



The 5th Conference on Innovation and Application of Science and Technology
(CIASTECH)

Website Ciastech 2022 : <https://ciastech.widyagama.ac.id>

Open Conference Systems : <https://ocs.widyagama.ac.id>

Proceeding homepage : <http://publishing-widyagama.ac.id/ejournal-v2/index.php/ciastech/index>

P-ISSN : 2622-1276

E-ISSN: 2622-1284

STABILISASI SWELLING VOLUMETRIK (3D) TANAH LEMPUNG EKSPANSIF TIPE TINGGI DENGAN ABU VULKANIK GUNUNG SEMERU

Setiaji ¹⁾, Agus Tugas Sudjianto ²⁾, Mohammad Cakrawala A³⁾

^{1,2,3)} Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Widyagama Malang

INFORMASI ARTIKEL

Data Artikel :

Naskah masuk, 4 September 2022

Direvisi, 30 September 2022

Diterima, 1 November 2022

Email Korespondensi :

setiaji372000@gmail.com

ABSTRAK

Tanah lempung ekspansif adalah jenis tanah yang memiliki sifat kembang susut yang sangat tinggi. Bila suatu konstruksi dibangun diatas tanah ekspansif maka akan terjadi kerusakan yang berakibat buruk bagi konstruksi tersebut. Untuk memperbaiki tanah ekspansif bisa dilakukan dengan metode stabilisasi tanah secara kimiawi dengan memanfaatkan limbah abu erupsi Gunung Semeru yang tidak digunakan. Pada penelitian ini akan menggunakan Abu Vulkanik sebagai bahan stabilisasi swelling volumetrik (3D) tanah ekspansif tipe tinggi didaerah kecamatan Pronojiwo. Komposisi campuran abu vulkanik dan tanah lempung yang akan digunakan adalah Tanah 100% + abu vulkanik 0%, tanah 95% + abu vulkanik 5%, tanah 90% + abu vulkanik 10%, tanah 85% + abu vulkanik 15% dan tanah 80% + abu vulkanik 20%. Metode pengujian yang dilakukan pada tanah ekspansif Pronojiwo yaitu eksperimen dengan data hasil uji laboratorium mekanika tanah, meliputi uji sifat fisis, mekanis, kimia dan swelling volumetrik (3D). Hasil penelitian dapat disimpulkan dari pencampuran abu vulkanik, nilai kadar air mengalami penurunan dari 58,13% menjadi 25,95% pada campuran abu vulkanik 20%. Pada pengujian kuat tekan mengalami kenaikan dari 0,096 kg/cm² menjadi 0,142 kg/cm² pada campuran abu vulkanik 20%. Hasil uji swelling volumetrik tanah ekspansif mengalami penurunan dari 34,15% menjadi 32,49% pada campuran abu vulkanik 5%. Campuran optimum abu vulkanik untuk stabilisasi swelling tanah ekspansif yang dihasilkan pada 17,6%.

Kata Kunci : *Stabilisasi Tanah, Sifat Fisis, Sifat Mekanis, Swelling Volumetrik, Abu vulkanik*

1. PENDAHULUAN

Tanah merupakan salah satu material yang mempunyai peranan penting dalam pekerjaan konstruksi teknik sipil baik sebagai pondasi suatu bangunan dan permukaan jalan [1]. Tanah yang memiliki daya dukung tinggi dan penurunannya tidak melebihi penurunan yang ditetapkan adalah salah satu kriteria tanah yang diperlukan agar bangunan yang akan dibangun di atas permukaan tanah stabil [2]. Sifat fisik tanah yang perlu diperhatikan adalah terjadinya masalah degradasi struktur tanah akibat fungsi pengelolaan. Degradasi struktur tanah adalah sifat fisik yang perlu diperhatikan. Stasiun Percobaan Pertanian Missouri menemukan bahwa setelah lebih dari 60 tahun bercocok tanam, tanah dalam kondisi yang tidak terlalu membusuk kehilangan sepertiga dari bahan organiknya. Kehilangan bahan organik sekitar 25% dalam 20 tahun pertama, sekitar 10% dalam 20 tahun ke depan, dan hanya sekitar 7% dalam 20 tahun ketiga.[3]

