

ANALISIS GRANULOMETRI PENAMBAHAN TANAH LEMPUNG EKSPANSIF AMPELGADING TERHADAP POTENSI LIKUEFAKSI TANAH PASIR DELTA BRANTAS

Yulius I. W. Gasa^{1*}, Agus Tugas Sudjianto², Aji Suraji³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Widyagama, Malang

*Email Korespondensi: yuliusgasa@gmail.com

ABSTRAK

Secara umum fenomena likuefaksi terjadi pada tanah pasir jenuh air ($S_r=100\%$) dalam kondisi *undrained* dan ada beban gempa yang bekerja. Likuefaksi ini dapat menyebabkan kerusakan dan keruntuhan pada struktur bangunan. Salah satu lokasi yang mempunyai potensi likuefaksi adalah tanah pasir Delta Brantas Sidoarjo. Untuk itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan tanah lempung ekspansif terhadap likuefaksi tanah pasir Delta Brantas dan berapa persentase yang optimum dari penambahan lempung ekspansif terhadap potensi likuefaksi tanah pasir Delta Brantas. Metode pengambilan data dengan cara sampel tanah pasir diambil dari Sungai Delta Brantas daerah Tlocor Sidoarjo dan tanah lempung ekspansif diambil dari Ampelgading Kabupaten Malang. Tanah campuran ini terdiri dari pasir Delta Brantas dengan kadar 95%, 90%, 85% dan 80% dengan tanah lempung ekspansif Ampelgading 5%, 10%, 15% dan 20%. Pengujian dilakukan dengan gradasi butiran pada tanah campuran tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa granulometri adalah tanah campuran 85% pasir Delta Brantas dengan tambahan 15% tanah lempung ekspansif Ampelgading. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa granulometri tanah campuran berada di luar granulometri tanah pasir Jepang yang mengalami likuefaksi. Granulometri tanah campuran yang paling optimum adalah sebesar 12%.

Kata kunci : Granulometri, Tanah Lempung Ekspansif, Likuefaksi Tanah, dan Tanah Pasir Delta Brantas.

ABSTRACT

In general, the phenomenon of liquefaction occurs in water-saturated sandy soils ($S_r=100\%$) under undrained conditions and in the presence of an acting earthquake load. Liquefaction can cause damage and collapse of building structures. One location that has the potential for liquefaction is the sandy soil of Delta Brantas Sidoarjo. For this reason, this research was conducted to determine the effect of the addition of expansive clay on the liquefaction of sand soil "Delta Brantas" and what is the optimum percentage of the addition of expansive clay on the potential liquefaction of sand soil "Delta Brantas". Data collection method by means of sand soil samples taken from the River "Delta Brantas" Tlocor Sidoarjo area and expansive clay soil taken from Ampelgading Malang Regency. This mixed soil consists of "Delta Brantas" sand with levels of 95%, 90%, 85% and 80% with expansive clay soil Ampelgading 5%, 10%, 15% and 20%. Tests were carried out with grain gradation on the mixed soil. The results showed that the granulometry was 85% "Delta Brantas" sand mixed soil with an additional 15% Ampelgading expansive clay. The results showed that the granulometry of the mixed soil was outside the granulometry of the Japanese sand soil that experienced liquefaction. The optimum granulometry of mixed soil is 12%.

Keywords : Granulometry, Expansive Clay, Soil Liquefaction, and Brantas Delta Sand Soil.

1. PENDAHULUAN

Pada daerah aliran sungai (DAS) yang mengandung tanah Aluvial dan pinggir pantai merupakan daerah yang memiliki tanah dasar berupa pasir halus dengan kondisi jenuh air. Tanah semacam ini merupakan tanah yang memiliki potensi terjadinya likuefaksi [1]. Hal ini dapat terjadi mengingat Indonesia merupakan Negara yang tidak lepas dari terjadinya gempa Tektonik. Secara umum fenomena likuefaksi hanya terjadi pada pasir jenuh air ($S_r=100\%$) dalam kondisi *undrained* dan ada beban siklik gempa yang bekerja. Dalam kondisi tersebut maka pasir akan kehilangan kekuatan mekaniknya, hal ini ditandai dengan hilangnya tegangan efektif tanah ($s'=0$) dan naiknya tegangan air pori hingga mencapai "*Overburden Pressure*". Dalam keadaan ini, perilaku pasir berubah menjadi seperti "*Fluid-Viscous*". Akibat yang ditimbulkan dengan adanya likuefaksi ini dapat berupa "*settlement, boiling, sliding*" atau bahkan suatu kehancuran dari bangunan-bangunan gedung, jembatan, jalan raya, jalan kereta api, bendungan tanah dan dermaga yang ada di dalam ataupun di atas permukaan tanah. Tanah aluvial dengan kondisi pasir jenuh air di Jawa Timur khususnya Surabaya dan Sidoarjo dapat kita temukan pada daerah "Delta Brantas". Rangan dan Arrang [2] melakukan penelitiannya yaitu daerah timur Surabaya dan Sidoarjo yang merupakan bagian dari area yang disebut dengan "Delta Brantas", khususnya untuk daerah yang menuju ke arah pantai. Secara biologis merupakan aluvial yang memiliki banyak lensa-lensa pasir berada di antara kedalaman 0,0 s/d 12,0 m, sesuai dengan hasil tes di lapangan serta data yang ada. Lensa-lensa pasir ini menunjukkan gejala-gejala untuk kemungkinan terjadinya likuefaksi.

