

Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Menggunakan Bahan Tambah Serbuk Gypsum dan Abu Sekam Padi

Resti Arismawati¹, Ellida Novita Lydia², Muhammad Zacky Ardhyani³, Eka Mutia⁴
Program Studi, Universitas Samudra, Aceh, Indonesia
E-mail: ellidanovita@unsam.ac.id

DOI: https://doi.org/10.38043/telsinas.v6i2.5031	Received: 16 Januari 2024	Accepted: 22 Maret 2024	Publish: 25 April 2024
--	-------------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------

ABSTRAK: Tanah lempung ekspansif ditandai oleh kemampuan untuk mengalami perubahan volume yang signifikan, dengan daya ekspansi dan kontraksi yang tinggi. Ketika tingkat kelembaban tanah meningkat, tanah akan mengembang, namun saat mengering, tanah ini akan menyusut. Dibutuhkan stabilisasi untuk memperbaiki sifat tanah. Stabilisasi yang digunakan merupakan bahan tambah berupa serbuk gypsum yang dapat menyerap rembesan air pada tanah dan abu sekam padi dapat mengisi rongga-rongga dari tanah. Tujuan pengujian ini untuk mengetahui karakteristik sifat fisik tanah lempung ekspansif asli maupun yang distabilisasi, dan untuk menentukan nilai kohesi (c) dan sudut geser (ϕ). Hasil pengujian memperoleh karakteristik sifat fisik dari tanah lempung ekspansif asli dengan nilai kadar air lapangan sebesar 35,71%, Gs sebesar 2,28, LL sebesar 47,19%, PL sebesar 13,71% dan PI sebesar 33,38%, dan tanah dengan lolos nomor saringan 200 sebesar 52,09%. Pada tanah. Presentase terbaik terdapat pada variasi LE 4 dimana batas atterberg mengalami penurunan, memiliki nilai w optimum terbaik dan memiliki nilai kohesi (c) sebesar 33,40 kpa juga sudut geser (ϕ) sebesar 72,03° yang merupakan nilai tertinggi, maka dari itu dapat disimpulkan bahwasanya penambahan serbuk gypsum dan abu sekam padi berpengaruh baik pada sifat tanah lempung ekspansif.

Kata kunci: Tanah Lempung Ekspansif; Serbuk Gypsum; Abu Sekam Padi

ABSTRACT: Expansive clay soils are characterized by the ability to undergo significant volume changes, with high expansion and contraction power. When soil moisture levels increase, the soil will expand, but when it dries, the soil will shrink. Stabilization is needed to improve soil properties. The stabilization used is an additional material in the form of gypsum powder which can absorb water seepage in the soil and rice husk ash can fill voids in the soil. The purpose of this test is to determine the physical characteristics of the original and stabilized expansive clay soil, and to determine the value of cohesion (c) and friction angle (ϕ). The test results obtained the physical characteristics of the original expansive clay soil with field water content values of 35.71%, Gs of 2.28, LL of 47.19%, PL of 13.71% and PI of 33.38%, and land that passed filter number 200 was 52.09%. On the ground. The best percentage is found in the LE 4 variation where the Atterberg limit has decreased, has the best optimum w value and has a cohesion value (c) of 33.40 kpa and a friction angle (ϕ) of 72.03° which is the highest value, therefore it can be It was concluded that the addition of gypsum powder and rice husk ash had a good effect on the properties of expansive clay soil.

Keywords: Expensive Clay Soil; Gypsum Powder; Rice Husk Ash

I. PENDAHULUAN

Tanah bersifat ekspansif adalah tanah yang menunjukkan perubahan volume yang signifikan, terutama akibat peristiwa kapiler atau fluktuasi kadar air di dalamnya. Selain memiliki kembang susut yang menonjol, juga tingginya tingkat plastisitas, rendahnya daya dukung, dan kekuatan geser yang minim ketika tanah tersebut mengandung air [1]. Jika kadar air meningkat, tanah yang bersifat ekspansif akan mengalami perluasan, meningkatnya tekanan air pori dan munculnya tekanan ekspansi [2]. Saat tanah ekspansif mengalami penurunan kelembapan, terjadi penyusutan yang dapat merugikan daya dukung bangunan dan menyebabkan kerusakan struktural. Adanya celah atau retakan dalam tanah juga dapat memfasilitasi masuknya air, menciptakan siklus penyusutan dan pembengkakan yang berulang, sehingga menimbulkan tegangan berulang pada struktur tanah.