Ada juga jenis tanah yang mempunyai karakteristik yang dapat merusak struktur bangunan, sehingga tanah tersebut perlu dilakukan perbaikan agar tidak merusak konstruksi bangunan. Tanah lempung ekspansif merupakan contoh jenis tanah yang dapat merusak konstruksi bangunan, karena mempunyai kemampuan kembang susut yang sangat tinggi. Untuk memperbaiki tanah lempung ekspansif bisa dilakukan dengan cara stabilisasi tanah secara kimiawi dengan memanfaatkan limbah dari Abu vulkanik Gunung Semeru yang tidak digunakan.[4]

Gunung Semeru atau Gunung Meru adalah gunung berapi berbentuk kerucut di Jawa Timur, Indonesia[5]. Abu vulkanik Semeru mengandung SiO₂ sebesar 54,61% dimana kandungan silika tersebut merupakan unsur penyusun utama dalam pembentukan semen, dengan kata lain abu vulkanik Semeru memiliki sifat pozolan [6]. Dari segi fisik, abu vulkanik memiliki keunggulan yaitu dapat memperbaiki sifat-sifat tanah, mengikat air dan meningkatkan daya tarik. Dengan demikian, ia mudah menyerap air saat digunakan di tanah berpasir. Di sisi lain, dalam teknik sipil, abu vulkanik dapat digunakan sebagai bahan bangunan dan sebagai campuran dalam campuran semen atau beton.[7]

Abu Vulkanik digunakan karena mempunyai kandungan unsur kimia Karbon (C), Silikon (Si), Aluminium (Al), Calcium (Ca), dan Magnesium (Mg) yang sangat tinggi [8]. Kandungan tersebut yang dimiliki oleh limbah Abu Vulkanik Gunung Semeru merupakan unsur yang dibutuhkan dalam proses kimiawi dengan tanah lempung ekspansif, yang akan memproduksi ion-ion kalsium tinggi yang bisa mengikat dan berada di sekeliling partikel-partikel tanah lempung ekspansif sehingga bisa mengurangi tarikan terhadap partikel air.[9] terdapat tiga metode untuk memperbaiki tanah lempung ekspansif, yaitu : stabilisasi tanah, mencegah terjadinya proses perubahan kadar air tanah dan memberikan penambahan perkuatan tanah. Metode stabilisasi dengan menggunakan bahan kimia merupakan metode yang paling menghemat anggaran biaya dan banyak dikembangkan saat ini.[10]

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh pencampuran Abu Vulkanik Gunung Semeru terhadap swelling volumetrik dan nilai optimum pada tanah lempung ekspansif. Sampel tanah yang diteliti diambil dari kecamatan Pronojiwo, Kabupaten Lumajang, Jawa timur dengan tambahan bahan berupa Abu Vulkanik Gunung Semeru.

2. METODE PENELITIAN

Pengambilan sampel tanah lempung ekspansif, diambil secara langsung di daerah Kecamatan Pronojiwo, Kabupaten Lumajang, Jawa Timur. Dipilihnya daerah ini, karena dampak kerusakan konstruksi jalan raya dan bangunan akibat tanah lempung ekspansif yang sangat dirasakan oleh masyarakat dan pengguna lahan di daerah Kecamatan Pronojiwo. Untuk sampel Abu Vulkanik juga diambil secara langsung dari lokasi erupsi Abu Vulkanik yang berada di kecamatan Pronojiwo, Kabupaten Lumajang adalah tanah asli (*undisturbed*) dan tanah terganggu (*disturbed*).

Untuk mencampurkan tanah adalah tanah lempung ekspansif ditambahkan Abu Vulkanik selanjutnya dibuat benda uji dengan komposisi campuran sebagai berikut :

Tabel 1. *Komposisi Campuran Tanah dan Abu Vulkanik*

Sampel	Persentase Campuran				
	100%	95%	90%	85%	80%
Tanah	100%	95%	90%	85%	80%
Abu	0%	5%	10%	15%	20%

2.1 Uji Pendahuluan

Sampel tanah lempung ekspansif yang diambil dilakukan uji pendahuluan yang terdiri dari uji sifat fisis dan mekanis tanah lempung eskpansif.

2.2 Uji Utama

Uji Perbaikan sifat fisis dan mekanik dilakukan untuk memperoleh besarnya potensi kembang tanah lempung ekspansif di Kecamatan Pronojiwo, Yang dipengaruhi oleh pencampuran Abu Vulkanik dengan variasi kadar Abu Vulkanik yang berbeda.

