

STABILISASI SWELLING VOLUMETRIK (3D) TANAH LEMPUNG EKSPANSIF TIPE SANGAT TINGGI DENGAN LUMPUR LAPINDO

Sikstalia Darmayanti^{1*}, Agus Tugas Sudjianto², Mohammad Cakrawala³

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

*Email Korepondensi: siskafebrin03@gmail.com

ABSTRAK

Tanah lempung ekspansif adalah jenis tanah yang memiliki sifat kembang susut yang sangat tinggi. Volume pori tanah lempung ekspansif akan mengalami pembesaran ketika terjadi musim kemarau sehingga akan terjadi proses penyusutan, sedangkan volume tanah akan mengalami pengembangan ketika terjadi musim hujan. Pada tanah lempung ekspansif permasalahan yang sering terjadi adalah proses kembang-susut tanah. Peristiwa kembang-susut yang sangat tinggi pada tanah lempung ekspansif bisa mengakibatkan kerusakan pada jalan raya dan bangunan ringan. Untuk memperbaiki tanah lempung ekspansif bisa dilakukan dengan metode stabilisasi tanah secara kimiawi dengan memanfaatkan lumpur lapindo. Pada penelitian ini akan menggunakan lumpur lapindo sebagai bahan stabilisasi swelling volumetrik (3D) tanah lempung ekspansif di daerah kecamatan Tirtoyudo. Komposisi campuran lumpur lapindo dan tanah lempung ekspansif yang akan digunakan adalah Tanah 100% + lumpur lapindo 0%, tanah 95% + lumpur lapindo 5%, tanah 90% + lumpur lapindo 10%, tanah 85% + lumpur lapindo 15% dan tanah 80% + lumpur lapindo 20%. Pengujian yang dilakukan pada tanah lempung ekspansif Tirtoyudo meliputi uji sifat fisis, sifat mekanis dan uji swelling volumetrik (3D). Dari penelitian yang telah dilaksanakan didapat nilai swelling volumetrik tanah lempung ekspansif dengan penambahan lumpur lapindo 0%, 5%, 10%, 15% dan 20%, nilai swelling volumetrik yang dihasilkan adalah 38,12%, 18,29%, 12,15%, 11,95%, dan 6,54%. Untuk mendapatkan nilai optimum dari uji swelling volumetrik(3D) dapat dilakukan menggunakan perhitungan regresi linear berganda sehingga mendapatkan hasil yaitu 16,99%.

Kata kunci : Stabilisasi Tanah, Sifat Fisis, Sifat Mekanis, Swelling Volumetrik, Lumpur Lapindo.

ABSTRACT

Expansive clay soil is a type of soil that has very high swelling and shrinking properties. The pore volume of expansive clay soil will increase during the dry season, causing shrinkage, while the soil volume will expand during the rainy season. A common problem with expansive clay soil is soil swelling and shrinking. The extremely high expansion and contraction of expansive clay soil can cause damage to roads and light buildings. To improve expansive clay soil, chemical soil stabilization methods can be used by utilizing Lapindo mud. In this study, Lapindo mud will be used as a material for volumetric (3D) swelling stabilization of expansive clay soil in the Tirtoyudo subdistrict. The composition of the mixture of Lapindo mud and expansive clay soil to be used is 100% soil + 0% Lapindo mud, 95% soil + 5% Lapindo mud, 90% soil + 10% Lapindo mud, 85% soil + 15% Lapindo mud, and 80% soil + 20% Lapindo mud. The tests conducted on the expansive clay soil of Tirtoyudo included physical properties, mechanical properties, and volumetric swelling tests (3D). From the research that has been conducted, the volumetric swelling values of expansive clay soil with the addition of 0%, 5%, 10%, 15%, and 20% Lapindo mud were obtained, with the resulting volumetric swelling values being 38.12%, 18.29%, 12.15%, 11.95%, and 6.54%. To obtain the optimum value from the volumetric swelling test (3D), multiple linear regression calculations can be used to obtain a result of 16.99%.

Keywords : Soil Stabilization, Physical Properties, Mechanical Properties, Volumetric Swelling, Lapindo Mudflow.

1. PENDAHULUAN

Tanah lempung ekspansif adalah tanah yang dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan pada konstruksi bangunan. Tanah lempung ekspansif ini memiliki potensi kembang-susut yang tinggi, apabila terjadi perubahan kadar air [1]. Sifat kembang susut ini berhubungan langsung dengan kadar mineral lempung naik, maka luas permukaan akan naik, sehingga potensi kembang-susut akan naik [2]. Untuk memperbaiki tanah lempung ekspansif bisa dilakukan dengan cara stabilisasi tanah dengan memanfaatkan lumpur Lapindo [3]. Kandungan silika (SiO_2) yang lebih tinggi dari semen namun kandungan kapurnya (CaO) lebih rendah dari semen [4]. Kandungan silika berfungsi sebagai material pengisi (*filler*), Sedangkan kandungan kapur berperan dalam proses pengikatan. CaO tersebut bisa membuat perbaikan terhadap sifat-sifat tanah khususnya tanah yang memiliki ukuran diameter butiran halus seperti tanah lempung ekspansif. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui persentase campuran optimum Lumpur Lapindo terhadap swelling volumetrik pada tanah lempung ekspansif.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Tanah

Tanah adalah lapisan permukaan bumi yang berasal dari material induk yang telah mengalami proses lanjut, karena perubahan alami dibawah pengaruh air, udara, dan macam-macam organisme baik yang masih hidup maupun yang telah mati. Tingkat perubahan terlihat pada komposisi, struktur dan warna hasil pelapukan [5].