Dari uraian di atas dapat kita simpulkan betapa bahayanya bila likuefaksi terjadi, dan mengingat daerah Delta Brantas belum begitu banyak bangunan-bangunan tinggi dan berat. Namun di masa mendatang akan menjadi daerah urban yang padat penduduknya dan tentunya akan diikuti pembangunan sarana dan prasarana yang lengkap. Guna menghindari kerusakan struktur bangunan bila ada getaran dinamis terutama akibat gempa tektonik maka perlu diadakan penelitian yang mengevaluasi kemungkinan terjadinya likuefaksi dengan menentukan nilai potensial likuefaksi [3]. Jika nilai potensial likuefaksi diketahui maka diharapkan dapat menjawab dugaan terjadinya fenomena likuefaksi di daerah Delta Brantas. Karena likuefaksi itu sangat berbahaya khususnya tanah pasir di Delta Brantas, maka penelitian ini akan melakukan destabilitas terhadap tanah pasir Delta Brantas dengan menggunakan lempung ekspansif. Fenomena likuefaksi dapat juga terjadi pada tanah lanau dan lempung. Dalam penelitian Sudjianto, dkk [4], lempung akan mudah kehilangan kekuatannya atau terjadi likuefaksi, bila persentase ukuran butir $0,005 \text{ mm} < 15\%$, *Liquid Limid* (LL) $< 35\%$ dan kadar air $> 0,9 \times \% \text{ LL}$. Sedangkan Theodorus, dkk [3] dalam penelitiannya menyatakan bahwa pasir yang mempunyai kandungan lanau akan dapat terjadi statis likuefaksi. Dari hasil penelitian tersebut maka likuefaksi dapat juga terjadi pada tanah non pasir. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui potensi likuefaksi pada tanah campuran antara pasir dan lempung yang dilaksanakan secara eksperimental di laboratorium dengan menggunakan alat triaksial siklik.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kerusakan Likuefaksi Tanah Pasir

Kerusakan ditimbulkan dengan adanya likuefaksi tanah pasir, dapat berupa penurunan (*settlement*), longsor (*sliding*), [5] keluarnya air ke permukaan tanah (*boillonnement*) atau bahkan kehancuran dari bangunan gedung, jembatan, jalan raya, rel kereta api, bendungan tanah. Menurut Farichah [6], banyak contoh tentang akibat yang ditimbulkan oleh likuefaksi tanah dari suatu gempa yang mengakibatkan kehancuran infrastruktur. Menurut Pujianto [7], lensa-lensa pasir yang menerima beban gempa akan menyebabkan tidak hanya likuefaksi saja, tapi juga timbulnya retak tarik (*tensile-cracks*) pada tanah di sekitar lensa-lensa tersebut.

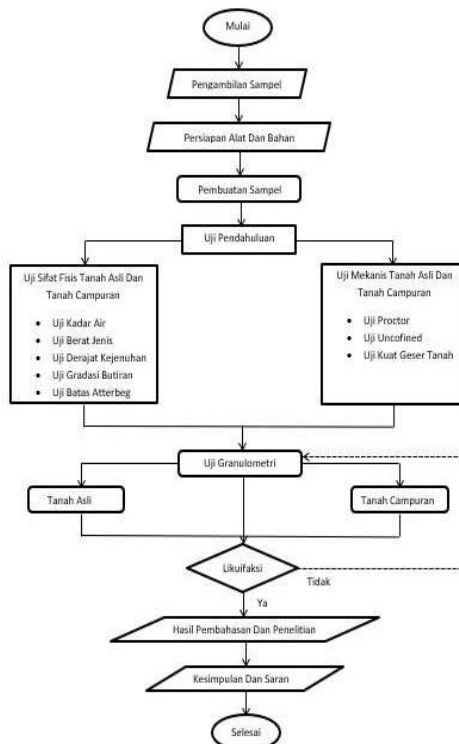
2.2 Faktor-faktor yang Menyebabkan Likuefaksi

