

PENGARUH PENAMBAHAN KAPUR, *FLY ASH* DAN *BOTTOM ASH* PADA *SUBGRADE* LEMPUNG BOBONARO

Elsy E. Hangge^{1*}, Remigildus Cornelis², Lilys N. Peni³

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Nusa Cendana, Jl. Adisucipto, Kupang
e-mail: elsy@staf.undana.ac.id

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Nusa Cendana, Jl. Adisucipto, Kupang
e-mail: remi@staf.undana.ac.id

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Nusa Cendana, Jl. Adisucipto, Kupang
e-mail: lilyzpeni@gmail.com

ABSTRAK

Tanah lempung ekspansif merupakan jenis tanah yang sering menimbulkan masalah dalam bidang konstruksi karena memiliki sifat kembang susut yang tinggi. Untuk mengatasi hal tersebut dapat dilakukan dengan stabilisasi tanah. Pada penelitian ini digunakan sampel tanah lempung Bobonaro yang distabilisasi menggunakan kapur, *fly ash* dan *bottom ash* dengan tujuan mengetahui pengaruhnya terhadap sifat fisik dan mekanik *subgrade* jalan khususnya kepadatan tanah, daya dukung tanah, potensi pengembangan dan tekanan pengembangan tanah. Metode penelitian yang digunakan yaitu metode eksperimental. Tanah asli (TA) dicampurkan dengan 5% kapur, 20% *bottom ash* dan *fly ash* dengan variasi 10% (V1), 20% (V2), dan 30% (V3) terhadap berat kering tanah. Selanjutnya dilakukan uji sifat fisik tanah dan mekanik tanah yakni uji pemadatan standar proctor, potensi pengembangan tanah dengan tekanan 6,9 kPa menggunakan alat oedometer, uji tekanan pengembangan tanah, dan uji CBR dengan perlakuan pemeraman 7 hari pada tanah yang distabilisasi. Hasil pengujian menunjukkan berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO, tanah lempung Bobonaro termasuk kelompok A-7-6 (48) yang dikategorikan jelek sebagai *subgrade*. Setelah penambahan bahan stabilisasi menunjukkan, nilai berat jenis, batas cair, batas plastis, indeks plastisitas, kadar air optimum, potensi dan tekanan pengembangan tanah mengalami penurunan. Sedangkan nilai batas susut dan berat volume kering tanah mengalami peningkatan. Pada pengujian CBR tanah yang distabilisasi pada variasi 2 dan variasi 3 memenuhi syarat sebagai *subgrade* jalan berdasarkan SNI 03-1732-1989. Berdasarkan hasil pengujian, penambahan bahan stabilisasi kapur, *fly ash* dan *bottom ash* dapat memperbaiki *subgrade* jalan, sehingga kerusakan jalan yang terjadi dapat diminimalisir.

Kata kunci: *Subgrade*, kapur, *fly ash*, *bottom ash*, CBR

1. PENDAHULUAN

Tanah dasar (*subgrade*) merupakan bagian penting dari sebuah struktur perkerasan. Tanah dasar harus memiliki daya dukung yang baik dan kondisi yang stabil. Namun tidak semua jenis tanah dasar demikian, terdapat jenis tanah dasar yang memiliki daya dukung lemah, dan tidak stabil sehingga terjadi kerusakan jalan. Kerusakan jalan dapat menghambat kegiatan perekonomian, hubungan sosial, dan budaya antarwilayah. Tanah dasar (*subgrade*) lempung ekspansif merupakan salah satu jenis tanah dasar yang sering menimbulkan kerusakan perkerasan jalan, hal ini disebabkan lempung ekspansif yang mempunyai sifat kembang susut yang tinggi dipengaruhi oleh perubahan kadar air dalam tanah tersebut.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Bella dkk, 2015), (Hangge, 2017), (Fernandez, 2017), (Hangge dkk, 2020), (Hangge dkk, 2021) dan (Hangge, 2022), tanah lempung Bobonaro termasuk tanah lempung ekspansif dengan derajat ekspansif tinggi sampai sangat tinggi berdasarkan nilai indeks plastisitas (PI) yang diperoleh berkisar 30,13% - 46,53%. Untuk mengatasi masalah tanah ekspansif yang mempunyai sifat kembang susut yang tinggi tersebut dengan cara stabilisasi tanah.