Tanah dalam berbagai jenis pekerjaan teknik sipil di pakai untuk material bangunan, selain itu juga memiliki peranan sebagai daya dukung pondasi bangunan [6]. Oleh karena itu, seorang engineering teknik sipil harus bisa memahami sifat-sifat dasar yang dimiliki oleh tanah seperti daya rembesan, kekuatan geser, dan kemampuan daya dukung akibat pembebanan bangunan.

2.2 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah membagi tanah ke dalam kelompok dan sub-kelompok yang didasarkan pada karakteristik teknik (*engineering properties*) seperti distribusi ukuran butiran, batas cair, dan batas plastis [7]. Menurut (Sudjianto, 2021) partikel tanah tersusun oleh salah satu atau semua jenis partikel yaitu Berangkal (*boulders*), Kerikil (*gravel*), Pasir (*sand*), Lanau (*silt*), Lempung (*clay*), Koloid (*colloid*) [9].

2.3 Stabilisasi Tanah

Proses stabilisasi tanah meliputi pencampuran tanah dengan tanah lain untuk memperoleh gradasi yang diinginkan, atau pencampuran tanah dengan bahan tambahan buatan pabrik, sehingga sifat-sifat teknis tanah menjadi lebih baik [10], [11]. Guna mengubah sifat-sifat teknis dari tanah, seperti: daya dukung, kompresibilitas, permeabilitas, workability, potensi pengembangan dan sensitifitas terhadap perubahan kadar air, maka dapat dilakukan dengan cara penanganan dari yang paling mudah, seperti pemadatan sampai teknik yang lebih mahal, seperti: mencampur tanah dengan renolith, semen, kapur, abu terbang (*fly ash*), injeksi semen (*grouting*) dan lain-lain [12].

2.4 Tanah Lempung Ekspansif

Sebagian jenis tanah yang mempunyai kemampuan kembang susut yang tinggi merupakan tanah yang bisa mengalami proses transformasi volume secara drastis sejalan dengan transformasi kadar airnya. Tanah tipe ini adalah tanah lempung yang memiliki kandungan mineral-mineral yang berpotensi mengembang tinggi. Tanah jenis ini diberi nama sebagai tanah lempung ekspansif [13].

2.5 Penyebaran Tanah Lempung Ekspansif

Penyebaran tanah lempung ekspansif, terdapat di berbagai belahan dunia. Tanah lempung ekspansif pada negara indonesia terdapat di Nusa Tenggara Timur, Pulau Batam dan Pulau Jawa. Terutama pada pulau jawa, tanah lempung ekspansif terdapat di beberapa lokasi seperti di Jawa

Tengah, (Purwodadi, Semarang, Kudus, dan Cepu), Jawa Barat (Cikarang, Cikampek, Bandung dan Serang), Jawa Tengah bagian selatan (Caruban, Ngawi, Solo, Sragen, Jogjakarta dan Wates).

2.6 Klasifikasi Tanah Lempung Ekspansif Mengembang

Pada tanah lempung ekspansif mengembang dibagi menjadi empat tipe, menurut indeks plastisitas yang dimiliki oleh tanah, yaitu Tanah Sangat Mengembang (*Very High Ekspansion Soil*), Tanah Mengembang Tinggi (*High Ekspansion Soil*), Tanah Mengembang Sedang (*Medium Ekspansion Soil*), Tanah Mengembang Rendah (*Low Ekspansion Soil*) [14].

2.7 Mineral Dan Struktur Kristal Tanah Lempung Ekspansif

Mineral lempung terdiri dari silikon, aluminium atau magnesium, oksigen dan hidrogen. Beberapa tanah lempung juga memiliki sodium potasium atau kalsium. Komposisi kimia tersebut sangat rumit, tetapi semua itu dapat dirangkum ke dalam hydrous aluminosilicates. Pada lembar silika, unit dasarnya adalah silika tetrahedron. Pada lembar aluminium atau magnesium, unit dasarnya adalah oktahedron (terdiri dari 8 sisi).

2.8 Kembang Susut Tanah Lempung Ekspansif

Proses mengembang diakibatkan oleh berpindahnya air ke wilayah interlayer, Partikel-partikel lempung mempunyai permukaan yang bermuatan negatif dan kation dapat meresap ke dalam permukaan ini. Kation merupakan interlayer, yang berarti kation adalah susunan ganda pada permukaan lempung [15]. Susunan ganda ini bisa menarik air secara elektrik, setelah itu terletak di dekat partikel lempung yang disebut dengan lapisan air ganda. Efek yang ditimbulkan akibat lapisan ganda ini adalah pada saat partikel saling mendekat, maka lapisan air ganda di tiap-tiap bagian partikel akan mulai saling bertumpuk, membuat dua partikel akan saling menjauhi yang menyebabkan tanah lempung mengembang.

