

Perbaikan Sifat Mekanis Tanah Lempung Ekspansif Menggunakan Abu Vulkanis Sinabung dan Kapur

Improvement the Mechanical Properties of Expansive Clay Using Sinabung Volcanic Ash and Lime

Devi Oktaviana Latif¹, Ahmad Rifa'i², Kabul Basah Suryolelono³

¹Kandidat Doktor Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada

²Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada

³Fakultas Teknik Sipil Universitas Sarjanawisata Tamansiswa

¹dv.oktaviana@ugm.ac.id, ²ahmad.rifai@ugm.ac.id, ³kalulbasah@yahoo.com

Abstrak

Permasalahan tanah ekspansif dan penanganan limbah abu vulkanis merupakan isu penting saat ini. Pemasalahan tanah ekspansif yang tidak menguntungkan dalam konstruksi karena memiliki sifat mudah mengalami perubahan volume akibat pengaruh kelembaban dan air sehingga menyebabkan daya dukungnya rendah sementara limbah abu vulkanis masih perlu mendapatkan perhatian karena akumulasi dan kurangnya lokasi pembuangan. Catatan letusan Sinabung sampai dengan tahun 2016 masih mengalami erupsi dan memuntahkan material vulkanis sehingga penanganan limbah abu vulkanis menjadi perhatian langsung karena akumulasi dan kurangnya lokasi pembuangan. Penelitian ini bertujuan untuk menyelesaikan kedua permasalahan tersebut dengan cara mencampur tanah ekspansif, abu vulkanis dan kapur dengan variasi tertentu dalam rangka memperbaiki sifat mekanis tanah dan mengurangi dampak penumpukan abu vulkanis. Uji yang dilakukan yaitu pemadatan tanah, uji triaxial, uji swelling dan uji swelling potential dilakukan untuk menganalisis pengaruh penambahan limbah abu vulkanis dan kapur terhadap sifat mekanis tanah. Pencampuran limbah abu vulkanis dan bahan kapur dengan tanah ekspansif dapat meningkatkan berat volume tanah, mengurangi kadar air optimum, peningkatan nilai geser tanah mengurangi perilaku perubahan volume tanah ekspansif. Sehingga material yang dianggap tidak dibutuhkan dan merugikan terhadap lingkungan dan masyarakat memiliki ternyata menjadi keuntungan untuk rekayasa teknik sipil.

Kata kunci: abu vulkanis sinabung, tanah ekspansif, perbaikan tanah

Abstract

Problems expansive soil and volcanic ash waste is an important issue. The expansive soil is not favorable in construction because it is easily undergoing changes in volume due to the influence of moisture and water, causing lower bearing capacity. While, the volcanic ash still needs to be addressed because of the accumulation and the lack of a disposal site. Sinabung eruption records until 2016 are still experiencing erupted and spewed volcanic material. So, the volcanic ash waste handling has become a direct concern for the accumulation and the lack of a disposal site. This study aims to settle both these problems by mixing the expansive soil, volcanic ash and lime with certain variations in order to improve the mechanical properties of the soil and reduce the impact of volcanic ash build up. Compaction Test, triaxial test, swelling test and swelling potential test conducted to analyze the effect of volcanic ash and lime to the soil mechanical properties. Stabilizing expansive soil with volcanic ash and lime can increase soil volume weight, reducing the optimum moisture content, increasing the value of shear, reduces the volume change behavior of expansive soil. So that the material is considered to be unnecessary and harmful to the environment and society has turned out to be a boon for civil engineering.

Keywords: Sinabung Volcanic ash, expansive soil, soil improvement

1. PENDAHULUAN

Pekerjaan rekayasa konstruksi sipil bidang geoteknik harus mengatasi banyak kasus yang berhubungan dengan tanah ekspansif karena kurangnya ketersediaan tanah yang memiliki kapasitas dukung baik. Tanah ekspansif tidak menguntungkan dalam konstruksi karena memiliki sifat mudah mengalami perubahan volume akibat pengaruh kelembaban dan air. Hal ini ditandai dengan kekuatan rendah serta mengalami kembang susut yang besar. Untuk meningkatkan daya dukung tanah maka perlu dilakukan perbaikan sifat-sifat tanah yaitu sifat fisis dan mekanis tanah.

