



Pengaruh Substitusi Bubuk Cangkang Telur terhadap Batas-batas Konsistensi Tanah Lempung yang Distabilisasi dengan Kapur

*Willis Diana, Anita Widiyanti, Edi Hartono, Rinda Apriliani
Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
*)willis.diana@umy.ac.id

Received: 2 November 2020 Revised: 22 November 2021 Accepted: 30 November 2021

Abstract

This study aimed to investigate the use of eggshell powder (ESP) to replace lime in soil-lime stabilization. Calcite was found in significant quantities in the ESP. The soil consistency limits are commonly used to evaluate the workability and estimate the mechanical properties of stabilized soil. The pH test was used to determine the initial Consumption of Lime (ICL), which was 8%. Several test variations were performed to investigate the effect of ESP replacement on the consistency limits of soil-lime stabilization soil, substituting ESP for a portion or all of the lime content required for stabilization. Soil-lime stabilization decreases the liquid limit, plasticity index, and linear shrinkage of the soil. With lime stabilization, the plasticity index reduced by 60% - 55%. The more lime content was substituted with ESP The greater the plasticity index. However, when all lime content was replaced with ESP, the soil plasticity index reduced by 29% compared to untreated soil. The shrinkage limit of untreated soil was 10.43%; after stabilization with 8% eggshell powder, the shrinkage limit increased by 26% to 13.22%. The shrinkage ratio, volumetric shrinkage, and linear shrinkage, on the other hand, are not significantly reduced. Lime types (hydrated lime and quicklime) have nearly identical behavior in terms of changes in soil plasticity. The eggshell powder can be used for soil stabilization and can affect soil plasticity. However, the changes in plasticity are not as significant as those seen with lime stabilization.

Keywords: Soil stabilization, hydrated lime, quicklime, eggshell powder, the consistency limits

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis potensi pemanfaatan bubuk cangkang telur (egg shell powder, ESP) untuk menggantikan kapur pada stabilisasi tanah-kapur. Bubuk cangkang telur diketahui mengandung kalsit dalam jumlah yang besar. Batas-batas konsistensi biasanya digunakan untuk menilai workabilitas dan memperkirakan perubahan sifat mekanik tanah yang distabilisasi. Dalam penelitian ini digunakan kapur tohor (quicklime) dan kapur padam (hydrated lime). Initial Consumption of Lime (ICL) diperoleh dengan menggunakan uji pH metode Eades and Grim, hasil pengujian didapatkan ICL 8%. Variasi pengujian yang dilakukan adalah dengan mensubstitusi sejumlah kapur dengan ESP, yaitu 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% dari ICL. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan stabilisasi kapur indeks plastistas menurun sebesar 55%-60%. Semakin banyak kadar kapur yang disubstitusi dengan ESP menyebabkan peningkatan indeks plastisitas dibandingkan stabilisasi tanah-kapur. Tetapi, pada substitusi seluruh kadar kapur dengan ESP, indeks plastistas tanah menurun sebesar 29% dibandingkan tanah asli. Batas susut tanah asli 10,43%, setelah distabilisasi dengan 8% bubuk cangkang telur batas susutnya menjadi 13,22%, terjadi peningkatan 26%, sedangkan rasio susut, susut volumetrik, dan susut linear penurunannya tidak signifikan. Jenis kapur (kapur padam dan kapur tohor) memperlihatkan perilaku perubahan plastisitas tanah yang hampir sama. Bubuk cangkang telur dapat digunakan untuk bahan stabilisasi tanah, dan mampu merubah plastisitas tanah, tetapi perubahan plastisitas yang terjadi tidak sebesar stabilisasi menggunakan kapur.

Kata kunci: Stabilisasi tanah, kapur padam, kapur tohor, bubuk cangkang telur, batas-batas konsistensi

Pendahuluan

Pada bangunan-bangunan sipil, beberapa jenis tanah sering digunakan, baik sebagai material konstruksi maupun sebagai dasar fondasi bangunan. Beberapa jenis tanah secara alami mampu mendukung dan sangat baik digunakan sebagai material konstruksi, sebagian lainnya tidak memenuhi persyaratan dan perlu perlakuan khusus sebelum digunakan, tanah tersebut biasanya dinamakan tanah bermasalah (*problematic soil*), seperti tanah kohesif dan *collapsible soil*. Pada umumnya tanah berbutir halus seperti jenis tanah yang memiliki mineral lempung mempunyai perilaku kurang menguntungkan seperti kapasitas dukung yang rendah, kompresibilitas besar dan sensitif terhadap perubahan kadar air yaitu dapat mengalami perubahan volume dan perubahan kekuatan akibat perubahan kadar air. Modifikasi sifat teknik dari tanah berbutir halus tersebut sering dilakukan dengan menggunakan metode stabilisasi dibandingkan dengan metode penggantian tanah (*soil replacement*) dengan alasan efektifitas biaya (Ikeagwuani & Nwonu, 2019). Dua metode stabilisasi tanah yang sering dilakukan adalah stabilisasi mekanik dan stabilisasi kimia, dapat dilakukan salah satu metode atau keduanya secara simultan untuk mendapatkan hasil yang optimal (Ikeagwuani & Nwonu, 2019).

Tingkat perbaikan dari sifat geoteknik dan sifat teknik tanah yang distabilisasi tergantung pada karakteristik tanah dan material stabilisasi. Semen dan kapur adalah material stabilisasi yang paling sering digunakan karena telah terbukti mampu meningkatkan kekuatan dan durabilitas. Penggunaan bahan stabilisasi yang berbahan dasar kalsium seperti semen dan kapur akan melibatkan lima proses yaitu (a) hidrasi, (b) pertukaran kation, (c) flokulasi dan aglomerasi, (d) reaksi pozolanik dan (e) potensi karbonasi (Al-Swaidani *et al.*, 2016; Behnood, 2018; Ciancio, Beckett, & Carraro, 2014; Firoozi, Guney Olgun, Firoozi, & Baghini, 2017).

