



Stabilisasi Tanah Ekspansif Dengan Penambahan Pasir (Studi Kasus : Dusun Jatiluhur, Desa Glagahagung, Kecamatan Purwoharjo, Kabupaten Banyuwangi)¹

Expansive Soils Stabilization With Additional Sand (Case Study : Jatiluhur Hamlet, Glgah Agung Village, Purwoharjo Sub-District, Banyuwangi District)

Muhammad Ari Ridwansyah^a, M. Farid Ma'ruf^b, Paksitya Purnama Putra^{b, 2}

^a Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember.

^b Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember.

ABSTRAK

Tanah ekspansif di desa Glagahagung, Kecamatan Purwoharjo, Kabupaten Banyuwangi banyak merusak dinding dan lantai rumah warga. Kerusakan diakibatkan karena tanah jenis ini memiliki sifat kembang susut tinggi. Guna mengurangi sifat tersebut perlu dilakukan stabilisasi. Stabilisasi dalam penelitian ini menggunakan pasir sebagai stabilisator. Penambahan pasir bertujuan untuk mengurangi rasio sifat kohesi lempung, meningkatkan nilai kepadatan, mengurangi potensi pengembangan tanah dan menurunkan permeabilitas tanah. Kadar pasir yang digunakan untuk stabilisasi sebesar 15%, 20%, 25%, 30% dan 35%. Dari hasil pengujian didapat tanah asli memiliki batas cair sebesar 90,86%, batas plastis sebesar 36,97% dan indeks plastisitas sebesar 53,89%. Berdasarkan sistem klasifikasi USCS, tanah asli termasuk dalam kategori tanah lempung plastisitas tinggi. Dari beberapa klasifikasi mengenai potensi pengembangan tanah ekspansif, tanah asli termasuk ke dalam tanah dengan tingkat pengembangan tinggi. Sedangkan hasil dari pengujian tanah campuran didapatkan bahwa semakin besar kadar pasir dapat mengurangi sifat plastisitas, kadar air, dan pengembangan tanah.

Kata kunci: Stabilisasi, Ekspansif, Tanah Ekspansif, Pengembangan Tanah

ABSTRACT

Expansive soil in Glagahagung village, District Purwoharjo, Banyuwangi district expansive soils much damage the walls and floors of residences. Damage caused by this type of soil has high shrunken properties. In order to reduce these properties stabilization needs to be done. Stabilization in this research uses sand as the stabilizer. The addition of sand aims to reduce the ratio of clay cohesion properties, increase density values, reduce the potential for soil development and reduce soil permeability. The sand content used for stabilization is 15%, 20%, 25%, 30% and 35%. From the test results obtained the original soil has a liquid limit of 90.86%, plastic limit of 36.97% and plasticity index of 53.89%. Under the USCS classification system, the original soil belongs to the category of high plastic clay soil. From several classifications of the expansive soil development potential, the original soil is included in the ground with a high level of development. While the result of mixed soil testing is found that the greater the level of sand can reduce the properties of plasticity, moisture content, and soil development.

Keywords: Stabilization, Expansive, Expansive Soil, Soil Development

¹ Info Artikel: Received 9 June 2018, Received in revised form 22 June 2018, Accepted 4 July 2018

² E-mail: maridwansyah@gmail.com (M. A. Ridwansyah), farid.teknik@unej.ac.id (M. F. Ma'ruf), paksitya.putra@yahoo.com (P. P. Putra)

