

Stabilisasi Tanah Ekspansif dengan Menggunakan Tanah Putih untuk Tanah Dasar di Daerah Godong, Kabupaten Grobogan Jawa Tengah

* Sri Prabandiyani Retno Wardani¹, Muhrozi¹, Andi Retno Ari Setiaji¹, Danny R. Riwu²

¹ Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang

² Program Studi Magister Teknik Sipil, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang

*)wardani@live.undip.ac.id

Received: 18 Oktober 2017 Revised: 13 Maret 2018 Accepted: 20 Maret 2018

Abstract

Problematic soils such as expansive soils are common in Indonesia. There are several methods to overcome the damage caused by expansive soil, such as by mixing the soil with additives. Some researchers have conducted research by mixing additives into expansive soil (cement, lime, fly ash etc), which work to increase soil strength and reduce swelling. Considering that the people in Buraen Village of Kabupaten Kupang use white soil as a substitute for cement, where the white soil has chemical constituents almost the same as those owned by cement, and contain CaO as it has lime, it is necessary to do research to determine the effect of white soil on physical and mechanical properties of expansive soil, so it can be used as an additive. This research was conducted at Soil Mechanics Laboratory, Civil Engineering Department, Engineering Faculty, Diponegoro University, Semarang with soil sample from Godong, Central Java and white soil in Buraen Village of Kupang Regency, which purpose to find out the change of physical and mechanical properties of expansive soil that have been given some variation of mixture of white soil to the dry weight of the soil, with optimum moisture content from standard Proctor test results. The results of this study indicate that white soil can be used as an additive and the use of OMC for mixing is the OMC of expansive soil.

Keywords: Soil stabilization, expansive soil, white soil

Abstrak

Tanah yang bermasalah seperti tanah ekspansif banyak dijumpai di Indonesia. Ada beberapa metode untuk mengatasi kerusakan yang disebabkan oleh tanah ekspansif, antara lain dengan mencampur tanah dengan bahan aditif. Beberapa peneliti telah melakukan penelitian dengan mencampurkan bahan aditif ke tanah ekspansif (cement, kapur, fly ash), yang berhasil untuk meningkatkan kekuatan tanah dan menurunkan swelling. Mengingat masyarakat di Desa Buraen Kabupaten Kupang memakai tanah putih sebagai pengganti semen, dimana tanah putih tersebut memiliki bahan penyusun kimia hampir sama dengan yang dimiliki semen, serta mengandung CaO seperti yang dimiliki kapur, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh tanah putih terhadap sifat fisis dan mekanis tanah ekspansif, sehingga bisa dipakai sebagai bahan aditif. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang dengan pengambilan sampel tanah di daerah Godong, Jawa Tengah dan tanah putih di Desa Buraen Kabupaten Kupang, yang bertujuan untuk mengetahui perubahan sifat fisik dan mekanik tanah ekspansif yang telah diberi beberapa variasi campuran tanah putih terhadap berat kering tanah, dengan kadar air optimum dari hasil uji standard Proctor. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tanah putih dapat dipakai sebagai bahan aditif dengan pemakaian OMC untuk pencampuran adalah OMC tanah ekspansif tersebut.

Kata kunci: Stabilisasi tanah, tanah ekspansif, tanah putih

Pendahuluan

Tanah yang bermasalah seperti tanah kembang susut (tanah ekspansif) banyak dijumpai di Indonesia, bahkan menurut Abdullah & Alsharqi (2011) tanah ini menyebar luas di Timur Tengah dan di seluruh dunia. Jenis tanah ini, saat terjadi pembasahan dan pengeringan tanah tersebut akan mengalami pengembangan dan penyusutan, yang menyebabkan kerusakan parah pada struktur yang dibangun di atas tanah tersebut. Stabilisasi tanah pada tanah dasar suatu konstruksi adalah suatu cara yang digunakan untuk memperbaiki sifat tanah dasar, sehingga diharapkan tanah dasar tersebut mutunya dapat lebih baik dan dapat meningkatkan kemampuan daya dukung tanah dasar terhadap konstruksi yang akan dibangun di atasnya. Ada beberapa metode untuk mengatasi kemungkinan kerusakan yang disebabkan oleh tanah ekspansif, antara lain dengan penggantian material atau mencampur tanah dengan bahan aditif. Beberapa peneliti telah melakukan penelitian dengan mencampurkan bahan aditif ke tanah ekspansif, antara lain dengan *cement* (Fatah *et al.*, 2010; Gueddouda *et al.*, 2011), *lime* (Bosbey & Garaisayev, 2010; Al Mukhtar *et al.*, 2010; Neeraja & Rao, 2010; Gueddouda *et al.*, 2011), *fly ash* (Neeraja & Rao, 2010; Bhuvaneshwari *et al.*, 2005), *lime and fly ash* (Malhotra & Naval, 2013), H_2SO_4 (Wardani SPR *et al.*, 2015); $CaCl_2$ (Ramadas *et al.*, 2012), *Ground Granulated Blast Furnace Slag* (Neeraja & Rao, 2010; Cokca *et al.*, 2009), *Salt* (Gueddouda *et al.*, 2011) dan lain-lain, yang hampir semua berhasil untuk meningkatkan kekuatan tanah dan menurunkan *swelling*.