Semen biasanya tidak sesuai untuk stabilisasi tanah dengan indeks plastisitas tinggi. Penggunaan stabilisasi semen pada tanah tersebut, biasanya tanah terlebih dahulu dicampurkan dengan kapur sebelum dicampur dengan semen agar lebih mudah pengerjaannya. Pada tanah lempung, stabilisasi dengan kapur menunjukkan tingkat perbaikan sifat mekanik yang lebih efektif dibandingkan dengan semen. Stabilisasi dengan semen pada tanah lempung tidak selalu menghasilkan perbaikan perilaku material yang diharapkan (Ciancio, Beckett, & Carraro, 2014). Beberapa sifat geoteknik tanah akan berubah seketika saat distabilisasi dengan kapur. Tanah lempung yang distabilisasi dengan kapur akan kehilangan sifat kohesifitasnya

dan berperilaku sebagai material granuler (Behnood, 2018). Reaksi tanah lempung-kapur yang paling dominan merubah sifat geoteknik tanah adalah reaksi pozzolanik (Behnood, 2018). Beberapa tahapan reaksi tanah lempung-kapur adalah (a) Flokulasi partikel, (b) Pembentukan formasi kristal kalsit (CaCO_3) karena reaksi antara kapur $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan karbon dioksida (dari udara), dan (c) Formasi produk sementasi seperti CSH (calcium-silicate-hydrates), CAH (Calcium-aluminate-hydrates) dan CASH (calcium-aluminate-silicate-hydrates) yang dapat diamati ketika menggunakan kadar kapur yang tinggi.

Menurut Bell (1996) ion kalsium dari kapur bereaksi dengan tanah lempung, akan terjadi pertukaran kation diantara keduanya. Partikel lempung diselimuti oleh lapisan difusi air ganda, yang akan menyebabkan perubahan kepadatan muatan listrik disekitar partikel yang membuat partikel mendekat satu dengan lainnya dan membentuk flok-flok (gumpalan), proses ini dinamakan flokulasi.

Kapur banyak dicampur dengan material stabilisasi lainnya (Malkanathi *et al.*, 2020) dan terbukti lebih efektif daripada stabilisasi kapur saja dalam meningkatkan kekuatan dan mengurangi sifat kembang susut, bahan-bahan yang biasa dicampurkan dengan kapur antara lain *fly ash*, *bottom ash*, gipsum, abu sekam padi, kalsium karbit, dll. Hal tersebut disebabkan karena pencampuran dengan bahan-bahan tambah tersebut membuat reaksi pembentukan CSH lebih efektif yang akan menyebabkan meningkatnya kekuatan tekan dan nilai CBR (*California Bearing Ratio*) (Behnood, 2018).

Akhir-akhir ini bahan-bahan limbah banyak digunakan sebagai material stabilisasi kimia, selain untuk mengatasi masalah lingkungan juga bermanfaat untuk perbaikan sifat tanah (James & Pandian, 2015). Salah satu jenis limbah rumah tangga dan industri adalah cangkang telur. Kandungan kimia bubuk cangkang telur (*Egg Shell Powder*, ESP) serupa dengan kapur. ESP mengandung *magnesium carbonate* (kapur), kalsium dan protein (Alzaidy, 2019; Amu *et al.*, 2005), sehingga ESP sangat berpotensi digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah menggantikan kapur.

Beberapa penelitian stabilisasi tanah lempung menggunakan bubuk cangkang telur antara lain dilakukan oleh Amu, *et al* (2005); Amu & Salami (2010); Barazesh, *et al* (2012); Nyankson *et al.* (2013); Kumar & Tamilarasan (2014); Tewar & Pandya (2015); Wong (2016); Ahmed, *et al* (2016); Kavyashree *et al* (2016); Prasad, *et al* (2016);

Anoop *et al* (2017); Vijaya (2018); Surjandari & Dananjaya (2018); Oluwatuyi, *et al.* (2018); dan Alzaidy (2019); Diana *et al* (2021). Kebanyakan dari penelitian-penelitian tersebut mengevaluasi potensi dan kadar optimal bubuk cangkang telur dari hasil pengujian sifat mekanik dengan mempertimbangkan kuat tekan bebas, kuat geser dari uji triaksial, kekuatan dukung dengan uji CBR dan perubahan kembang susut tanah.

Sifat indeks tanah sama pentingnya dengan *engineering properties*. Sifat indeks merupakan indikator tidak langsung yang mampu menunjukkan perilaku mekanik/teknik dari tanah (James & Pandian, 2016). Tetapi tidak banyak penelitian yang memfokuskan pada sifat indeks, padahal sifat indeks sangat penting untuk menganalisis perilaku teknik dari tanah yang distabilisasi, lebih sederhana dan cepat pengujiannya di Laboratorium.

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi sifat indeks dari stabilisasi tanah-kapur, dengan substitusi sebagian/seluruh kadar kapur dengan bubuk cangkang telur (ESP). Selain untuk memanfaatkan limbah cangkang telur, mengevaluasi potensi bubuk cangkang telur sebagai bahan alternatif untuk stabilisasi tanah, juga untuk menekan biaya stabilisasi tanah jika bahan ini menunjukkan perbaikan sifat tanah.

Metode

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah lempung, kapur padam (*hydrated lime*), kapur tohor (*quicklime*), dan bubuk cangkang telur (*egg shell powder, ESP*). Tanah lempung diperoleh dari Desa Tamantirta, Kecamatan Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta. Kapur, secara umum ada tiga jenis kapur, yaitu kapur padam (*hydrated lime*) [$\text{Ca}(\text{OH})_2$], kapur tohor (*quicklime*) [CaO] dan kapur karbonat (*carbonat lime*) [CaCO_3]. Pada penelitian ini digunakan kapur padam dan kapur tohor. Kapur padam dan kapur tohor diperoleh dari sentra industri kapur di Wonosari..

Bubuk cangkang telur (*Egg Shell Powder, ESP*). Cangkang telur diperoleh dari limbah industri kuliner yang ada di lingkungan kampus Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Cangkang telur dicuci, dikeringkan, dan kemudian dihaluskan sehingga lolos saringan no 200.

