

Stabilisasi Tanah Lunak Menggunakan Lumpur Bledug Kuwu dan Larutan Asam Fosfat Ditinjau dari Nilai Kuat Tekan Bebas

Arief Budi Winarno*

Program Studi Magister Terapan Rekayasa Infrastruktur, Jurusan Teknik Sipil
Politeknik Negeri Bandung, E-mail: arief.budi.mtri20@polban.ac.id

S. Syahril

Program Studi Magister Terapan Rekayasa Infrastruktur, Jurusan Teknik Sipil
Politeknik Negeri Bandung, E-mail: syahril_polban@yahoo.com

Abstrak

Tanah lunak dengan daya dukung rendah merupakan salah satu masalah utama dalam konstruksi yang dapat menyebabkan kegagalan, seperti kerusakan jalan, kemiringan bangunan, dan runtuhnya jembatan. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan daya dukung tanah lunak di Gedebage, Bandung, melalui metode stabilisasi tanah menggunakan lumpur Bledug Kuwu (LBK) dan larutan asam fosfat (LAF). Lumpur Bledug Kuwu dipilih karena kandungan kimianya yang serupa dengan *fly ash* dan abu vulkanik, terutama dalam hal kandungan SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 . Larutan asam fosfat, meskipun jarang digunakan dalam dunia konstruksi, dipilih karena potensinya sebagai bahan stabilisasi tanah yang efektif. Metode penelitian melibatkan pengambilan sampel tanah asli dari Gedebage dan pengujian sifat fisis serta mekanis di Laboratorium Geoteknik Politeknik Negeri Bandung. Hasil pengujian menunjukkan bahwa campuran optimum 15% LBK dan 10% LAF mampu menurunkan nilai Plasticity Index (PI) tanah sebesar 73,91%, dari 46% menjadi 12%. Selain itu, nilai kuat tekan tanah (q_u) meningkat sebesar 35% dibandingkan tanah asli, dengan nilai q_u sebesar 1,02 kg/cm² dan kohesi (c) sebesar 0,51 kg/cm², menunjukkan peningkatan dalam kategori konsistensi tanah yang kaku. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi LBK dan LAF efektif dalam meningkatkan daya dukung tanah lunak, memberikan solusi inovatif untuk perbaikan tanah subgrade dan mendukung peningkatan kualitas infrastruktur di Indonesia.

Kata-kata Kunci: Larutan asam fosfat, lumpur bledug kuwu, stabilisasi tanah, tanah lunak, UCS

Abstract

Soft soils with low bearing capacity are a major problem in construction that can lead to failures, such as road damage, building tilts, and bridge collapses. This research aims to improve the bearing capacity of soft soil in Gedebage, Bandung, using a soil stabilization method with Bledug Kuwu mud (LBK) and phosphoric acid solution (LAF). Bledug Kuwu mud was selected due to its chemical composition, which is similar to fly ash and volcanic ash, particularly in terms of SiO_2 , Al_2O_3 , and Fe_2O_3 content. Phosphoric acid, though rarely used in construction, was chosen for its potential as an effective soil stabilizing agent. The research methodology involved collecting native soil samples from Gedebage and conducting physical and mechanical property tests at the Geotechnical Laboratory of Bandung State Polytechnic. The test results indicated that the optimum mixture of 15% LBK and 10% LAF successfully reduced the soil's Plasticity Index (PI) by 73.91%, from 46% to 12%. In addition, the unconfined compressive strength (q_u) increased by 35% compared to the native soil, with a q_u value of 1.02 kg/cm² and cohesion (c) of 0.51 kg/cm², indicating an improvement in soil consistency to the "stiff" category. These results demonstrate that the combination of LBK and LAF effectively enhances the bearing capacity of soft soils, offering an innovative solution for subgrade soil improvement and supporting the development of higher-quality infrastructure in Indonesia.