Indonesia merupakan negara kepulauan yang dilintasi garis khatulistiwa dan berada di antara Benua Asia dan Benua Australia serta antara Samudra Pasifik dan Samudra Hindia. Wilayah Indonesia dilalui jalur *The Pasific Ring of Fire* (Cincin Api Pasifik), yang merupakan jalur rangkaian gunung api aktif di dunia. Gunung api yang aktif di Indonesia berjumlah sekitar 83 gunung api.

Salah satu gunung aktif di Indonesia adalah Gunung Sinabung berada di Dataran Tinggi Karo, Kabupaten Karo, Sumatera Utara. Catatan aktivitas mengenai Gunung Sinabung yang terjadi beberapa tahun ini menunjukkan banyaknya material hasil erupsi Gunung Sinabung mengeluarkan material Abu Vulkanis. Pada September 2010 terjadi 2 kali letusan, September 2013 terjadi empat kali letusan, dan Mei 2016 terjadi letusan Gunung Sinabung. Material hasil erupsi perlu mendapat perhatian dalam rangka mengurangi penumpukan material vulkanis, menggunakan dan mendaur ulang material vulkanis khususnya abu vulkanis yang digunakan untuk stabilisasi tanah yang sementara ini abu vulkanis masih tergolong material limbah dan belum dimanfaatkan secara luas oleh masyarakat.

Penelitian ini bertujuan untuk menyelesaikan kedua permasalahan tersebut dengan cara mencampur tanah ekspansif dan abu vulkanis dalam rangka memperbaiki sifat mekanis tanah dan mengurangi dampak penumpukan abu vulkanis.

1.1 Kajian Pustaka

Beberapa peneliti telah membahas mengenai tentang abu vulkanis sebagai material stabilisasi. Rifa'i dan Yasafuku (2013) membahas mengenai karakteristik, klasifikasi dan manfaat abu vulkanis merapi sebagai bahan stabilisasi tanah dengan campuran abu vulkanis 15%, 20%, 25%, 30% dan 35% dan penambahan kapur 5% dan 10%. Hasil yang diperoleh terhadap sifat fisik dan mekanis tanah mengalami penurunan nilai *Liquid limit*, *swelling potential* dan peningkatan nilai CBR yang signifikan pada campuran abu vulkanis 35% dan kapur 5%. Kehalusan abu vulkanik (pozzolan) merupakan faktor utama dalam proses stabilisasi. Pemanfaatan abu vulkanik dengan ukuran butir yang lewat saringan no. 270 lebih efektif. Pengaruh kadar abu vulkanik pada stabilisasi tanah dapat: (1) meningkatkan sifat rekayasa tanah lunak; (2) mengubah kurva distribusi ukuran butir dengan mengurangi fraksi halus; (3) menurunkan batas konsistensi dan menjadi tanah non-plastik; (4) meningkatkan kapasitas bantalan; dan, (5) menurunkan *swelling potensial*. Penambahan 35% abu vulkanik dan 9% kapur memberikan efek paling signifikan pada perbaikan tanah (Rifa'i, et al., 2014). Latif dkk (2016) meneliti mengenai karakteristik kimia abu vulkanis Merapi, Kelud dan Sinabung. Penelitian tersebut menggunakan XRD dan SEM untuk mendapatkan komposisi mineral dan morfologi dari abu vulkanis yang akan digunakan sebagai bahan stabilisasi. Hasil yang diperoleh morfologi dan mineral yang

terkandung pada ketiga abu vulkanis tersebut sedikit berbeda tetapi kandungan pozzolan abu vulkanis yaitu Si sebesar 45-60% dan Al sebesar 14-20% sehingga abu vulkanis dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi. Latif dkk, (2016) melakukan penelitian pengaruh penambahan abu vulkanis Kelud dan kapur pada sifat fisik tanah lempung ekspansif dengan variasi campuran abu vulkanis 20%, 22%, 25%, 27% dan 30% sementara variasi kapur 3%, 5%, 7% dan 8%. Dari penelitian tersebut diperoleh pada variasi campuran abu vulkanis 20%, 22%, 25%, 27% dan 30% dan kapur 3% dan 5% merupakan campuran yang optimum dan memberikan hasil penurunan nilai LL, PL dan PI yang signifikan.