2.3 Analisis dan Pembahasan

Analisis dan pembahasan yang meliputi analisis dari data hasil dari uji pendahuluan dan uji utama.

a. Uji Kadar Air

Kadar air tanah adalah perbandingan antara massa (berat) air yang dikandung tanah dan massa (berat) kering tanah yang dinyatakan dalam persen dengan rumus 1 dan 2 dibawah ini.

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$W = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots (2)$$

Dengan W_1 adalah berat cawan[11], W_2 adalah berat cawan dan tanah basah[11], dan W_3 merupakan berat cawan dan tanah kering[11].

b. Uji Berat Jenis

Untuk menguji berat jenis (G_s) dari suatu tanah adalah berat jenis dari butir-butir tanah tanpa termasuk air dan udara yang terkandung didalam tanah tersebut.

c. Uji Gradasi Butiran

Gradasi butiran (distribusi) adalah penentuan persentase berat butiran pada satu unit saringan, dengan ukuran diameter lubang tertentu. Sifat-sifat tanah sangat bergantung pada ukuran butirannya. Besarnya butiran dijadikan dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanah. Oleh karena itu, analisis butiran ini merupakan pengujian yang sangat sering dilakukan. Pada analisa ayakan biasanya dipakai untuk tanah yang butir-butirnya mempunyai diameter lebih besar dari 0.0075 mm (saringan no 200).

d. Atterberg Limit

Suatu hal yang penting pada tanah berbutir halus adalah sifat plastisitasnya. Plastisitas disebabkan oleh adanya partikel mineral lempung dalam tanah.. Sampel tanah yang digunakan adalah tanah yang lolos ayakan no 40 (0,425 mm). Tujuan dari pengujian ini untuk mengetahui batas-batas konsistensi tanah. Pengujian ini meliputi pemeriksaan batas cair, batas plastis, dan indeks plastisitas.

e. Uji Proctor (Compaction)

Uji ini dilakukan untuk menentukan kadar air optimum dan berat isi kering optimum tanah, dalam penelitian ini dilakukan dengan bantuan pengujian Standard Proctor dan tanah tersebut lolos ayakan no 4 (4,75 mm).

f. Uji Kuat Tekan Bebas (Unconfined)

Kuat tekan bebas adalah besarnya tekanan aksial (kg/cm^2 atau kN/m^2), yang diperlukan untuk menekan suatu silinder tanah sampai pecah, tujuan dari kuat tekan bebas adalah untuk menentukan kuat tekan bebas tanah kohesif.

2.4 Uji Swelling Volumetrik

Pembuatan benda uji kembang bebas dilakukan dengan cara mencampurkan Abu Vulkanik dan tanah lempung ekspansif kedalam sebuah plastik kemudian digoyang sampai tercampur secara merata, setelah itu diperam selama 24 jam. Pada penelitian ini sampel tanah dan Abu vulkanik yang digunakan harus lolos ayakan no. 200 (0,0075 mm).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Sifat fisis pada tanah lempung ekspansif kecamatan Pronojiwo Kabupaten Lumajang, bertujuan untuk memperoleh suatu data mengenai sifat fisis tanah yang terdiri dari kadar air, berat jenis, berat volume tanah, analisa ayakan dan batas atterberg dari unsur tanah lempung ekspansif yang diteliti.

Tabel 2. Sifat Fisis Tanah Pronojiwo

No	Properties	Tanah Pronojiwo	
1	Kadar Air (%)	58,13	
2	Berat Jenis	2,250	
3	Berat Volume Tanah	γ_w (gr/cm^3)	1,60
		γ_d (gr/cm^3)	1,20
4	Batas Atterberg	Batas Cair (%)	40,92
		Batas Plastis (%)	25,00
		Indeks Plastisitas (%)	15,92
5	Klasifikasi	Sistem Unified	CH

1) Pengujian Kadar Air

Pengujian kadar air bertujuan untuk mengetahui kadar air suatu sampel tanah yang merupakan perbandingan antara berat air dengan berat tanah kering, pangujian tanah asli yang dilakukan dilaboratorium Universitas Widyagama Malang menunjukkan bahwa nilai kadar air (w) pada lokasi pengambilan sampel di Kecamatan Pronojiwo dan kadar air tanah setelah diberikan campuran bahan stabilisasi dengan Abu Vulkanik Gunung semeru.