Stabilisasi tanah adalah suatu metode yang digunakan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dasar supaya daya dukung tanahnya menjadi lebih baik sehingga tanah tersebut menjadi stabil dan mampu memikul beban yang bekerja terhadap konstruksi di atasnya (Apriyanti, 2014). Salah satu stabilisasi yang dapat dilakukan yaitu stabilisasi kimiawi dengan menambah beberapa jenis material kimiawi seperti kapur, *fly ash* dan *bottom ash* sebagai bahan stabilisasinya.

Kapur merupakan bahan stabilisasi secara kimiawi yang bersifat basa. Prinsip stabilisasi tanah dengan kapur adalah mencampurkan kapur untuk memanfaatkan keunggulan sifat-sifat teknis dari bahan kapur, dengan tanah yang memiliki karakteristik yang kurang baik, seperti tanah dengan plastisitas yang tinggi, potensi ekspansif yang tinggi dan lain sebagainya (Darwis, 2017). Kapur dapat menimbulkan pertukaran ion lemah sodium oleh ion kalsium yang berada pada permukaan tanah lempung, sehingga persentase partikel halus cenderung menjadi partikel yang lebih

kasar. Banyaknya bahan kapur yang digunakan untuk keperluan stabilisasi tanah ekspansif berkisar antara 2-10% dari berat kering tanah lempung (Pd T-20-2005-B, 2005). *Fly ash* (abu terbang) merupakan sisa pembakaran batu bara yang berbentuk partikel halus. *Fly ash* mengandung unsur kimia antara lain silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), fero oksida (Fe_2O_3) dan kalsium oksida (CaO), juga mengandung unsur tambahan lain yaitu magnesium oksida (MgO), titanium oksida (TiO_2), alkalin (Na_2O dan K_2O), sulfur trioksida (SO_3), fosfor oksida (P_2O_5) dan karbon (Apriyanti, 2014). Penambahan kapur dan *fly ash* pada tanah lempung ekspansif, struktur mikro tanah ekspansif (terutama *montmorillonite*) sangat berubah dikarenakan kapur dan *fly ash* membentuk Ca^{2+} . Ca^{2+} bervalensi tinggi menggantikan K^+ dan Na^+ dalam tanah ekspansif melalui pertukaran ion untuk mengurangi ketebalan lapisan partikel tanah (Zhou dkk, 2019). *Bottom ash* adalah limbah hasil pembakaran batu bara yang ukurannya lebih besar dari pada *fly ash*, sehingga *bottom ash* akan jatuh pada dasar tungku pembakaran (*boiler*). Beberapa kandungan kimia pada *bottom ash* seperti Si, Al, Ti, Ca dan Fe memiliki peranan dalam mengikat partikel-partikel negatif yang ada pada permukaan tanah (Purnama, 2017).

Dari uraian diatas, untuk memperbaiki *subgrade* jalan, dilakukan penambahan bahan stabilisasi yakni kapur, *fly ash* dan *bottom ash*. Tujuan dari pengujian ini untuk mengetahui pengaruh penambahan bahan stabilisasi terhadap sifat fisik dan mekanik *subgrade* jalan khususnya kepadatan tanah, daya dukung tanah, potensi pengembangan dan tekanan pengembangan tanah.

2. METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan yang digunakan yaitu tanah lempung Bobonaro dan bahan stabilisasi yakni kapur, *fly ash* dan *bottom ash*. Sampel tanah lempung Bobonaro yang digunakan diambil dari Desa Oebelo, Kabupaten Kupang, Indonesia. Parameter sifat fisik dan mekanik tanah lempung Desa Oebelo tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Sifat Fisik dan Mekanik Tanah

Parameter	Hasil
Kadar air	29,19 %
Berat jenis spesifik	2,66
Batas cair	70,22 %
Batas plastis	29,44 %
Batas susut	9,47 %
Indeks plastisitas	40,78 %
Butiran tertahan saringan No. 200	1,40%
Butiran lolos saringan No. 200	98,60%
Kadar air optimum	32,60 %
Berat volume kering maksimum	1,28g/cm ³
Potensi pengembangan tanah	6,10 %
Tekanan pengembangan tanah	355,08 kPa
CBR terendam (<i>soaked</i>)	1,14 %
CBR tak terendam (<i>unsoaked</i>)	1,41 %