Berdasarkan berbagai penelitian, stabilisasi tanah ekspansif dengan kapur adalah meningkatkan sifat-sifat tanah ekspansif, yaitu mengurangi plastisitas dan potensi perubahan volume serta meningkatkan kemampuan kerja (*workability*) dan kekuatan (*strength*). Ada banyak penelitian yang menyelidiki pengaruh kapur pada sifat-sifat tanah. Dari banyak penelitian tersebut (Locat *et al.*, 1990; Basma & Tuncer, 1991; Sherwood, 1993; Nalbantoglu & Tuncer, 2001; Tonoz *et al.*, 2003; Kavak & Akyarli, 2007) menunjukkan bahwa peningkatan dari campuran tanah dengan kapur adalah tergantung pada banyak variabel, yaitu jenis tanah, kadar kapur, jenis kapur, waktu pemeraman (*curing time*) dan metode pelaksanaan, kadar air serta *unit weight*. Sedangkan menurut Abdullah & Alsharqi, (2011), stabilisasi tanah ekspansif dengan campuran semen (1% atau 2% berat kering tanah) dengan pemeraman selama tujuh hari dan 28 hari sudah cukup untuk mengurangi potensi pengembangan tanah secara drastis. Masyarakat di Desa Buraen Kabupaten Kupang (Nusa Tenggara Timur) sering menggunakan tanah putih sebagai

pengganti semen, sedangkan Hunggurami *et al* (2014) menggunakan tanah putih sebagai bahan pengganti pasir dalam campuran beton. Mengingat tanah putih memiliki bahan penyusun kimia seperti SiO_2 , P_2O_5 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , SO_3 (Agus, 2013) yang hampir sama dengan yang dimiliki semen, dan juga mengandung CaO seperti kandungan kapur, maka pada paper ini akan dibahas tentang perubahan sifat fisik dan mekanik tanah ekspansif yang telah diberi beberapa variasi campuran tanah putih terhadap berat kering tanah ekspansif, dengan kadar air optimum dari hasil uji *standard proctor* tanah ekspansif tersebut.

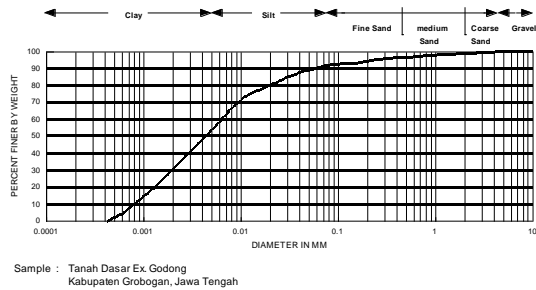
Metode

Sejak tahun 2003, penelitian yang telah kami lakukan adalah tanah ekspansif di daerah Godong, dimana tanah di daerah tersebut PI (*plasticity index*) nya sangat tinggi, dan penanganan infrastruktur akibat kerusakan tanah ekspansif belum ada yang berhasil dengan baik. Jadi masih diperlukan inovasi baru untuk mengatasi tanah ekspansif. Oleh karena itu, material yang digunakan pada penelitian ini adalah tanah dari daerah Godong, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah yang diambil pada kedalaman 1m dan 2m. Sedangkan tanah putih dari Desa Buraen, Kabupaten Kupang, Nusa Tenggara Timur. Serangkaian test yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro adalah: *soil properties*, kuat tekan bebas, *CBR test*, baik untuk tanah asli maupun tanah yang telah dicampur dengan tanah putih (dengan persentase tanah putih 2,5% dan 5%, terhadap berat kering tanah ekspansif dan pada OMC tanah asli). Pada penelitian ini, pengujian mengacu pada standart ASTM. Untuk mengetahui kekuatan tanah, digunakan uji kuat tekan bebas (*unconfined compression test*) sesuai standard ASTM D 2166-02 (ASTM, 2002). Sedangkan untuk mengetahui pengembangan (*swell*) tanah digunakan uji *free swell* mengacu pada Holtz and Gibbs (1956), serta diuji juga *swell* dari hasil *test CBR* (ASTM: D 1883-02).

Hasil dan Pembahasan

Tanah ekspansif

Hasil pengujian sifat-sifat indeks tanah dapat dilihat pada Tabel 1. Sedangkan dari hasil pengujian distribusi ukuran butiran menunjukkan bahwa fraksi lempung (butiran lebih kecil dari $2\mu = 0,002$ mm) adalah sebesar 30%, lihat Gambar 1.