Tabel 3. Hasil Uji Kadar Air

No	Sampel Tanah	W (%)
1	Tanah Asli	58,13
2	Tanah 95 % + Abu 5 %	32,70
3	Tanah 90 % + Abu 10 %	30,94
4	Tanah 85 % + Abu 15 %	28,40
5	Tanah 80 % + Abu 20 %	25,95

2) Pengujian Berat Jenis

Berat jenis tanah (bulk density) adalah massa tanah kering yang mengisi ruangan di dalam lapisan tanah. Berat jenis tanah dengan demikian merupakan massa persatuan tanah kering.

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis suatu sampel tanah yang memiliki butiran lolos saringan no.4 yang berdiameter lebih kecil dari 4,75 mm dengan menggunakan picnometer dengan kapasitas volume 50 ml dengan penambahan air disetiap pengujiannya.

Tabel 4. Hubungan Antara Angka Pori dengan Porisitas

Campuran	Specific Gravity	Volume kering (Ws)	volume total	Porositas	Volume Rongga	Angka Pori	Volume rongga
%	Gs	Ws	V	n	Vs	e	Vv
T 100% + A 0%	2,25	69,22	100	0,31	30,78	2	69,22
T 95% + A 5%	2,35	75	100	0,25	25	3	75,00
T 90% + A 10%	2,45	76	100	0,24	24	3,17	76,00
T85% + A 15%	2,56	77,5	100	0,23	22,50	3,44	77,50
T 80% + A 20%	2,66	79	100	0,21	21	3,76	79,00

Hubungan volume biasanya digunakan untuk menyatakan ketiga fase elemen tanah, yaitu angka pori (void ratio), porositas (porosity) dan derajat kejenuhan (degree of saturation). Angka pori (e) didefinisikan sebagai perbandingan volume pori dengan volume butiran tanah, dengan demikian. Sedangkan porisitas didefinisikan sebagai (n) perbandingan antara volume pori dengan volume total tanah.

Pengujian Sifat Mekanis pada tanah merupakan sifat perilaku dari struktur massa tanah pada dikenai suatu gaya atau tekanan yang dijelaskan secara teknis mekanis. Pengujian sampel Tanah lempung ekspansif kecamatan Pronojiwo bertujuan untuk memperoleh suatu data mengenai sifat mekanis tanah yang terdiri dari uji standar proctor dan unconfined dari unsur tanah lempung ekspansif yang diteliti.

3) Pengujian Unconfined

Uji kuat tekan bebas untuk memperoleh parameter kuat geser tanah dengan memberikan beban aksial terhadap sampel, tanpa adanya tegangan keliling. Uji ini meliputi kuat geser dan hubungan tegangan – regangan sampel tanah, baik dalam bentuk asli tak terganggu maupun tanah terganggu. Berikut adalah hasil dari pengujian Unconfined pada tanah asli serta campuran abu sebanyak 5%, 10%, 15%, dan 20%.

Tabel 5. Hasil Uji Unconfined

No	Sampel Tanah	Wopt (kg/cm ²)	Unit Strain
1	Tanah Asli	0,096	0,46
2	Tanah 95 % + Abu 5 %	0,118	0,35
3	Tanah 90 % + Abu 10 %	0,123	0,32
4	Tanah 85 % + Abu 15 %	0,128	0,39
5	Tanah 80 % + Abu 20 %	0,142	0,40

Hasil dari pengujian standar proctor ini bahwa penambahan abu vulkanik pada tanah ekspansif Pronojiwo dapat menaikkan kuat tekan dari tanah asli sebesar 0,096 kg/cm² hingga menjadi 0,142 kg/cm² pada campuran tanah 80% dicampur abu 20%. Sedangkan pada unit strain tanah asli 100% didapat nilai 0,32% dan mengalami kenaikan pada campuran tanah asli 80% ditambah abu vulkanik 20%.

Selanjutnya pengujian pemadatan pada sample tanah yang bertujuan untuk memperoleh kadar air optimum (W_{opt}) dan kepadatan kering (γ_{dmax}).