Metode pengujian

Metode penelitian meliputi beberapa tahapan, yaitu persiapan dan karakterisasi dari material yang digunakan, penentuan kadar kapur (baik kapur tohor maupun kapur padam) yang diperlukan (*initial consumption of lime, ICL*), dan pengujian

laboratorium. Tanah terganggu (*disturbed samples*) yang diperoleh dari lapangan disiapkan untuk masing-masing pengujian mengikuti standard ASTM.

Kapur padam yang diperoleh sudah dalam kondisi bubuk, kapur padam ini kemudian disaring, dan yang digunakan dalam penelitian ini adalah yang lolos saringan no. 200. Kapur tohor yang diperoleh dalam bentuk bongkahan, dihaluskan secara mekanis dengan dipukul-pukul menggunakan palu karet, kemudian disaring sehingga lolos saringan no. 200. Masing-masing jenis kapur disimpan dalam wadah kedap air. Bubuk cangkang telur diperoleh dengan cara membersihkan cangkang telur, mengeringkan di udara terbuka, kemudian dihaluskan dan disaring dengan menggunakan saringan no. 200. Bubuk cangkang telur yang digunakan hanya yang lolos saringan tersebut.

Penentuan kadar kapur (ICL)

Kadar kapur yang diperlukan untuk terjadinya stabilisasi tanah atau yang biasanya disebut *initial consumption of lime (ICL)* ditentukan dengan menggunakan uji pH metode Eades and Grim (1966), prosedur yang dilakukan mengikuti ASTM D6276 (ASTM International, 2006). Sampel tanah masing-masing seberat 20 g diletakkan dalam botol plastik tertutup dan dicampurkan dengan kapur, baik untuk kapur padam maupun kapur tohor, dengan kadar masing-masing 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% dari berat kering tanah. Pada tiap tiap botol ditambahkan air destilasi sebanyak 100 mL dan dikocok selama 30 detik, pengocokan diulangi setiap selang waktu 10 menit, selama satu jam. pH meter dengan ketelitian dua angka dibelakang koma dan terkalibrasi digunakan untuk mengukur pH dari larutan tanah-kapur.

Variasi pengujian

Kadar kapur yang diperlukan untuk stabilisasi (ICL) diperoleh dari pengujian pH, yaitu 8%. Pengujian selanjutnya adalah mensubstitusi sebagian kadar kapur dengan bubuk cangkang telur. Variasi pengujian ditampilkan dalam Tabel 1. Kode pengujian 8H0E digunakan untuk kadar kapur padam (*hydrated lime*) 8% dan bubuk cangkang telur 0%, artinya tidak ada kapur yang disubstitusi dengan bubuk cangkang telur. Kode 6H2E adalah untuk kadar kapur 6% dan bubuk cangkang telur 2%, artinya 25% kadar kapur padam pada ICL disubstitusi dengan bubuk cangkang telur. Selanjutnya untuk 4Q4E adalah 4% kadar kapur tohor (*quicklime*) dan 4% bubuk cangkang telur dari berat kering tanah, artinya 50% dari kapur tohor disubstitusi dengan bubuk cangkang telur. Pada masing masing variasi, dilakukan pengujian batas

cair, batas plastis, indeks plastisitas dan batas susut. Selain itu pada setiap variasi pengujian juga dilakukan pengukuran pH dari larutan tanah, kapur dan bubuk cangkang telur. Pada pengujian plastisitas tanah, campuran tanah, kapur, ESP dan air di uji setelah 6 jam dicampurkan, sesuai dengan saran dari Rogers, *et al.* (1997).

Tabel 1. Variasi pengujian

| No | Kode | Kapur padam (%) | Kapur tohor (%) | ESP (%) | Keterangan |
|----|------|-----------------|-----------------|---------|----------------------|
| 1 | 8H0E | 8 | | 0 | Tanpa substitusi ESP |
| 2 | 6H2E | | 6 | 2 | 25% substitusi ESP |
| 3 | 4H4E | | 4 | 4 | 50% substitusi ESP |
| 4 | 2H6E | | 2 | 6 | 75% substitusi ESP |
| 5 | 0H8E | 0 | | 8 | 100% substitusi ESP |
| 6 | 8Q0E | | 8 | 0 | Tanpa substitusi ESP |
| 7 | 6Q2E | | 6 | 2 | 25% substitusi ESP |
| 8 | 4Q4E | | 4 | 4 | 50% substitusi ESP |
| 9 | 2Q6E | | 2 | 6 | 75% substitusi ESP |
| 10 | 0Q8E | | 0 | 8 | 100% substitusi ESP |

Hasil dan Pembahasan

Properties tanah

Properties tanah yang diuji di laboratorium ditunjukkan dalam Tabel 2. Pengujian *specific gravity*, distribusi ukuran butir, batas-batas konsistensi, batas susut, pemadatan Proctor standard dan kuat tekan bebas dilakukan berturut-turut berdasarkan standard ASTM D854 (ASTM International, 1999), ASTM D6913 (ASTM International, 2019), ASTM D4318 (ASTM International, 2010), ASTM D4943 (ASTM International, 2002), ASTM D698 (ASTM International, 2012), dan ASTM D2166 (ASTM International, 2000). Dari Tabel 2 diketahui tanah merupakan tanah lempung plastisitas tinggi (CH) menurut klasifikasi sistem unified. Material tanah dan bubuk cangkang telur dilakukan uji X-Ray Florescence (XRF) untuk menentukan komposisi kimia masing masing bahan. Hasil pengujian kandungan kimia tanah dan bubuk cangkang telur disajikan pada Tabel 3, yang memperlihatkan bahwa kandungan CaO pada bubuk cangkang telur sebesar 95,6% dari massa.