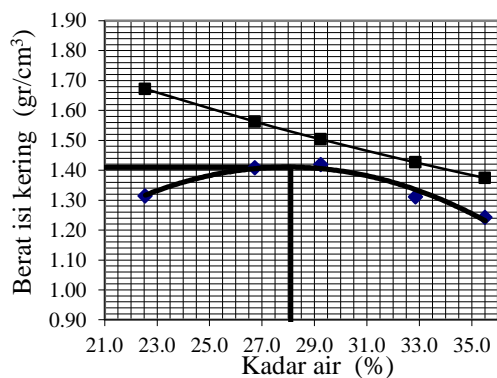


Gambar 1. Distribusi butiran tanah ekspansif

Activity (A) menurut Skempton (1953) sebesar 1,5 dan menurut Seed *et al* (1962) sebesar 2,24, menunjukkan bahwa tanah tersebut adalah tanah yang aktif, karena $A > 1,25$. $PI = 44,96$, hal ini menunjukkan bahwa sampel tanah asli dari Godong tersebut termasuk dalam katagori tanah ekspansif dengan derajat pengembangan sangat tinggi (Chen, 1975). Hasil pengujian standard Proctor menunjukkan bahwa kadar air optimum (OMC) = 28,10% dengan $\gamma_{dmax} = 1,41 \text{ g/cm}^3$, lihat Tabel 1 dan Gambar 2.

Tabel 1. Sifat-sifat indeks tanah ekspansif

No	Parameter tanah	Satuan	Nilai
1	Kadar air (w)	%	35,130
2	Berat jenis (Gs)	-	2,684
3	Unit weight (γ)	gr/cm ³	1,694
4	Dry unit weight (γ_d)	gr/cm ³	1,253
5	Porosity (n)	%	53,300
6	Void ratio (e)	-	1,141
7	Liquid limit (LL)	%	75,850
8	Plastic limit (PL)	%	30,890
9	Plastisity index (PI)	%	44,960
10	Shrinkage limits (SL)	%	9,390
11	Pemadatan standard proctor:		
	W optimum (OMC)	gr/cm ³	1,410
	Dry density max (γ_{Dmax})		



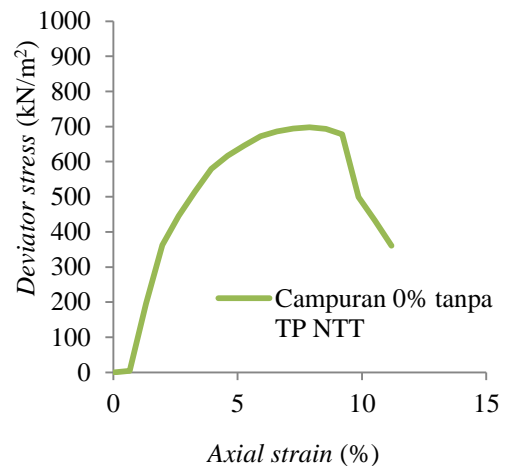
Berat isi kering : 1,410 gr/cm³
 Kadar air optimum : 28,1 %

Gambar 2. Hasil uji *standard proctor* tanah ekspansif

Hasil uji kuat tekan bebas tekspansif (tanah asli) dengan kadar air optimum (OMC = 28,1%) adalah $q_u = 698,02 \text{ kPa}$, dan $C_u = 349,01 \text{ kPa}$, lihat Tabel 2 dan Gambar 3. Hasil uji *free swell* sebesar 225%. Pada penelitian ini juga dilakukan uji CBR dengan hasil yang dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 4 untuk kondisi *unsoaked* (tanpa rendaman), serta Gambar 5 untuk kondisi *soaked* (rendaman).

Tabel 2. Hasil uji sifat mekanik tanah ekspansif

No	Sifat mekanik	Hasil
1	Uji kuat tekan bebas	
	(q_u) kPa	698,02
	(C_u) kPa	349,01
2	Uji CBR dengan OMC tanah asli	28,10
	- CBR <i>unsoaked</i> (95% γ_{dmax})	13,70
	- CBR <i>unsoaked</i> (100% γ_{dmax})	17,60
	- CBR <i>soaked</i> (95% γ_{dmax})	3,15
	- CBR <i>soaked</i> (100% γ_{dmax})	4,50
	<i>swelling potensial</i>	5,71