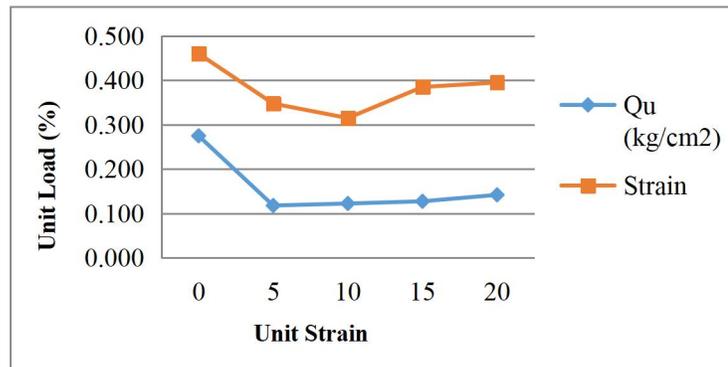
4) Pengujian Standar Proctor

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan hubungan antara berat isi kering dan kadar air untuk tanah yang di padatkan dengan energi tertentu. Pengujian pemadatan ini untuk memperoleh kadar air optimum (W_{opt}) dan kepadatan kering (γ_{dmax}).

Tabel 6. Hasil Uji Standar Proctor

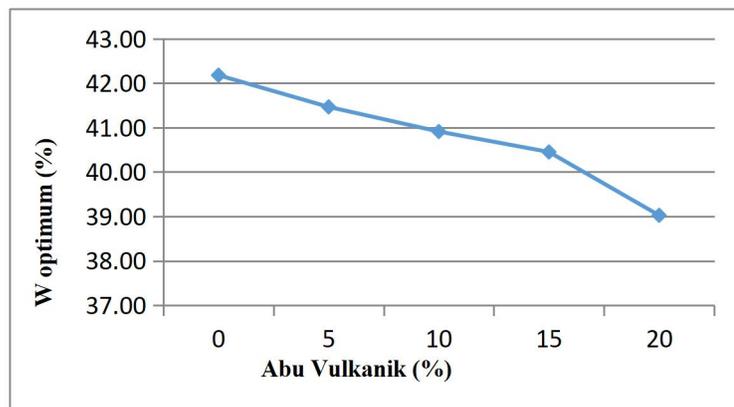
No	Sampel Tanah	W_{opt} (%)	$\gamma_{d max}$ (gr/cm ³)
1	Tanah Asli	42,18	151
2	Tanah 95 % + Karbit 5 %	41,46	86
3	Tanah 90 % + Karbit 10 %	40,91	92
4	Tanah 85 % + Karbit 15 %	40,45	93
5	Tanah 80 % + Karbit 20 %	39,02	86

Dari pengujian standar proctor ini bahwa penambahan abu vulkanik pada tanah ekspansif Pronojiwo dapat menurunkan kadar air dari tanah asli sebesar 42,18% hingga menjadi 39,02% pada campuran tanah 80% dicampur abu 20%. Sedangkan pada berat maksimalnya tanah asli 100% didapat nilai 151 gr/cm³ mengalami penurunan menjadi 86 gr/cm³ pada campuran tanah asli 80% ditambah abu vulkanik 20%.



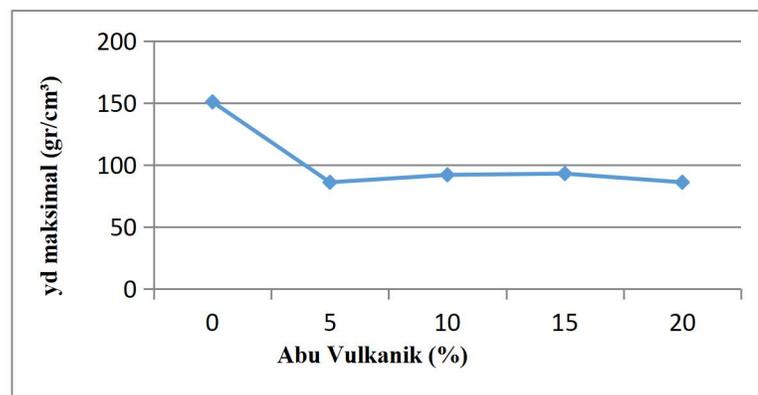
Gambar 1. Grafik Pengaruh Abu Vulkanik Terhadap Unconfined

Grafik standar proctor, tanah lempung ekspansif tipe tinggi Pronojiwo terhadap pencampuran Abu Vulkanik Gunung Semeru yang di dapat $W_{opt} = 41,46\%$ dan $\gamma_{dmax} = 86 \text{ gr/cm}^3$.