Keywords: Phosphoric acid solution, bledug kuwu mud, soil stabilization, soft soil, UCS

1. Pendahuluan

Konstruksi jalan, bangunan gedung dan jembatan sering dilaksanakan di lahan yang memiliki karakteristik tanah kurang baik, salah satunya adalah jenis tanah lunak. Tanah lunak memiliki sifat daya dukung yang rendah, dan termasuk jenis tanah kohesif. Terdapat beberapa kasus kegagalan konstruksi yang disebabkan kondisi tanah yang kurang baik seperti

gedung yang mengalami kemiringan di daerah Pangkal Pinang (Orlando & Sentosa, 2021), kerusakan jalan akibat lapisan tanah dasar jalan pada ruas jalan Purwodadi-Geyer (Chasanah, 2015), dan runtuhnya jembatan Boompai di Papua akibat pergeseran abutment (Pujiyanto; dkk, 2017). Maka dari itu, perlu upaya untuk meningkatkan daya dukung lapisan tanah pondasi dengan menggunakan metode stabilisasi tanah (Yohanes dkk, 2020). Stabilisasi tanah adalah

* Penulis Korespondensi: arief.budi.mtri20@polban.ac.id

perbaikan sifat-sifat tanah dengan mencampur material tambahan yang dapat meningkatkan kekuatan tanah. Material tambahan yang biasa digunakan adalah semen, kapur, fly ash, abu vulkanik, rubber crumb, dan limbah plastik. Untuk memanfaatkan Sumber Daya Alam (SDA) di Indonesia, baiknya menggunakan material campuran yang sudah tersedia dari alam, salah satunya yaitu memanfaatkan lumpur Bledug Kuwu. Bledug Kuwu merupakan sebuah fenomena gunung api lumpur (mud volcano) yang terletak di Desa Kuwu, Kecamatan Kradenan, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah (Sabdaningsih, 2018). Berdasarkan pengujian Laboratorium Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara (TEKMIRA) di Bandung tahun 2020, kandungan unsur kimia dari lumpur Bledug Kuwu hampir menyerupai material fly ash dan abu vulkanik, terutama pada unsur kimia SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , CaO , MgO , dan TiO_2 . Campuran kedua yaitu menggunakan larutan kimia asam fosfat, bahan kimia ini masih sedikit yang menggunakannya di dunia konstruksi. Berdasarkan penelitian sebelumnya bahan kimia asam fosfat dapat digunakan untuk konstruksi dalam bidang stabilisasi tanah, menurut (Syahril dkk, 2020). Urgensi dari penelitian ini adalah sering terjadinya masalah di lapisan tanah pondasi dan inovasi terhadap pemanfaatan bahan kimia asam fosfat dan sumber daya alam yaitu lumpur Bledug Kuwu, sehingga dapat bermanfaat dalam peningkatan kualitas pelaksanaan infrastruktur di Indonesia.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Tanah lunak

Tanah lunak adalah tanah kohesif yang sebagian besar terdiri dari butir-butir yang sangat halus seperti lanau atau lempung, (Siska & Yakin, 2016), tanah jenis ini juga memiliki sifat daya dukung yang rendah, koefisien permeabilitas yang rendah, kemampatan cukup tinggi, dan nilai gaya geser yang rendah, hal tersebut tentu saja dapat mengakibatkan suatu konstruksi di atasnya labil, maka dari itu perlu dilakukan stabilisasi tanah.

2.2 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah suatu kegiatan pada suatu proyek konstruksi yang bertujuan untuk memperbaiki sifat tanah asli, antara lain sifat plastisitas tanah dan kembang susut (Syahril dkk, 2020). Upaya dalam memperbaikinya berupa mencampur material alam atau buatan maupun bahan kimia. Material yang biasa digunakan oleh peneliti lainnya adalah semen, kapur, fly ash, abu vulkanik, rubber crumb, limbah plastik, dan bahan campuran lainnya, campuran yang digunakan bervariasi dan bisa dimodifikasi karena dipengaruhi dengan kondisi alam, lingkungan sekitar maupun tujuan lain yang diinginkan.