Metode stabilisasi digunakan untuk meningkatkan daya dukung tanah menggunakan bahan kimia berupa gypsum dan abu sekam padi [3]. Stabilisasi tanah adalah metode untuk mengubah karakteristik tanah dari bahan yang kurang menguntungkan menjadi bahan yang memiliki kualitas lebih baik [4]. Upaya untuk memperbaiki karakteristik tanah tersebut melibatkan penambahan suatu material ke dalam tanah. Stabilisasi tanah lempung ekspansif melibatkan berbagai jenis bahan tambah, variasi presentase bahan tambah, masa pemeraman, dan pertimbangan lain yang bervariasi. Meskipun pelaksanaan stabilisasi dapat berbeda, tujuan utamanya tetap sama, yaitu meningkatkan sifat tanah agar lebih baik [5]. Stabilitas tanah adalah usaha untuk memperbaiki karakteristik dan kekuatan tanah. Salah satu metodenya adalah menggunakan bahan tambahan. Bahan tambahan yang umum dipakai meliputi abu terbang (fly ash), semen, kapur, serbuk gypsum, dan abu sekam padi [6].

Bahan tambah yang diterapkan dalam proses stabilisasi tanah kimiaawi dapat mencakup berbagai substansi kimia. Dalam penelitian ini, digunakan bahan tambah berupa serbuk gypsum dan abu sekam padi. Terdapat penelitian yang menunjukkan bahwa kadar air terbaik diperoleh saat ditambahnya 15% serbuk gypsum sebesar 24%, pada pengujian geser langsung untuk nilai kohesi terbaik diperoleh pada penambahan 15% serbuk gypsum sebesar 0,38 kg/cm², dan nilai sudut geser terbaik diperoleh pada penambahan 20% serbuk gypsum sebesar 35,31°. Gypsum mempunyai senyawa CaSO₄.2(H)2O. Senyawa tersebut dapat mengikat air di dalam tanah. Kekuatan stabilisasi tanah dapat ditingkatkan oleh Gypsum karena mengandung kalsium yang dapat berikatan dengan tanah lempung yang rentan terhadap ekspansi. Pencampuran gypsum pada tanah lempung tersebut dapat mengurangi pembentukan retakan seiring waktu karena kalsium dalam gypsum bisa menggantikan natrium dalam tanah lempung ekspansif, mengakibatkan pengembangan tanah menjadi lebih terkendali [7]. Gypsum memiliki kemampuan untuk meningkatkan laju infiltrasi air karena memiliki daya serap air yang tinggi. Gypsum menampilkan sifat yang unggul daripada perekat organik karena gypsum tidak mencermarkan udara, ekonomis, tahan api, tahan terhadap kerusakan, dan resisten terhadap pengaruh zat kimia [8]. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi dalam meningkatkan kemampuan tanah ekspansif dengan mengintegrasikan serbuk gypsum sebagai bahan pembanding.

Terdapat sebuah studi tentang peningkatan stabilitas tanah lempung ekspansif menggunakan abu sekam padi dan kapur. Hasil penelitian menunjukkan penambahan 7% abu sekam padi dan 4% kapur mengakibatkan penurunan nilai presentase pengembangan hingga 0,032%. Dengan kata lain, abu sekam padi dan kapur menurunkan pengembangan pada tanah yang bersifat ekspansif [9]. Sekam padi merupakan lapisan keras yang meliputi kariopsis yang terdiri dari dua bentuk daun yaitu sekam kelopak dan sekam mahkota sekam padi juga merupakan limbah pertanian [10], limbah ini mengandung unsur kimia salah satunya adalah silika yang berkisar 93% yang hampir setara dengan microlisica. Ketika sekam padi dibakar, menghasilkan sifat pozzolan dengan kandungan silikat yang tinggi, rata-rata SiO₂ mencapai 91,72%, dan indeks aktivitas pozzolan sebesar 87%. Pozzolan ini dapat bersifat sementasi ketika dicampur air. Abu sekam padi sebagai pengisi rongga antar agregat, dengan harapan dapat memperbaiki kerapatan dan mengurangi permeabilitas campuran tersebut [11]. Sekam padi tidak dapat dijadikan sebagai pengganti material tanpa melalui proses pembakaran. Secara umum, faktor-faktor seperti suhu, waktu, dan kondisi lingkungan selama proses pembakaran perlu diperhatikan agar abu yang dihasilkan memiliki tingkat reaktivitas maksimal [3].