Likuefaksi terjadi apabila suatu pasir yang ter saturasi strukturnya terpecah akibat adanya pembebanan yang berlebihan dan terus-menerus. Karena strukturnya hancur, maka partikel-partikel penyusun pasir tersebut akan terus bergerak cenderung membentuk suatu konfigurasi baru yang lebih keras [8]. Kepadatan dari tanah pasir dapat dinyatakan dengan nilai

relatif *density* (D_r) dimana semakin besar nilai D_r , maka akan semakin besar tahananannya terhadap bahaya likuefaksi [9]. Likuefaksi umumnya terjadi pada tanah yang bergradasi seragam (*uniformly graded soil*) [10]. Sementara tanah yang bergradasi baik (*well graded soil*) umumnya mempunyai tahanan terhadap likuefaksi lebih besar dibandingkan dengan tanah bergradasi buruk. Hal ini disebabkan oleh partikel-partikel kecil yang terdapat pada tanah bergradasi baik yang akan dapat mengisi rongga yang ada di antara partikel yang besar, sehingga potensi untuk mengalami perubahan volume pada kondisi *drained* akan menjadi lebih kecil akibat *undrained loading* [11]. Banyak cara yang telah dilakukan oleh para ahli geoteknik dalam beberapa tahun yang lalu untuk mengidentifikasi penyebab dasar terjadinya perilaku likuefaksi pada tanah, baik secara eksperimental maupun dengan berbagai macam analisa yang didasarkan kepada logika berpikir dan pengamatan atas peristiwa likuefaksi yang sudah terjadi sehingga menghantarkan kepada suatu kesimpulan mendasar yang dapat dijadikan dasar berpijak dalam menuntaskan permasalahan yang berhubungan dengan perilaku likuefaksi pada tanah [12].

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimaksudkan untuk mendapatkan komposisi yang tepat untuk stabilisasi likuefaksi tanah pasir Delta Brantas Sidoarjo dengan Tanah Lempung Ekspansif Ampelgading Kabupaten Malang. Rancangan kegiatan yang akan dilakukan pada penelitian ini meliputi Pengambilan sampel, persiapan alat dan bahan, pembuatan sampel, dan uji pendahuluan [13]. Uji pendahuluan dilakukan melalui 2 (dua) uji yaitu meliputi Uji Sifat Fisis Tanah Asli dan Uji Granulometri Tanah Asli dan tanah campuran dengan standar ASTM (2003) [14]. Uji Sifat Fisis Tanah Asli meliputi Uji Kadar Air, Uji Berat Jenis, Uji Derajat Kejenuhan, Uji Gradasi Butiran, dan Uji Batas Atterberg. Sedangkan Uji utama adalah Granulometri Tanah Asli dan Tanah Campuran [4]. Tanah campuran yang dianalisis adalah tanah pasir Delta Brantas kadar 95%, 90%, 85% dan 80% dengan tanah lempung ekspansif 5%, 10%, 15% dan 20%. Hasil analisis granulometri akan dibandingkan dengan tanah pasir di Jepang yang pernah mengalami likuefaksi [15]. Semua uji geoteknik dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Widyagama Malang. Secara singkat diagram alir penelitian seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji sifat fisis tanah dilaksanakan pada 3 jenis tanah, yaitu tanah pasir Delta Brantas dan tanah lempung ekspansif Ampelgading serta tanah campuran dari kedua jenis tanah tersebut [16]. Hasil uji sifat fisis tanah pasir Delta Brantas seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil uji sifat fisis tanah pasir Delta Brantas

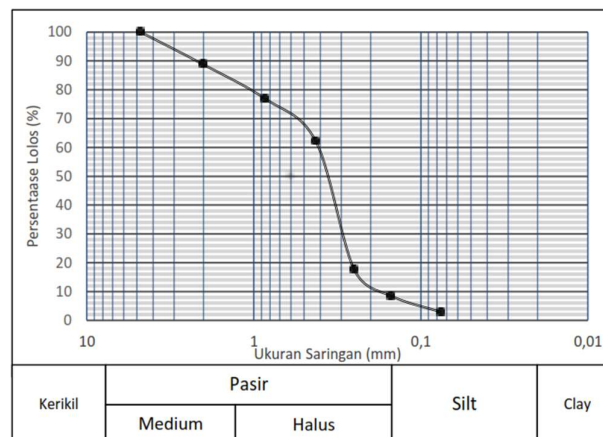
<i>Properties</i>		Pasir Delta Brantas
Analisa Ukuran Butiran	Lolos No. 200 (%)	95
	Lolos < 0.05 mm (%)	78
	Lolos < 0.002 mm (%)	33.5
<i>Specific gravity</i> (Gs)		4.69
Kadar air (%)		24.29
Aktivitas (A)		1.239
Klasifikasi Tanah	<i>Sistem Unified</i>	OH
	Sistem AASHTO	A-3-2