2.3 Lumpur bledug kuwu

Bledug kuwu adalah fenomena letupan gunung api lumpur yang terletak di Desa Kuwu, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah. Menurut (Sabdaningsih,

2018) Bledug Kuwu merupakan air laut yang terperangkap dari Selat Muria, dibuktikan dengan adanya fosil moluska yang hidup pada lingkungan berkadar garam tinggi. Daerah Bledug Kuwu berasal dari batuan yang mengalami patahan di sesar Muria yang mengakibatkan keluarnya aliran gas ke permukaan bumi melalui batuan yang mudah dilaluinya.



Gambar 1. Fenomena alam bledug kuwu (Sabdaningsih, 2018)

Berdasarkan pengujian Laboratorium Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara (TEKMIRA) di Bandung tahun 2020, kandungan unsur kimia dari lumpur Bledug Kuwu hampir menyerupai material fly ash dan abu vulkanik. Menurut (Kumalasari dkk, 2020) lumpur Bledug Kuwu memiliki bahan penyusun kimia menyerupai dengan yang dimiliki fly ash dan juga mengandung CaO seperti kandungan kapur. Berikut Tabel 1 yang menunjukkan perbandingan kandungan unsur kimia dari material dari Bledug Kuwu, dengan fly ash (Klarens dkk., 2016), dan abu vulkanik (Nasarani dkk, 2019):

Tabel 1. Kandungan unsur kimia bledug kuwu dengan fly ash dan abu vulkanik

Unsur Kimia	Bledug Kuwu (%)	Fly Ash (%)	Abu Vulkanik (%)
SiO_2	45,02	34,29	52,52
Al_2O_3	12,58	16,62	18,69
Fe_2O_3	4,58	15,38	9,17
K_2O	0,82	1,35	2,10
CaO	11,06	18,18	8,96
MgO	1,55	7,52	2,89
TiO_2	0,50	0,73	1,45
Na_2O	3,25	-	0,29
LOI	20,02	0,36	-

(Sumber : fly ash (Klarens dkk., 2016), abu vulkanik (Nasarani dkk, 2019))

2.4 Larutan asam fosfat

Asam fosfat adalah bahan kimia yang memiliki tekstur kental, berwarna hitam keruh, dan banyak digunakan dalam kegiatan perindustrian. Suatu larutan kimia tertentu dapat mengikat mineral lempung menjadi padatan, sehingga mengurangi pemuai susut dan muai susut lempung (Syahril dkk, 2020), khususnya asam fosfat. Bahan kimia asam fosfat diharapkan dapat menambah kekuatan dan daya dukung tanah karena

akan bereaksi terhadap air yang berada dalam tanah akibat proses pemuain.