Berdasarkan Tabel 1, menurut sistem USCS maka tanah Desa Oebelo tergolong dalam lempung anorganik dengan plastisitas tinggi (CH). Sedangkan, menurut sistem klasifikasi AASHTO tanah Desa Oebelo termasuk dalam kelompok A-7-6 (48) dengan tipe material yang paling dominan, yakni tanah berlempung dengan penilaian sebagai tanah dasar yang jelek. Berdasarkan nilai potensi pengembangan tanah, tanah lempung Bobonaro masuk kedalam potensi pengembangan tinggi, karena nilai potensi pengembangan berada dalam *range* 5-25% (Hardiyatmo, 2017). Hasil pengujian CBR tanah lempung Bobonaro menunjukkan nilai CBR dalam kondisi terendam < 3% dan dalam kondisi kering < 6%. Menurut SNI 03- 1732-1989 nilai tersebut tidak memenuhi syarat nilai kekuatan CBR untuk *subgrade* konstruksi perkerasan jalan. Oleh karena itu, untuk memperbaiki *subgrade* jalan dilakukan stabilisasi tanah dengan menggunakan kapur, *fly ash*, dan *bottom ash*.

Kapur sebagai bahan stabilisasi yang dibeli di Jl. Timor Raya No. 9, Oesapa Barat, Kelapa Lima, Kota Kupang yang memiliki kadar CaO sebesar 62,94 % (Hangge dkk, 2020). Sedangkan *fly ash* dan *bottom ash* diambil dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Bolok, Kabupaten Kupang, dengan kadar CaO pada *bottom ash* sebesar 13,92% (Hangge dkk, 2022). Kadar CaO yang dimiliki sampel *fly ash* sebesar 10,64% (Hangge dkk, 2021), tergolong kedalam *fly ash* tipe CI sehingga penggunaannya dapat dicampurkan dengan sedikit kapur agar dapat memberikan ikatan yang kuat pada tanah.

Prosedur

Dalam penelitian dilakukan serangkaian pengujian sifat fisik dan mekanik tanah. Pada pengujian sifat fisik dan mekanik tanah dilakukan pada 4 sampel yaitu sampel tanah asli dan tanah yang distabilisasi dengan variasi benda uji ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Variasi Benda Uji Pengujian Sifat Fisik Mekanik

Jenis Sampel	Komposisi
Tanah Asli	100% tanah asli
Variasi I	Tanah Asli + Kapur 5% + <i>fly ash</i> 10% + <i>bottom ash</i> 20%
Variasi II	Tanah Asli + Kapur 5 % + <i>fly ash</i> 20% + <i>bottom ash</i> 20%
Variasi III	Tanah Asli + Kapur 5 % + <i>fly ash</i> 30% + <i>bottom ash</i> 20%

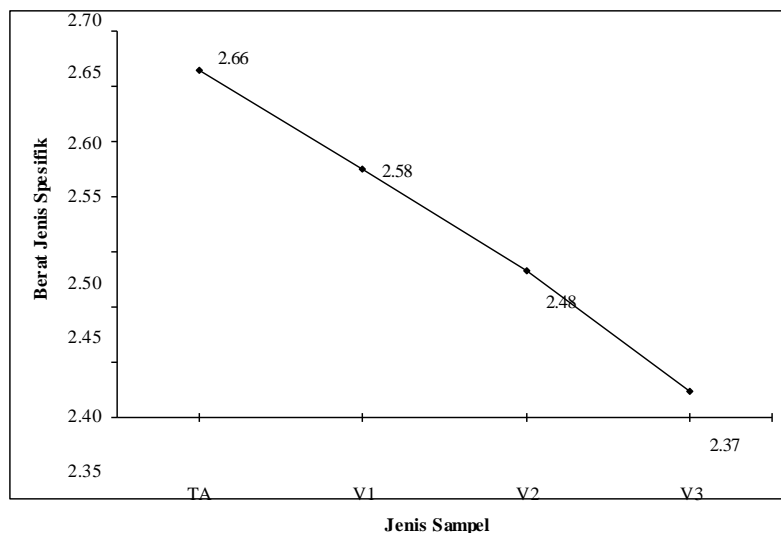
Pengujian sifat fisik yang dilakukan yaitu uji berat jenis spesifik, batas-batas atterberg dan distribusi ukuran butir. Sedangkan pengujian sifat mekanik yang dilakukan yaitu uji pemadatan standar proctor, uji potensi dan tekanan pengembangan tanah serta uji CBR tanah. Pengujian potensi pengembangan tanah menggunakan aplikasi tekanan tetap yaitu 6,9 kPa dengan metode Seed dkk 1962. Pengujian potensi dan tekanan pengembangan tanah dilakukan menggunakan alat oedometer. Pada pengujian potensi, tekanan pengembangan tanah dan CBR, dilakukan dengan perlakuan pemeraman selama 7 hari pada sampel tanah yang distabilisasi agar memberikan waktu untuk tanah dan bahan stabilisasi saling berikatan. pengujian CBR dilakukan dalam kondisi terendam dan tak terendam.