Berdasarkan hasil pengamatan peneliti, secara fisik tanah di Dusun Bukit Sabun, Desa Bandung Jaya, Kecamatan Manyak Payed, Kabupaten Aceh Tamiang menunjukkan kualitas tanah dasar yang kurang baik, yang menyebabkan bangunan yang dibangun di atasnya mengalami retak. Hal ini disebabkan oleh tingginya tingkat kembang susut tanah dasar tersebut, sehingga diperlukan tindakan stabilisasi untuk menjaga sifat fisik tanah. Penelitian ini menggunakan stabilisasi metode kimiaawi, yaitu bahan kimia berbentuk serbuk gypsum dan abu sekam padi. Penggunaan serbuk gypsum, yang dikenal sebagai kapur sulfat, dipilih karena natrium pada tanah lempung ekspansif dapat digantikan oleh kalsium pada gypsum, mengurangi pengembangan tanah. Abu sekam padi digunakan karena memiliki daya rekat yang tinggi dan berfungsi sebagai filler yang dapat mengisi celah-celah tanah, merapatkan struktur tanah tersebut. Sebelumnya, belum ada penelitian yang menyelidiki kuat geser dari tanah lempung ekspansif yang telah mengalami proses stabilisasi menggunakan serbuk gypsum dan abu sekam padi. Maka dari

itu peneliti brinisiatif untuk menguji kuat geser bertujuan untuk mencari nilai kuat geser dari tanah ekspansif setelah distabilisasi.

II. LANDASAN TEORI

1. Tanah

Tanah merupakan bahan alam di permukaan bumi, tersusun dari campuran mineral, bahan organik, air, dan udara, yang tersusun berlapis-lapis [12]. Tanah berfungsi sebagai bahan konstruksi dalam pekerjaan teknik sipil, dan juga berperan dalam menopang pondasi bangunan. [13]. Tanah ekspansif seringkali menimbulkan masalah dalam konstruksi sipil karena daya dukungnya yang rendah, plastisitasnya yang tinggi, serta laju muai dan kontraksi yang tinggi ketika tanah terhidrasi. [14]. Perbedaan laju pemuai dan penyusutan dari suatu titik ke titik lainnya menyebabkan terjadinya perubahan penurunan permukaan bumi. Faktor yang mempengaruhi laju pemuai tanah ekspansif yaitu jenis dan jumlah lempung, struktur tanah, kepadatan, perubahan kadar air, cara pemadatan, konsentrasi elektrolit dalam air, dan tekanan permukaan tanah. (*surcharge pressure*)[15].

2. Stabilisasi

Stabilisasi tanah adalah teknik meningkatkan karakteristik tanah dasar agar memiliki kinerja mekanis yang lebih baik, baik melalui peningkatan sifat-sifatnya maupun dengan menggunakan bahan tambahan Tujuan dari usaha stabilitas tanah adalah untuk memperkuat lapisan tanah sehingga risiko keruntuhan dapat dikurangi dan tanah menjadi lebih stabil dalam menanggung beban, dengan mempertimbangkan tegangan dan regangan tanah yang terjadi [5].

3. Gypsum

Dalam bidang kimia, gypsum dikenal sebagai kalsium sulfat hidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), merupakan salah satu mineral sulfat yang terdapat di bumi dan mempunyai nilai manfaat yang sangat besar. Saat ini, gipsum banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk dekorasi arsitektur, komponen dasar produksi semen, bahan pengisi cat, dan bahan produksi pupuk. Gypsum mempunyai sifat yang lebih unggul dibandingkan perekat organik, karena tidak mencemarkan udara, ekonomis, tahan api, tahan terhadap kerusakan biologis, dan tahan bahan kimia [8]. Gypsum mengontrol waktu pengerasan dan bertindak sebagai retarder untuk memperlambat waktu pengerasan, sehingga campuran dapat diproses dengan mudah dalam jangka waktu yang lebih lama [16].