PENDAHULUAN

Tanah ekspansif merupakan salah satu masalah global di bidang konstruksi. Di Amerika Serikat estimasi biaya kerusakan bangunan dan infrastruktur akibat tanah ekspansif mencapai \$15 Juta per tahun (Far & Flint, 2016). Tanah jenis ini umumnya memiliki *liquid limit* dan *plastis limit* yang cenderung besar dengan *index plastisitas* tinggi sekitar $> 30\%$ (Chen, 1975). Untuk mengurangi kerugian akibat tanah ekspansif dilakukan stabilisasi tanah dengan penambahan pasir. *Soil Improvement* dengan penambahan pasir sebagai stabilisator bertujuan untuk meredam atau mengurangi komposisi lempung. Penambahan pasir pada tanah ekspansif akan mengurangi rasio sifat kohesi lempung. Penambahan pasir dilakukan sebelum proses pemadatan (*Compacting*). Stabilisasi ini dilakukan untuk mendapatkan nilai kepadatan (*density*) yang tinggi, meningkatkan kekuatan geser, menurunkan *permeabilitas* dan mempercepat konsolidasi (Das, 1999). Dalam penelitian Soepandji (1995) bahwa dengan penambahan pasir sebagai stabilisator akan menurunkan batas cair dan batas plastis tanah lempung, meningkatkan sudut geser tanah dan menurunkan nilai kohesi tanah. Pengembangan terjadi akibat kadar air pada tanah lempung bertambah sehingga menyebabkan *differential movement*, hal inilah yang mengakibatkan kerusakan pada bangunan. Sedangkan untuk mengetahui besarnya pengembangan tanah dapat dilakukan dengan beberapa pengujian yaitu uji *swelling potential* tanah dan uji *swelling pressure* tanah. Dari uji tersebut nantinya akan diketahui jenis tanah di dusun Jati Luhur desa Glagah Agung, kecamatan Purwoharjo, kabupaten Banyuwangi termasuk ke dalam jenis tanah ekspansif atau tidak. Penelitian ini dilakukan dengan metode pengukuran tidak langsung yang dilakukan di laboratorium fakultas teknik Universitas Jember.

LANDASAN TEORI

Tanah Lempung Ekspansif

Tanah lempung berasal dari pelapukan akibat reaksi kimia yang menghasilkan susunan kelompok partikel berukuran koloid dengan diameter butiran lebih kecil dari 0,002 mm (Hardiyatmo et al., 1992). Kerr (1959) (Putranto, Zaika, & Suryo, n.d.) dalam (Hardiyatmo et al., 1992). mengklasifikasikan mineral lempung menjadi 15 macam. Di antaranya terdiri dari kelompok-kelompok : *montmorillonite*, *illite*, *kaolinite*, dan *polygorskite*. Terdapat pula kelompok yang lain, misalnya ; *chlorite*, *vemiculite*, dan *hallosyte*. Menurut Moechtar (2012), tanah ekspansif memiliki ciri-ciri : tanah akan mengembang bila tanah menjadi basah (pada musim penghujan) dan menyusut apabila tanah menjadi kering (pada musim kemarau). Besarnya pengembangan dan penyusutan tanah tersebut biasanya tidak merata (tidak sama) dari satu titik ke titik yang lain. Hal ini menyebabkan permukaan tanah yang semula rata menjadi tidak rata atau bergelombang.

Identifikasi Tanah Ekspansif

1. Identifikasi USBR

Metode ini mengkorelasikan nilai kandungan koloid, batas susut dan indeks plastisitas untuk melihat kriteria derajat ekspansif tanah. Klasifikasi ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel.1 Kriteria Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif USBR

Koloid lebih kecil 0,001 mm(%)	Indeks Plastisitas (%)	Batas Susut (%)	Kemungkinan Ekspansif (%)	Derajat Ekspansif
>28	>35	<11	>30	Sangat Tinggi
20-23	25-41	7-12	20-30	Tinggi
13-23	15-28	10-16	10-20	Sedang
<15	<18	>15	<10	Rendah

Sumber : (Holtz et al, 1959)

2. Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif Chen

Chen menggunakan korelasi antara fraksi lempung lolos saringan no.200, batas cair, *standart penetration*, dan perubahan volume. Klasifikasi ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Potensi Tanah Ekspansif Chen

Laboratory and Field Data			Volume Change	Degree of Expansion
Percent Passing No. 200	Liquid Limit (%)	Standart Penetration		
>95	>60	>30	>10	<i>Very High</i>
60-95	40-60	20-30	3-10	<i>High</i>
30-60	30-40	10-20	1-5	<i>Low</i>
<30	<30	<10	<1	<i>Medium</i>

Sumber : Chen (1965)

3. Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif SNI 03-6795-2002

Pada ("Metode pengujian menentukan tanah ekspansif 1," 2002) disebutkan bahwa untuk mengidentifikasi potensi pengembangan tanah ekspansif dapat ditentukan dari batas cair, indeks plastis dan uji hisap tanah. Sedangkan untuk mengukur besarnya pengembangan dapat dilakukan dengan uji konsolidasi. Adapun tabel untuk mengetahui tingkat pengembangan tanah dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hubungan Tingkat Pengembangan dengan Batas Cair, Indeks Plastisitas dan Uji Hisap

Tingkat Pengembangan	Batas Cair	Indeks Plastis	Uji Hisap Asli (kn/m ²)
Tinggi	>60	>35	>4
Sedang	50-60	25-35	1,5-4
Rendah	<50	<25	<1,5

Sumber : SNI 03-6795-2002

4. Identifikasi Potensi Pengembangan Tanah Lempung Ekspansif Skempton

Skempton menggunakan nilai aktivitas tanah untuk mengukur besarnya derajat ekspansif. nilai aktivitas skempton dihitung berdasarkan nilai indeks plastisitas tanah. Adapun persamaan untuk mencari nilai *activity* dapat lihat rumus 1. Sedangkan tabel klasifikasi Skempton dapat dilihat pada Tabel 4.

$$\text{Aktivitas (AC)} = \frac{PI}{C-10} \quad (1)$$

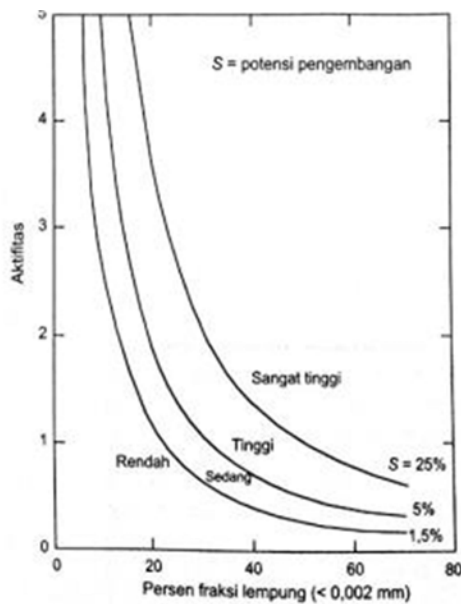
Tabel 4. Parameter Aktivitas Skempton

Ac	DegreeOf Expansion
>1,25	Tanah Aktif dan Ekspansif
0,75-1,25	Tanah Normal
<0,75	Tanah Tidak Aktif

Sumber : Skempton

5. Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif Seed

Pada klasifikasi ini, Seed memodifikasi rumus *activity* Skempton. Seed mengkorelasikan nilai *activity* dengan besarnya persen fraksi lempung < 0,002 mm. Selanjutnya nilai *activity* dan fraksi lempung di plot ke dalam grafik Seed seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Klasifikasi Potensi Pengembangan (Seed et.al. 1962)

Sifat Fisis dan Mekanis Tanah

Analisis fisis tanah bertujuan untuk mengetahui karakteristik tanah dan klasifikasi tanah berdasarkan hasil pengujian di laboratorium. Adapun pengujian yang dilakukan antara lain ; pengujian kadar air, berat isi tanah, berat jenis tanah dan distribusi ukuran tanah. Pengujian –pengujian ini mebgacu pada peraturan Badan Standarisasi Nasional.

Stabilisasi Tanah Dengan Pasir

Stabilisasi dengan penambahan pasir tergolong dalam metode perbaikan secara mekanis. Perbaikan ini bertujuan mengurangi sifat kohesif pada tanah ekspansif. Tanah ekspansif terjadi karena adanya perubahan kadar air di dalam tanah. Oleh karena itu, salah satu cara mengurangi sifat kohesi tanah ekspansif adalah dengan penambahan tanah non kohesif (granuler), karena air biasanya tidak banyak mempengaruhi kelakuan tanah granuler. Sebagai contoh, kuat geser tanah pasir mendekati sama pada kondisi kering maupun jenuh air (Hardiyatmo:2002).