3. HASIL

Hasil pengujian sifat fisik dan mekanik tanah yang distabilisasi menggunakan kapur, *fly ash* *bottom ash* yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Universitas Nusa Cendana sebagai berikut.

Berat Jenis Spesifik

Hasil pengujian berat spesifik tanah asli dan tanah distabilisasi menggunakan kapur 5%, *bottom ash* 20% dan *fly ash* dengan variasi 10%, 20% dan 30% terhadap berat kering tanah ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengaruh Penambahan Kapur 5%, *Bottom Ash* 20% dan *Fly Ash* 10%, 20% dan 30% Terhadap Nilai Berat Jenis Spesifik

Berdasarkan Gambar 1, penambahan kapur 5%, *bottom ash* 20% dan peningkatan persentase *fly ash* menyebabkan penurunan nilai berat jenis spesifik tanah. Penurunan terjadi akibat perbedaan berat spesifik bahan stabilisator dibandingkan dengan tanah asli, karena nilai berat jenis spesifik dari bahan-bahan stabilisator yaitu kapur, *fly ash* dan *bottom ash* lebih kecil dibanding dengan nilai berat jenis spesifik tanah asli.

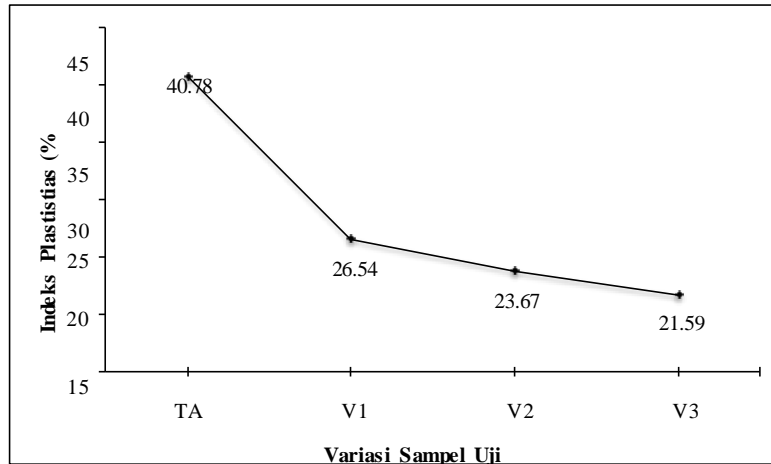
Batas-batas Atterberg

Hasil pengujian batas-batas atterberg tanah yang distabilisasi menggunakan kapur, *fly ash* dan *bottom ash* ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Batas-batas Atterberg Tanah yang Distabilisasi

Variasi Benda Uji	LL (%)	PL (%)	SL (%)	PI (%)
Variasi 1	53,66	27,13	33,91	26,54
Variasi 2	49,77	25,79	44,23	23,67
Variasi 3	45,23	23,64	53,13	21,59

Nilai indeks plastisitas tanah merupakan selisih nilai batas cair dikurangi nilai batas plastis. Berdasarkan Tabel 3, nilai indeks plastisitas tanah distabilisasi semakin menurun yang ditunjukkan pada Gambar 2.

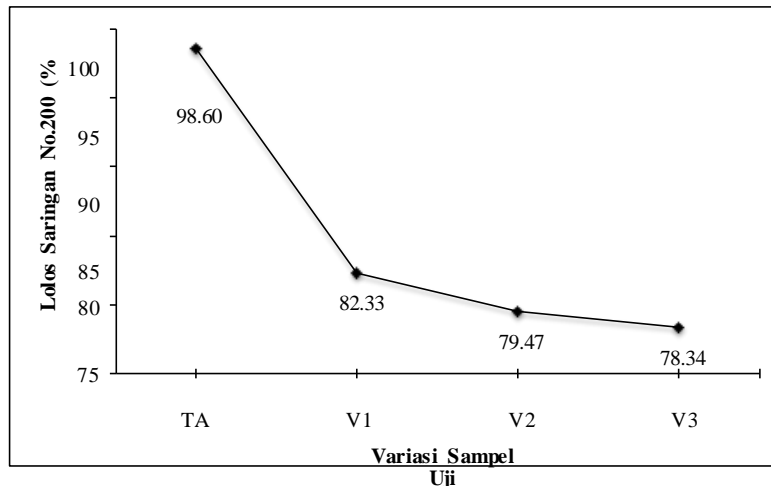


Gambar 2. Pengaruh Penambahan Kapur 5%, *Bottom Ash* 20% Dan *Fly Ash* 10%, 20% dan 30% Terhadap Nilai Indeks Plastisitas Tanah