4. Abu Sekam Padi

Sekam padi adalah kulit luar dari biji padi yang tersisa setelah proses penggilingan. Sekam padi biasanya mencakup sekitar 20% dari berat padi, dengan sekitar 15% dari komposisinya berupa abu sekam yang dihasilkan dari pembakaran [17]. Sekam padi baru bisa dijadikan bahan alternatif setelah melalui proses pembakaran. Ada dua faktor penting dalam proses ini: kadar abu dan komposisi unsur kimia dalam abu. Kadar abu penting karena menentukan jumlah sekam padi yang perlu dibakar untuk menghasilkan abu jika diperlukan. Ketika sekam padi dibakar, bahan organik hilang dan silika tetap berbentuk abu. Proses pembakaran mengubah struktur silika sehingga mempengaruhi aktivitas pozzolan dan ukuran partikel abu. Untuk memaksimalkan reaktivitas abu, suhu, waktu, dan kondisi lingkungan selama proses pembakaran harus diperhatikan [7].

III. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan metode eksperimen, yang melibatkan pengujian sampel dan pengumpulan data lapangan dengan melakukan penilaian dan penyelidikan fisik berdasarkan referensi sebelumnya [18]. Pengujian sifat fisik tanah mencakup analisis kadar air, analisis saringan, penentuan berat spesifik, dan pengukuran batas Atterberg. Sementara itu, pengujian sifat mekanis tanah melibatkan beberapa metode, tetapi penelitian ini, penekanan diberikan pada pemadatan standar dan pengukuran kuat geser. Penelitian ini dimulai dari pengumpulan bahan untuk pengujian.

1. Lokasi Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel tanah penelitian ini berada di Desa Bandung Jaya, Gypsum yang digunakan untuk bahan tambahan pada penelitian ini berasal dari pembongkaran plafon gedung fakultas teknik dan abu sekam padi berasal dari Desa Alur Pinang Kecamatan Langsa Timur.

2. Pekerjaan Persiapan

Peneliti memulai dengan pekerjaan persiapan lapangan yang melibatkan pengambilan sampel dan bahan-bahan yang diperlukan untuk penelitian di laboratorium, sehingga penelitian di laboratorium dapat berjalan lancar. Selama penelitian, peneliti menentukan dan mengatur alat-alat yang digunakan. Alat-alat ini termasuk untuk pengujian kadar air, analisis saringan, berat spesifik, batas Atterberg, pemadatan, kuat geser, serta peralatan lain yang tersedia di Laboratorium Terpadu Universitas Samudra.

Untuk menyiapkan bahan, tanah diambil dengan menggali menggunakan cangkul, lalu dimasukkan ke-15 karung berukuran 15 kg masing-masing. Lalu tanah dikeringkan sampai kering dan dihaluskan. Sementara itu, serbuk gypsum yang digunakan adalah yang (lolos no saringan 200) dan abu sekam padi yang lolos (lolos no saringan 100). Terdapat 4 variasi campuran dengan kadar persentase yang berbeda yaitu:

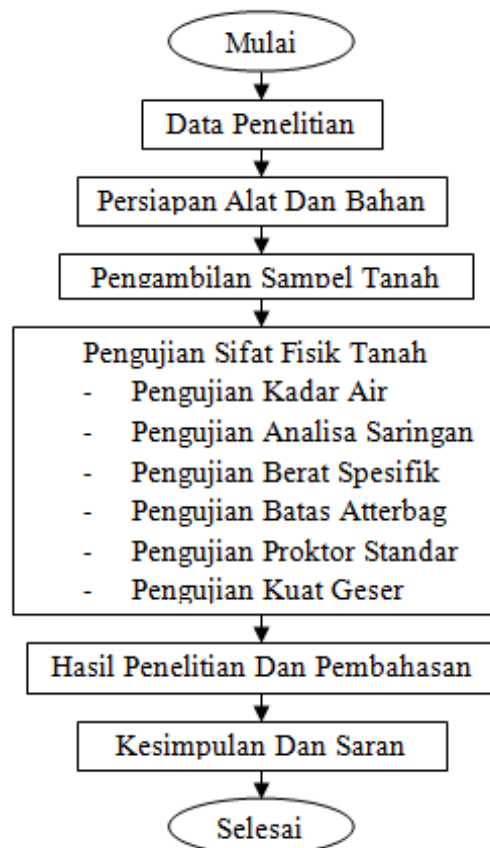
Variasi 1= 100% tanah lempung ekspansif asli (LE 1)

Variasi 2= 92% tanah lempung ekspansif + 4% serbuk gypsum + 4% abu sekam padi (LE 2)

Variasi 3= 91% tanah lempung ekspansif + 4% serbuk gypsum + 5% abu sekam padi (LE 3).

