujian material sampel tanah asli, kemudian tanah dicampur dengan serbuk limbah keramik dengan komposisi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 di bawah ini dan dilakukan pengujian material campuran.

Tabel 1. Variasi sampel uji campuran tanah

No	Tanah	Serbuk limbah keramik	Jumlah sampel tiap pengujian	Kode
1.	100%	0%	3	SL0
2.	97%	3%	3	SL3
3.	94%	6%	3	SL6
4.	91%	9%	3	SL9
5.	88%	12%	3	SL12
6.	85%	15%	3	SL15

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

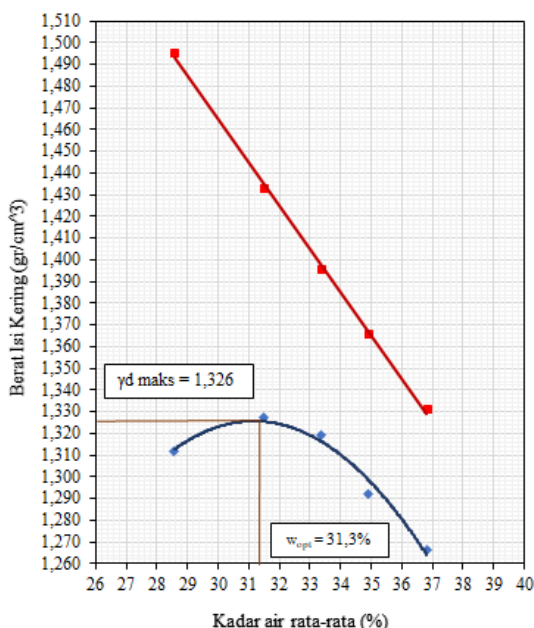
Hasil Pengujian Index Propertis Tanah Asli

Hasil pengujian dari indeks properties sampel tanah seperti terlihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Besaran indeks *properties* tanah

<i>Index Properties</i>	Nilai
Berat jenis butiran	2,58
<i>Liquid limit</i>	98,43%
<i>Plastic limit</i>	42,21%
Indeks plastisitas	56,22%
Lolos saringan No. 40	97,80%
Lolos saringan No. 200	94,10%
Jenis Tanah (USCS)	CH
Jenis Tanah (AASHTO)	A-7-5

Pada pengujian batas-batas Atterberg tanah asli didapat nilai *plastic limit* (PL) sebesar 42,21% dan nilai *liquid limit* (LL) sebesar 98,43% sehingga didapat nilai *plasticity index* (IP) tanah adalah sebesar 56,22%. Nilai IP yang diperoleh lebih besar dari 35%, artinya tanah tersebut tergolong ke dalam klasifikasi tanah lempung ekspansif yaitu tanah dengan nilai plastisitas yang tinggi.



Gambar 5. Grafik pengujian pematatan tanah asli

Data yang diperoleh dari hasil pengujian *index properties* digunakan dalam penentuan jenis tanah menurut klasifikasi *The Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) dan *The Unified Soil Classification System* (USCS). Berdasarkan klasifikasi USCS termasuk jenis lempung anorganik dengan plastisitas tinggi (CH) dan diklasifikasikan ke dalam kelompok A-7-5 tanah berlempung yang merupakan tanah dasar adalah sedang sampai buruk menurut sistem klasifikasi tanah AASHTO.

Hasil pengujian pematatan tanah standar diperoleh nilai kadar air optimum (w_{opt}) yaitu sebesar 31,3% dan nilai rapat kering maksimum (γ_{dmax}) yaitu sebesar 1,326 gr/cm³. Hasil pengujian pematatan ini digunakan sebagai dasar dalam percampuran tanah asli dengan serbuk limbah keramik (Gambar 5).