Uji Pengembangan Tanah

Dalam SNI 6424:2008 dijabarkan tiga prosedur pengujian yang bisa dilakukan untuk mengetahui persentase pengembangan tanah. Penelitian ini menggunakan prosedur a untuk mengukur tingkat pengembangan tanah lempung. dalam prosedur ini nantinya akan didapatkan nilai persentase dan tekanan pengembangan. Pengujian ini hanya bertujuan untuk memperkirakan pengangkatan pondasi dari tanah yang dipadatkan. Parameter-parameter dalam uji ini mungkin tidak mewakili kondisi nyata di lapangan, Karena hal-hal berikut :

- a. Pengembangan dan tekanan lateral tidak dapat disimulasi
- b. Pengembangan di lapangan biasanya terjadi pada tekanan yang konstan, tergantung kadar air.
- c. Laju pengembangan pada saat pengujian terkadang tidak bisa disamakan dengan laju pengembangan lapangan.

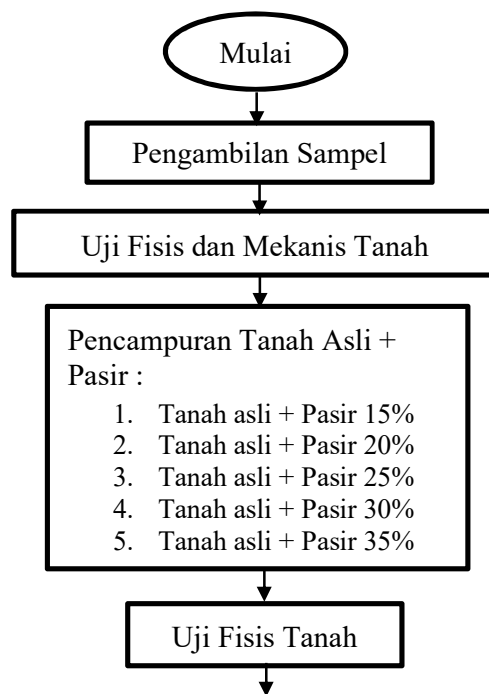
METODOLOGI

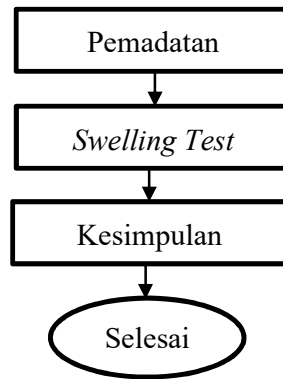
Konsep Penelitian

Penelitian ini adalah studi kasus tentang tanah ekspansif di dusun Jati Luhur desa Glagah Agung, kecamatan Purwoharjo, kabupaten Banyuwangi. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan perbaikan tanah atau *soil improvement* pada jenis tanah ekspansif. Perbaikan tanah dilakukan dengan menambahkan pasir sebagai stabiliator.

Sifat tanah ekspansif ini memiliki kembang susut yang tinggi dan daya dukung tanah yang rendah sehingga kurang baik untuk menopang bangunan. Kerusakan bangunan akibat tanah ekspansif dapat terlihat pada retakan - retakan dinding dan lantai rumah warga.

Diagram Alur Penelitian





HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Tanah Asli

Hasil dari pengujian tanah asli dapat dilihat pada Tabel 5.

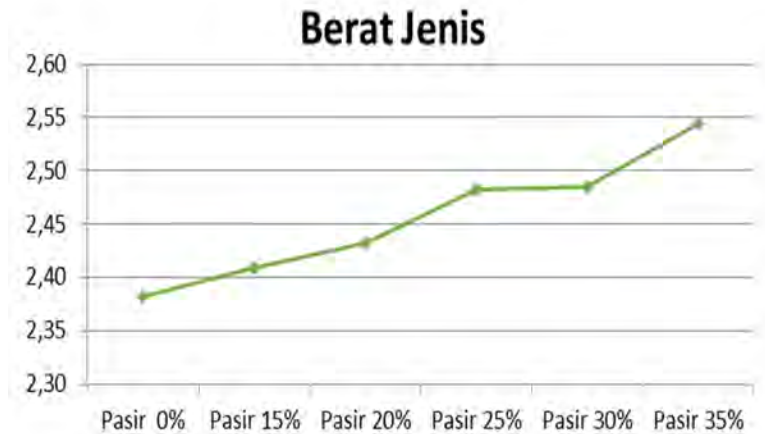
Tabel 5. Hasil Uji Sifat Fisis Tanah Asli