Variasi 4= 90% tanah lempung ekspansif + 4% serbuk gypsum + 6% abu sekam padi (LE 4).

Tahapan pelaksanaan tugas akhir ini dikerjakan berdasarkan diagram alir pada gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir

IV. PEMBAHASAN

Pengujian Sift Fisik Tanah

Pengujian karakteristik fisik tanah dilakukan untuk mengevaluasi sifat-sifat fisik dari tanah lempung ekspansif sebelum dan setelah distabilisasi. Pengujian mencakup pengukuran kadar air, analisis saringan, berat spesifik, dan batas-batas Atterberg. Berikut adalah hasil pengujian karakteristik fisik tanah.

1. Pengujian kadar air

Pengujian kadar air dilapangan hanya dilakukan pada tanah lempung ekspansif asli, pengujian ini berfungsi agar mengetahui nilai kadar air di lapangan sebelum distabilisasi.

Tabel 1. Hasil Pengujian Kadar Air

Uraian	Satuan	1	2
No Cawan		1	2
Berat Cawan (W1)	Gr	11,49	11,53
Berat Cawan + Tanah Basah (W2)	Gr	35,19	38,93
Berat Cawan + Tanah Kering (W3)	Gr	28,67	32,06
Berat Tanah Kering W4 = W3-W1	Gr	17,18	20,53
Berat air (Ww = W2-W3)	Gr	6,52	6,87
Kadar Air = (Ww/W4)*100	%	37,95	33,46
Rata-rata kadar air	%	35,71	

Dari tabel diatas dapat dilihat terdapat 2 sampel pengujian kadar air, 2 sampel tersebut diperoleh nilai rata rata sebesar 35,71%, maka tanah yang diuji ini termasuk kedalam tanah lempung/lanau.

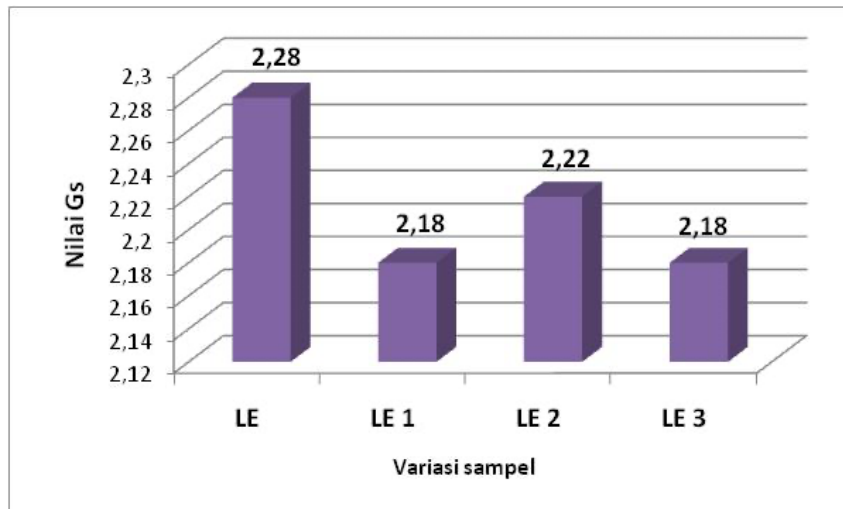
2. Pengujian Analisa Saringan

Tabel 2. Hasil Pengujian Analisa Saringan

Lubang ayakan		Tertahan		Persentase Kumulatif (%)	
Inch	mm	Berat (gr)	Jumlah	Tertahan	Lolos
No. 4	4,75	19,49	19,49	1,95	98,05
No. 20	0,850	28,01	47,50	2,80	95,25
No. 40	0,425	54,13	101,63	5,41	89,84
No. 80	0,180	88,42	190,05	8,84	81,00
No. 120	0,125	97,09	287,14	9,71	71,30
No. 200	0,075	192,18	479,32	19,21	52,09
PAN		521,08	1.000	52,09	0,00
Jumlah Total		1000		100	

Berdasarkan Tabel diatas dapat dilihat bahwa tanah yang lolos nomor saringan 200 yaitu sebesar 52,09%, Menurut sistem klasifikasi AASHTO bahwasanya tanah yang lolos nomor saringan no 200 > 36% maka termasuk kedalam material tanah lempung gradasi buruk dikarenakan lebih banyak yang lolos saringan dengan diameter yang sama sehingga butiran bersifat homogen.