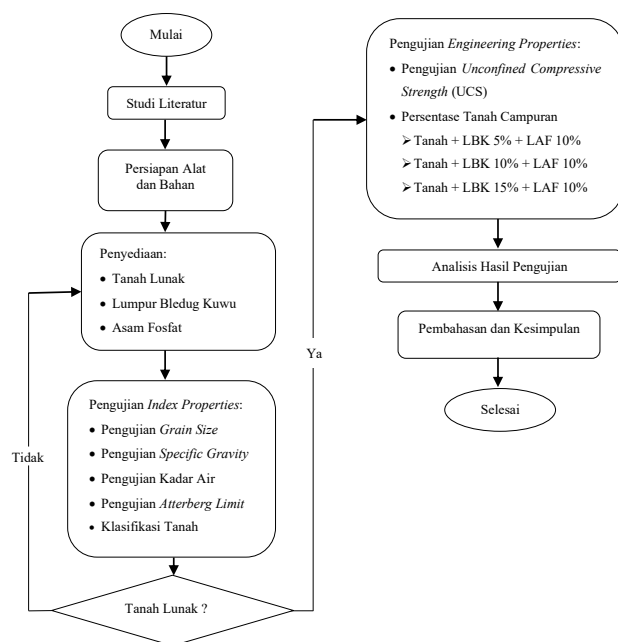
Gambar 2. Larutan asam fosfat

2.5 Pengujian *Unconfined Compressive Strength* (UCS)

Unconfined Compressive Strength Test atau pengujian kuat tekan bebas tanah merupakan salah satu pengujian tanah untuk menentukan nilai kekuatannya, dengan benda uji berbentuk silinder hasil dari pemadatan. Sample pengujian UCS ini bersifat *undrained* atau tidak terdrainase dikarenakan penekanan dilakukan relative cepat sehingga tidak menyebabkan air keluar dari pori – pori sampel tanah. Standard acuan pengujian ini adalah ASTM D 2166.

3. Metodologi Penelitian

Diagram alir tersebut menggambarkan langkah-langkah sistematis dalam penelitian mengenai stabilisasi tanah



Gambar 3. Diagram alir penelitian

lunak menggunakan lumpur Bledug Kuwu (LBK) dan larutan asam fosfat (LAF). Penelitian dimulai dengan melakukan studi literatur untuk memahami teori dan metode yang relevan. Setelah itu, dilakukan persiapan alat dan bahan yang meliputi pengumpulan tanah lunak, LBK, dan LAF. Tahap berikutnya adalah pengujian sifat fisik (*index properties*) tanah asli, yang mencakup pengujian ukuran butir (*grain size*), berat jenis (*specific gravity*), kadar air, batas Atterberg (*Atterberg limit*), dan klasifikasi tanah untuk menentukan apakah tanah tersebut termasuk dalam kategori tanah lunak. Jika hasil pengujian menunjukkan tanah termasuk tanah lunak, maka penelitian dilanjutkan dengan pengujian sifat mekanis (*engineering properties*), khususnya pengujian kuat tekan bebas atau *Unconfined Compressive Strength* (UCS). Pada tahap ini, dilakukan beberapa variasi campuran tanah dengan LBK dan LAF dalam persentase yang berbeda, yaitu campuran tanah dengan 5% LBK dan 10% LAF, 10% LBK dan 10% LAF, serta 15% LBK dan 10% LAF. Setelah pengujian selesai, dilakukan analisis hasil untuk mengevaluasi perubahan sifat mekanis tanah setelah stabilisasi. Langkah terakhir adalah pembahasan dan penarikan kesimpulan dari penelitian berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan. Proses ini bertujuan untuk menentukan efektivitas LBK dan LAF dalam meningkatkan daya dukung tanah lunak, yang diharapkan dapat berkontribusi terhadap solusi inovatif dalam peningkatan kualitas tanah subgrade untuk mendukung infrastruktur di Indonesia. Diagram alir tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Pengujian *Index Properties* tanah

Hasil pengujian *Index Properties* tanah lunak asli dan tanah stabilisasi menggunakan bahan campur material Lumpur Bleug Kuwu (LBK) dan larutan Asam Fosfat (LAF), untuk menurunkan nilai Indeks Plastisitas (PI)

Tabel 2. Rekapitulasi hasil pengujian *Index Properties* tanah

No	<i>Index Properties</i>	Simbol	Unit	Varian Campuran			
				0	1	2	3
1	Pengujian <i>Grain Size</i>						
	Kerikil	G	%	0,00	-	-	-
	Pasir	S	%	4,00	-	-	-
	Lanau	M	%	40,00	-	-	-
	Lempung	C	%	56,00	-	-	-
2	Pengujian <i>Specific Gravity</i>	Gs	-	2,49	2,58	2,61	2,63
3	Pengujian Kadar Air	w	%	51,33	-	-	-
4	Pengujian <i>Atterberg Limits</i>						
	<i>Liquid Limit</i>	LL	%	82,00	57,04	51,00	44,57
	<i>Plastic Limit</i>	PL	%	36,00	35,06	34,75	32,57
	<i>Plasticity Index</i>	PI	%	46,00	21,98	16,24	12,00
5	Tingkat Keaktifan	A	%	0,99	0,48	0,35	0,26