2.9 Lumpur Lapindo

Lumpur lapindo memiliki kandungan silika (SiO_2) yang lebih tinggi dari semen namun kandungan kapurnya (CaO) lebih rendah dari semen. Kandungan silika berfungsi sebagai material pengisi (*filler*), sehingga sangat mendukung sebagai bahan dalam pembuatan batu bata, genteng keramik, paving block dan bahan bangunan lainnya. Sedangkan kandungan kapur berperan dalam proses pengikatan [16].

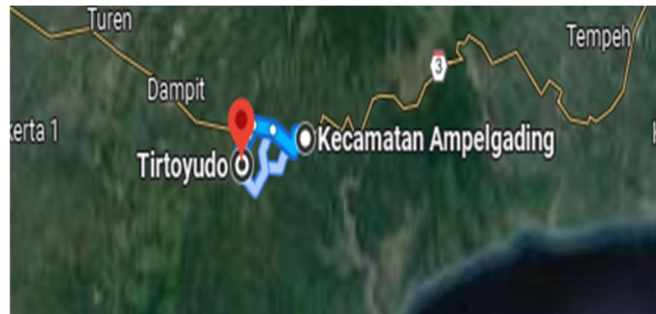
2.10 Swelling Volumetrik

Swelling Volumetrik (3D) ialah uji utama dari penelitian ini dimana pengukuran tanah lempung ekspansif untuk memperoleh besarnya potensi kembang volumetrik dengan menggunakan alat ukur otomatis yaitu jangka sorong digital untuk mengukur tinggi dan diameter Pembengkakan [17].

3. METODE PENELITIAN

3.1 Pengambilan Sampel Penelitian

Pengambilan sampel tanah lempung ekspansif tipe sangat tinggi, diambil secara langsung di daerah Kecamatan Tirtoyudo, Kabupaten Malang, Jawa Timur yang ditampilkan pada Gambar 1. Dipilihnya daerah ini, karena dampak kerusakan konstruksi jalan raya dan bangunan akibat tanah lempung ekspansif yang sangat dirasakan oleh masyarakat dan pengguna jalan yang melintas di daerah Kecamatan Tirtoyudo.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Sampel Tanah Lempung Ekspansif

3.2 Lokasi Pengambilan Sampel Lumpur Lapindo

Pengambilan sampel Lumpur Lapindo diambil secara langsung di tempatnya di Sidoarjo Jawa Timur. Tanah yang diambil sebanyak 3 karung (150 kg), sudah cukup untuk kebutuhan saat penelitian di Laboratorium. Lokasi pengambilan Lumpur Lapindo terdapat di Renokenongo, Kec. Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur (Gambar 2).



Gambar 2. Lokasi Pengambilan Sampel Lumpur Lapindo

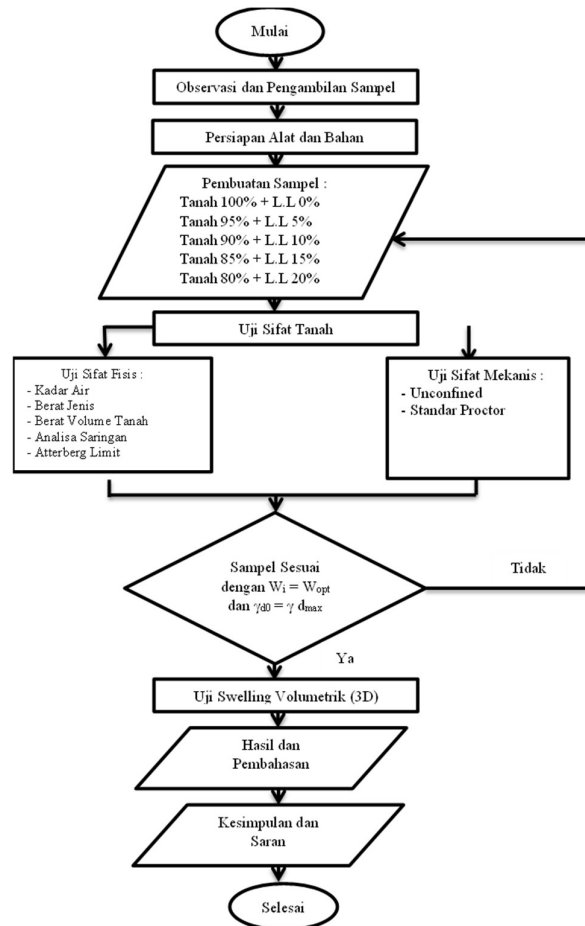
3.3 Persiapan Bahan dan Peralatan Uji di Laboratorium

Mempersiapkan peralatan maupun sampel untuk uji pendahuluan maupun uji utama di Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Widyagama Malang. Benda uji adalah tanah asli dan tanah campuran tanah asli dengan umpur lapindo dibuat dengan komposisi seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Campuran Tanah dan Lumpur Lapindo