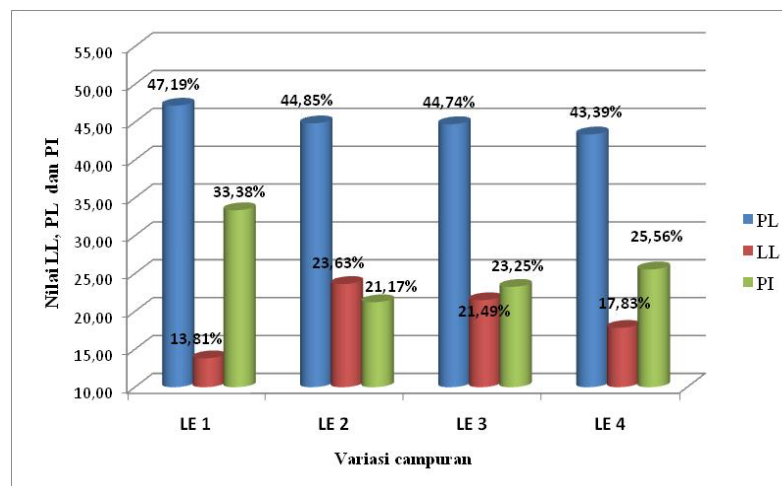
3. Pengujian Berat Spesifik (Gs)



Gambar 2. Rekapitulasi Nilai Gs

Dari gambar diatas terdapat perbandingan nilai Gs, tanah asli memperoleh nilai sebesar 2,28 kemudian mengalami penurunan hingga 2,18 pada sampel LE 2 dan LE 3, berdasarkan hasil pengujian maka tanah asli maupun tanah campuran termasuk kedalam tanah lempung berbutir halus yang mengandung mineral kaolinite kelompok *haloysite*.

4. Pengujian Batas Atterberg



Gambar 3. Rekapitulasi Nilai Atterberg

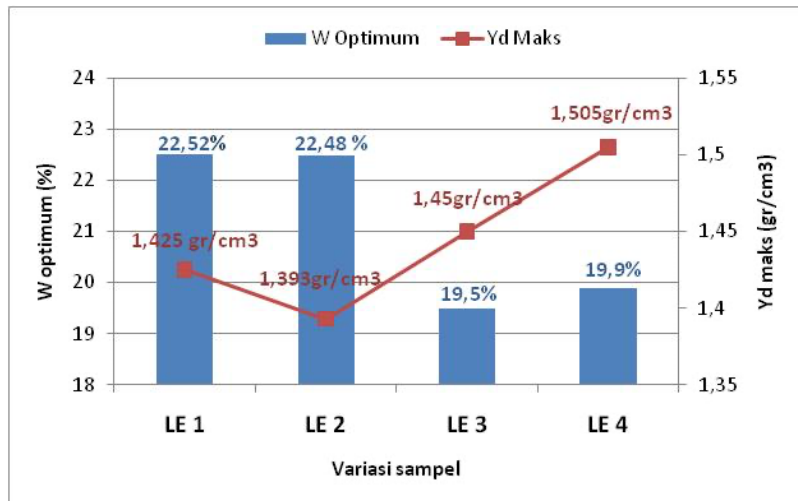
Pengujian *atterberg* terdiri dari batas cair, batas plastis dan indeks plastisitas. Dilihat pada gambar 3 untuk nilai batas cair baik tanah asli sebesar 47,19% hingga mengalami penurunan menjadi 43,39% pada variasi LE 4. Berdasarkan hasil pengujian maka tanah asli maupun tanah variasi memiliki nilai >41% maka dari itu tanah yang diuji termasuk kedalam tanah lempung, untuk nilai batas cair yang memiliki nilai mendekati atau melebihi 50% maka tanah yang di uji termasuk kedalam tanah empung ekspansif.

Untuk nilai indeks pastisitas tanah asli sebesar 33,38% dan mengalami penurunan pada variasi LE 2 hingga 21,22%. Oleh karna itu baik tanah lempung ekspansif asli maupun yang variasi memili nilai min 11 maka tanah yang diuji termasuk kedalam tanah lempung dan dikarenakan tanah yang diuji memiliki

nilai IP >17% maka dari itu tanah ini termasuk tanah lempung dengan memiliki nilai indeks plastisitas tinggi.