Gambar 2. Grafik Pengaruh Abu Vulkanik Terhadap kadar air

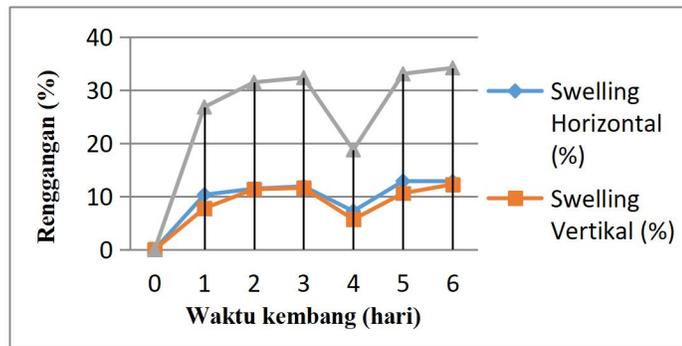
Dari grafik pengaruh Abu Vulkanik terhadap uji standar proctor dapat disimpulkan bahwa pengaruh campuran Abu Vulkanik terhadap kadar air optimum relatif bisa menurunkan Wopt tanah asli. Wopt tanah asli sebesar 42,18 %, jika tanah dicampur dengan Abu Vulkanik sebesar 5% mampu menurunkan Wopt tanah asli menjadi 41,46 %, pada campuran Abu Vulkanik sebesar 10% mampu menurunkan Wopt tanah asli menjadi 40,91 %, pada campuran Abu Vulkanik 15% mampu menurunkan Wopt tanah asli tersebut menjadi 40,45 %, dan pada campuran Abu Vulkanik 20% mampu menurunkan Wopt tanah asli menjadi 39,02%.



Gambar 3. Grafik Pengaruh Abu Vulkanik Terhadap berat kering

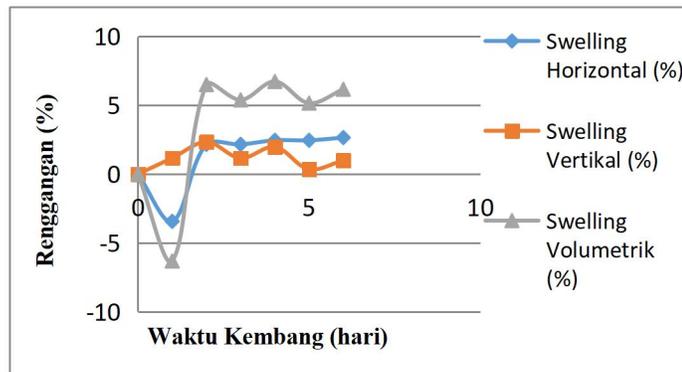
Dari grafik pengaruh Abu Vulkanik terhadap uji standar proctor dapat disimpulkan bahwa pengaruh campuran Abu Vulkanik terhadap berat volume kering optimum relatif bisa menurunkan γ_d tanah asli. γ_d tanah asli sebesar 151 gr/cm³, jika tanah dicampur dengan Abu Vulkanik sebesar 5% mampu menurunkan γ_d tanah asli menjadi 86 gr/cm³, pada campuran Abu Vulkanik sebesar 10% mampu menurunkan γ_d tanah asli menjadi 92 gr/cm³, pada campuran Abu Vulkanik 15% mampu menurunkan γ_d tanah asli tersebut menjadi 93 gr/cm³, dan pada campuran Abu Vulkanik 20% mampu menurunkan γ_d tanah asli menjadi 86 gr/cm³.

Berikut ini adalah hasil Grafik swelling volumetrik, tanah lempung ekspansif Pronojiwo 100% dicampur dengan Abu Vulkanik Gunung Semeru 0% dengan lama proses mengembang selama enam hari.