Pengujian Kandungan Kimia Material

Pengujian kandungan kimia tanah dan serbuk limbah keramik yang menggunakan pengujian *X-Ray Fluoresence* (XRF) dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro. Serbuk keramik yang digunakan ada 2 jenis serbuk limbah keramik. Sampel limbah 1 dari PT. Arwana Anugerah Keramik dan Sampel limbah 2 diperoleh hasil seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Komponen kimia penyusun serbuk limbah keramik

Komponen	Nilai Hasil Uji (%)	
	Serbuk Keramik 1	Serbuk Keramik 2
C	27,88	-
MgO	0,46	0,53
Al ₂ O ₃	14,12	10,51
SiO ₂	43,38	38,58
K ₂ O	1,25	2,33
CaO	8,64	2,02
TiO ₂	0,70	-
FeO	2,21	6,93
CuO	1,30	-
P ₂ O ₅	-	0,12

Hasil pengujian XRF pada kedua sampel serbuk limbah keramik menunjukkan bahwa unsur yang paling dominan adalah unsur silika (SiO₂) dan unsur aluminium (Al₂O₃). Hasil tersebut menunjukkan bahwa serbuk limbah keramik ini dapat memenuhi kriteria untuk dijadikan bahan yang dapat membentuk reaksi *pozzolan* yaitu ketika kalsium hidroksida (Ca(OH)₂) dalam tanah bereaksi dengan senyawa silika (SiO₂) dan senyawa alumina (Al₂O₃) yang terdapat pada serbuk keramik membentuk reaksi pengikat yaitu kalsium silikat atau aluminat silikat (C-S-H) yang dapat mengikat partikel-partikel tanah sehingga dapat meningkatkan kekuatan tanah

Hasil Pengujian Index Propertis Tanah Campuran

Pengujian indeks *properties* tanah campuran adalah pengujian berat jenis tanah/*specific gravity*,

batas-batas Atterberg dan pengujian pemadatan standar. Hasil pengujian berat jenis tanah campuran dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data hasil pengujian berat jenis tanah campuran

Sampel	Berat Jenis (GS)	
	Sampel serbuk 1	Sampel serbuk 2
Serbuk Limbah Keramik	2,551	2,637
SL3	2,632	2,588
SL6	2,615	2,591
SL9	2,609	2,593
SL12	2,598	2,608
SL15	2,564	2,611

Dari Tabel 4 terlihat bahwa jika nilai berat jenis butiran serbuk keramik rendah, maka akan menurunkan nilai berat jenis tanah campuran, begitupun sebaliknya.

Pengujian batas-batas Atterberg yang dilakukan meliputi pengujian batas plastis dan batas cair tanah. Adapun nilai batas cair, batas plastis, dan indeks plastisitas masing-masing sampel dapat dilihat pada Tabel 5.

Terlihat dari Tabel 5 tersebut bahwa substitusi kedua serbuk limbah keramik dapat menurunkan nilai batas cair dan meningkatkan nilai batas plastis yang dapat meningkatkan nilai Indeks Plastisitas. Dengan menurunnya IP tanah mengindikasikan tingkat pengembangan tanah menjadi turun sehingga sifat ekspansif tanah bisa diminimalisir. Besarnya persentase kandungan kimiawi (SiO_2 dan Al_2O_3) pada serbuk keramik mempengaruhi penurunan indeks plastisitas tanah, dimana kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 pada serbuk keramik 1 lebih tinggi dari serbuk keramik 2 memberikan nilai IP yang lebih rendah.

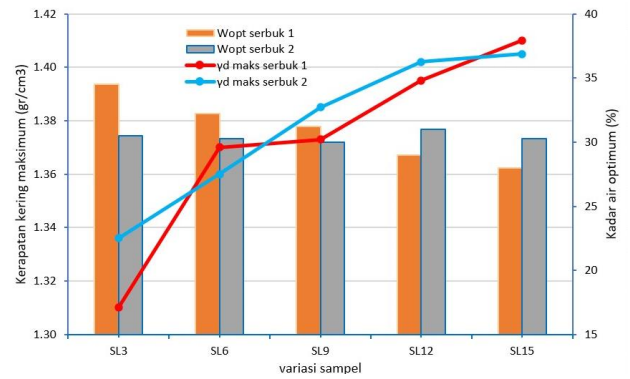
Tabel 5. Data hasil pengujian batas-batas Atterberg

Sampel	Nilai Batas-Batas Atterberg (%)					
	Sampel serbuk 1			Sampel serbuk 2		
	LL	PL	IP	LL	PL	IP
SL3	90,46	43,45	47,02	94,64	50,43	44,21
SL6	89,64	44,62	45,02	93,08	51,87	41,21
SL9	87,06	47,47	39,59	87,67	52,48	35,20
SL12	72,02	48,64	23,38	86,74	53,87	32,86
SL15	66,99	50,73	16,26	82,45	51,78	30,67