Pengujian Proctor Standart

Pengujian Proctor standar dilakukan agar kekuatan tanah menjadi meningkat melalui pemadatan, sehingga rongga udara dalam sampel tanah berkurang dan kepadatannya meningkat. Lima sampel tanah berbobot 3 kg diuji dengan penambahan air variabel mulai dari 200 ml hingga 600 ml untuk mencapai kondisi optimum. Hasil pengujian Proctor standar mencatat nilai maksimum kepadatan (γ_d maks) dan kadar air optimum (W optimum).

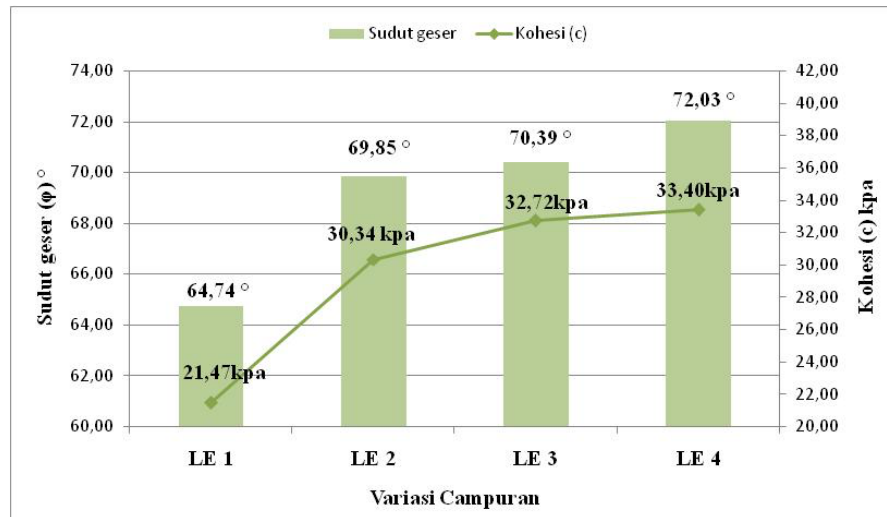


Gambar 4. Hubungan nilai Yd maks dengan W optimum

Berdasarkan grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan campuran bubuk gipsium dan abu sekam padi pada tanah lempung ekspansif dapat mempengaruhi nilai kadar air optimum dan berat satuan kering. Nilai tersebut cenderung tidak stabil, dengan nilai kadar air optimum dan berat satuan kering maksimum dimulai dari 22,52% untuk contoh tanah asli dan semakin menurun setiap kali dilakukan penambahan campuran bubuk gipsium dan abu sekam padi. Pada sampel LE 2, kadar airnya menurun. menjadi 22,48%, selanjutnya menurun menjadi 19,50% di LE 3, dan sedikit meningkat menjadi 19,90% di LE 4. Hal ini menunjukkan bahwa kadar air optimum dan berat satuan kering maksimum bervariasi naik turun setiap penambahan serbuk gipsium dan abu sekam padi.

Pengujian Kuat Geser

Uji kuat geser dilakukan terhadap contoh tanah asli dan tanah yang distabilisasi dengan bubuk gipsium dan abu sekam padi. Untuk contoh tanah sebenarnya, satu contoh diuji dengan beban berbeda (0,5 kg, 1 kg, dan 2 kg) pada tiga benda uji. Pengujian ini memberikan nilai gaya kohesif dan sudut gesek. Kohesi adalah gaya tarik antar partikel tanah yang diukur dalam satuan berat per satuan luas dan meningkat seiring dengan meningkatnya kuat geser. Sudut geser (ϕ) adalah sudut antara tegangan normal dan tegangan geser pada material tanah dan batuan.



Gambar 5 Hubungan nilai kohesi dan sudut geser

Berdasarkan grafik 8 dapat disimpulkan bahwa nilai kohesi (c) dari tanah asli yang sebesar 21,47 kpa mengalami kenaikan pada LE 2 menjadi 30,34 kpa sehingga terjadi perbandingan sebesar 8,87 kpa, pada LE 3 naik menjadi 32,72 kpa dan pada LE 4 nilai kohesi (c) menjadi 33,40 kpa. Pada sudut geser (ϕ) tanah asli sebesar 64,74° terjadi kenaikan pada LE 2 menjadi 69,85°, pada LE 3 menjadi 70,39°, dan pada LE 4 menjadi 72,03°.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian maka diperoleh karakteristik sifat fisik dari tanah yaitu dengan nilai kadar air lapangan sebesar 35,71%, berat spesifik (Gs) sebesar 2,28, batas cair (LL) sebesar 47,19%, batas plastis (PL) sebesar 13,81%, indeks plastisitas (PI) sebesar 33,38% dan analisa saringan yang lolos no 200 sebesar 52,01%. Dengan data tersebut dapat disimpulkan bahwa tanah yang diuji termasuk kedalam tanah lempung ekspansif.