Hasil uji pendahuluan pada tanah lempung ekspansif Ampelgading dimaksudkan untuk mengetahui informasi mengenai sifat fisik dan sifat mekanis. Ditinjau secara visual, pada keadaan di lokasi sampel bisa diidentifikasi bahwa tanah Ampelgading merupakan tanah lempung ekspansif yang tinggi dengan indeks plastisitas (IP) > 25% [17] dan ditandai dengan tingkat kerusakan pada badan jalan dan bangunan ringan di sekitarnya. Hasil uji sifat fisis tanah lempung ekspansif seperti pada Tabel 2.

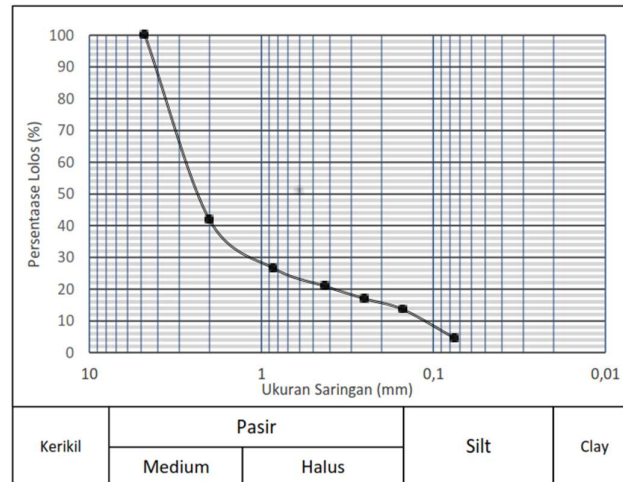
Tabel 2. Hasil uji sifat fisis tanah lempung Ampelgading Kabupaten Malang

<i>Properties</i>		Pasir Delta Brantas
Analisa Ukuran Butiran	Lolos No. 200 (%)	89.47
	Lolos < 0.05 mm (%)	86
	Lolos < 0.002 mm (%)	38.5
Batas Konsistensi	Batas Cair (%)	69.91
	Batas Plastis (%)	40.68
	Indeks Plastisitas (%)	29.23
<i>Specific gravity</i> (Gs)		4.69
Kadar air (%)		24.29
Aktivitas (A)		1.239
Klasifikasi Tanah	<i>Sistem Unified</i>	CH
	Sistem AASHTO	A-7-5

Pengujian analisa ayakan (grain size) pada tanah pasir Delta Brantas dan tanah lempung ekspansif dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir gradasi agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan uji analisis saringan. Berikut tabel dan grafik hasil pengujian analisa saringan tanah pasir Delta Brantas (Gambar 2) dan tanah lempung ekspansif Ampelgading (Gambar 3).