Sampel	Persentase Campuran				
	100%	95%	90%	85%	80%
Tanah	100%	95%	90%	85%	80%
L. Lapindo	0%	5%	10%	15%	20%

Pada penelitian ini pengujian yang di lakukan pada tanah lempung ekspansif meliputi uji sifat fisis (kadar air, berat jenis, berat volume tanah, Analisa ayakan dan *atterbeg limit*) dan sifat mekanis meliputi (*unconfined* dan standar proctor). Kegiatan ini mulai dari proses pengumpulan data, pengolahan, analisis data dan cara pengambilan keputusan secara umum. Secara ringkas tahapan penelitian ini mulai dari awal sampai akhir seperti pada Gambar 3 di bawah.



Gambar 3. Diagram Aliran Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian sifat fisis dan sifat mekanis tanah asli dan tanah campuran seperti pada Tabel 2 dan Tabel 3. Hasil uji sifat fisis tanah asli memperlihatkan bahwa tanah lempung Tirtoyudo merupakan tanah lempung ekspansif dengan kategori sangat tinggi, dengan $IP > 34,28$ dengan daya dukung tanah yang rendah, dengan nilai Q_u sebesar $0,318 \text{ kg/cm}^2$.

Tabel 2. Hasil Pengujian Tanah Asli

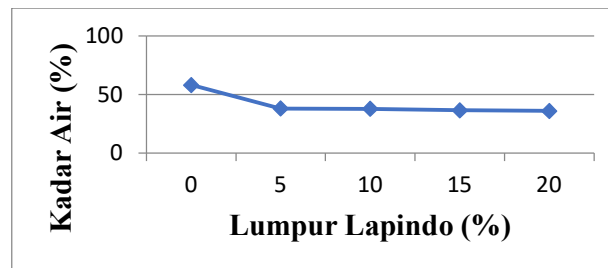
No	Properties		Tanah Tirtoyudo
1	Kadar Air (%)		58,13
2	Berat Jenis		2,560
3	Berat Volume Tanah	$\gamma_w \text{ (gr/cm}^3\text{)}$	1,69
		$\gamma_d \text{ (gr/cm}^3\text{)}$	1,54
4	Batas Atterberg	Batas Cair (%)	79,01
		Batas Plastis (%)	44,73
		Indeks Plastisitas (%)	34,28
5	<i>Unconfined</i>	$Q_u \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	0,147
		<i>Unit Strain</i>	0,557
6	<i>Standar Proctor</i>	Woptimum (%)	46,91
		$\gamma_{dmax} \text{ (gr/cm}^3\text{)}$	0,861
7	Swelling		38,12
8	Klasifikasi	Sistem Unified	CH

Tabel 3. Hasil Pengujian Tanah Campuran Lumpur Lapindo

Berat Isi (gr/cm ³)					Batas Atterberg (%)			Unconfined (kg/cm ²)		Standar proctor		swelling
Sampel Tanah	W(%)	GS	Γ_w	γ_d	LL	PL	PI	Qu	Strain	Wopt (%)	$\gamma_{dma} \times$ (gr/cm ³)	
T 95% + LL 5%	37,13	3,23	1,44	1,31	82,22	46,67	35,56	0,224	0,423	45,19	0,857	18,29
T 90 % + LL 10%	37,76	3,24	1,45	1,27	72,22	55,00	17,22	0,249	0,347	39,24	0,840	12,15
T 85+ LL 15%	36,50	3,24	1,40	1,26	79,37	63,33	16,03	0,314	0,353	38,47	0,936	11,95
T 80+ LL 20%	35,97	3,25	1,31	1,27	68,89	53,57	15,32	0,318	0,433	37,58	0,943	6,54

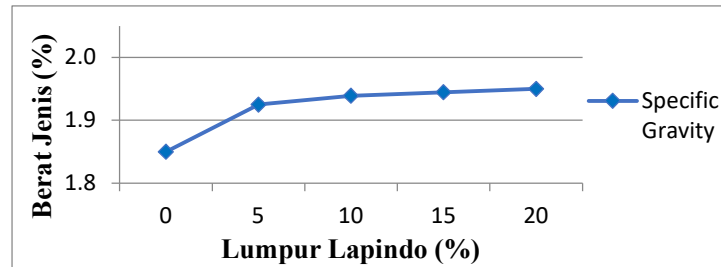
4.1 Pengujian Kadar Air

Pada Gambar 4, pengaruh lumpur lapindo terhadap kadar air disimpulkan bahwa semakin tinggi campuran lumpur Lapindo maka semakin rendah nilai kadar air tanah. Kadar air tanah asli adalah 58,13 %, setelah mencampurkan tanah dengan lumpur Lapindo 5% dapat menurunkan kadar air tanah asli menjadi 37,96%, pada campuran lumpur Lapindo 10% dapat menurunkan kadar air tanah asli hingga 37,76%, pada campuran lumpur Lapindo 15% dapat menurunkan kadar air pada tanah asli sebesar 36,50% dan 20% pada campuran lumpur Lapindo dapat menurunkan kadar air pada tanah asli sebesar 35,97%.