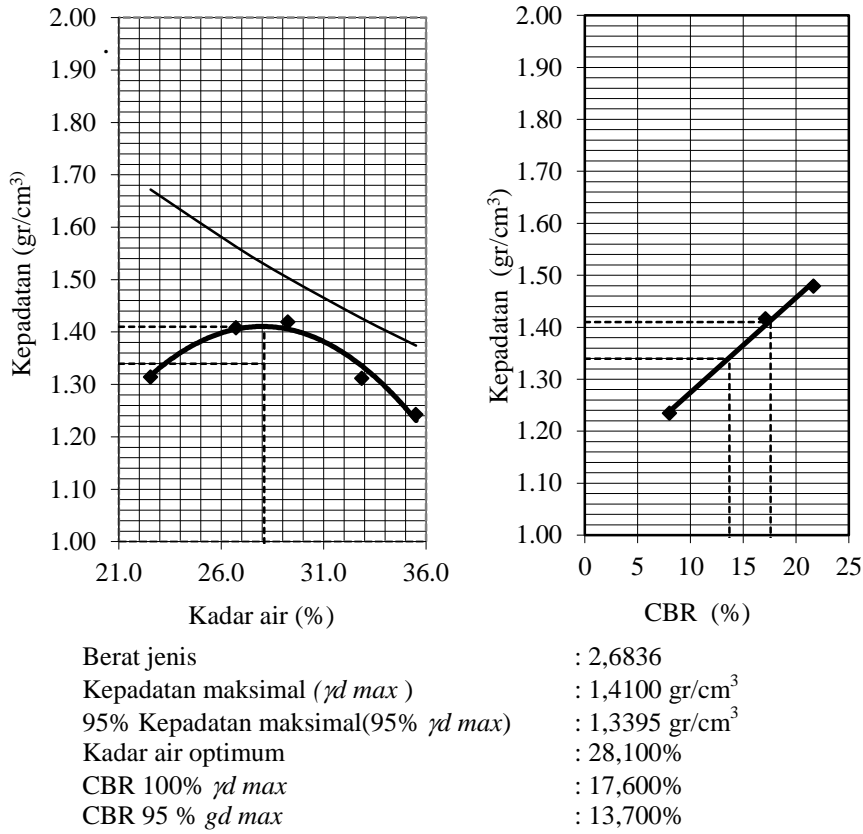
Gambar 3. Hasil uji kuat tekan bebas tanah ekspansif

Tanah putih

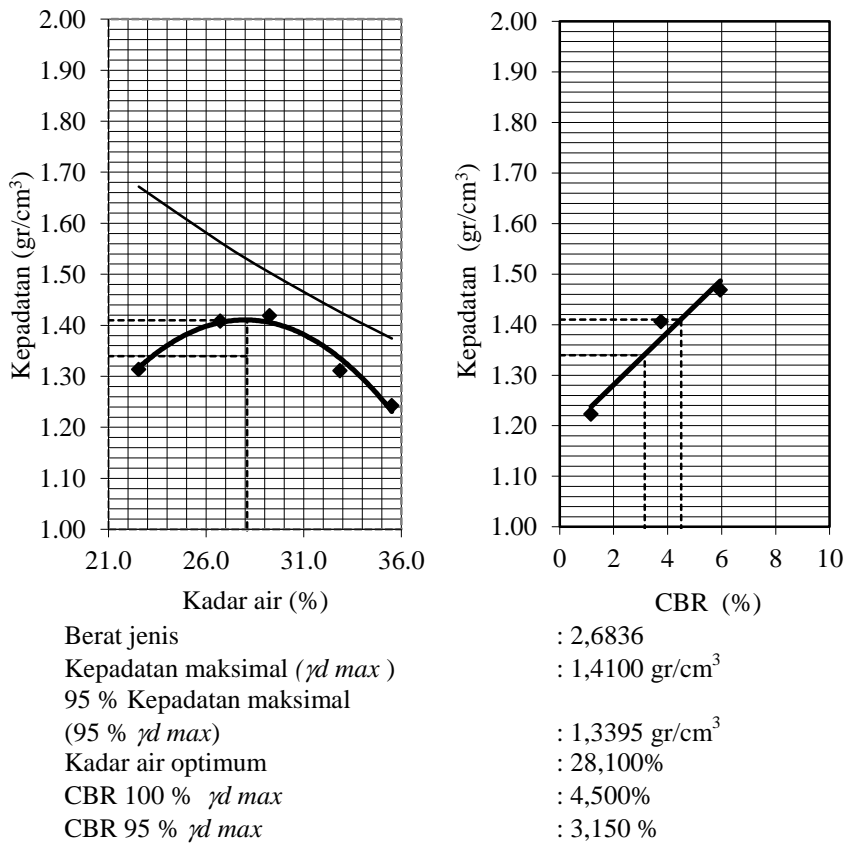
Hasil pengujian tanah putih dapat dilihat pada Tabel 3. Sedangkan distribusi butiran tanah putih dapat dilihat pada Gambar 6. Unsur mineralogi tanah putih didominasi *calcite* dengan unsur kimia Ca (Co₃) dengan *score* 96.