Penambahan kapur 5%, *bottom ash* 20% dan peningkatan persentase *fly ash* menyebabkan penurunan nilai indeks plastisitas dari tanah. Persentase penurunan tersebut berturut-turut yaitu 34,92%, 41,95%, dan 47,06% terhadap nilai indeks plastisitas tanah asli sebesar 40,78%. Hal ini dikarenakan nilai batas cair dan batas plastis tanah mengalami penurunan, sehingga nilai indeks plastisitas tanah juga semakin mengalami penurunan.

Distribusi Ukuran Butir

Hasil pengujian berat jenis spesifik tanah yang distabilisasi menggunakan kapur, *fly ash* dan *bottom ash* ditunjukkan pada Gambar 3.

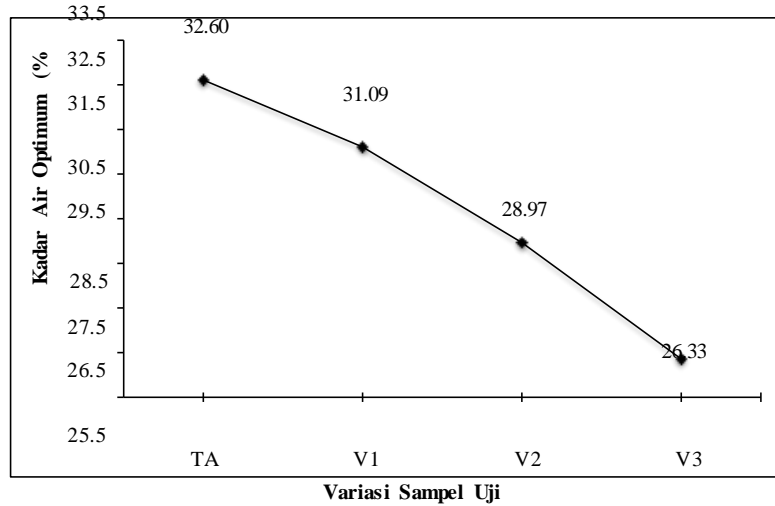


Gambar 3. Pengaruh Penambahan Kapur 5%, *Bottom Ash* 20% dan *Fly Ash* 10%, 20% dan 30% Terhadap Persentase Butir Lolos Saringan No. 200

Penambahan kapur 5%, *bottom ash* 20% dan peningkatan persentase *fly ash* menyebabkan penurunan persentase tanah yang lolos saringan No. 200. Besarnya penurunan persentase yang terjadi berturut-turut 16,50%, 19,40% dan 20,54% terhadap nilai nilai persentase lolos saringan No. 200 tanah asli sebesar 98,60%. Penurunan persentase tanah lolos saringan No. 200 disebabkan oleh bahan stabilisasi yang memiliki persentase lolos saringan No. 200 yang lebih kecil dibanding tanah asli.