Keterangan:

Varian 0 = Tanah Lunak Asli

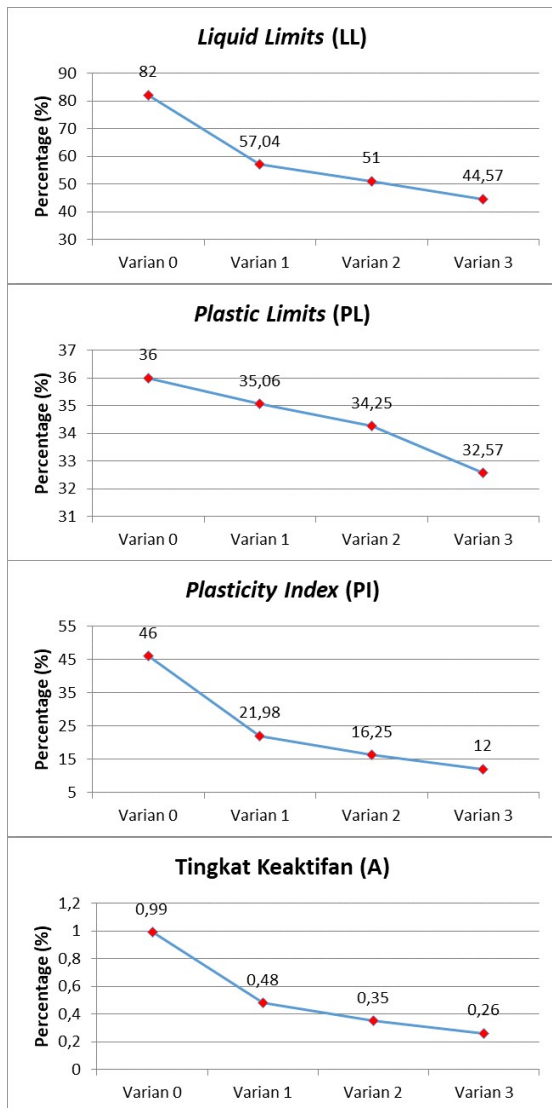
Varian 1 = 5% LBK + 10% LAF

Varian 2 = 10% LBK + 10% LAF

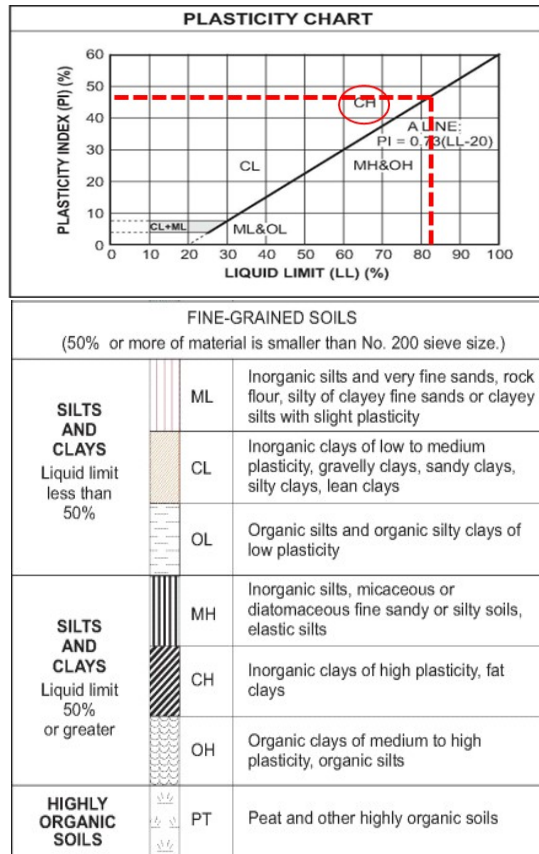
Varian 3 = 15% LBK + 10% LAF

tanah asli, sehingga dapat digunakan sebagai lapisan tanah pondasi suatu konstruksi. Rekapitulasi hasil pengujian *Index Properties* dapat dilihat pada **Tabel 2** dan **Gambar 4**.