Parameter	Tanah Asli
Berat Spesifik	2,38
Batas Batas Atteberg	
- Batas Cair (%)	90,86
- Batas Plastis (%)	36,97
- IP (%)	53,89
W Optimum	28 %
Yd maks	1,328
Swelling (%)	1,521
Analisa Saringan (%)	
- Lolos Saringan No. 10	99,9
- Lolos Saringan No. 40	99
- Lolos Saringan No. 200	96,5

Dari hasil pengujian didapat indeks plastisitas tanah asli sebesar 53,89%, batas cair sebesar 90,86% dan batas plastis sebesar 36,97%. Dengan demikian dapat disimpulkan tanah memiliki sifat plastisitas yang tinggi (lihat Tabel 2.6). Dan berdasarkan analisa saringan dan nilai indeks plastisitas, tanah sampel masuk ke dalam klasifikasi lempung (lihat Tabel 2.8). Tanah asli termasuk dalam ekspansifitas tinggi (lihat Tabel 2.3) dengan tingkat pengembangan sebesar 1,521%.

Hasil Pengujian Berat Jenis Air

Adapun pengaruh penambahan pasir terhadap berat jenis tanah lempung ekspansif dapat dilihat pada Gambar 3.

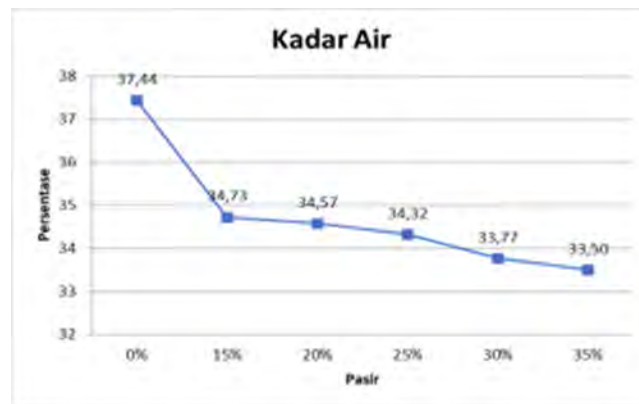


Gambar 3. Hasil Pengujian Berat Jenis (Seed et.al. 1962)

Dari grafik ditunjukkan pengaruh penambahan pasir terhadap berat jenis tanah. Semakin banyak pasir dalam lempung semakin besar berat jenisnya.

Hasil Pengujian Kadar Air

Adapun hasil dari pengujian kadar air dapat dilihat pada Gambar 4.

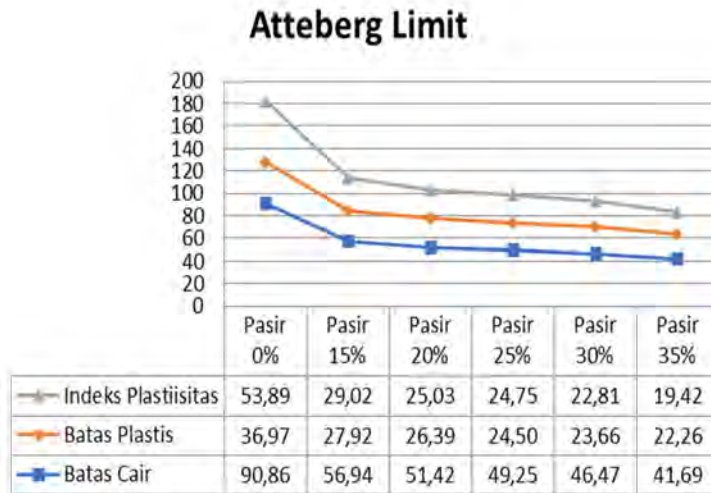


Gambar 4. Hasil Pengujian Berat Jenis (Seed et.al. 1962)

Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa semakin banyak pasir semakin turun kadar airnya. Karena pasir mengurangi sifat lempung yang mudah menyerap air.