Gambar 2. Grafik Hasil pengujian analisa saringan tanah Pasir Delta Brantas

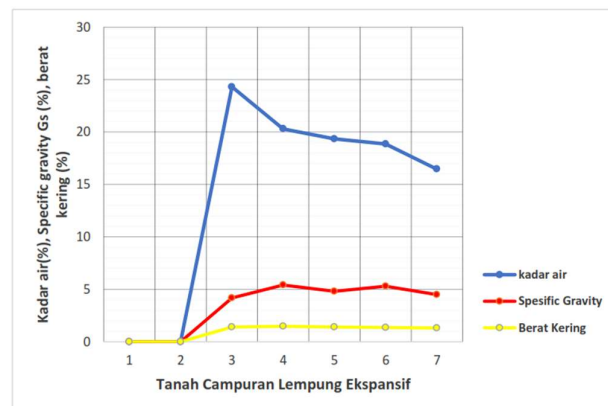


Gambar 3. Grafik Hasil pengujian analisa saringan tanah lempung ekspansif

Pengujian kadar air, *specific gravity*, dan berat kering campuran tanah asli dan lempung ekspansif. Pengujian tersebut didasarkan pada tanah asli dengan persentase kadar air sebesar 24,30%, *specific gravity* sebesar 4,17%, dan berat kering sebesar 1,42%. Dari hasil pengujian hasil kadar air menunjukkan bahwa semakin banyak bahan tanah lempung ekspansif Ampelgading yang dicampurkan pada tanah pasir Delta Brantas maka nilai kadar air konsisten menurun. Untuk pengujian berat jenis (*specific gravity*) didapatkan semakin besar bahan stabilisasi pasir maka nilai *specific gravity* (Gs) bervariasi naik dan turun. Begitu pula pada pengujian γ_d dan derajat kejenuhan tanah pasir Delta Brantas dan campuran lempung ekspansif menunjukkan hasil yang bervariasi naik dan turun [18]. seperti pada Tabel 3 dan Gambar 4 hasil pengujian kadar air (w), *specific gravity* (Gs), dan berat kering (γ_d).

Tabel 3. Hasil pengujian kadar air (W), *specific gravity* (Gs), dan berat kering (γ_d)

Perlakuan	kadar air (%)	<i>Specific gravity</i> (Gs) %	berat kering (γ_d)
Tanah asli	24,30	4,17	1.42
Tanah asli 95 % + 5 % Lempung ekspansif	20,30	5,41	1,48
Tanah asli 90 % + 10 % Lempung ekspansif	19,35	4,80	1,40
Tanah asli 85 % + 15 % Lempung ekspansif	18,85	5,30	1,37
Tanah asli 80 % + 20 % Lempung ekspansif	16,46	4.50	1,32

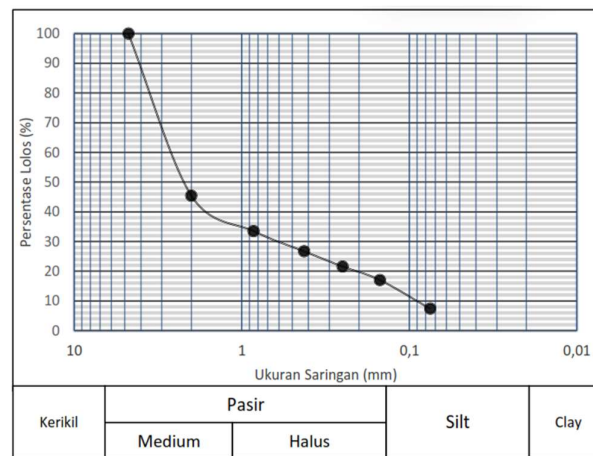


Gambar 4. Grafik hubungan kadar air (W), *Specific Gravity* (Gs), berat kering (γ_d)

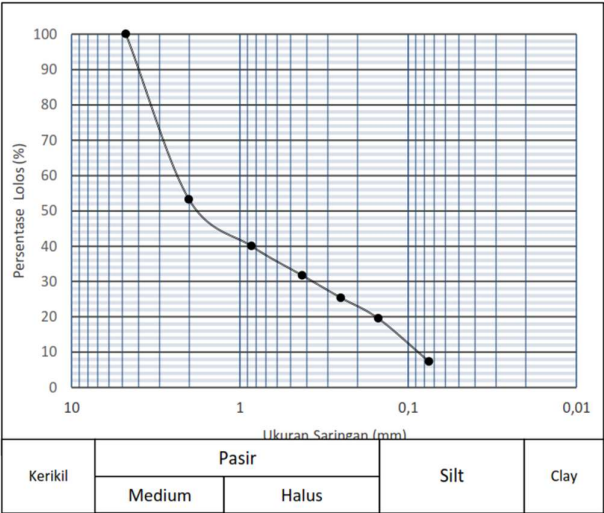
Grafik di atas disimpulkan bahwa persentase kadar air tanah asli 24.30% dari pengujian variasi campuran ini dapat menurun nilai kadar air tanah pasir Delta Brantas Kabupaten