Pengujian grain size mengacu pada peraturan SNI 3423-2008. Berdasarkan table di atas, kandungan dari masing-masing partikelnya adalah 56% lempung, 40% lanau, 4% pasir, dan 0% kerikil. Hasil pengujian specific gravity (Gs) adalah 2,49; 2,58; 2,61; 2,63 pada masing-masing varian campuran. Plasticity Index (PI) tanah adalah sebesar 46% dan memiliki aktivitas tanah normal 0,99 pada tanah lunak asli. Berdasarkan pengujian Atterberg Limits tanah yang distabilisasi dengan tiga varian, diperoleh indeks plastisitas optimum mencapai 12,00% pada varian ketiga (15% LBK + 10% LAF), jika dibandingkan dengan PI tanah, sehingga penurunannya mencapai 73,91 % dengan tingkat keaktifan tanah (A) tergolong tidak aktif sebesar 0,26% (Berdasarkan persyaratan, tidak aktif: $A < 0,75$) (Maulana & Hamdan, 2016).



Gambar 4. Grafik perbandingan Liquid Limit (LL), Plastic limit (PL), Plasticity Index (PI), dan Tingkat Keaktifan (A)



Gambar 5. Klasifikasi tanah metode USCS

Tabel 3. Parameter klasifikasi tanah metode USCS

No	Parameter	Persentase
1	Pengujian <i>grain size</i> (lolos saringan no. 200)	95,01%
2	<i>Liquid Limit</i> (LL)	82,00%
3	<i>Plasticity Index</i> (PI)	46,00%

Tabel 4. Rekapitulasi hasil pengujian UCS

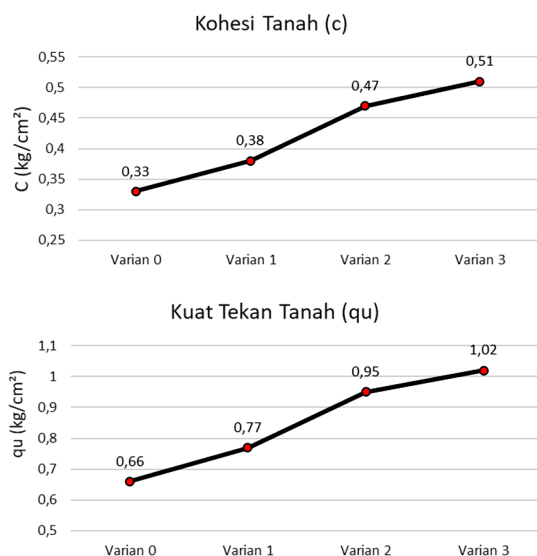
Varian Campuran	Satuan	qu max average	Kohesi (c)
Varian 0	kg/cm ²	0,66	0,33
Varian 1	kg/cm ²	0,77	0,38
Varian 2	kg/cm ²	0,95	0,47
Varian 3	kg/cm ²	1,02	0,51

Keterangan:

Varian 0 = Tanah Lunak Asli
 Varian 1 = 5% LBK + 10% LAF
 Varian 2 = 10% LBK + 10% LAF
 Varian 3 = 15% LBK + 10% LAF

4.2 Klasifikasi tanah

Berdasarkan hasil pengujian *grain size* dan *Atterberg limits*, persentase tanah yang lolos saringan nomor 200 adalah 95,01%; persentase nilai *liquid limit*nya (LL) dan *plasticity index* (PI) adalah 82% dan 46%. Masing-masing persentase sudah melebihi 50%, sehingga tanah lunak asli tersebut termasuk jenis tanah berbutir halus (*Fine-Grained Soils*). Klasifikasi tanah menggunakan metode USCS (*Unified Soil Classification System*) dalam penelitian ini tergolong tanah lunak jenis *fat*