1.2 Landasan Tori

Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah pencampuran tanah dengan bahan tertentu untuk memperbaiki sifat-sifat teknis tanah. Proses stabilisasi tanah meliputi pencampuran tanah dengan tanah lain atau bahan tambah untuk memperoleh gradasi yang diinginkan sehingga sifat-sifat teknis tanah seperti: kuat dukung, kompresibilitas, permeabilitas, potensi pengembangan dan sensitivitas menjadi lebih baik (Hardiyatmo, 2010). Mengubah *index properties* tanah menjadi material yang lebih baik dan mampu memenuhi persyaratan suatu konstruksi disebut dengan stabilisasi tanah (Ingels dan Metcalf, 1972). Secara umum stabilisasi tanah dibedakan dalam tiga metode yaitu stabilisasi fisis, stabilisasi mekanis, dan stabilisasi kimiawi. Stabilisasi fisis yakni mencampur tanah berkarakteristik jelek dengan tanah berkarakteristik baik. Stabilisasi mekanis yaitu meningkatkan kuat geser dan kohesi tanah dengan cara diberi perkuatan, sedangkan stabilisasi kimiawi mengandalkan bahan stabilisator sehingga dapat mengurangi sifat-sifat tanah yang kurang menguntungkan disertai peningkatan butiran tanah.

Abu Vulkanik

Abu vulkanis adalah bahan material vulkanis jatuhnya berukuran halus yang disebarkan ke udara saat terjadi suatu letusan gunung merapi terdiri dari Potongan kecil batuan, mineral, dan kaca vulkanis ukuran pasir dan lumpur kurang dari 2 milimeter (1/12 inci) dengan diameter. Partikel abu yang sangat kecil bisa kurang dari 0,001 milimeter (1/25.000 inci). Abu vulkanis bukan merupakan hasil dari pembakaran, seperti bahan berbulu lembut yang dibuat oleh pembakaran kayu, daun, atau kertas. Abu vulkanis yang keras, tidak larut dalam air, sangat kasar dan agak korosif, dan dapat menghantarkan listrik pada saat basah (<http://volcanoes.usgs.gov/ash/properties.html>).

Mineral yang terkandung pada abu vulkanis berasal dari magma. Mineral ini mengkristal dan tumbuh dalam magma sementara itu di bawah permukaan bumi. Jenis mineral yang terkandung dalam abu vulkanis tergantung pada susunan kimia magma. Kekuatan mineral yang terkandung bervariasi dengan mineral keras yang lebih abrasif. Kaca vulkanis relative tinggi dibandingkan dengan silika kristal mineral, tetapi relatif rendah dalam unsur non-silika (terutama Mg dan Fe). Kedua gelas dan mineral yang paling hamper selalu mengandung Si, Al, K, Na, Ca, Mg dan/atau Fe.

Tanah Ekspansif

Tanah ekspansif merupakan tanah lempung yang mengembang ketika menerima air dan menyusut ketika kekurangan air. Tanah ekspansif banyak ditemui di daerah gersang dan mengandung sejumlah besar mineral lempung, untuk mengering menjadi jenis lempung yang kurang aktif dan juga tidak memberikan perlindungan yang mencukupi untuk mengangkat partikel lempung cukup jauh ke dalam lapisan agar dapat memperkecil efeknya. Jadi jika terjadi peningkatan kadar air

maka akan terjadi peningkatan tekanan air pori yang dapat mengakibatkan pengembangan tanah. Sedangkan jika air berkurang sampai batas susutnya maka akan terjadi penyusutan. Hal ini terjadi akibat pengaruh partikel-partikel dalam tanah ekspansif.