Tabel 3. Sifat-sifat indeks tanah putih

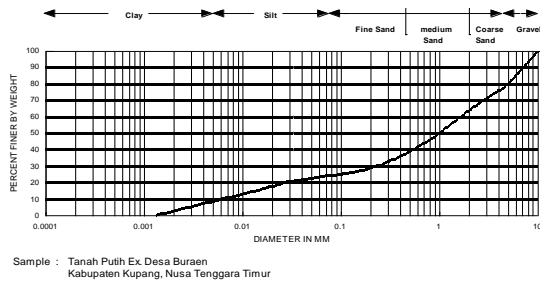
No	Parameter tanah	Satuan	Nilai
1	Kadar air (w)	%	3,470
2	Berat jenis (Gs)	-	2,680
3	Dry unit weight (γ_d)	gr/cm ³	1,493
4	Porosity (n)	%	46,150
5	Void ratio (e)	-	0,8570



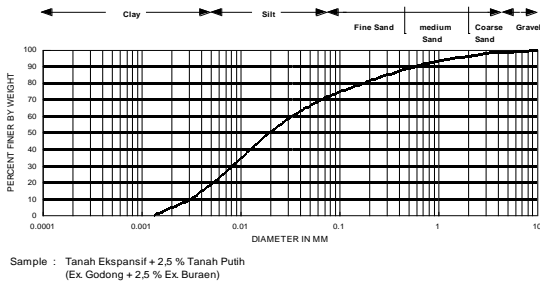
Gambar 4. Hasil uji CBR *unsoaked* tanah ekspansif



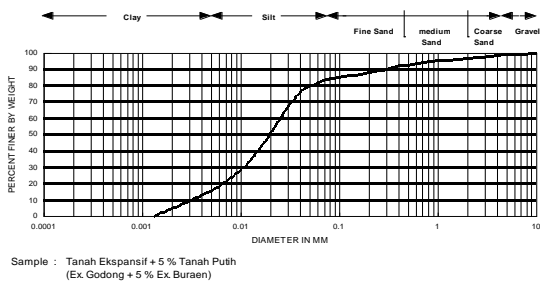
Gambar 5. Hasil uji CBR *soaked* tanah ekspansif



Gambar 6. Distribusi butiran tanah putih



Gambar 7. Distribusi butiran tanah ekspansif + 2,5% tanah putih



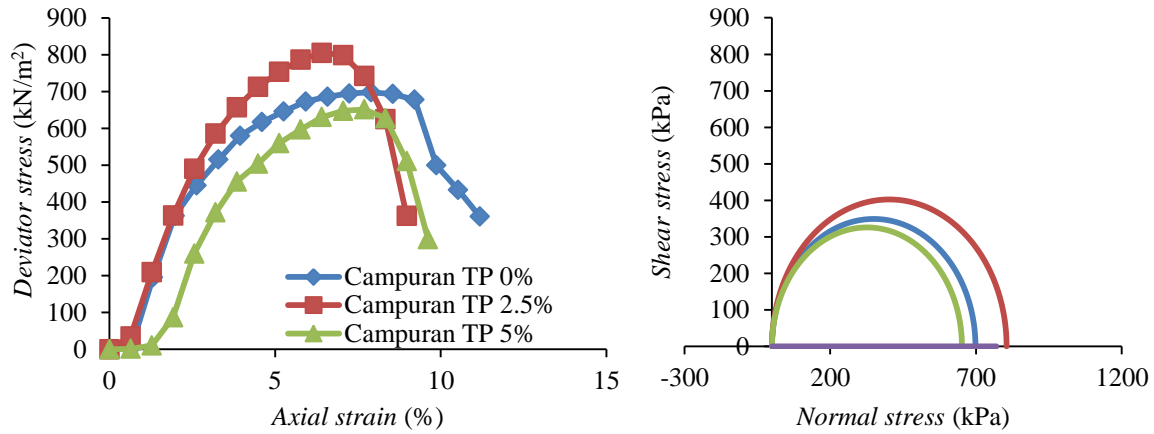
Gambar 8. Distribusi butiran tanah ekspansif + 5 tanah putih