Hasil Pengujian *Atteberg Limit*

Pengujian *atteberg* dilakukan untuk mengetahui nilai batas cair, batas plastis dan indeks plastisitas tanah. Adapun hasil pengujian batas-batas *atteberg* terhadap tanah lempung substitusi pasir dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Pengujian Berat Jenis (Seed et.al. 1962)

Dari hasil pengujian didapat penurunan yang konstan seiring penambahan pasir. Nilai batas cair dan batas plastis tanah menurun, hal ini karena pasir mengisi rongga-rongga tanah (filler) dan membuat tanah menjadi lebih padat. Menurunnya nilai batas cair dan batas plastis mempengaruhi nilai indeks plastisitas.

Hasil Pengujian Pemadatan

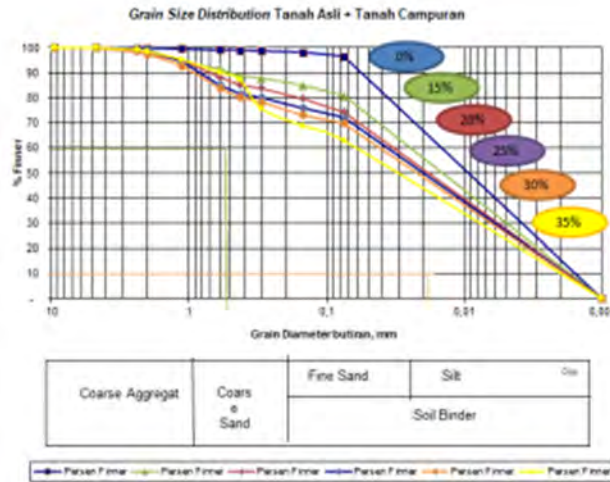
Tipe tanah dan ukuran butiran tanah akan sangat mempengaruhi hasil pemadatan. Umumnya tanah dengan butiran halus akan lebih banyak membutuhkan kadar air untuk mencapai kondisi optimum, sebaliknya untuk tanah berbutir kasar lebih sedikit membutuhkan air. Adapun hasil pengujian pemadatan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Uji Standar Proctor

Sampel	Variasi	Wopt (%)	Yd maks (gr/cm ³)
1	Tanah Asli	28%	1,328
2	Tanah Asli + Pasir 15%	27%	1,389
3	Tanah Asli + Pasir 20%	26%	1,425
4	Tanah Asli + Pasir 25%	25%	1,484
5	Tanah Asli + Pasir 30%	23%	1,550
6	Tanah Asli + Pasir 35%	20%	1,574

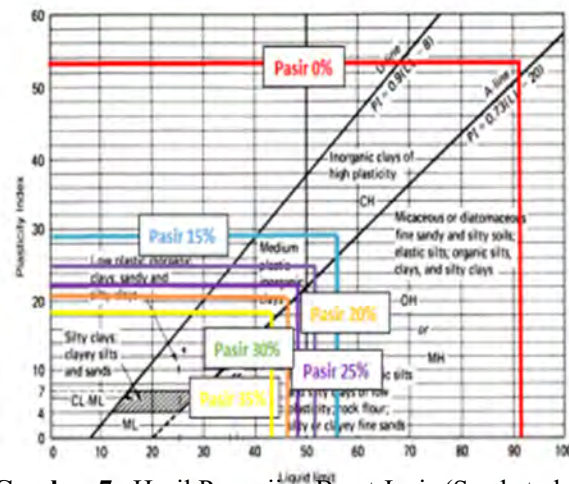
Pengaruh Penambahan Pasir Terhadap Ukuran Butiran Tanah Hasil Pengujian Pemadatan