Kepadatan Tanah

Pemadatan tanah di lapangan sering dilakukan, jika sebagai bahan timbunan tanah membutuhkan perbaikan guna mendukung bangunan di atasnya. Tanah Pemadatan merupakan proses bertambahnya berat volume kering tanah sebagai akibat memadatnya partikel yang diikuti oleh pengurangan volume udara dengan volume air tetap tidak berubah oleh beban dinamis. Tujuan pemadatan adalah mempertinggi kuat geser tanah, mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas), mengurangi permeabilitas tanah, dan mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air, dan lain-lain. Tingkat kepadatan tanah diukur dengan berat volume kering tanah yang dipadatkan. Jika kadar air suatu tanah tertentu rendah, maka tanah itu keras dan susah dipadatkan. Jika kadar air ditambah, maka air itu akan berfungsi sebagai pelumas untuk memudahkan tanah bergerak dan bergeser satu sama lain saat dipadatkan, sehingga kedudukan butiran menjadi lebih rapat. Hubungan berat volume kering dengan berat volume basah serta kadar air dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+w} \quad (1)$$

Uji Triaksial

Pada percobaan triaksial ini, dapat digunakan tanah uji dengan diameter kira-kira 3,81 cm dan tinggi 7,62 cm. Benda uji dimasukkan dalam selubung karet tipis dan diletakkan kedalam tabung kaca. Pada percobaan ini terjadi dua tegangan utama

yaitu tegangan vertikal total (σ_1) dan tegangan sel (σ_3). Untuk menentukan parameter gesernya yaitu nilai ϕ dan nilai c dari percobaan ini digunakan lingkaran-lingkaran Mohr pada saat tegangan efektif mencapai nilai maksimum.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Uji Material

Penyelidikan eksperimental dilakukan untuk mempelajari perilaku mekanis tanah lempung ekspansif yang distabilisasi dengan abu Sinabung dan kapur. Pengujian dilakukan dengan variasi kadar abu vulkanis 20%, 22%, 25%, 27%, 30% dan kadar kapur 3% dengan masa pemeraman 0 dan 14 hari. Hasil uji tanah asli disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Sifat Fisis Dan Mekanis Lempung Sidowayah, Ngawi

| No | Sifat Fisis dan Mekanis Tanah | Hasil Uji |
|----|----------------------------------|--------------------------|
| 1 | Specific gravity (Gs) | 2,63 |
| 2 | Water content (w) | 55,93 % |
| 3 | Liquid limit (LL) | 96,63 % |
| 4 | Plasticity limit (PL) | 47,96 % |
| 5 | Plasticity index (PI) | 48,67 % |
| 6 | Shrinkage limit (SL) | 10,83 % |
| 7 | Dry unit weight (γ_d) | 1,02 g/cm ³ |
| 8 | Moist unit weight (γ_b) | 1,60 g/cm ³ |
| 9 | Maximum Dry Density (MDD) | 1,197 g/cm ³ |
| 10 | Optimum moisture content (wopt) | 39,49 % |
| 12 | Fraksi gravel, % | 7,29 % |
| 13 | Fraksi sand, % | 3,38 % |
| 14 | Fraksi silt, % | 36,74 % |
| 15 | Fraksi clay, % | 52,59 % |
| 16 | Kohesi (c) | 0,243 kg/cm ² |
| 17 | Sudut Gesek dalam (ϕ) | 3,07 ⁰ |

Komposisi kimia abu Sinabung disajikan pada Tabel 2 berdasarkan komposisi Si, Al dan Ca maka abu vulkanis dikelompokkan bahan pozzolan kelas N.

Tabel 2. Kandungan Unsur bahan Pozolan dalam abu vulkanis Sinabung

| Abu Vulkanis | Total Si % | Total Al % | Total Ca % |
|--------------|------------|------------|------------|
| Sinabung | 45.76 | 14.27 | 10.55 |