Gambar 6. Grafik hasil nilai kohesi tanah dan kuat tekan tanah pengujian UCS

Tabel 5. Konsistensi tanah berdasarkan nilai qu (Nursar dkk., 2015)

No	Konsistensi Tanah	Nilai qu (kg/cm ²)
1	Sangat lunak	< 0,25
2	Lunak	0,25 – 0,50
3	Sedang	0,50 – 1,00
4	Kaku	1,00 – 2,00
5	Sangat kaku	2,00 – 4,00
6	Keras	> 4,00

clay (CH) dengan plastisitas tinggi. Hasil dari klasifikasi tanah menggunakan metode USCS dapat dilihat pada **Gambar 5**.

4.3 Pengujian engineering properties

Pengujian *Engineering Properties* tanah pada penelitian ini adalah *Unconfined Compressive Strength* (UCS) yang bertujuan untuk menentukan kuat tekan tanah (qu) dan nilai kohesi (c). Hasil pengujian dapat dilihat pada **Tabel 4** dan **Gambar 6**.

Dari data hasil pengujian di atas menunjukkan bahwa terjadi peningkatan pada nilai kuat tekan tanah (qu) dan nilai kohesi tanah (c) karena adanya penambahan material campuran lumpur bledug kuwu (LBK) dan larutan asam fosfat (LAF) pada stabilisasi tanah. Varian campuran 3 memiliki nilai yang paling maksimal, yaitu 1,02 kg/cm² untuk nilai kuat tekan tanah (qu) dan 0,51 kg/cm² untuk nilai kohesi tanah (c). Menurut (Nursar dkk., 2015), nilai qu sebesar 1,0-2,0 termasuk dalam kategori nilai konsistensi tanah yang kaku, dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Kesimpulan

Berikut adalah kesimpulan berdasarkan hasil pengujian dan analisa data dalam penelitian ini:

1. Berdasarkan hasil pengujian *Atterberg Limits*, nilai *Plasticity Index* (PI) pada tanah asli adalah 46%,

dengan kategori aktivitas tanah (A) normal sebesar 0,99.

2. Dalam klasifikasi tanah menggunakan metode USCS, jenis tanah asli pada penelitian ini termasuk jenis tanah *fat clay* (CH) yang sangat tinggi plastisitasnya.
3. Dari hasil pengujian *Atterberg Limits* menggunakan tanah yang distabilisasi dapat menurunkan nilai *Plasticity Index* (PI) mencapai 73,91%, pada campuran yang optimum yaitu varian 3 (15% LBK + 10% LAF) dengan nilai *Plasticity Index* (PI) sebesar 12% dan kategori keaktifan tanahnya (A) tidak aktif yaitu sebesar 0,26.
4. Nilai kuat tekan (qu) dan kohesi (c) tanah dari pengujian UCS adalah sebesar 1.02 kg/cm² dan 0,51 kg/cm² pada varian campuran yang optimum LBK 15% dan LAF 10%, meningkat 35% terhadap tanah asli. Nilai kuat tekan tanah(qu) termasuk dalam kategori nilai konsistensi tanah yang kaku Sehingga dapat disimpulkan, tambahan campuran tanah stabilisasi tersebut dapat meningkatkan daya dukung tanah ditinjau dari pengujian UCS.