Tabel 2. Properties tanah

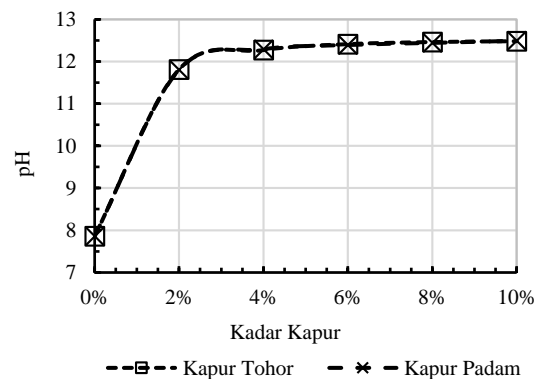
| Properties | Nilai |
|--|--------|
| Specific gravity | 2,66 |
| % kerikil | 0,00 |
| % pasir | 6,46 |
| % lanau/lempung | 93,54 |
| Batas cair (%) | 77,50 |
| Batas plastis (%) | 33,60 |
| Indeks plastisitas (%) | 43,90 |
| Batas susut (%) | 10,43 |
| Klasifikasi USCS | CH |
| Kepadatan kering Maksimum (kN/m ³) | 12,68 |
| Kadar air optimum (%) | 34,83 |
| Kuat tekan bebas (kPa) | 121,23 |
| pH tanah | 7,86 |

Tabel 3. Kandungan kimia tanah dan ESP

| Komposisi (dalam % massa) | Tanah lempung | Bubuk cangkang telur (ESP) |
|--------------------------------|---------------|----------------------------|
| CaO | 3,24 | 95,60 |
| SO ₃ | 0,06 | 2,29 |
| MgO | 0,00 | 0,85 |
| P ₂ O ₅ | 0,10 | 0,52 |
| SiO ₂ | 55,00 | 0,24 |
| K ₂ O | 0,15 | 0,22 |
| Al ₂ O ₃ | 28,20 | 0,06 |
| Fe ₂ O ₃ | 11,40 | 0,06 |

Kadar kapur yang diperlukan

Kadar kapur minimum dalam tanah yang menghasilkan pH 12,40 adalah perkiraan kadar kapur untuk stabilisasi (Eades & Grim, 1966). Hasil pengujian pH diperoleh ICL 8% kadar kapur baik untuk kapur padam maupun kapur tohor. Grafik hasil pengujian pH larutan tanah-kapur untuk setiap penambahan kadar kapur di tampilkan dalam Gambar 1. Pada kadar kapur padam 8% pH larutan 12,44 dan pada larutan tanah-kapur tohor 8% pH adalah 12,46. Pada pH tersebut reaksi pozolanik akan terjadi.



Gambar 1. Pengujian pH untuk menentukan ICL

Komponen silika dan alumina dari tanah akan terurai dan memungkinkan terjadi reaksi dengan Ca^{2+} untuk membentuk produk sementasi kalsium silikat atau kalsium aluminat. Ikatan atau gel dari silikat dan aluminat terhadap partikel lempung akan membuat tanah semakin kuat. Reaksinya tergantung pada waktu, semakin lama perawatannya, reaksi lempung dan kapur akan terus berlangsung dan kekuatannya akan semakin meningkat (Amadi & Okeiyi, 2017). Kadar kapur padam dan kapur tohor 8% inilah yang akan digunakan untuk stabilisasi tanah.

Pengaruh substitusi bubuk cangkang telur terhadap pH

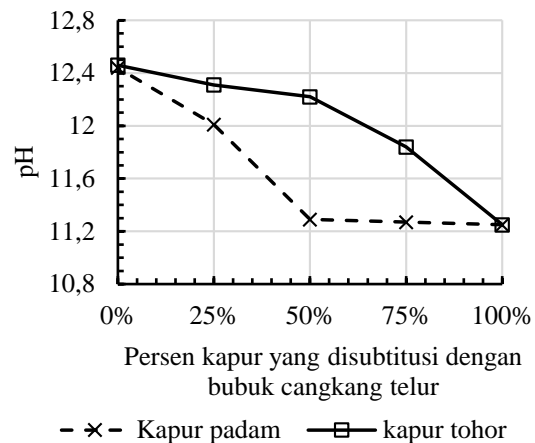
pH tanah adalah ukuran keasaman atau kebasahan dari larutan tanah, biasanya disebut pH air-tanah. pH menunjukkan karakteristik fisik-kimiawi lingkungan tanah pada suatu lokasi, yang dipengaruhi oleh berbagai komponen. pH biasanya ditulis dari rentang 0 sampai 14, pH 7 disebut netral, pH dibawah 7 dan di atas 7 disebut asam dan basa. pH tanah tergantung pada dua faktor utama, yaitu rasio *liquid-solid* dan konsentrasi ion pada cairan pori. Peningkatan pada kedua faktor akan menurunkan pH dari larutan, karena H^+ dan Al^{3+} kation asam yang ada pada permukaan tanah dapat berganti dengan kation lainnya dalam larutan (Cherian & Arnepalli, 2015). Selama interaksi tanah-kapur, pH larutan tanah akan meningkat karena kelebihan ion hidroksil dari peruraian kapur dan reaksi pozolanik selanjutnya akan dimulai pada pH 12,40.

Pada pengujian pH larutan tanah-kapur-bubuk cangkang telur seperti ditampilkan Gambar 2, semakin banyak bubuk cangkang telur yang digunakan untuk mensubstitusi kapur, pH larutan semakin turun. Untuk larutan tanah-kapur tohor-bubuk cangkang telur, penurunan pH tidak secaram larutan tanah-kapur padam-bubuk cangkang telur. Larutan tanah- bubuk cangkang telur 8% pH sebesar 11,25. Penurunan pH ini disebabkan karena berkurangnya kandungan kapur, sedang kandungan/konsentrasi ion kalsium pada bubuk cangkang telur tidak sebesar kapur.

Pengaruh substitusi bubuk cangkang telur terhadap plastisitas

Indeks plastisitas (IP) tanah asli sebesar 43,90% dengan batas cair 77,50% dan batas plastis 33,60%, yang menunjukkan bahwa tanah tersebut merupakan tanah dengan plastisitas tinggi. Tanah dengan plastisitas tinggi dipercaya akan memiliki potensi pengembangan yang tinggi pula, tanah lempung tersebut dapat mengalami perubahan volume yang besar jika indeks plastisitas lebih dari

35% (Chen, 1975; Nelson *et al.*, 2015). Tanah tanah yang memiliki batas cair yang tinggi dan batas plastis yang rendah akan menyebabkan indeks plastisitasnya tinggi dan cenderung lebih plastis. Tanah-tanah tersebut akan sulit dikerjakan dan memiliki karakteristik kembang susut yang buruk.