2.2. Persiapan sampel dan prosedur pengujian

Uji dilakukan pada lempung ekspansif distabilisasi dengan variasi kadar abu vulkanis dan kapur. Variasi campuran didasarkan pada berat volume kering tanah dengan pengujian pemadatan, triaxial dan *swelling* (ASTM D 2435) dan *swelling potential* (ASTM D 4546). Karakteristik perubahan volume yang ditentukan dengan menggunakan tes oedometer konvensional. Spesimen ditempatkan di oedometer yang dibebani beban 6,9 kPa. Selama pengujian penurunan dibawah tekanan 6,9 kPa dicatat hingga stabil dan dilakukan pembacaan kenaikan volume secara vertical untuk memperoleh *swelling potensial*. Sampel dibuat benar-benar terendam dalam air. Setelah konstan maka dilakukan konsolidasi untuk memperoleh nilai tekanan pengembangan. *Swelling potensial* didefinisikan sebagai rasio perubahan ketebalan tanah dibawah tekanan 6,9 kPa terhadap ketebalan awal yang dinyatakan dalam:

$$S(\%) = \frac{\Delta H}{H} \times 100\% \quad (2)$$

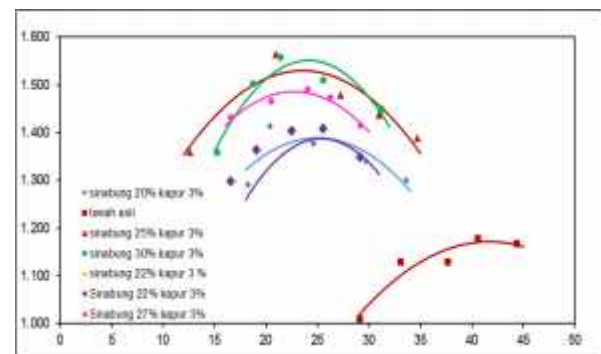
Tekanan pengembangan didefinisikan tekanan yang dibutuhkan untuk menekan tanah yang mengalami pengembangan dibawah 6,9 kPa kembali pada ketebalan awal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kepadatan Tanah

Pemadatan dilakukan untuk mengetahui hubungan antara kadar air dengan berat

volume tanah dan untuk mengevaluasi tanah agar memenuhi persyaratan kepadatan. Pemadatan bertujuan untuk mempertinggi kerapatan tanah dan menghasilkan pemampatan partikel dengan menggunakan energi mekanis. Pemadatan merupakan usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan pemakaian energi mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel (Bowles, 1986).

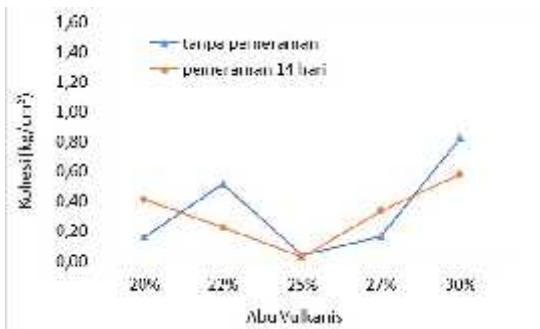


Gambar 1. Grafik hasil pemadatan standar proctor pada tanah asli dan tanah campuran abu vulkanis sinabung dan 3% kapur.

Gambar 1 menunjukkan grafik penurunan kadar air optimum disertai dengan meningkatnya berat volume kering maksimumnya. Semakin tinggi kadar abu vulkanis pada campuran dengan persentase kapur 3%, semakin tinggi nilai kepadatan tanah. Hal tersebut disebabkan oleh adanya penambahan abu vulkanis dan kapur dalam jumlah besar membuat kandungan lempung berkurang dan fraksi pasir bertambah. Penambahan fraksi pasir menunjukkan terjadi reaksi silika yang ada dalam tanah, abu vulkanis dan kapur.