Untuk menganalisis ukuran butiran tanah dilakukan pengujian analisa saringan. Karena ukuran butiran lempung yang sangat kecil, pengujian analisa saringan tidak bisa menggunakan *sieve shieker*. Tetapi pengujian dilakukan menggunakan analisa saringan basah. Disebut basah karena pengujian ini menggunakan aliran air untuk memisahkan butiran-butiran lempung. Hasil pengujian analisa saringan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil Pengujian Analisa Saringan

Klasifikasi yang digunakan adalah klasifikasi menurut USCS. Sistem klasifikasi ini mengokorelasikan nilai batas cair dengan indeks plastistas. Adapun klasifikasi tanah campuran menurut sistem USCS dapat dilihat pada Gambar 7 dan Tabel 7.



Gambar 7. Hasil Pengujian Berat Jenis (Seed et.al. 1962)

Tabel 7. Klasifikasi Tanah Sistem USCS

Pasir	Batas		Klasifikasi
	Cair (%)	IP	
0%	90,86	53,89	CH
15%	56,94	29,02	CH
20%	51,42	25,03	CH
25%	49,25	24,5	CL
30%	46,47	22,81	CL
35%	41,69	19,43	CL

Potensi Pengembangan Tanah

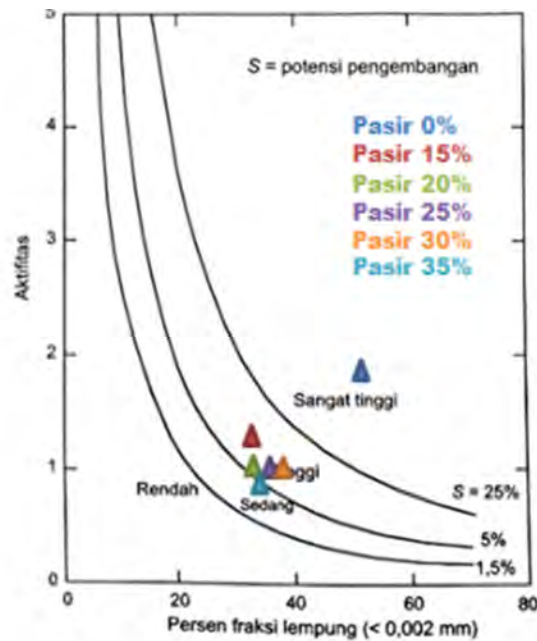
Dari beberapa klasifikasi menurut para ahli tanah ekspansif yang distabilisasi pasir menunjukkan penurunan potensi pengembangan. Dalam Tabel 8 ditunjukkan hasil rekapitulasi potensi pengembangan tanah asli maupun tanah campuran.

Tabel 8. Hasil Uji Sifat Fisis Tanah Asli

Pasir (%)	USBR	Chen	SNI 03-6795-2002
0	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi
15	Tinggi	Sangat Tinggi	Tinggi
20	Tinggi	Tinggi	Tinggi
25	Sedang	Tinggi	Rendah
30	Sedang	Tinggi	Rendah
35	Sedang	Sedang	Rendah

Identifikasi Tanah Ekspansif Skempton

Pada klasifikasi ini Seed memodifikasi rumus aktivitas Skempton. Seed mengkorelasikan persen fraksi lempung dengan aktivitas tanah. Dari hasil perhitungan dengan rumus. Dapat dilihat bahwa terjadi penurunan potensi pengembangan tanah. (lihat Gambar 8 dan Tabel 9)



Gambar 8. Hasil Pengujian Berat Jenis (Seed et.al. 1962)

Tabel 9. Hasil Identifikasi Aktivitas Tanah Lempung Ekspansif

No	Pasir (%)	PI	Persen Fraksi Lempung <0,002mm	Ac	Degree Of Expansion
1	0%	53	53,82	1,507	Sangat Tinggi
2	15%	29	22,22	1,245	Tinggi
3	20%	25	24,92	1,183	Tinggi
4	25%	24	24,33	1,116	Tinggi
5	30%	22	20,05	1,033	Tinggi
6	35%	19	21,93	0,98	Sedang

Tingkat Pengembangan Tanah

Pengembangan tanah diuji menggunakan alat konsolidasi dengan menggunakan metode yang tertera pada ASTM D 4546-03. Dari hasil pengujian penurunan persentase pengembangan tanah terjadi seiring penambahan pasir. (lihat Tabel 10).