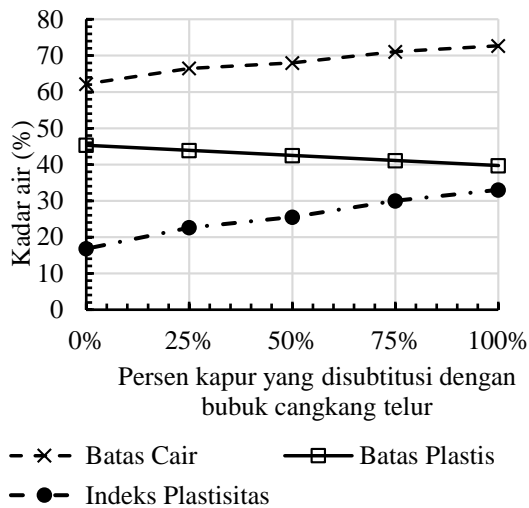
Gambar 2. Pengukuran pH campuran tanah-kapur-bubuk cangkang telur

Pengaruh penambahan kapur pada tanah dapat diketahui segera dengan melihat perubahan plastisitas pada tanah, penambahan 8% kapur padam (*hydrated lime*) merubah indeks plastisitas tanah menjadi 16,80%, berarti terjadi penurunan sebesar 61,73%. Penambahan kapur tohor (*quick lime*) merubah indeks plastisitas tanah menjadi 19,6%, penurunan indeks plastisitas sebesar 55,35%. Penurunan indeks plastisitas ini disebabkan karena menurunnya batas cair, dan meningkatnya batas plastis tanah setelah distabilisasi dengan kapur. Ion kalsium pada kapur akan menyebabkan plastisitas berkurang, sehingga tanah menjadi gembur dan lebih mudah dikerjakan (Bell, 1996).

Substitusi kadar kapur dengan ESP pada tanah menyebabkan indeks plastisitas tanah meningkat dibandingkan dengan campuran tanah-kapur saja, seperti ditunjukkan Gambar 3. Semakin banyak kadar ESP yang menggantikan kapur, indeks plastisitas semakin meningkat dibandingkan dengan stabilisasi tanah-kapur. Indeks plastisitas pada substitusi 25%, 50%, 75% dan 100% ESP berturut turut meningkatkan indeks plastisitas menjadi 22,60%, 25,50%, 30,00% dan 33,00% untuk stabilisasi tanah-kapur padam.

Pada stabilisasi tanah-kapur tohor yang ditunjukkan Gambar 4, kecenderungan serupa juga terjadi, semakin banyak ESP yang disubstitusikan untuk mengganti kapur tohor, indeks plastisitas tanah semakin meningkat dibandingkan IP stabilisasi tanah-kapur, peningkatan IP berturut turut untuk

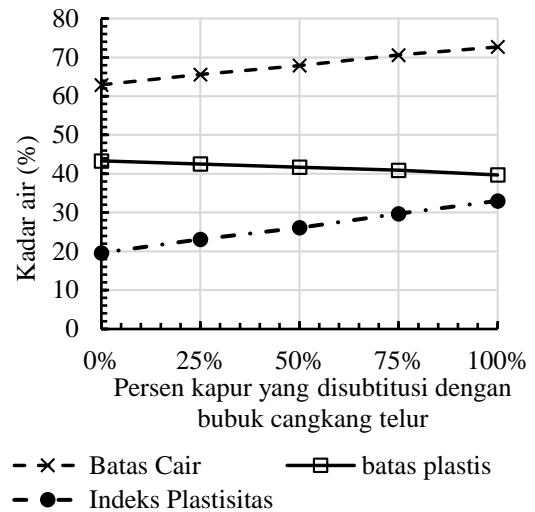
substitusi 25%, 50%, 75% dan 100% ESP menjadi 23,10%, 26,10%, 29,70% dan 33,00%. Walaupun IP kembali meningkat dengan substitusi kapur menggunakan ESP, tetapi nilai IP masih di bawah IP tanah tanpa stabilisasi. Pada penggantian seluruh kadar kapur dengan ESP, IP campuran tanah-ESP sebesar 33,00%, masih lebih kecil dibandingkan IP tanah tanpa stabilisasi (43,90%), ada penurunan IP sebesar 24,98%.



Gambar 3. Pengaruh substitusi bubuk cangkang telur terhadap batas-batas konsistensi campuran tanah-kapur padam

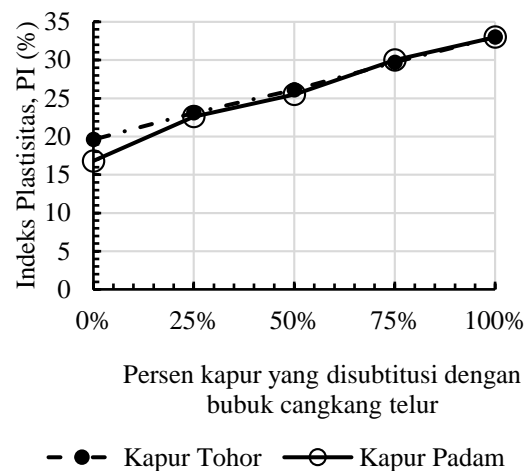
Penurunan indeks plastisitas mengindikasikan adanya perbaikan pada workabilitas tanahnya. Semakin rendah indeks plastisitas semakin sedikit air yang dapat diserap tanah, dan semakin kecil potensi pengembangannya (Al-Swaidani, *et al*, 2016). Beberapa kemungkinan penyebab penurunan indeks plastisitas tanah antara lain karena reaksi kimia antara tanah dan kapur termasuk juga pertukaran kation yang menyebabkan terjadi flokulasi (Al-Swaidani *et al*, 2016). Penambahan kapur pada tanah menyebabkan reaksi koloidal termasuk pertukaran kation secara alami pada bagian permukaan lempung oleh kation Ca^{2+} , meningkatnya nilai pH dan pengurangan lapisan ganda air, hal ini akan membantu flokulasi dan agregasi dari partikel koloid lempung dan mengurangi plastisitasnya (Samantasinghar, 2014). Bubuk cangkang telur memiliki sifat serupa batu kapur (*limestone*) (James & Pandian, 2015), untuk meningkatkan kandungan ion kalsium oleh beberapa peneliti seperti Amu, *et al* (2005), Nyankson *et al*. (2013) menyarankan bubuk cangkang telur sebaiknya dilakukan pembakaran (kalsinasi) untuk meningkatkan konsentrasi dari kalsium sehingga reaksi pozolanisasi yang terjadi pada tanah akan serupa dengan kapur (kapur padam atau kapur tohor).