Stabilisasi tanah ekspansif dengan tanah putih

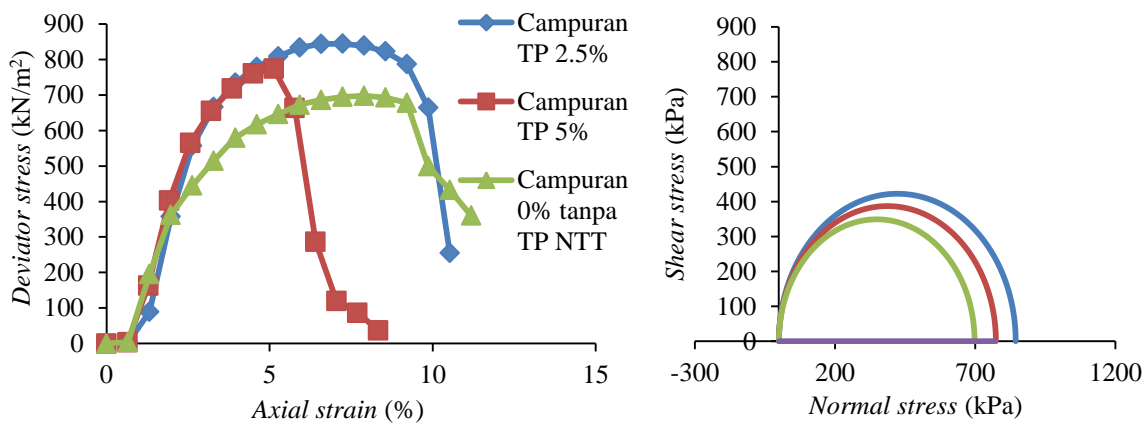
Pengujian stabilisasi tanah ekspansif dengan tanah putih dilakukan untuk mengetahui perubahan sifat fisik dan sifat mekanik tanah tersebut. Pengujian dilakukan dengan penambahan tanah putih sebesar 2,5% dan 5% terhadap berat kering tanah ekspansif, serta pada OMC tanah ekspansif (asli). Hasil pengujian sifat-sifat indeks tanah stabilisasi dapat dilihat pada Tabel 4. Sedangkan hasil pengujian distribusi ukuran butiran menunjukkan bahwa fraksi lempung (butiran lebih kecil dari $2\mu = 0,002$ mm) adalah sebesar 6% untuk penambahan tanah putih sebesar 2,5%, dan 5% untuk penambahan tanah putih sebesar 5%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan tanah putih dapat mengurangi fraksi lempung, lihat Gambar 7 dan 8. Hasil pengujian kuat tekan bebas pada tanah stabilisasi dengan penambahan tanah putih sebesar 2,5% dan 5%, memakai kadar air OMC tanah asli dan tanpa pemeraman (nol hari) dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 9. Sedangkan dengan kondisi pemeraman (tujuh hari) dapat dilihat pada Tabel 6 dan Gambar 10. Seperti dapat dilihat pada Tabel 5 dan 6 bahwa dengan penambahan 5% tanah putih, baik dengan pemeraman tujuh hari maupun tanpa pemeraman (nol hari) nilai q_u menurun, bahkan pada kondisi tanpa pemeraman nilai q_u lebih rendah dari pada tanah aslinya. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan tanah putih lebih dari 2,5% justru menurunkan nilai q_u tersebut. Kondisi tersebut dapat diperkuat dengan hasil uji *free swell*. Dengan penambahan 5% tanah putih hanya menurunkan 10% *swell potential* bila dibandingkan dengan penambahan 2,5% tanah putih.

Tabel 4. Sifat-sifat indeks tanah stabilisasi

No	Parameter tanah	Simbol	Satuan	Nilai untuk campuran	
				2,5%	5%
1	Kadar air	w	%	29,100	29,270
2	Berat jenis	Gs	-	2,684	2,681
3	Unit weight	γ	gr/cm ³	1,689	1,680
4	Dry unit weight	γ_d	gr/cm ³	1,308	1,300
5	Porosity	n	%	51,250	51,510
6	Void ratio	e	-	1,052	1,062
7	Liquid limit	LL	%	72,200	61,900
8	Plastic limit	PL	%	29,700	27,440
9	Plastisity index	PI	%	42,500	34,460
10	Shrinkage limits	SL	%	4,580	12,610
11	Pemadatan <i>standard Proctor</i> dg:				
	W opt masing2 campuran	OMC	%	21,600	25,500
	- 95% <i>Dry density maximum</i>	γ_{Dmax}	gr/cm ³	1,378	1,359
	- 100% <i>Dry density maximum</i>	γ_{Dmax}	gr/cm ³	1,450	1,430



Gambar 9. Hasil uji kuat tekan bebas dengan campuran 0%, 2,5% dan 5% (nol hari)



Gambar 10. Hasil uji kuat tekan bebas dengan campuran 0%, 2,5% dan 5% (tujuh hari)

Tabel 5. Hasil uji kuat tekan bebas dengan campuran 0%, 2,5% dan 5% (0 hari)

Jumlah tanah putih (%)	qu kPa	Cu kPa
0	698,02	349,01
2,5	804,79	402,39
5	651,60	325,80

Tabel 6. Hasil uji kuat tekan bebas dengan campuran 0%, 2,5% dan 5% (tujuh hari)

Jumlah Tanah putih (%)	qu kPa	Cu kPa
0	698,02	349,01
2,5	844,55	422,27
5	773,94	386,97

Hasil uji *free swell* untuk campuran 2,5% tanah putih sebesar 110%, sedangkan untuk campuran 5% sebesar 100%, dimana hasil uji *swell potential* untuk tanah asli sebesar 255%. Berdasarkan hasil *qu* dan *swell potential* tersebut maka dilakukan uji kuat tekan bebas dengan penambahan 1% dan 2% tanah putih tanpa pemeraman (lihat Gambar 11), dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa

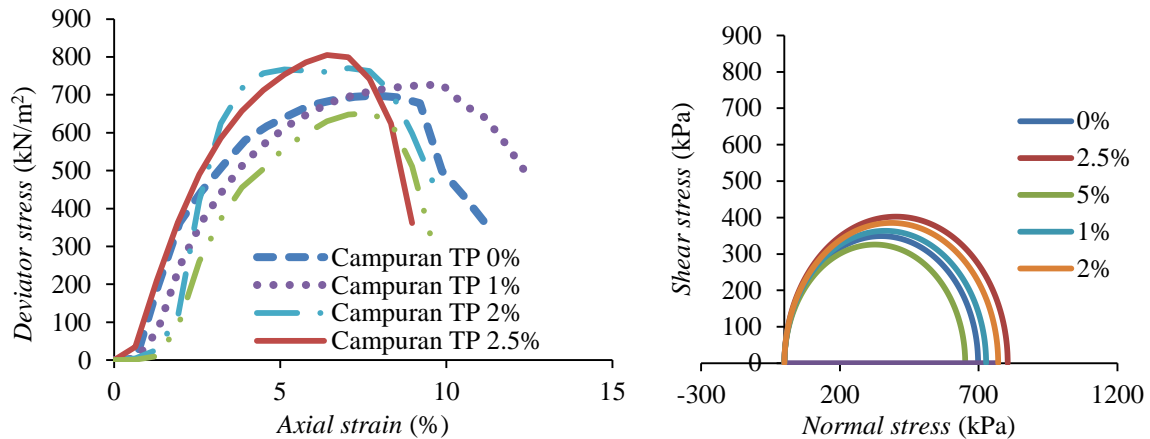
penambahan tanah putih untuk stabilisasi tanah ekspansif pada penelitian ini maksimum 2,5%, yang hasilnya sesuai dengan penelitian terdahulu (Bosbey & Garaisayev, 2010; Al Mukhtar et al., 2010; Neeraja & Rao, 2010; Gueddouda et al., 2011) yaitu dengan penambahan *lime* pada tanah ekspansif dapat meningkatkan kekuatan tanah dan menurunkan *swelling*.

Hasil pengujian CBR dengan kondisi OMC masing-masing campuran (2,5% dan 5%) disajikan pada Tabel 7, dan dapat dilihat bahwa nilai CBR menurun dengan penambahan 5% tanah putih, dan hal ini konsisten dengan hasil uji kuat tekan bebas pada Tabel 5 dan 6.

Swelling potential bertambah dengan berkurangnya kadar air (kondisi lebih kering dari pada OMC tanah ekspansif = 28,10%). Oleh karena itu disarankan untuk pemakaian kadar air optimum (OMC) adalah menggunakan OMC tanah ekspansif (asli), bukan OMC masing-masing campuran.

Tabel 7. Hasil uji CBR dengan OMC masing-masing campuran (2,5% dan 5%)

Sifat mekanik	Satuan	Nilai untuk campuran	
		2,5%	5%
Uji CBR dengan masing2 OMC	%	21,60	25,50
- CBR <i>unsoaked</i> (95% γ_{dmax})	%	15,90	13,40
- CBR <i>unsoaked</i> (100% γ_{dmax})	%	20,70	18,30
- CBR <i>soaked</i> (95% γ_{dmax})	%	5,60	4,90
- CBR <i>soaked</i> (100% γ_{dmax})	%	7,50	6,25
- <i>Swelling potential</i>	%	4,97	4,29



Gambar 11. Hasil uji kuat tekan bebas dengan campuran 0%, 1%, 2%, 2,5% dan 5% (0 hari)

Kesimpulan

Dari hasil pengujian distribusi ukuran butiran tanah asli, nilai A menurut Skempton (1953) sebesar 1,5 dan menurut Seed et al (1962) sebesar 2,24, hal ini menunjukkan bahwa tanah tersebut adalah tanah yang aktif, karena $A > 1,25$. $PI = 44,96$, tanah asli dari Godong ini mengandung unsur mineral Nontronite-15A dengan *score* 43. *nontronite* adalah jenis mineral yang termasuk dalam kelompok Smectite yang mempunyai sifat seperti *monmorillonite*, yaitu dapat memiliki jumlah air teradsorpsi yang bervariasi, yang terkait dengan permukaan interlayer dan pertukaran kation. Jadi tanah Godong termasuk jenis tanah ekspansif.

Unsur mineralogi tanah putih didominasi *calcite* dengan unsur kimia Ca (Co3) dengan *score* 96.

Sifat fisik dan sifat mekanik tanah ekspansif menjadi lebih baik dengan penambahan tanah putih dengan jumlah maksimal sebesar 2,5% dari berat kering tanah. Jadi tanah putih, dapat dipakai sebagai salah satu bahan alternatif untuk stabilisasi tanah lempung ekspansif.