Tabel 10. Hasil Uji Pengembangan

No	Pasir (%)	Nilai Pengembangan (%)
1	0	1,150
2	15	0,800
3	20	0,714
4	25	0,657
5	30	0,293
6	35	0,214

KESIMPULAN

1. Hasil pengujian *index properties* tanah asli. Didapat nilai batas cair tanah asli sebesar 90,86%, batas plastis sebesar 36,97% dengan indeks plastisitas sebesar 53,89%. Dari pengujian pemadatan dihasilkan kadar air optimum tanah asli sebesar 28%. Sedangkan dengan persen lolos saringan no. 200 sebesar 96,5% tanah asli diklasifikasikan ke dalam tanah lempung plastisitas tinggi (CH).
2. Penambahan pasir dapat mengurangi atau menurunkan sifat plastisitas tanah lempung. Penurunan terjadi pada nilai batas-batas konsistensi tanah (LL, PL dan IP), kadar air optimum tanah (OMC) dan persentase lolos saringan no. 200. Sedangkan kenaikan terjadi secara konstan pada berat isi kering tanah dan berat jenis tanah.
3. Dari hasil pengujian *swell potential* didapat persentase pengembangan tanah asli sebesar 1,150%. Penambahan pasir dapat mengurangi persentase pengembangan tanah. Pada kadar 35% pasir persentase pengembangan hanya berkisar 0,214%.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung, I. G., & Istri, A. Y. U. (2014). (Studi Kasus di Desa Tanah Awu , Lombok Tengah) Fakultas Teknik Universitas Islam Al-Azhar Mataram, 8(2), 15–19.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). SNI 1967:2008 Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah, 25.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). SNI 1742:2008 Cara Uji Kepadatan Ringan untuk tanah, 20.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). SNI 1964:2008 Cara uji berat jenis tanah, 14.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). SNI 1965:2008 Cara uji penentuan kadar air untuk tanah dan batuan di laboratorium, 16.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). SNI 1966:2008 Cara uji penentuan batas plastis dan indeks plastisitas tanah, 15.
- Braja M. Das, 1991., *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)*, Jakarta, Erlangga.
- Bowles, J. E. (2001). *FOUNDATION ANALYSIS* Third Edition.
- Budhu Muni,2000., *Soil Mechanics and Foundations*, John Wiley and Sons Inc, New York.
- Das, B. M. (1999). *Shallow Foundations: Bearing Capacity and Settlement*. New York, 325.
- Das, B. M., & Puri, V. K. (1989). Holding capacity of inclined square plate anchors in clay. *Soils and Foundations*, 29(3), 138–144.
- Donald P Coduto,1994., *Foundation Design Principles and Practice*, Prentice-Hall Inc, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Hardiyatmo, H. C., Teknik, J., Universitas, S., Mada, G., Sipil, T., Teknik, F., & Gadjah, U. (1992). *Mekanika Tanah I*. Gadjah Mada University Press.
- Louafi, B., & Bahar, R. (2012). SAND : An Additive for Stabilization of Swelling Clay Soils, 2012(September), 719–725.
- Metode pengujian menentukan tanah ekspansif 1. (2002), 1–11.
- Moechtar, Ahmad. (2012). *Perbaikan Tanah Ekspansif*. Erlangga:Jakarta
- P, A. W. (2015). Korelasi Kuat Tekan dengan Kuat Geser pada Tanah Lempung yang Didistribusi dengan Variasi Campuran Pasir, 3(1), 157–170.
- Putranto, A. R., Zaika, Y., & Suryo, E. A. (n.d.). Pengaruh Variasi Jarak dan Panjang Kolom Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansi di Bojonegoro dengan 15 % Fly

Ash Menggunakan Metode Deep Soil Mixing Berpola Single Square Terhadap Daya Dukung Tanah, 1–10.

Terzaghi, K. (1943). *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Edisi kedua*. Jakarta: Erlangga.