Hasil penelitian Bell (1996) dan Cherian & Arnepalli (2015) menunjukkan bahwa kapur tohor (*quicklime*) menunjukkan perkembangan kekuatan (*strength*) yang lebih cepat daripada kapur padam (*hydrated lime*).



Gambar 4. Pengaruh substitusi bubuk cangkang telur terhadap batas-batas konsistensi campuran tanah-kapur tohor

Kecenderungan perilaku perubahan indeks plastisitas untuk tanah yang distabilisasi dengan kapur padam dan kapur tohor hampir sama, seperti ditunjukkan Gambar 5.

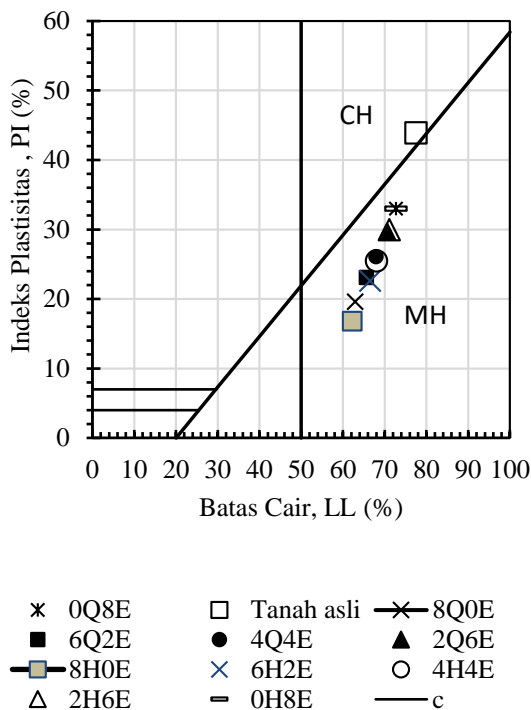


Gambar 5. Perbandingan jenis kapur terhadap plastisitas

Hasil penelitian Amadi and Okeiyi (2017) menunjukkan bahwa pada kadar yang sama, kapur tohor menghasilkan plastisitas yang lebih rendah daripada kapur padam. Sementara kapur padam digunakan untuk stabilisasi tanah dengan kandungan lempung yang tinggi, dengan kelebihanannya yaitu meningkatkan batas plastis tanah lempung. Tetapi beberapa peneliti juga

menyatakan bahwa pengaruh perubahan pada stabilisasi tanah sangat tergantung kandungan kalsium oksida (CaO) dari berbagai jenis kapur (Cherian & Arnepalli, 2015; Dash & Hussain, 2011).

Hasil pengujian batas-batas konsistensi diplotkan dalam grafik plastisitas Cassagrande untuk menentukan klasifikasi tanah berdasarkan *Unified Soil Classification System (USCS)* seperti ditampilkan Gambar 6. Dari Gambar 6 tersebut terlihat dengan jelas, tanah tanpa stabilisasi diklasifikasikan sebagai CH. Setelah penambahan kapur dan bubuk cangkang telur, menjadi tanah MH. Hal ini menunjukkan tanah mengalami perubahan gradasi sehingga lebih menguntungkan untuk kegiatan konstruksi.



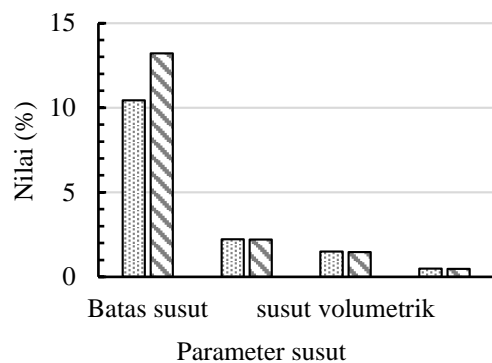
Gambar 6. Lokasi kombinasi stabilisasi tanah-kapur dengan bubuk cangkang telur pada grafik plastisitas

Pengaruh Substitusi Bubuk Cangkang Telur Terhadap Parameter Susut Tanah

Gambar 7 menunjukkan bahwa stabilisasi tanah dengan menggunakan 8% bubuk cangkang telur menyebabkan peningkatan batas susut tanah. Batas susut tanah adalah kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air berikutnya tidak menyebabkan perubahan volume tanah (Hardiyatmo, 2017). Peningkatan nilai batas susut menunjukkan bahwa perubahan volume tanah akan berhenti pada kadar air yang lebih tinggi, sehingga

mengurangi rentang tanah akan mengalami perubahan volume (James & Sivakumar, 2014). Pengurangan rentang penyusutan memperbaiki karakteristik kembang susut tanah, di atas rentang tersebut tanah dapat menyusut jika kehilangan kadar air atau mengembang jika menyerap air. Hal tersebut juga menunjukkan pengurangan ekspansivitas tanah lempung, dalam penelitian ini stabilisasi dengan ESP, batas susut (SL) tanah meningkat sebesar 26,65%, tanah asli tanpa stabilisasi memiliki batas susut 10,43%, setelah distabilisasi dengan ESP 8% batas susutnya menjadi 13,21%.