3.2. Uji Triaxial

Maksud dari percobaan triaksial adalah untuk menentukan besarnya parameter geser tanah yaitu kohesi (*c*) dan sudut gesek intern (ϕ) tanah pada kondisi *unconsolidated undrained*. Hasil dari pengujian tersebut dapat di lihat di Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Grafik nilai kohesi tanah asli dan variasi campuran abu sinabung dan kapur

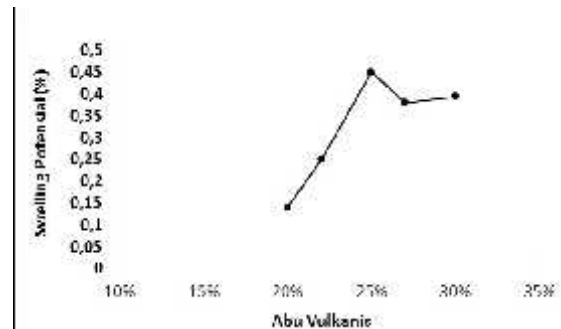
Dari uji triaksial seperti terlihat pada Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukkan nilai sudut geser dalam tanah terjadi kenaikan sudut gesek dalam dan penurunan nilai kohesi terhadap tanah asli. Kenaikan sudut geser dalam disebabkan oleh butiran yang terjadi akibat reaksi tanah, abu sinabung dan kapur banyak butiran yang lebih kasar, jika dibandingkan dengan tanah asli. Akibat butiran banyak yang kasar sehingga bidang kontak antar butiran bertambah, sudut geser yang terjadi semakin besar yang berarti nilai koefisien gesek meningkat. Peningkatan koefisien gesek dalam diikuti dengan kenaikan sudut geser dalam karena hubungan sudut gesek dan koefisien gesek berbanding lurus.



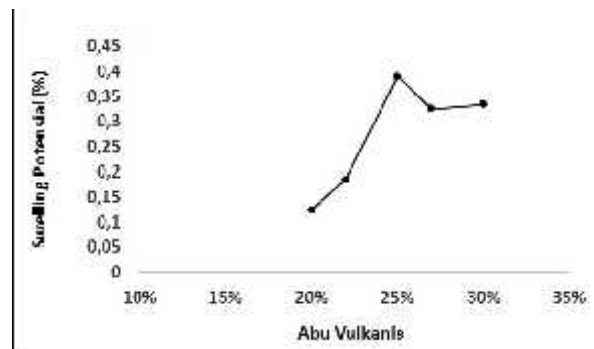
Gambar 3. Grafik nilai sudut gesek dalam tanah asli dan variasi campuran abu merapi dan kapur

3.3. Potensi Pengembangan

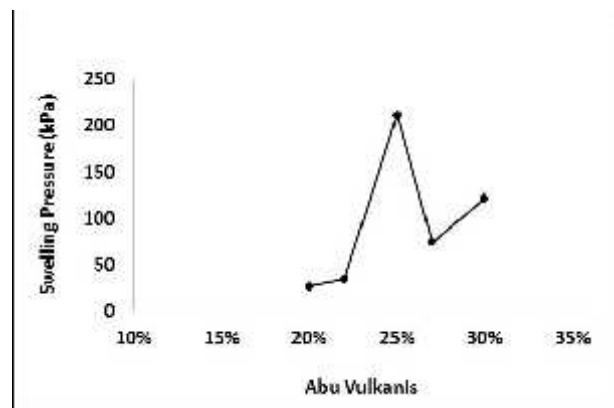
Dari pengujian oedometer maka diperoleh hasil sebagai berikut :



Gambar 4. Pengaruh penambahan abu Sinabung terhadap *swelling potential* tanpa pemeraman



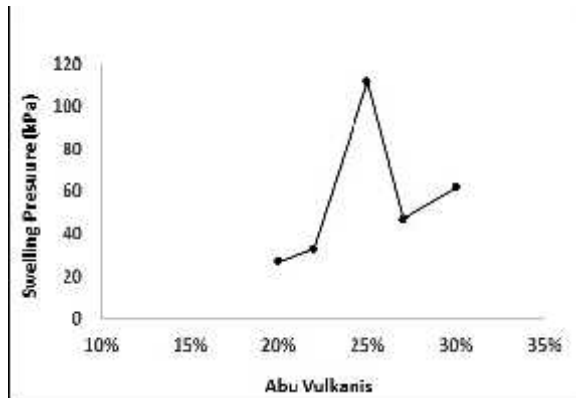
Gambar 5. Pengaruh penambahan abu Sinabung terhadap *swelling potential* dengan pemeraman 14 hari.