**Gambar 3.** Grafik pengaruh lumpur lapindo terhadap kadar air

4.2 Pengujian Berat Jenis

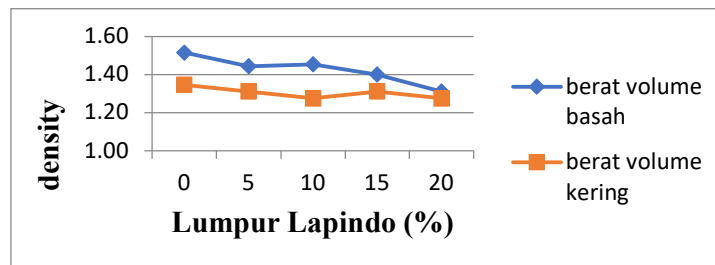
Dari Gambar 5, pengaruh Lumpur Lapindo berat jenis dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi presentase Lumpur Lapindo maka semakin tinggi nilai berat jenis tanah. Berat jenis tanah asli sebesar 1,80, setelah tanah dicampur dengan lumpur Lapindo 5% mampu meningkatkan berat jenis tanah asli menjadi 3,23, pada campuran lumpur Lapindo 10% mampu meningkatkan berat jenis tanah asli menjadi 3,24, pada Campuran Lumpur Lapindo 15% mampu meningkatkan berat jenis tanah asli menjadi 3,24, dan pada campuran Lumpur Lapindo 20% mampu meningkatkan berat jenis tanah asli menjadi 3,25.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Lumpur Lapindo Terhadap Berat Jenis

4.3 Pengujian Berat Volume Tanah

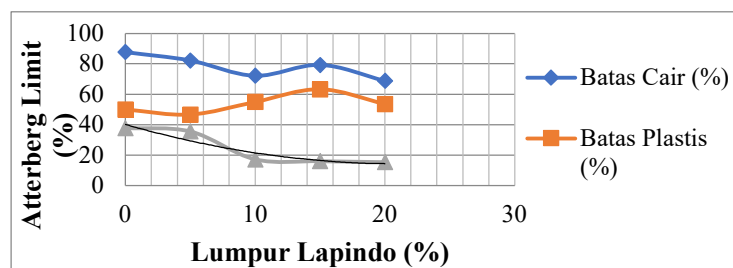
Dari grafik Lumpur Lapindo terhadap densitas dapat disimpulkan bahwa pengaruh campuran Lumpur Lapindo terhadap berat volume tanah kering dan basah menghasilkan nilai yang bervariasi dari atas ke bawah. Tanah dasar memiliki berat jenis kering 1,35 (gr/cm³) dan berat jenis basah 1,52 (gr/cm³). Pencampuran tanah dengan Lumpur Lapindo 5% bisa menurunkan berat jenis kering tanah asli 1,31 (gr/cm³) dan berat jenis tanah asli meningkat sebesar 1,44 (gr/cm³), campuran Lumpur Lapindo dari 10% mengalami penurunan berat jenis kering tanah asli menjadi 1,27 (gr/cm³) dan berat jenis basah tanah asli meningkat sebesar 1,45 (gr/cm³), campuran Lumpur Lapindo sebesar 15% dapat mengurangi berat jenis kering tanah asli sebesar 1,26 (gr/cm³) dan berat jenis basah tanah asli berkurang 1,40 (gr/cm³), dan Campuran Lumpur Lapindo 20% mampu menurunkan berat volume kering tanah asli sebesar 1,27 (gr/cm³) dan berat volume basah tanah asli turun sebesar sebesar 1,31 (gr/cm³).



Gambar 5. Grafik Pengaruh Lumpur Lapindo Terhadap Berat Volume

4.4 Pengujian Atterberg Limit

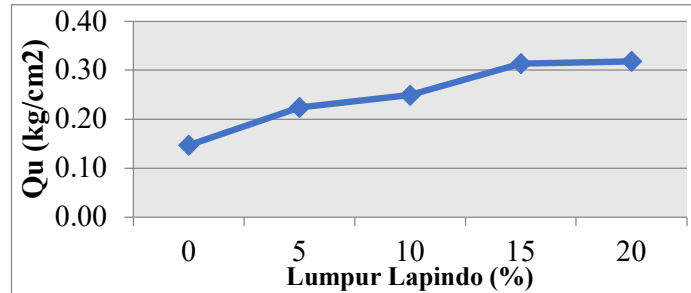
Dari grafik pengaruh Lumpur Lapindo terhadap atterberg limit dapat disimpulkan bahwa pengaruh campuran Lumpur Lapindo terhadap indeks plastisitas dapat menurunkan nilai IP tanah asli. Indeks plastis tanah asli sebesar 37,78%, setelah tanah dicampur dengan Lumpur Lapindo sebesar 5% mampu menurunkan IP tanah asli menjadi 35,56%, pada campuran Lumpur Lapindo sebesar 10% mampu menurunkan IP tanah asli tersebut menjadi 17,22%, pada campuran Lumpur Lapindo 15% mampu menurunkan IP tanah asli tersebut menjadi 16,03%, dan pada campuran Lumpur Lapindo 20% mampu menurunkan IP tanah asli tersebut menjadi menjadi 15,32%.