Parameter lainnya seperti rasio susut (*shrinkage ratio*, SR) yang merupakan perbandingan antara perubahan volume pada rentang tertentu terhadap perubahan kadar air sampel tanahnya. Perubahan volumenya dalam bentuk persentase terhadap volume keringnya. Pada penelitian ini rasio susut tanah dengan 8% ESP sedikit lebih rendah daripada tanah asli, pada tanah asli, SR sebesar 2,23 setelah distabilisasi dengan ESP SR menurun menjadi 2,21. Susut Volumetrik adalah representasi dari perubahan volume yang dinyatakan dalam persentase volume kering ketika kadar air tanah berkurang dari nilai awal sampai nilai batas cair.



■ Tanah Asli ▨ Tanah + 8% Bubuk cangkang telur

Gambar 7. Perbandingan parameter susut tanah asli dan tanah dengan stabilisasi bubuk cangkang telur

Pada penelitian ini susut volumetrik tanah yang distabilisasi dengan ESP berkurang, susut volumetrik tanah tanpa stabilisasi 1,5, setelah distabilisasi menjadi 1,47. Ketika kadar air dalam tanah berkurang sampai dengan batas susut, akan ada perubahan panjang. Susut linier adalah perubahan panjang dibagi dengan panjang semula. Besarnya susut linier di konversi dari nilai susut volumetrik. Tanah asli tanpa stabilisasi nilai susut liniernya 0,49, berkurang dengan stabilisasi ESP 8%, susut liniernya menjadi 0,48.

Dari hasil pengujian eksperimental ini diketahui bubuk cangkang telur memiliki potensi digunakan

sebagai bahan stabilisasi tanah, walaupun tingkat perbaikan yang dihasilkannya tidak setinggi stabilisasi dengan menggunakan kapur konvensional. Beberapa penelitian menggabungkan bubuk cangkang telur dengan kapur (Amu, *et al.*, 2005) dan semen (Oluwatuyi *et al.*, 2018) untuk meningkatkan efek stabilisasi dan menekan biaya stabilisasi. Penelitian ini hanya meninjau perubahan jangka pendek dari stabilisasi tanah, kapur, bubuk cangkang telur, dengan pengujian plastisitas, batas susut dan pH dimana perubahan dari sifat indeks ini dapat digunakan untuk memprediksi perilaku mekanis dan perilaku jangka panjang dari stabilisasi tanah, tetapi untuk melihat perubahan jangka panjang dari stabilisasi dan kadar optimum dari material stabilisasi, pengujian kekuatan tanah dengan parameter kuat tekan bebas, CBR, atau kekuatan geser tanah perlu dilakukan

Kesimpulan

Pengujian untuk menilai perbaikan jangka pendek dari tanah yang distabilisasi dilakukan dengan melakukan pengujian plastisitas, batas susut dan pH larutan. Beberapa hasil pengujian dapat disimpulkan: stabilisasi tanah dengan menggunakan kapur, mampu menurunkan indeks plastisitas tanah. Penggunaan kapur padam untuk stabilisasi mampu menurunkan indeks plastisitas tanah 61,73%, sedang penggunaan kapur tohor mampu menurunkan indeks plastisitas 55,35%. Baik stabilisasi dengan kapur tohor maupun kapur padam perilaku indeks plastisitas tanah menunjukkan hasil yang serupa.

Substitusi bubuk cangkang telur menggantikan kadar kapur menyebabkan indeks plastisitas tanah kembali meningkat dibandingkan stabilitas tanah-kapur, semakin besar proporsi kapur yang digantikan bubuk cangkang telur indeks plastisitasnya semakin meningkat. Tetapi besarnya indeks plastisitas campuran tanah-bubuk cangkang telur masih lebih rendah daripada indeks plastisitas tanah tanpa stabilisasi, besarnya penurunan indeks plastisitas tanah-bubuk cangkang telur sebesar 24,98% dibanding tanah asli tanpa stabilisasi. Batas susut tanah yang distabilisasi dengan bubuk cangkang telur meningkat 26,65%. Bubuk cangkang telur berpotensi dijadikan material stabilisasi, namun perubahan yang dihasilkan masih lebih kecil dibandingkan stabilisasi tanah dengan kapur konvensional. Pengujian sifat indeks tanah yang dilakukan berguna untuk mengevaluasi perubahan yang terjadi akibat stabilisasi jangka pendek, parameter sifat indeks ini dapat digunakan untuk memprediksi perilaku teknik/mekanik tanah. Untuk mengevaluasi kadar optimum dan pengaruh stabilisasi jangka panjang pengujian kekuatan tanah sangat disarankan.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada LP3M Universitas Muhammadiyah Yogyakarta atas dukungan dana dan kegiatan dalam penelitian Hibah Terapan 2019/2020 dengan nomor kontrak 034/PEN-LP3M/I/2020.

Daftar Pustaka

- Ahmed, B., Rahman, A., & Das, J. (2016). Eggshell powder utilization as CBR modifying agent to improve the subgrade soil. In *Proceed. Inter. Conf. Civ. Eng. Sustain. Develop.* 1121-1126.
- Al-Swaidani, A., Hammoud, I., & Meziab, A. (2016). Effect of adding natural pozzolana on geotechnical properties of lime-stabilized clayey soil. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 8(5), 714-725.
- Alzaidy, M. N. (2019, May). Experimental study for stabilizing clayey soil with eggshell powder and plastic wastes. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 518(2), 022008. IOP Publishing.
- Amadi, A. A., & Okeiyi, A. (2017). Use of quick and hydrated lime in stabilization of lateritic soil: comparative analysis of laboratory data. *International Journal of Geo-Engineering*, 8(1), 1-13.
- Amu, O. O., Fajobi, A. B., & Oke, B. O. (2005). Effect of eggshell powder on the stabilizing potential of lime on an expansive clay soil. *Research journal of Agriculture and biological sciences*, 1(1), 80-84.
- Amu, O. O., & Salami, B. A. (2010). Effect of common salt on some engineering properties of eggshell stabilized lateritic soil. *ARPN journal of Engineering and applied sciences*, 5(9), 64-73.
- Anoop, S. P., Beegom, H., Johnson, J. P., Midhula, J., TN, T. M., & Prasanth, S. (2017). Potential of egg shell powder as replacement of lime in soil stabilization. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 4(8), 237244.
- ASTM International. (1999). *D 854 Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer*. In. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM International. (2002). *D 4943 Standard Test Method for Shrinkage Factors of Cohesive Soils by the Water Submersion Method*. In. West Conshohocken: ASTM International.