Pemakaian kadar air optimum (OMC) untuk pencampuran adalah menggunakan OMC tanah ekspansif (tanah asli), bukan OMC masing-masing campuran

Daftar Pustaka

- Abdullah, W. S. & Alsharqi, A. S. (2011). Rehabilitation of medium expansive soil using cement treatment. *Jordan Jurnal of Civil Engineering*, 5(3), 343-356.
- Agus. (2013). Pemanfaatan tanah putih sebagai bahan tambahan dalam pembuatan paving. *Skripsi*, Universitas Nusa Cendana. Kupang.
- Al-Mukhtar, M., Lasledj, A., & Alcover, J. F. (2010). Behaviour and mineralogy changes in lime-treated expansive soil at 20 C. *Applied Clay Science*, 50(2), 191-198.
- ASTM. (2002). Annual Books of ASTM Standard, *American Society of Testing Materia*. Philadelphia.
- Basma, A. A., & Tuncer, E. R. (1991). Effect of lime on volume change and compressibility of expansive clays. *Transportation Research Record*, (1295), 52-61.
- Bozbey, I., & Garaisayev, S. (2010). Effects of soil pulverization quality on lime stabilization of an expansive clay. *Environmental Earth Sciences*, 60(6), 1137-1151. DOI 10.1007/s12665-009-0256-5.

- Bhuvaneshwari, S., Robinson, R. G. & Gandhi (2005). Stabilization of expansive soils using flyash. *Fly Ash India 2005*, New Delhi.
- Chen, F. H., (1975). *Foundation on Expansive Soils*, Developments in Geotechnical Engineering 12, Else-Vier Scientific Publishing Company, New York.
- Cokca, E., Yazici, V., & Ozaydin, V. (2009). Stabilization of expansive clays using granulated blast furnace slag (GBFS) and GBFS-cement. *Geotechnical and Geological Engineering*, 27(4), 489-499. DOI 10.1007/s10706-008-9250-z
- Fattah, M. Y., Salman, F. A., & Nareeman, B. J. (2010). A treatment of expansive soil using different additives. *Acta Montanistica Slovaca*, 15(4), 290-297.
- Gueddouda, M. K., Goual, I., Lamara, M., Smaida, A., & Mekarta, B. (2011). Chemical stabilization of expansive clays from Algeria. *Global Journal of researches in engineering (J: General Engineering)*, 11(5), 1-8.
- Holtz, W. G. & Gibbs, H. J. (1956). Engineering properties of expansive clay clays. *Transact. ASCE*, 121, 641-677.
- Hunggurami, E., Bunganaen, W., & Muskanan, R. Y. (2014). Studi eksperimental kuat tekan dan serapan air bata ringan cellular lightweight concrete dengan tanah putih sebagai agregat. *Jurnal Teknik Sipil*, 3(2), 125-136.
- Kavak, A & Akyarli, A. (2007). A field application for lime stabilization. *Environ Geol*, 51(6), 987-997.
- Locat, J., Bérubé, M. A., & Choquette, M. (1990). Laboratory investigations on the lime stabilization of sensitive clays: shear strength development. *Canadian Geotechnical Journal*, 27(3), 294-304.
- Malhotra, M., & Naval, S. (2013). Stabilization of expansive soils using low cost materials. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, 2(11), 181-184.
- Nalbantoglu, Z., & Tuncer, E. R. (2001). Compressibility and hydraulic conductivity of a chemically treated expansive clay. *Canadian Geotechnical Journal*, 38(1), 154-160.
- Neeraja, D., & Rao Narsimha, A. V. (2010). Use of certain admixtures in the construction of pavement on expansive clayey subgrade. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2(11), 6108-6114.
- Ramadas, T. L., Kumar, N. D., & Yesuratnam, G. (2012). A study on strength and swelling characteristics of three expansive soils treated with CaCl₂. *Int J Adv Civ Eng Arch*, 1(1), 77-86.
- Seed, H. B., & Lundgren, R. (1962). Prediction of swelling potential for compacted clays. *Journal of The Soil Mechanics and Foundations Division*, 88(3), 53-88.
- Sherwood, PT. (1993). *Soil stabilization with cement and lime*. Transport Research Laboratory, State of the Art Review. HMSO.
- Skempton, A. W. (1953). The colloidal activity of clays. *Selected papers on soil mechanics*, 106-118.
- Tonoz, M., Gokceoglu, C., & Ulusay, R. (2003). A laboratory-scale experimental investigation on the performance of lime columns in expansive Ankara (Turkey) clay. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 62(2), 91-106.
- Wardani, S. P. R., Hardiyati, S., Muhrozi, M., & Pardoyo, B. (2015). Stabilisasi tanah lempung dengan menggunakan larutan asam sulfat (H₂SO₄) pada tanah dasar di daerah Godong-Purwodadi Km 50 Kabupaten Grobogan. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 21(1), 13-22.