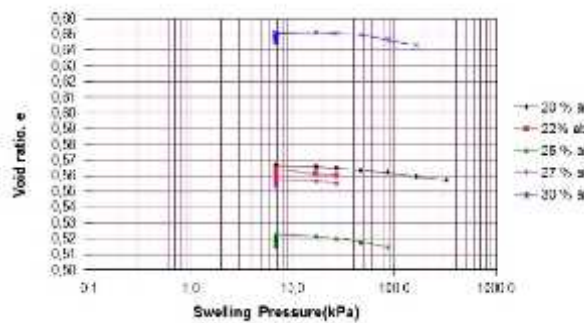
Gambar 6. Pengaruh penambahan abu Sinabung terhadap *swelling pressure* tanpa pemeraman.

Gambar 4 sampai 7 menunjukkan bahwa penurunan potensi dan tekanan pengembangan yang besar pada persentase abu sinabung yang lebih rendah. Pengurangan nilai-nilai potensi pengembangan dan tekanan pengembangan terjadi karena kontak tanah

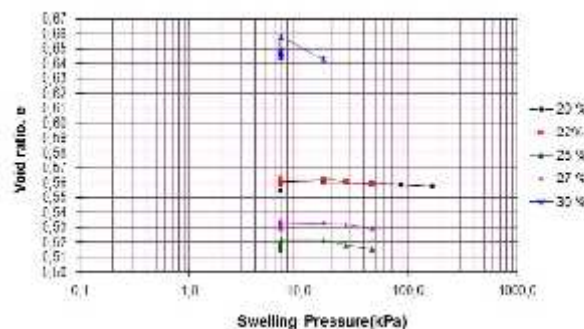
lempung dengan air menurun. Berat volume kering campuran meningkat karena penambahan jumlah abu vulkanis sinabung dan kapur.



Gambar 7. Pengaruh penambahan abu Sinabung terhadap *swelling pressure* dengan pemeraman.



Gambar 8. Hasil uji Oedometer (e vs $\text{Log} \sigma$) tanpa pemeraman.



Gambar 9 Hasil uji Oedometer (e vs $\text{Log} \sigma$) dengan pemeraman 14 hari.

Dua mekanisme yang menyebabkan pengurangan pengembangan tanah pada campuran tanah, abu vulkanis sinabung

dkapur yaitu interaksi fisikokimia dan perubahan sifat mekanis tanah.

1. Kontribusi yang paling besar terhadap perilaku pengembangan tanah adalah partikel tanah lempung tersebut. Dengan penambahan abu vulkanis dan kapur yang bersifat non plastis menggantikan partikel lempung sehingga mempengaruhi perilaku pengembangan tanah lempung ekspansif menjadi berkurang. Abu vulkanis sinabung terdiri dari silikat, aluminium dan oksida besi menyebabkan terjadinya flokulasi tanah liat melalui pertukaran kation. Pertukaran kation dan flokulasi tanah terjadi pada saat penambahan abu vulkanis dan kapur. Kation kalsium yang ada menggantikan kation monovalen tanah seperti hidrogen dan natrium sehingga tanah menjadi jenuh oleh kalsium. Pertukaran kation oleh ion kalsium yang berasal dari terurainya $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang bercampur dengan air dengan kation monovalen natrium, menyebabkan penurunan yang signifikan dilapisan ganda, menyebabkan penurunan nilai *swelling*. Luas permukaan lempung dan penyerapan air akan menurun menyebabkan penurunan nilai *swelling potensial*, dan tekanan pengembangan. Selain itu, sebagai abu sinabung adalah pozzolan kelas N yang bereaksi dengan kapur dan sehingga adanya reaksi antara bahan pozzolan dari abu vulkanis dan kapur dengan adanya air, akan mengalami pembentukan senyawa semen seperti kalsium silikat terhidrasi dan kalsium aluminat terhidrasi yang mengikat agregat tanah menjadi gumpalan-gumpalan butiran yang lebih besar, mengisi rongga tanah berakibat mengurangi pengembangan tanah. Semakin besar ukuran partikel, luas permukaan khusus (*specific surface*) semakin kecil dan sedikit menyerap air.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Stabilisasi tanah dengan abu vulkanis Sinabung dan kapur dapat memperbaiki sifat mekanis tanah yaitu penurunan kadar air optimum disertai dengan meningkatnya berat volume kering maksimumnya, peningkatan nilai sudeu gesek dalam mengurangi pengembangan tanah. Potensi pengembangan dan tekanan pengembangan menurun pada penambahan abu vulkanis sinabung.
2. Penurunan kadar air optimum disertai dengan meningkatnya berat volume kering maksimum dan peningkatan nilai sudut gesek dalam disebabkan oleh adanya penambahan abu vulkanis dan kapur dalam jumlah besar membuat kandungan lempung berkurang dan fraksi pasir bertambah. Penambahan fraksi pasir menunjukkan terjadi reaksi silika yang ada dalam tanah, abu vulkanis dan kapur.
3. Pengurangan karakteristik pengembangan disebabkan penggantian butiran plastis tanah liat dengan butiran abu vulkanis yang bersifat non plastis. Pengurangan pengembangan dapat dikaitkan dengan flokulasi dan sementasi yang terjadi akibat reaksi tanah, abu vulkanis dan kapur. Penurunan nilai pengembangan lempung ekspansif yang distabilisasi dengan abu Sinabung dan kapur dapat dikaitkan dengan pengurangan daya hisap mineral lempung terhadap air meskipun pada pengujian ini tidak mengukur *suction* namun secara teoritis dapat menunjukkan suction tanah lempung yang distabilisasi dengan abu sinabung dan kapur lebih rendah dibandingkan dengan tanah lempung tanpa distabilisasi