Sidoarjo Kota Surabaya dimana pada pengujian pertama, jika tanah pasir 95% dicampur dengan 5% Lempung ekspansif mampu menurunkan kadar air tanah asli tersebut menjadi 20,30%, pengujian kedua tanah pasir 90% dicampur dengan 10% lempung ekspansif mampu menurunkan kadar air tanah asli tersebut menjadi 19,35%, pengujian ketiga tanah pasir 85% dicampur 15% lempung ekspansif mampu menurunkan kadar air tanah asli tersebut menjadi 18,85% dan campuran keempat tanah pasir 80% dicampur 20% tanah lempung ekspansif maka mampu menurunkan kadar air tanah asli sebesar 16,46%. Persentase *specific gravity* tanah asli 4,17% dimana campuran pertama pasir 95% dicampur dengan 5% tanah lempung ekspansif mampu menaikkan *specific gravity* tanah asli sebesar 5,41%, campuran kedua tanah pasir 90% dicampur dengan 10% tanah lempung ekspansif mampu menaikkan *specific gravity* tanah pasir sebesar 4,80%, campuran ketiga tanah pasir 85% dicampur 15% tanah lempung ekspansif maka mampu menaikkan *specific gravity* tanah asli sebesar 5,30%, dan campuran keempat pasir 80% dicampur dengan 20% tanah lempung ekspansif mampu menaikkan *specific gravity* sebesar 4,50% dan untuk persentase berat kering tanah pasir 1,42% dimana campuran pertama tanah pasir 95% dicampur dengan 5% lempung ekspansif mampu menaikkan berat kering tanah pasir menjadi 1,48%, campuran kedua pasir 90% dicampur 10% lempung ekspansif mampu menaikkan berat kering tanah asli menjadi 1,40%, campuran ketiga dimana tanah pasir 85% dicampur 15% lempung ekspansif mampu menaikkan berat kering tanah asli menjadi 1,37%, dan campuran keempat dimana tanah pasir 80% dicampur dengan 20% tanah lempung ekspansif maka mampu menaikkan berat kering tanah asli sebesar 1,32%.

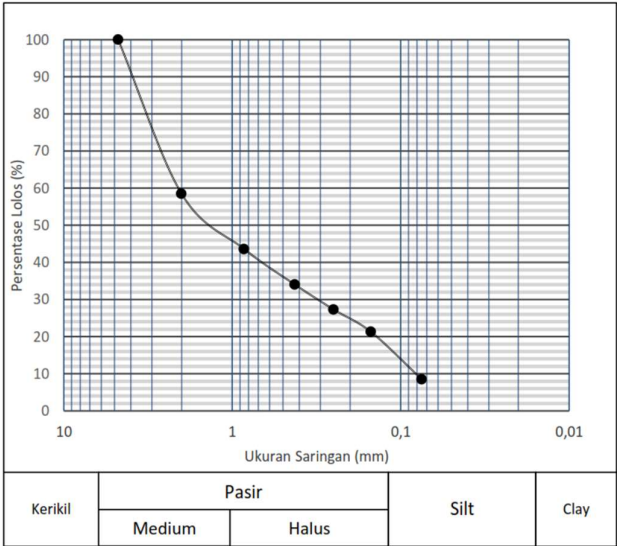
Hasil pengujian granulometri tanah campuran dilakukan untuk mengetahui granulometri tanah campuran yang paling optimal untuk mengantisipasi terjadi potensi likuefaksi dengan membandingkan granulometri tanah campuran dengan tanah pasir yang pernah mengalami likuefaksi [19]. Hasil uji granulometri tanah campuran seperti pada Gambar 5 sampai dengan Gambar 8. Granulometri pada Gambar 5 sampai Gambar 8 memperlihatkan penambahan tanah lempung ekspansif Ampelgading pada pasir Delta Brantas menyebabkan kisaran butiran dari bergradasi kasar menjadi bergradasi butiran halus. Semakin banyak persentase campuran tanah lempung akan menyebabkan semakin halus gradasi butiran tanah pasir Delta Brantas.



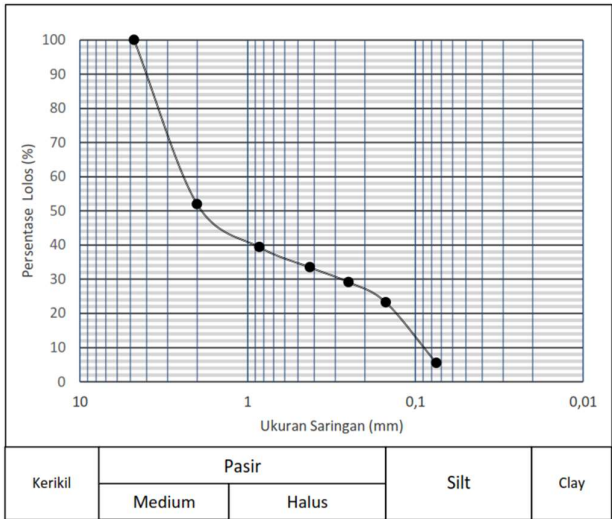
Gambar 5. Grafik analisa saringan pasir 95% + 5% tanah lempung ekspansif