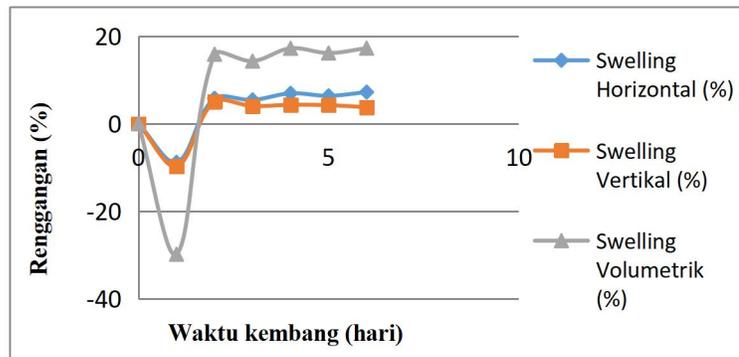
Gambar 4. Swelling Volumetrik Tanah Asli

Berikut ini adalah hasil Grafik swelling volumetrik, tanah lempung ekspansif Pronojiwo 95% dicampur dengan Abu Vulkanik Gunung Semeru 5% dengan lama proses mengembang selama tujuh hari.



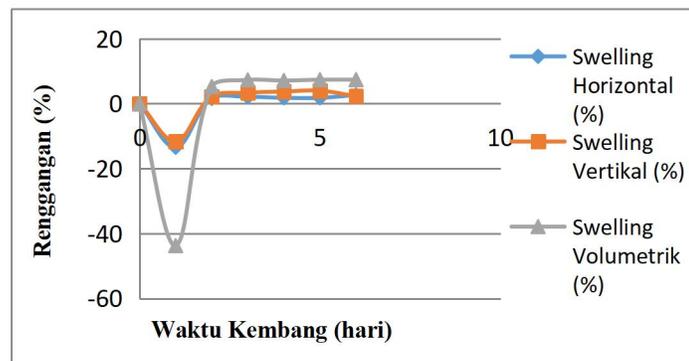
Gambar 5. Swelling Volumetrik Tanah 95%

Berikut ini adalah hasil Grafik swelling volumetrik, tanah lempung ekspansif Pronojiwo 90% dicampur dengan Abu Vulkanik Gunung Semeru 10% dengan lama proses mengembang selama tujuh hari.



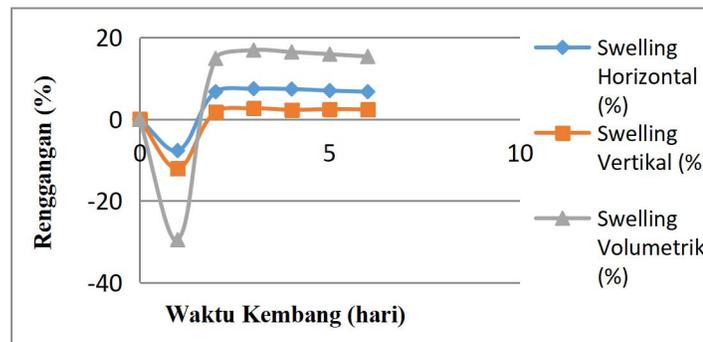
Gambar 6. Swelling Volumetrik Tanah 90%

Berikut ini adalah hasil Grafik swelling volumetrik, tanah lempung ekspansif Pronojiwo 85% dicampur dengan Abu Vulkanik Gunung Semeru 15% dengan lama proses mengembang selama tujuh hari.



Gambar 7. Swelling Volumetrik Tanah 85%

Berikut ini adalah hasil Grafik swelling volumetrik, tanah lempung ekspansif Pronojiwo 80% dicampur dengan Abu Vulkanik Gunung Semeru 20% dengan lama proses mengembang selama tujuh hari.



Gambar 8. Swelling Volumetrik Tanah 80%

Dari hasil grafik yang sudah di paparkan di atas, dapat disimpulkan bahwa perkembangan susutan tanah asli 100% tanah lempung ekspansif tipe tinggi Pronojiwo, Kabupaten Lumajang mengalami peningkatan di hari pertama yang cukup signifikan dan terus menanjak sampai di hari ketiga. pada hari keempat grafik mengalami penurunan yang cukup jauh di hari sebelumnya dan mulai naik kembali pada hari ke- 5 dan ke- 6. Berikut ini adalah perhitungan optimum swelling volumetrik pada tabel diatas sebagai berikut.