Gambar 6. Grafik Pengaruh Lumpur Lapindo Terhadap Atterberg

4.5 Pengujian Unconfined

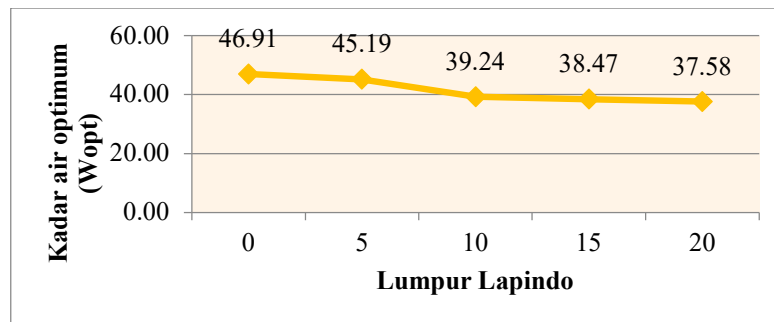
Dari grafik pengaruh Lumpur Lapindo terhadap unconfined dapat disimpulkan bahwa pengaruh campuran Lumpur Lapindo terhadap kuat tekan bebas relatif bisa meningkatkan Q_u tanah asli. Q_u tanah asli sebesar 0,147kg/cm², setelah tanah dicampur dengan Lumpur Lapindo sebesar 5% mampu meningkatkan Q_u tanah asli menjadi 0,224kg/cm², pada campuran Lumpur Lapindo sebesar 10% mampu meningkatkan Q_u tanah asli menjadi 0,249kg/cm², pada campuran Lumpur Lapindo 15% mampu meningkatkan Q_u tanah asli tersebut menjadi 0,314kg/cm², dan pada campuran Lumpur Lapindo 20% mampu meningkatkan Q_u tanah asli menjadi 0,318 kg/cm².



Gambar 7. Grafik Pengaruh Lumpur Lapindo Terhadap Unconfin

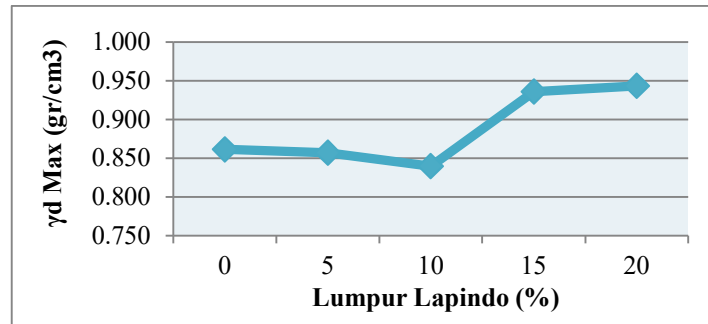
4.6 Pengujian Standar Proctor

Dari grafik dapat disimpulkan bahwa pengaruh campuran lumpur lapindo terhadap W_{opt} dapat menurunkan W_{opt} tanah asli sebesar 46,91%, setelah tanah dicampur dengan lumpur lapindo sebesar 5% mampu menurunkan W_{opt} tanah asli menjadi 45,19%, pada campuran lumpur lapindo sebesar 10% mampu menurunkan W_{opt} tanah asli tersebut menjadi 39,24%, pada campuran lumpur lapindo 15% mampu menurunkan W_{opt} tanah asli tersebut menjadi 38,47%, dan pada campuran lumpur lapindo 20% mampu menurunkan W_{opt} tanah asli tersebut menjadi 37,58%.



Gambar 8. Pengaruh Lumpur Lapindo Terhadap Kadar Air Optimum

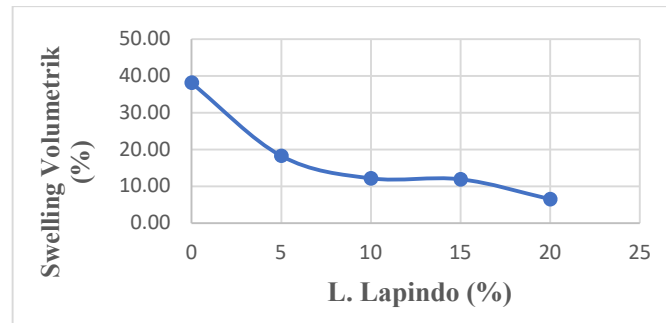
Dari grafik pengaruh Lumpur Lapindo terhadap berat volume kering maksimum disimpulkan bahwa pengaruh campuran Lumpur Lapindo terhadap berat volume kering maximum relatif bisa menaikkan γ_{dmax} tanah asli. W_{opt} tanah asli sebesar 0,861%, setelah tanah dicampur dengan Lumpur Lapindo sebesar 5% mampu menurunkan W_{opt} tanah asli menjadi 0,857%, pada campuran Lumpur Lapindo sebesar 10% mampu menurunkan W_{opt} tanah asli tersebut menjadi 0,840%, pada campuran Lumpur Lapindo 15% mampu meningkatkan W_{opt} tanah asli tersebut menjadi 0,936%, dan pada campuran Lumpur Lapindo 20% mampu meningkatkan W_{opt} tanah asli tersebut menjadi 0,943%.