Pengujian pemadatan tanah standar bertujuan untuk memperoleh nilai kadar air optimum dan kerapatan isi kering maksimum dari tanah asli dan tanah yang telah mengalami penambahan bahan tambah berupa serbuk limbah keramik, hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengujian pemadatan tanah standar

Sampel	Hasil Pengujian Pemadatan Tanah Standar			
	Sampel serbuk 1		Sampel serbuk 2	
	Wopt (%)	γ_d maks (gr/cm ³)	Wopt (%)	γ_d maks (gr/cm ³)
SL3	34,50	1,310	30,50	1,336
SL6	32,20	1,370	30,30	1,360
SL9	31,20	1,373	30,00	1,385
SL12	29,00	1,395	31,00	1,402
SL15	28,00	1,410	30,30	1,405

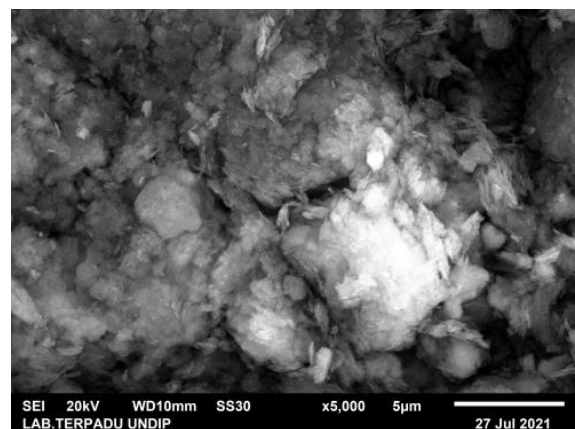


Gambar 6. Grafik hubungan kadar air optimum dan kerapatan kering maksimum terhadap variasi sampel dan jenis serbuk

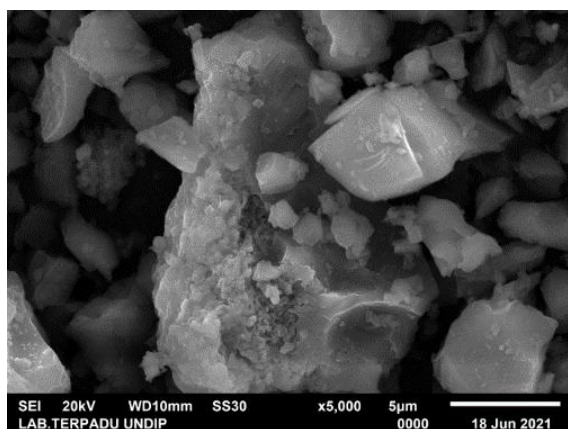
Dari Tabel 6 dan Gambar 6 di atas terjadi penurunan dari nilai persentase kadar air optimum tanah dan terjadi peningkatan nilai kerapatan kering maksimum tanah seiring dengan penambahan persentase serbuk keramik (SL15) yaitu sampai sebesar 1,410 gr/cm³ yang terjadi pada serbuk keramik 1. Hal ini menandakan pencampuran tanah dengan serbuk keramik akan baik digunakan untuk pemadatan tanah. Dari hasil pengujian *soil properties* ternyata substitusi serbuk keramik 15% pada tanah memberikan kontribusi yang dominan dalam perubahan sifat fisis tanah.

Pembahasan Sifat Fisis Tanah Campuran

Pengujian sifat fisis tanah asli menunjukkan tanah diklasifikasikan sebagai tanah lempung anorganik (CH) yang berplastisitas tinggi dengan nilai Indeks plastisitas di atas 35% sehingga tanah tersebut dapat digolongkan sebagai tanah lempung ekspansif. Foto dari data hasil uji SEM yang dilakukan pada laboratorium terpadu UNDIP dengan pembesaran 5000x untuk tanah asli dan serbuk keramik dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8 di bawah ini