$$y = 0,007 X^2 - 0,2462 X + 15,517$$

$$dy/dx = 0$$

$$dy/dx = 0,014 X - 0,2462 = 0$$

$$0 = 0,014 X$$

$$0,2462 = 0,014 X$$

$$X = \frac{0,2462}{0,014}$$

$$X = 17,6 \%$$

4. KESIMPULAN

Penambahan Abu Vulkanik pada uji swelling volumetrik dapat menurunkan persentase kembang arah volumetrik dan lamanya waktu sampai tanah berhenti mengembang. Pengujian stabilisasi tanah lempung ekspansif tipe tinggi dengan abu vulkanik Gunung Semeru yang telah dilakukan, bahwasannya nilai persentase campuran optimum yang didapat yaitu 17,6%.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penyampaian ucapan terima kasih kepada diri sendiri dan pihak-pihak yang paling berkontribusi dalam pelaksanaan penelitian diantaranya, kakak Uyun yang sudah meluangkan waktu demi penyelesaian jurnal ini

6. REFERENSI

- [1] N. Kholis, A. Setyowati, S. Gunarti, and R. Sylviana, "Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Semen Dan Renolith Clay Soil Stabilization Using Cement and Renolith," *Bentang*, vol. 6, no. 1, pp. 62–77, 2018.
- [2] L. J. Somalinggi, F. Phengkarsa, and L. Febriani, "Pengaruh Limbah Karbit / Calcium Carbit Sebagai Bahan Substitusi Semen Pada Beton," *Paulus Civ. Eng. J.*, vol. 2, no. 4, pp. 289–297, 2021, doi: 10.52722/pcej.v2i4.187.
- [3] E. Rosyidah and R. Wirosodarmo, "Effect of Soil Physical Properties on Saturated Hydraulic Conductivity in The 5 Land Use (A Case Study in Summersari Malang)," *Agritech*, vol. 33, no. 3, pp. 340–345, 2013.
- [4] A. I. Candra, "Studi Kasus Stabilitas Struktur Tanah Lempung Pada Jalan Totok Kerot Kediri Menggunakan Limbah Kertas," *UKaRsT*, vol. 2, no. 2, p. 11, 2018, doi: 10.30737/ukarst.v2i2.255.
- [5] A. Zagarino, D. Cika Pratiwi, R. Nurhayati, and D. Hertati, "Peran Badan Penanggulangan Bencana Daerah dalam Manajemen Bencana Erupsi Gunung Semeru di Kabupaten Lumajang," *J. Heal. Sains*, vol. 2, no. 5, pp. 762–773, 2021, doi: 10.46799/jsa.v2i5.224.
- [6] G. Rubiono, N. N. I. Sari, and E. Cahyono, "Peran Serta Perguruan Tinggi dalam Kepedulian Bencana Erupsi Gunung Semeru Tahun 2021," *JATI EMAS (Jurnal Apl. Tek. dan Pengabd. Masyarakat)*, vol. 6, no. 1, p. 19, 2022, doi: 10.36339/je.v6i1.562.
- [7] Wasis, A. M. Juwono, and A. Susilo, "Studi Karakterisasi Fisik dan Kimiawi Debu Gunung Semeru," *Pros. Semin. Nas. XII "Rekayasa Teknol. Ind. dan Inf. 2017 Sekol. Tinggi Teknol. Nas. Yogyakarta*, pp. 223–228, 2017.
- [8] M. F. Umam, Y. Alhidayah, and R. Fauziyah, "Analisis Material Endapan Vulkan Gunung Semeru Kabupaten Lumajang," *Maj. Pembelajaran Geogr.*, vol. 2, no. 1, pp. 92–98, 2019.
- [9] W. G. Budiyanto and R. Sulistya, "Pemanfaatan Abu Vulkanik untuk Mengembangkan Badan Keramik Bakaran Menengah," *J. Keramik dan Gelas Indones.*, vol. 29, no. 1, pp. 15–28, 2020.
- [10] A. T. Sudjianto, A. Suraji, and S. H. Susilo, "ANALYSIS OF SOIL CHARACTERISTICS ON EXPANSIVE CLAY STABILIZATION," vol. 6, pp. 58–64, 2021, doi: 10.15587/1729-4061.2021.245533.
- [11] A. T. Sudjianto, *Tanah Ekspansif Karakteristik dan Pengukuran Perubahan Volume*, vol. 1, no. December. 2015.