Gambar 9. Pengaruh L. Lapindo Terhadap Berat Kering Max

4.7 Swelling Volumetrik

Dari grafik pengaruh Lumpur Lapindo terhadap swelling volumetrik dapat disimpulkan bahwa Lumpur Lapindo bisa menurunkan swelling volumetrik tanah lempung ekspansif Tirtoyudo. Swelling arah volumetrik tanah asli sebesar 38,12%, jika tanah dicampur dengan Lumpur Lapindo sebesar 5% mampu menurunkan swelling arah volumetrik tanah asli menjadi 18,29%, pada campuran Lumpur Lapindo sebesar 10% mampu menurunkan swelling arah volumetrik tanah asli menjadi 12,15%, pada campuran Lumpur Lapindo 15% mampu menurunkan swelling arah volumetrik tanah asli menjadi 11,95%, dan pada campuran Lumpur Lapindo 20% mampu menurunkan swelling arah volumetrik tanah asli menjadi 6,54%.



Gambar 10. Pengaruh Lumpur Lapindo Terhadap Swelling Volumetrik

4.8 Analisis Regresi Linear Berganda

Berikut ini untuk mencari campuran optimum dengan menggunakan Regresi linear berganda yang meropidan model regresi yang melibatkan lebih dari satu variabel independen. Analisis regresi linear berganda dilakukan untuk mengetahui arah dan seberapa besar pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen. Perhitungan regresi linear berganda yaitu untuk mengetahui kadar optimum dari swelling volumetric di bawah.

Tabel 4. Rencana Acak Berkelompok

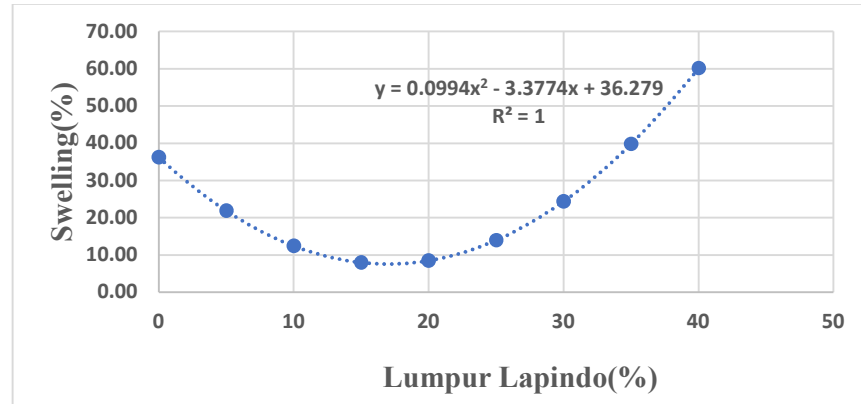
X	X ²	Y
0	0	38,12
5	25	18,29
10	100	12,15
15	225	11,95
20	400	3,94

X = Komposisi campuran lumpur Lapindo

Y = Hasil pengujian

Dari data pengujian swelling diatas maka akan dilakukan pengujian regresi seperti dibawah ini:

$$\begin{aligned}
 Y &= 0,099371 x^2 - 3,3774 x + 36,279 \\
 Dy/dx &= 0 \\
 Dy/dx &= 0,198742 x - 3,3774 x \\
 0,198742 x &= -3,3774 x \\
 X &= \frac{-3,3774}{-0,198742} \\
 X &= 16,99\% \text{ campuran optimum}
 \end{aligned}$$



Gambar 11. Grafik Hasil Uji Regresi Linear Berganda

Dari hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa nilai campuran optimum dari pengujian swelling volumetrik yaitu 16,99 %.

5. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan yaitu pengaruh pencampuran Lumpur Lapindo terhadap stabilisasi swelling volumetrik (3D) tanah lempung ekspansif dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu pencampuran Lumpur Lapindo mempengaruhi sifat fisis dan mekanis tanah lempung ekspansif. Semakin bertambahnya persentase campuran Lumpur Lapindo maka kadar air akan mengalami penurunan. Hasil uji kadar air tanah asli sebesar 58,13% dan mengalami penurunan paling tinggi pada campuran Lumpur Lapindo 20% sebesar 35,97% kadar air sedangkan semakin bertambahnya presentase campuran lumpur lapindo maka berat jenis tanah akan mengalami peningkatan. Berat jenis tanah asli sebesar 1,80% dan mengalami peningkatan paling tinggi pada campuran lumpur Lapindo 20% sebesar 3,25%. Pada uji atterberg limit Lumpur Lapindo mampu menurunkan indeks plastisitas tanah. Indeks plastisitas tanah asli sebesar 37,78% dan mengalami penurunan paling tinggi pada campuran Lumpur Lapindo 20% yaitu 15,32%. Sedangkan pada sifat mekanis tanah, campuran Lumpur Lapindo bisa menaikkan nilai kuat tekan bebas, nilai kuat tekan bebas pada tanah asli sebesar 0,147 kg/cm² dan mengalami kenaikan paling tinggi pada campuran Lumpur Lapindo 20% sebesar 0,318 kg/cm².