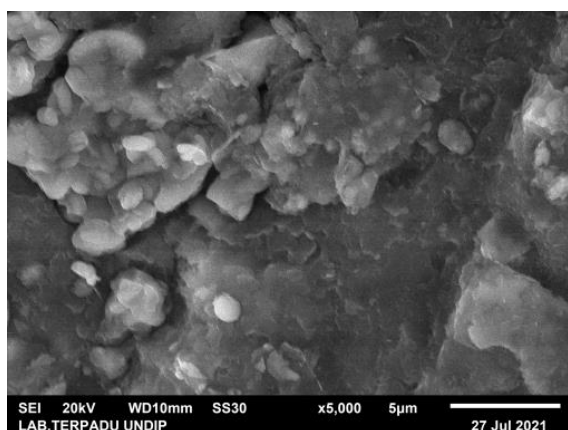


Gambar 7. Foto SEM tanah asli



Gambar 8. Foto SEM serbuk keramik

Tanah campuran yang paling optimal (15% serbuk keramik) kemudian dilakukan pengujian SEM dengan pembesaran 5000x, hasil didapat dapat dilihat pada Gambar 9 di bawah ini.



Gambar 9. Foto SEM tanah campuran (SL15)

Dari gambar di atas terlihat bahwa sebagian butir-butir tanah menyatu dan rongga-rongga antar butir tanah menjadi berkurang. Reaksi sementasi yang terjadi pada setiap sampel telah mengikat partikel lempung dan mengisi rongga-rongga yang terdapat dalam tanah, dimana hal ini juga ditunjukkan dari hasil uji batas Atterberg. Proses sementasi ini menurunkan sifat plastisitas tanah dan mengurangi sifat kembang susut tanah tersebut.

Pengujian pemadatan tanah standar menunjukkan kecenderungan penurunan nilai kadar air optimum tanah, hal tersebut disebabkan oleh adanya penggantian partikel serbuk limbah keramik yang memiliki sifat penyerapan air yang rendah mengisi rongga pada tanah dimana pada kondisi tanah asli rongga tersebut terisi oleh air dan udara. Akibat adanya serbuk limbah keramik dalam rongga tanah tersebut, maka persentase air pada tanah campuran menurun sehingga menyebabkan nilai kadar air optimum ikut turun. Berbeda dengan nilai kerapatan kering maksimum, dengan peningkatan persentase serbuk keramik, maka nilai kerapatan kering maksimum tanah terus meningkat. Nilai kerapatan

kering maksimum meningkat dari 1,326 gr/cm³ menjadi 1,410 gr/cm³ ketika persentase serbuk keramik dinaikkan dari 0 menjadi 15%. Alasan terjadinya kondisi tersebut adalah karena nilai berat jenis serbuk limbah keramik lebih tinggi dibandingkan nilai berat jenis butiran tanah sehingga ketika tanah dicampurkan dengan serbuk limbah keramik maka terjadi penggantian partikel tanah dengan serbuk limbah keramik.

Hasil tersebut di atas seiring dengan hasil penelitian penambahan abu serbuk keramik yang diperoleh dari pembongkaran bangunan di Bauchi Metropolis yaitu nilai kerapatan kering maksimum sebesar 18.1 Mg/m³ (1.81 gr/cm³) dan kadar air optimum 17.6% untuk pencampuran 30% abu serbuk keramik (Chen, dkk., 2015).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai substitusi serbuk limbah keramik pada tanah lempung ekspansif dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Penambahan serbuk limbah keramik dapat berfungsi sebagai material yang mampu mengubah sifat fisis tanah secara kimiawi. Hal ini dibuktikan dengan adanya peningkatan kualitas tanah berupa penurunan indeks plastisitas (IP) seiring dengan bertambahnya persentase serbuk limbah keramik. Peningkatan kualitas tanah ini juga menyebabkan penurunan potensi kembang susut tanah dari semula tinggi menjadi sedang.
2. Terjadi penurunan pada kadar air optimum tanah dan peningkatan nilai kerapatan kering maksimum tanah seiring dengan penambahan persentase serbuk limbah keramik (SL15) yaitu sampai sebesar 1,410 gr/cm³. Hal ini menandakan pencampuran tanah dengan serbuk keramik akan baik digunakan untuk pemadatan tanah. Dari hasil pengujian *soil properties* ternyata substitusi serbuk keramik 15% pada tanah memberikan kontribusi yang dominan dalam perubahan sifat fisis tanah.
4. Hasil foto SEM tanah campuran menunjukkan bahwa sebagian butir-butir tanah menyatu dan rongga-rongga antar butir tanah menjadi berkurang. Hal ini menandakan ada reaksi sementasi pada partikel tanah.
5. Besarnya persentase kandungan kimiawi (SiO₂ dan Al₂O₃) pada serbuk keramik mempengaruhi penurunan indeks plastisitas tanah dan parameter pemadatan tanah, dimana kandungan SiO₂ dan Al₂O₃ pada serbuk keramik 1 lebih tinggi dari serbuk keramik 2 memberikan nilai IP dan kadar air optimum yang lebih rendah, serta nilai kerapatan kering maksimum yang lebih tinggi dari serbuk keramik 2.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Sriwijaya atas dukungannya pada penelitian ini.