Daftar Pustaka

- Chasanah, F. (2015). *Analisis Peningkatan Jalan Akibat Kerusakan Struktur Perkerasan Di Atas Tanah Ekspansif*. Jurnal Teknisia, XX(1). <https://journal.uui.ac.id/teknisia/article/view/3619>
- Hadi Wira Nasarani, Ahmad Rifa, H. C. H. (2019). *Pengaruh Penambahan Abu Vulkanik pada Tanah Lunak terhadap Modulus Geser Maksimum Berdasarkan Pengujian Triaksial U-U*. Jurnal Tekno Global, 8(1), 15–21.
- Klarens, K., Indranata, M., Antoni, & Hardjito, D. (2016). *Pemanfaatan Bottom Ash dan Fly Ash Tipe C Sebagai Bahan Pengganti dalam Pembuatan Paving Block*. Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil, 5(2), 1–8. <http://publication.petra.ac.id/index.php/teknik-sipil/article/view/4956>
- Kumalasari, D., Prayogo, R. D. R. B., & Febriansya, A. (2020). *Expansion Potential and Plasticity Index Value of Expansive Soil Stabilization with Vermiculite and Bledug Kuwu Mud*. ISSAT 2020, 198(Issat), 479–483. <https://doi.org/10.2991/aer.k.201221.079>
- Maulana, G., & Hamdan, I. N. (2016). *Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Menggunakan Campuran Renolith dan Kapur*. Jurnal Online Institut Teknologi Nasional, 2(4), 11–21.
- Nursar, A. S., Iswan, & Setyanto. (2015). *Komparasi Nilai Daya Dukung Tanah Lempung Ditinjau dari Hasil Uji Skala Penetrasi Konus Dinamis, Uji CBR Laboratorium dan Uji Kuat Tekan Bebas*. Jurnal Rekayasa Sipil Dan Desain, 1(1), 193–204.
- Orlando, O., & Sentosa, G. S. (2021). *Studi Kasus Kemiringan Gedung 4 Lantai Akibat Kegagalan Fondasi Di Pangkal Pinang*. JMTS: Jurnal Mitra

Teknik Sipil, 4(3), 615. <https://doi.org/10.24912/jmts.v0i0.12596>

- Pujiyanto; Muslich, Yusep; As'ad, S. (2017). *Kajian Pergeseran (Displacement) Abutmen Jembatan Ordineri Jalan Raya Di Atas Pondasi Sumuran Pengaruh Gempa (Studi Kasus Runtuhnya Jembatan Boompai Keerom Papua Paska Gempa)*. Prosiding SNATIF Ke-4 Tahun 2017, 2015, 153–160.
- Sabdaningsih, A. (2018). *Mitologi dan Sains : Bledug Kuwu di Kabupaten Grobogan*. Sabda : Jurnal Kajian Kebudayaan, 13(1), 7. <https://doi.org/10.14710/sabda.13.1.7-17>
- Siska, H. N., & Yakin, Y. A. (2016). *Karakterisasi Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Lunak di Gedebage*. RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil, 2(4), 44. <https://ejurnal.itenas.ac.id/index.php/rekaracana/article/view/1143>
- Syahril, S., Somantri, A. K., & Haziri, A. A. (2020). *Study of stabilized soil clay soil characteristics using volcanic ash and tailing as subgrade layers*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 830(2), 6–12. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/830/2/022043>
- Syahril, S., Suyono, A., & Prajudi, I. R. (2020a). *Reinforcement of Soft Soil on Slope Using Volcanic Ash and Phosphoric Acid Stabilization for Subgrade of Rigid Pavement*. ISSAT 2020, 198(Issat), 462–466. <https://doi.org/10.2991/aer.k.201221.076>
- Syahril, S., Suyono, A., & Prajudi, I. R. (2020b). *Study of Soft Soil Stabilization on Slope Using Volcanic Ash and Phosphoric Acid Concerning of Plasticity Index*. ISSAT 2020, 198(Issat), 456–461. <https://doi.org/10.2991/aer.k.201221.075>
- Yohanes, B., Oktovian, W., Sompie, B. A., & Sumampouw, J. E. R. (2020). *Pengaruh Penambahan Fly Ash Dan Tras Pada Tanah Lempung Terhadap Nilai Cbr*. Jurnal Sipil Statik, 8(1), 71–76.