- ASTM International. (2012). *D 698 Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³))*. In. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM International. (2019). *D6913 Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis*. West Conshohocken, PA: ASTM Internasional.
- ASTM International. (1999). *D6276 In Standard Test Method for Using pH to Estimate the Soil-Lime Proportion Requirement for Soil Stabilization*. West Conshohocken PA: ASTM International.
- ASTM International. (2000). *D2166 Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil*. In. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM International. (2006). *D 6276-99a In Standard Test Method for Using pH to Estimate the Soil-Lime Proportion Requirement for Soil Stabilization*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM International. (2010). *D4318 In Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils*. West Conshohocken, PA: ASTM Internasional.
- Barazesh, A., Saba, H., Gharib, M., & Rad, M. Y. (2012). Laboratory investigation of the effect of eggshell powder on plasticity index in clay and expansive soils. *European Journal of Experimental Biology*, 2(6), 2378-2384.
- Behnood, A. (2018). Soil and clay stabilization with calcium-and non-calcium-based additives: A state-of-the-art review of challenges, approaches and techniques. *Transportation Geotechnics*, 17, 14-32.
- Bell, F. G. (1996). Lime stabilization of clay minerals and soils. *Engineering geology*, 42(4), 223-237.
- Chen, F. H. (1975). *Foundations on Expansive Soil* Amsterdam: Elsevier Publishing scientific Company.
- Cherian, C., & Arnepalli, D. N. (2015). A critical appraisal of the role of clay mineralogy in lime stabilization. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 1(1), 1-20.
- Ciancio, D., Beckett, C. T. S., & Carraro, J. A. H. (2014). Optimum lime content identification for lime-stabilised rammed earth. *Construction and Building Materials*, 53, 59-65. doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.11.077
- Dash, S. K., & Hussain, M. (2012). Lime stabilization of soils: reappraisal. *Journal of materials in civil engineering*, 24(6), 707-714.
- Diana, W., Widiyanti, A., & Hartono, E. (2021, May). The Strength Behaviour of Eggshell Powder Substitution on Soil-lime Stabilization. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1144(1), 012089). IOP Publishing.
- Eades, J. L., & Grim, R. E. (1966). A quick test to determine lime requirements for lime stabilization. *Highway research record*, (139).
- Vijaya, H. M., Paul, W., & Vardhan, J. (2018). Improvement of subgrade properties by using eggshell powder. *IJSR*, 17(2), 479-503.
- Hardiyatmo, H. C. (2017). *Mekanika Tanah I* (7 ed.). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Ikeagwuani, C. C., & Nwonu, D. C. (2019). Emerging trends in expansive soil stabilisation: A review. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 11(2), 423-440.
- James, J., & Pandian, P. K. (2015). Soil stabilization as an avenue for reuse of solid wastes: a review. *Acta Technica Napocensis: Civil Engineering and Architecture*, 58(1), 50-76.
- James, J., & Pandian, P. K. (2016). Plasticity, swell-shrink, and microstructure of phosphogypsum admixed lime stabilized expansive soil. *Advances in Civil Engineering*, 2016.
- James, J., Lakshmi, S. V., Pandian, P. K., Aravindan, S., Vidhya Lakshmi, S., Kasinatha Pandian, P., & Aravindan, S. (2014). Effect of lime on the index properties of rice husk ash stabilized soil. *International Journal of Applied Engineering Research*, 9(18), 4263-4272.
- Kavyashree, M. P., Renukaprasad, M. S., & Maruti, R. N. (2016). Black Cotton Soil Stabilization Using Eggshell Powder and Lime. *IJSART*, 2(10), 1-81.
- Kumar, M., & Tamilarasan, V. S. (2014). Effect of eggshell powder in the index and engineering properties of soil. *Int J Eng Trends Technol*, 11, 319-321.
- Malkanathi, S. N., Balthazaar, N., & Perera, A. A. D. A. J. (2020). Lime stabilization for compressed

stabilized earth blocks with reduced clay and silt. *Case studies in construction materials*, 12, e00326.

Nelson, J. D., Chao, K. C., Overton, D. D., & Nelson, E. J. (2015). *Foundation engineering for expansive soils*. John Wiley & Sons.

Nyankson, E., Agyei-Tuffour, B., Annan, E., DodooArhin, D., Yaya, A., Brefo, L. D., ... & Odai, E. (2013). Characteristics of stabilized shrink-swell deposits using eggshell powder. *Glob J Eng, Des Technol*, 2(3), 1-7.

Oluwatuyi, O. E., Adeola, B. O., Alhassan, E. A., Nnochiri, E. S., Modupe, A. E., Elemile, O. O., ... & Akerele, G. (2018). Ameliorating effect of milled eggshell on cement stabilized lateritic soil for highway construction. *Case Studies in Construction Materials*, 9, e00191.

Prasad, K., James, P. P., Mathachan, N., & Justine, T. L. (2016). Effect of curing on soil stabilized with eggshell. *International Journal of Science and Technology & Engineering*, 2(12), 259-264.

Rogers, C. D. F., Glendinning, & Roff, T. E. J. (1997). Lime modification of clay soils for construction expediency. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Geotechnical Engineering*, 125(4), 242-249.

Samantasinghar, S. (2014). Geo-engineering properties of lime treated plastic soils. *Doctoral Dissertation*. National Institute of Technology Rourkela. India

Surjandari, N. S., & Dananjaya, R. H. (2018). The effect of egg shell powder on the compression strength of fine-grained soil. In *MATEC Web of Conferences*, 195, 03011). EDP Sciences.

Tewar, B., & Pandya, C. (2015, March). BLACK COTTON SOIL STABILIZATION USING EGG SHELLS FOR USE IN SUB-GRADE. In *Proceedings of the 5th Indian Young Geotechnical Engineers Conference (5IYGEC): Extended Abstracts*. Shweta Publications.

Wong, I. L. K. (2016). Study added of waste chicken egg shell in soils. In *MATEC Web of Conferences*, 60, 02007. EDP Sciences.