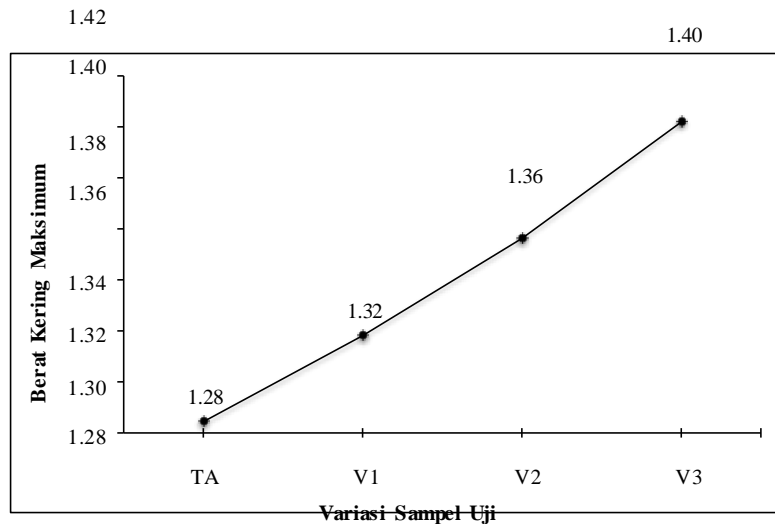
Pemadatan Standar Proctor

Hasil pengujian pemadatan standar Proctor yaitu kadar air optimum dan berat kering maksimum tanah. Hasil pengujian kadar air optimum tanah yang distabilisasi ditunjukkan pada Gambar 4, sedangkan hasil pengujian berat volume kering maksimum ditunjukkan Gambar 5.



Gambar 4. Pengaruh Penambahan Kapur 5%, *Bottom Ash* 20% dan *Fly Ash* 10%, 20% Dan 30% Terhadap Kadar Air Optimum Tanah

Penambahan kapur 5%, *bottom ash* 20% dan peningkatan persentase *fly ash* menyebabkan penurunan nilai kadar air optimum tanah. Besarnya penurunan kadar air optimum tanah yang distabilisasi berturut-turut yakni 4,63%, 11,13% dan 19,23% terhadap nilai kadar air optimum tanah asli sebesar 32,60%. Hal ini disebabkan kation pada bahan stabilisasi yang mengikat air sehingga tanah akan lebih sedikit mengikat air dengan demikian kadar air optimum semakin kecil.

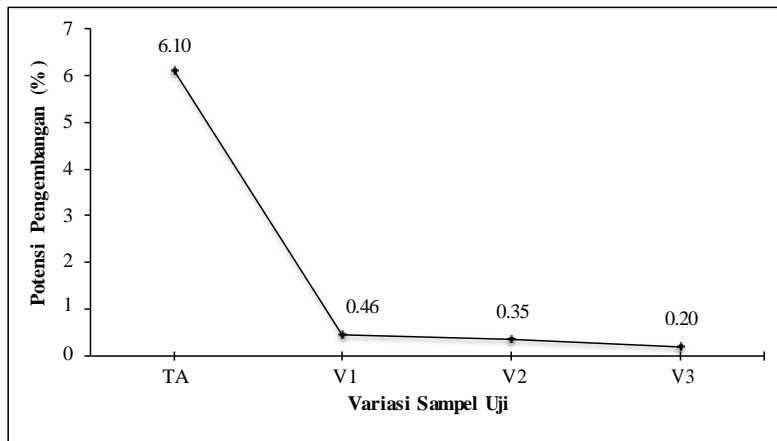


Gambar 5. Pengaruh Penambahan Kapur 5%, *Bottom Ash* 20% dan *Fly Ash* 10%, 20% Dan 30% Terhadap Berat Volume Kering Tanah

Peningkatan persentase *fly ash* mengakibatkan berat volume kering tanah yang distabilisasi mengalami peningkatan. Besarnya peningkatan nilai berat volume kering tanah maksimum yang terjadi berturut-turut yakni 1,03, 1,06 dan 1,09 kali dari nilai pendekatan berat volume kering maksimum tanah asli sebesar 1,28 g/cm³. Hal ini diakibatkan dari reaksi antara tanah dengan bahan stabilisasi yang membentuk gumpalan dan mengisi rongga pori pada tanah sehingga membentuk struktur tanah yang semakin padat dan berat kering maksimumnya juga ikut meningkat.

Potensi Pengembangan Tanah

Hasil pengujian potensi pengembangan tanah yang distabilisasi menggunakan kapur, *fly ash*, dan *bottom ash* ditunjukkan pada Gambar 6.

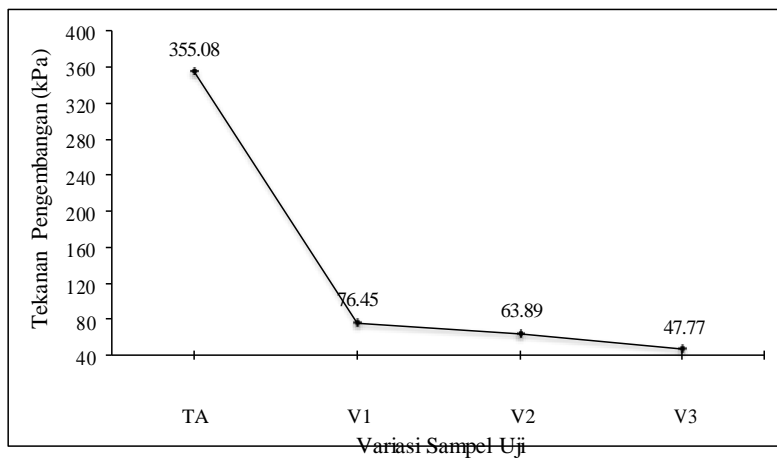


Gambar 6. Pengaruh Penambahan Kapur 5%, *Bottom Ash* 20% dan *Fly Ash* 10%, 20% Dan 30% Terhadap Nilai Potensi Pengembangan Tanah