Hasil pengujian pengaruh Lumpur Lapindo terhadap swelling volumetrik dapat menurunkan swelling volumetrik tanah lempung ekspansif Tirtoyudo. Swelling arah volumetrik tanah asli sebesar 38,12%, setelah tanah dicampur dengan Lumpur Lapindo sebesar 5% mampu menurunkan swelling arah volumetrik tanah asli menjadi 18,29%, pada campuran Lumpur Lapindo sebesar 10% mampu menurunkan swelling arah volumetrik tanah asli menjadi 12,15%, pada campuran Lumpur Lapindo 15% mampu menurunkan swelling arah volumetrik tanah asli menjadi 11,95%, dan pada campuran Lumpur Lapindo 20% mampu menurunkan swelling arah volumetrik tanah asli menjadi 6,54%. Dari uji swelling volumetrik (3D) menggunakan perhitungan regresi linear berganda tanah lempung ekspansif yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa nilai campuran optimum dari pengujian swelling volumetrik yaitu 16,99 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suherman, "Potensi Sifat Ekspansif Tanah Kelempungan," *Jurnal Jalan Dan Jembatan*, vol. 22, no. 2, 2005.
- [2] A. T. Sudjianto, *Tanah Ekspansif Karakteristik dan Pengukuran Perubahan Volume*, vol. 1, no. December. 2015.
- [3] A. T. Sudjianto, A. Halim, O. Gembiranto, and S. H. Susilo, "Comparison of Fly Ash With Lapindo Mud as a Land Stabilizer for Landfill in Pasuruan-Indonesia," *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 3, 2021, doi: 10.15587/1729-4061.2021.234518.
- [4] L. J. Somalinggi, F. Phengkarsa, and L. Febriani, "Pengaruh Limbah Karbit / Calcium Carbit Sebagai Bahan Substitusi Semen Pada Beton," *Paulus Civil Engineering Journal*, vol. 2, no. 4, 2021, doi: 10.52722/pcej.v2i4.187.
- [5] D. Panguriseng, *Dasar-Dasar Teknik Perbaikan Tanah*. 2017.
- [6] H. C. Hardiyatmo, "Mekanika Tanah I Jilid III," *Gadjah Mada University Press*, 2002.
- [7] A. T. Sudjianto, "Mekanika Tanah 1 Konsep Dasar dan Pengukuran Laboratorium," *Malang. Intimedia*, 2020.
- [8] A. D. Oemata, "Pengaruh Pencampuran Limbah Karbit Terhadap Stabilisasi Swelling Volumetrik (3d) Tanah Lempung Ekspansif Skripsi," *Universitas Widyagama, Malang*, p. 6, 2021.
- [9] N. Fauzan and N. Andajani, "Pengaruh Penambahan Limbah Karbit Terhadap Daya Dukung Pondasi Dangkal Pada Tanah Lempung Ekspansif Di Daerah Driyorejo Gresik," *Rekayasa Teknik Sipil Vol.*, vol. vol 1, no. No.1, 2017.
- [10] I. N. Amarullah and M. Zardi, "Pengaruh Penambahan Limbah Karbit Terhadap Stabilisasi Tanah Daerah Rawa," 2019.
- [11] A. Diki Oematan, A. Tugas Sudjianto, and Riman, "Pengaruh Pencampuran Limbah Karbit Terhadap Stabilisasi Swelling Volumetrik (3D) Tanah Lempung Ekspansif," *BOUWPLANK Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Lingkungan*, vol. 1, no. 2, 2022, doi: 10.31328/bouwplank.v1i2.221.
- [12] G. Maulana and I. N. Hamdan, "Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Menggunakan Campuran Renolith dan Kapur," *Reka Racana Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, vol. 2, no. 4, pp. 11–21, 2016.
- [13] N. Budiman, "Pengaruh Penambahan Abu Ampas Tebu Terhadap Sifat Fisik Dan Sifat Mekanik Tanah Lempung Ekspansif," *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, vol. 17, no. 1, 2013.
- [14] 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.
- [15] A. Tugas Sudjianto, K. Basah Suryolelono, A. Rifa'I, and I. B Mochtar, "Pengaruh Perubahan Kadar Air Dan Suction Terhadap Perilaku Kembang Volumetrik Tanah Lempung Ekspansif," *Dinamika TEKNIK SIPIL*, vol. 11, no. 1, 2011.
- [16] F. Soehardi, F. Lubis, and L. D. Putri, "Stabilisasi Tanah Dengan Variasi Penambahan Kapur dan Waktu Pemeraman," *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil dan Perencanaan (KN-TSP)*, 2017.
- [17] Machfud Ridwan and Nur Fauziah, "Pengaruh Penambahan Limbah Karbit Terhadap Potensial Swelling Pada Tanah Lempung Ekspansif Di Daerah Driyorejo Gresik," *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*, vol. 3, no. 3, 2017.