REFERENSI

- Al-Bared, M. A. M., A. Marto, and N. Latifi. (2018a). Utilization of Recycled Tiles and Tyres in Stabilization of Soils and Production of Construction Materials – A State-of-the-Art Review. *KSCE J. Civ. Eng.*, 22(10), 3860–3874. doi: 10.1007/s12205-018-1532-2.
- Al-Bared, M. A. M., I. S. H. Harahap, and A. Marto. (2018b). Sustainable strength improvement of soft clay stabilized with two sizes of recycled additive. *Int. J. GEOMATE*, 15(51), 39–46. doi: 10.21660/2018.51.06065.
- Andavan, S. and B. Maneesh Kumar. (2020). Case study on soil stabilization by using bitumen emulsions - A review. *Mater. Today Proc.*, 22, 1200–1202. doi: 10.1016/j.matpr.2019.12.121.
- Asuri, S., and P. Keshavamurthy. (2016). Expansive Soil Characterisation: an Appraisal. *Ina. Lett.*, 1(1), 29–33. doi: 10.1007/s41403-016-0001-9.
- Brooks, Dr. Robert M. (2009). Soil Stabilization with Fly Ash and Rice Husk Ash. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, 1(3).
- Chen, F. H. (1988). *Foundations on Expansive Soils*: Elsevier.
- Chen, A. James, Idusuyi, and O. Felix. (2015). Effect of Waste Ceramic Dust (WCD) on Index and Engineering Properties of Shrink-Swell Soils. *Int. J. Eng. Mod. Technol.*, 1(8), 2504–8848.
- Elçi, H. (2016). Utilisation of crushed floor and wall tile wastes as aggregate in concrete production. *J. Clean. Prod.*, 112, 742–752. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.07.003.
- Firoozi, A. A. C. Guney Olgun, A. A. Firoozi, and M. S. Baghini. (2017). Fundamentals of soil stabilization. *Int. J. Geo-Engineering*, 8(1). doi: 10.1186/s40703-017-0064-9.
- Hossain, M. A. (2019). Improvement of Strength and Consolidation Properties of Clayey Soil Using Ceramic Dust. *Am. J. Civ. Eng.*, 7(2), 41. doi: 10.11648/j.ajce.20190702.11.
- Indiramma, P. C. Sudharani, and S. Needhidasan. (2020). Utilization of fly ash and lime to stabilize the expansive soil and to sustain pollution free environment - An experimental study. *Mater. Today Proc.*, 22, 694–700. doi: 10.1016/j.matpr.2019.09.147.
- Kumar, P. G., and S. Harika. (2020). Stabilization of expansive subgrade soil by using fly ash. *Mater. Today Proc.* doi: 10.1016/j.matpr.2020.11.469.
- Mirzababaei, M., A. Arulrajah, and M. Ouston. (2017). Polymers for Stabilization of Soft Clay Soils. *Procedia Eng.*, 189, 25–32. doi: 10.1016/j.proeng.2017.05.005.
- Oktavia, D. L., R. Dewi, S. Y. Saloma, F. Hadinata, and Y. Yulindasari. (2019). The effects of rice husk ash substitution on physical and mechanical properties of clay. *Int. J. Sci. Technol. Res.*, 8(7).
- Paikiey, A., and A. Rabbani. (2017). Soil stabilisation using cement. *Int. J. Civ. Eng. Technol.*, 8(6), 316–322. doi: 10.1016/0148-9062(77)90919-6.
- Wahyuni, D., D. Ratna, and Saloma. (2020). Reinforcement Of Soft Soil Using Soil Column Method (Soft Soil + CCR + RHA). *Sriwij. J. Environ.*, 5(3), 172–177. doi: 10.22135/sje.2020.5.3.172-177.