Penambahan kapur 5%, *bottom ash* 20% dan peningkatan persentase *fly ash* menyebabkan penurunan nilai potensi pengembangan tanah. Besarnya penurunan yang terjadi berturut-turut yaitu 92,54%, 94,26% dan 96,77% terhadap nilai potensi pengembangan tanah asli. Penurunan potensi pengembangan tanah disebabkan karena adanya reaksi akibat campuran bahan stabilisasi yang memperkuat ikatan antar butiran tanah, sehingga penyerapan air menjadi lebih sedikit.

Tekanan pengembangan tanah

Hasil pengujian tekanan pengembangan tanah yang distabilisasi menggunakan kapur, *fly ash* dan *bottom ash* ditunjukkan pada Gambar 7.

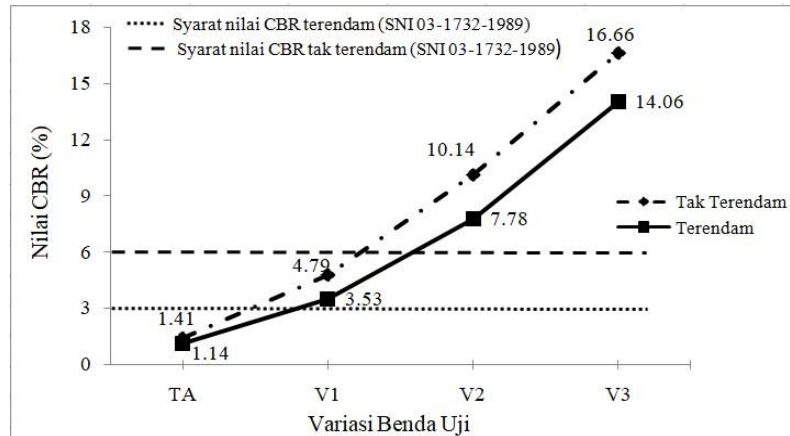


Gambar 7. Pengaruh Penambahan Kapur 5%, *Bottom Ash* 20% dan *Fly Ash* 10%, 20% Dan 30% Terhadap Nilai Tekanan Pengembangan Tanah

Penambahan kapur 5%, *bottom ash* 20% dan peningkatan persentase *fly ash*, menyebabkan penurunan nilai tekanan pengembangan tanah. Besarnya penurunan nilai tekanan pengembangan tanah yaitu 78,47%, 82,01% dan 86,55% terhadap terhadap nilai tekanan pengembangan tanah asli. Penurunan nilai tekanan pengembangan tanah dikarenakan seiring dengan penambahan bahan stabilisasi terjadi peningkatan nilai berat volume kering maksimum tanah.

CBR (*California Bearing Ratio*)

Pengujian CBR dilakukan dengan 2 jenis perlakuan terhadap benda uji CBR, yakni CBR terendam (soaked) dan tak terendam (unsoaked). Pada tanah yang distabilisasi dilakukan pemeraman selama 7 hari di dalam mould dengan tujuan memberikan waktu untuk bahan stabilisasi berikatan dengan tanah. Hasil pengujian CBR tanah asli dan tanah distabilisasi menggunakan kapur 5%, *bottom ash* 20% dan *fly ash* dengan variasi 10%, 20% dan 30% terhadap berat kering tanah ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Pengaruh Penambahan Kapur 5%, *Bottom Ash* 20% dan *Fly Ash* 10%, 20% dan 30% Terhadap Nilai CBR Tanah

Berdasarkan hasil pengujian CBR, seiring dengan penambahan bahan stabilisasi dapat meningkatkan nilai CBR tanah. Menurut SNI 03-1732-1989 syarat nilai kekuatan CBR untuk tanah dasar yaitu nilai CBR dalam kondisi terendam adalah >3% dan dalam kondisi kering adalah >6%. Berdasarkan syarat batas tersebut, tanah yang distabilisasi pada variasi 2 dan variasi 3 memenuhi syarat sebagai *subgrade* jalan.