UCAPAN TERIMA KASIH

Naskah ini merupakan ringkasan hasil penelitian hibah disertasi doktor Nomor 025/E.3/2017 untuk itu ucapan terimakasih kepada KEMENRISTEKDIKTI yang telah mendukung secara moral dan finansial.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM, (2007). Annual Book of ASTM Standards, section 4, Volume 04 09, Philadelphia, USA.
- Bowles, J. E. (1986). *Physical and Geotechnical Properties of Soils*, 2nd Edition, McGraw-Hill Book Company, U.S.A.
- Bell, F. G. (1993). *Engineering Treatment of Soil*, 1st edition, E & FN Spon, London.
- Buhler, R. L. & Cerato, A. B. (2007). *Stabilization of Oklahoma Expansive Soils Using Lime and Class C fly ash. Problematic Soils and Rocks and In Situ Characterization*, Volume GSP 162, pp. 1-10.
- Das, B. M. (2005), *Fundamentals of Geotechnical Engineering*, 2nd Edition Thomson, U.S.A
- Ingles, O. & Metcalf, J.(1972). *Soil stabilization: principles and practice*. Sidney, Melbourne, Brisbane: Butterworths.
- Kerbs, R. D. & Walker, R. D. (1971). *Highway Materials*. USA: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Lambe, T. W and Whitman, R. V. (1969), *Soil Mechanics*, SI Version, Jhon Wiley & Sons, New York.
- Latif, DO, Rifa'i, A. & Suryolelono, KB, (2016). Chemical Characteristic of volcanic ash in Indonesia for Soil stabilization: Morphology and Chemical Content. *International Journal of Geomate*, vol 11 issue 26, pp 2606-2010.

<http://geomatejournal.com/sites/default/files/articles/2600-2605-89469-Arif-Oct-2016-c1.pdf>

Latif, DO, Rifa'i, A. & Suryolelono, KB, (2016). Effect of Kelud Volcanic Ash Utilization on The Physical Properties as Stabilizer Material for Soil Stabilization. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, vol 20.4 issue 26, pp 1679-1687.

<http://www.ejge.com/2016/Ppr2016.0146ma.pdf>

Rifa'i, A., & Yasafuku, N., (2014). Effect of Volcanic Ash Utilization as Substitution Material for Soil stabilization in View Point of Geo-Environment. *Ground Improvement and Geosynthetics*: pp. 138-147. Doi: 10.1061/9780784413401.014.