Gambar 6. Grafik analisa saringan pasir 90% + 10% tanah lempung ekspansif

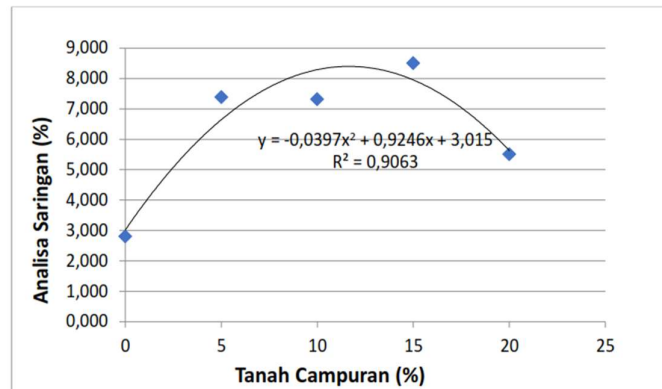


Gambar 7. Grafik analisa saringan pasir 85% + 15% lempung ekspansif



Gambar 8. Grafik analisa saringan pasir 80% + 20% lempung ekspansif

Granulometri di atas dilakukan pada tanah pasir 100%, 95%, 90%, 85%, dan 80% dengan tanah campuran lempung ekspansif adalah 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Dari hasil pengujian analisa saringan butiran campuran tanah pasir dengan tanah lempung ekspansif Ampelgading adalah 5%, dari hasil campuran 85% tanah pasir Delta Brantas + 15% tanah lempung ekspansif Ampelgading. hasil granulometri pada tanah pasir Delta Brantas dan tanah lempung ekspansif Ampelgading pada analisa granulometri ini untuk memisahkan fraksi tanah dan pasir pada ukuran (diameter) gradasi agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan analisa saringan.



Gambar 9. Grafik Hasil Prediksi Regresi Analisa Saringan

Dari Hasil Gambar Analisis Regresi Linear Berganda di atas disimpulkan bahwa nilai campuran optimum Tanah Lempung ekspansif Ampelgading berada pada campuran 12%.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan pada penelitian yang dilakukan tentang stabilisasi likuefaksi tanah pasir Delta Brantas Sidoarjo dengan tanah lempung ekspansif Ampelgading Kabupaten Malang (Jawa Timur) maka bisa diambil kesimpulan yaitu tanah pasir Delta Brantas mempunyai gradasi potensi likuefaksi dengan jenis tanah OH, sedangkan untuk tanah lempung ekspansif Ampelgading dikategorikan sebagai tanah lempung ekspansif Tipe tinggi (CH) karena Index Plastisnya di atas 25%. Granulometri tanah pasir Delta Brantas yang ditambah dengan tanah lempung ekspansif Ampelgading, grafik gradasi butirannya semakin mengetahui tanah pasir di Jepang yang pernah mengalami likuefaksi. Hasil pengujian gradasi 4 jenis tanah campuran tanah yang paling optimal terhadap gradasi tanah pasir di Jepang yang pernah mengalami likuefaksi adalah tanah campuran 85% pasir Delta Brantas + 15% tanah lempung ekspansif Ampelgading. Hasil pengujian sifat mekanis uji kuat geser tanah (*direct share test*) tanah pasir Delta Brantas dengan campuran lempung ekspansif adalah tanah campuran 85% pasir Delta Brantas + 15% tanah lempung ekspansif Ampelgading, dilihat dengan nilai kohesi (c) 0.0892 (kg/cm²) dan nilai sudut geser (ϕ) dalam sebesar 37.391°. pengaruhnya terjadi pada kekuatan tanah dengan campuran 85% pasir Delta Brantas + 15% lempung ekspansif Ampelgading meningkat dan didapatkan kekuatan tanah dengan nilai Kuat Tekan (q_u) sebesar 1,795 (kg/cm²). Tanah lempung ekspansif Ampelgading dapat digunakan untuk menurunkan potensi likuefaksi tanah pasir Delta Brantas, dengan persentase campuran yang baik adalah 12%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. T. Sudjianto, "Pemodelan Perilaku Kembang Tiga Dimensi Tanah Lempung Ekspansif Menggunakan Oedometer Modifikasi," *Skripsi Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada Yogyakarta*, 2012.
- [2] P. R. Rangan and A. T. Arrang, "Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif dengan Limbah Keramik," *Journal Dynamic Saint*, vol. 5, no. 2, 2021, doi:

- 10.47178/dynamicsaint.v5i2.1098.
- [3] A. Theodorus, B. Sugeng, I. Suratman, and R. Hermawan, "Kajian Efektifitas Semen dan Fly Ash dalam Campuran Soil Cement Memakai Tanah Lempung dan Pasir Pulau Timor," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 15, no. 2, 2010, doi: 10.5614/jts.2008.15.2.3.
 - [4] A. Tugas Sudjianto and A. Purwaningsih, "Seminar Nasional Hasil Riset Prefix-RTR Analisis Granulometri Penambahan Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Potensi Likuifaksi Tanah Pasir Delta Brantas," 2020.
 - [5] U. M. Sjahrain, S. G. Rondonuwu, and H. Riogilang, "Analisis Potensi Likuifaksi Dengan Menggunakan Parameter Kuat Geser Tanah Lempung," *JURNAL ILMIAH MEDIA ENGINEERING*, vol. 11, no. 3, 2021.
 - [6] H. Farichah, "Analisis Potensi Likuifaksi dengan Metode Deterministik di Wilayah Surabaya," *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, vol. 4, no. 1, pp. 68–76, 2019.
 - [7] A. Pujiyanto, "Pengaruh Beban Pada Permukaan Tanah Dan Frekuensi Gempa Terhadap Respon Seismik Linier Elastis Lapisan Tanah," *Semesta Teknika*, vol. 8, no. 1, 2016, doi: 10.18196/st.v8i1.909.
 - [8] R. A. Bella, W. Bunganaen, and P. M. Sogen, "Identifikasi Kerusakan Konstruksi Akibat Potensi Pengembangan Tanah Lempung Ekspansif Di Desa Oebelo," *Teknik Sipil*, vol. IV, no. 2, 2015.
 - [9] E. Cahyani, W. N. Afrita, A. E. N. Aza, and D. R. S. Sumunar, "Pengembangan sistem jaringan evakuasi bencana likuifaksi di wilayah Sesar Opak," *Geo Media: Majalah Ilmiah dan Informasi Kegeografian*, vol. 17, no. 1, 2019.
 - [10] W. Fathonah, E. Mina, R. I. Kusuma, and R. Hutami, "Analisis potensi likuifaksi dan alternatif perbaikannya dengan metode stone coloumn," *PROSIDING SNAST*, p. D-1, 2021.
 - [11] T. B. Sanjoto, "Perubahan Spasial Delta Sungai Bodri Sebagai Basis Zonasi Tata Ruang Pesisir Kabupaten Kendal," *J Chem Inf Model*, vol. 53, no. 9, 2013.
 - [12] T. Kwanda, "The Morphological Framework of The Chinese and The European Districts In Surabaya, 1787-2005," *DIMENSI (Journal of Architecture and Built Environment)*, vol. 38, no. 1, 2012, doi: 10.9744/dimensi.38.1.1-14.
 - [13] N. B. W. Yulistiani and D. Darmawan, "Potensi Likuifaksi Berdasarkan Nilai Ground Shear Strain (Gss) Di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten Jawa Tengah," *Jurnal Ilmu Fisika dan Terapannya (JIFTA)*, vol. 7, no. 1, pp. 23–28, 2018.
 - [14] T. L. Youd and S. K. Noble, "Liquefaction criteria based on statistical and probabilistic analyses," in *Proc., NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils*, State Univ. of New York, Buffalo, NY, 1997, pp. 201–205.
 - [15] A. L. Ansori and H. K. Artati, "Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi Berdasarkan Data Insitu Test Menggunakan Metode Probabilitas," *Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta*, 2020.
 - [16] A. Suraji, A. T. Sudjianto, and R. Riman, "Identifikasi dan Klasifikasi Tanah Ekspansif Pada Jalan Nasional Ruas Caruban-Ngawi," in *Prosiding Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi*, 2021, p. 512.
 - [17] E. Setyono, S. Sunarto, and A. M. Gumilang, "Pengaruh Penggunaan Bahan Serbuk Marmer Pada Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif (Kasus Tanah Lempung Ekspansif di Daerah Citra Land Surabaya)," *Jurnal Media Teknik Sipil*, vol. 16, no. 2, 2019, doi: 10.22219/jmts.v16i2.6245.
 - [18] N. Asri, A. Uba, A. T. Sudjianto, and A. Suraji, "Analisis Pengaruh Variasi Kadar Air Terhadap Swelling Volumetrik Tanah Lempung Ekspansif (Studi Kasus KM 51 Ruas Jalan Tirtoyudo Kabupaten Malang)," *The 4th Conference on Innovation and Application of Science and Technology (CIASTECH 2021)*, 2021.
 - [19] F. A. E. Sompie, F. J. Manoppo, and ..., "Stabilisasi Tanah Ekspansif Dengan Campuran Abu Batu Bara Dan Abu Terbang Batu Karang Dengan Aplikasi Timbunan Tipe Urugan Tanah," *Jurnal Ilmiah Media ...*, vol. 8, no. 2, 2019.