KESIMPULAN

Tanah lempung Bobonaro, yang dikenal sebagai tanah ekspansif dengan karakteristik kembang susut, diklasifikasikan sebagai tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi (CH) menurut sistem USCS. Menurut AASHTO tergolong dalam kelompok A-7-6 dengan nilai GI sebesar 48. Seiring penambahan bahan stabilisasi dapat memperbaiki sifat fisik dan mekanik dari lempung Bobonaro. Khususnya potensi dan tekanan pengembangan tanah mengalami penurunan dan daya dukung tanah mengalami peningkatan. Berdasarkan SNI 03-1732-1989, nilai syarat CBR terendam dan tak terendam untuk *subgrade* jalan maka yang memenuhi sebagai *subgrade* jalan adalah pada variasi 2 (tanah lempung Bobonaro yang distabilisasi menggunakan kapur 5%, *fly ash* 20% dan *bottom ash* 20%) dan variasi 3 (tanah lempung Bobonaro yang distabilisasi menggunakan kapur 5%, *fly ash* 30% dan *bottom ash* 20%).

DAFTAR PUSTAKA

- Apriyanti, Y. (2014). "Pemanfaatan *Fly Ash* untuk Peningkatan Nilai CBR Tanah Dasar". *Jurnal Forum Profesional Teknik Sipil* Vol.2 No.2.
- ASTM, 1980. *Annual Books of ASTM Standards*. American Society for Testing Material, Philadelphia.
- Bella, R. A., Bunganaen, W., & Sogen, P. M. (2015). "Identifikasi Kerusakan Konstruksi Akibat Potensi Pengembangan Tanah Lempung Ekspansif di Desa Oebelo". *Jurnal Teknik Sipil* Volume 4 (2): 195-208
- Darwis, H. (2017). "Dasar-Dasar Teknik Perbaikan Tanah.". Pustaka AQ. Nyutran MG II, Yogyakarta.
- Das, Braja M. (1995). "Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) (Jilid 2)". Penerbit Erlangga, Jakarta
- Fernandez, G. J.W. (2017). "Kajian Karakteristik Lempung Bobonaro di Provinsi Nusa Tenggara Timur". *Jurnal Jalan dan Jembatan*. 24(1) :1-17
- Hangge, E. E.. 2017. Pengaruh Perubahan Kadar Air Pada Potensi Pengembangan Lempung Oebelo Kabupaten. *Prosiding Seminar Nasional Teknik. FST Undana*.04-05 november 2017, Kupang Indonesia. 415-422.
- Hangge, E. E., Bella, R. A., & Ullu, M. C. (2020). "Pemanfaatan *Fly Ash* untuk Stabilisasi Tanah Dasar Lempung Ekspansif." *Jurnal Teknik Sipil*, Vol 10, pp. 1-14.
- Hangge, E. E., Cornelis, R., & Dom, A. Y. (2021). "Pengaruh *Fly Ash* pada Stabilisasi Lempung Ekspansif terhadap Nilai Tegangan Geser dan CBR." *Jurnal Forum Teknik Sipil*, Vol. 2, pp. 1-11.
- Hangge, E. E., Bella, R. A., & Manek A.Q.S., (2022). "Pengaruh Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Menggunakan Kapur, *Fly Ash* dan *Bottom Ash* Terhadap Kapasitas Dukung Tanah." *Jurnal Forum Teknik Sipil*, Vol 2, pp. 33-44.
- Hardiyatmo, C. H. (2017). "Mekanika Tanah I(Edisi 7)". Gadjah Mada University. Yogyakarta.
- Pd T-10-2005-B. (2005). "Penanganan Tanah Ekspansif Untuk Konstruksi Jalan". Departemen Pekerjaan Umum.

Jakarta.

- Purnama, Y. (2017). "Pengaruh Penambahan Bottom Ash Pada Tanah Lempung Ekspansif Di Daerah Lakarsantri Surabaya Terhadap Nilai Daya Dukung Pondasi Dangkal." Ejournal Unesa, Vol 2, pp. 1-9.
- Zhou, Sheng-quan., Zhou, Da-wei., Zhang, Young-fei., & Wang, Wei-jian. (2019). "Study on Physical-Mechanical properties And Microstructure of Expansive Soil Stabilized with Fly Ash and Lime". Advances in Civil Engineering.