Dari ketiga variasi tanah lempung ekspansif dikombinasi terdapat campuran terbaik pada variasi LE 4, yang memiliki sifat fisik meliputi berat spesifik (Gs) sebesar 2,22, batas cair (LL) sebesar 43,39%, batas plastis (PL) sebesar 17,83% dan indeks plastisitas (PI) sebesar 25,56%. Dan memiliki nilai γ_d maks 1,505 gr/cm³ dan nilai W optimum 19,90% dengan nilai kohesi (c) 33,40 kpa dan sudut geser (ϕ) 72,03°.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. A. G. Raditya, Y. Zaika, A. Rachmansyah, "Perubahan Perilaku Tanah Ekspansif Akibat Stabilisasi Menggunakan Metode Deep Soil Mixing Pola Panels Dengan Kapur 8%," *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil*, vol. 1, no. 2, pp.1–10, 2017.
- [2]. I. Widiatoro dan F. Ahmad, "Stabilisasi Tanah Ekspansif Dengan Bahan Tambah Gypsum (Studi Kasus Di Kawasan Industri Candi Blok K-18, Semarang) ," *Jurnal Teknik Sipil Unika Soegijipranata*, vo.1 no.1 pp. 1–10, 2017
- [3]. W. O. Dianty, "Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Menggunakan Gypsum Dan Abu Sekam Padi Dengan Pengujian Cbr Dan Kuat Tekan Bebas," 2017.
- [4]. RR. S. Riwayati dan R. Yuniar "Stabilisasi Tanah Lempung menggunakan Campuran Kapur Untuk Lapisan Tanah Dasar Konstruksi," *Jurnal Teknik Sipil UNPAL*, vol. 8, no. 2, pp. 104–111, 2018.
- [5]. D. Panguriseng , "Stabilisasi Tanah," *Universitas 45 Makassar*, 2001.
- [6]. F. Ndaru W, E. Andi S, Y. Zaika, A. Munawir, A. Rachmansyah, "Perbaikan Tanah Ekspansif Dengan Penambahan Serbuk Gypsum Dan Abu Sekam Padi Untuk Mengurangi Kerusakan Stuktur Perkerasan," *Rekayasa Sipi*, vol. 9, no. 3, pp 251-256, 2015.

- [7]. V. Kurniawan, Y. Zaika, Harimurti, "Pengaruh Penambahan Serbuk Gypsum Dengan Lamanya Waktu Pengeraman (Curing) Terhadap Karakteristik Tanah Lempung Ekspansif Di Bojonegoro" *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil*, 2014.
- [8]. M. A. Untu, A. T. Mandagi, J. E.R Sumampouw, "Pengaruh Penggunaan Jerami Padi Dan Gypsum Sebagai Bahan Stabilisasi Pada Tanah Lempung Ekspansif," *Jurnal Sipil Statik*. vol. 8, no. 6, pp 849-858, 2020.
- [9]. M. R. Abdurrozak dan D. N. Mufti, "Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Bahan Tambah Abu Sekam Padi Dan Kapur Pada Subgrade Perkerasan Jalan," *Jurnal Teknisia*. vol. XXII, no. 2, pp. 416–424, 2017.
- [10]. D. E. G. Sofhia, W. Nurhasanah, J. M. Munandar, "Pemanfaatan Limbah Sekam Menjadi Produk Arang Sekam untuk Meningkatkan Nilai Jual di Desa Gunturmekar , Kabupaten Sumedang," *Jurnal Pusat Inovasi Masyarakat*, vol. 2, no. 4, pp. 679–684, 2020
- [11]. F. N. Wardhana, Y. Zaika, A. Rachmansyah, "Pengaruh Penambahan Serbuk Gypsum Dan Abu Sekam Padi Dengan Lamanya Waktu Pengeraman (Curing) Terhadap Karakteristik Tanah Lempung Ekspansif Di Bojonegoro," *Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil*, vol. 1, no. 2, pp. 1-9, 2014.
- [12]. M. Arifin, N. D. Putri, A. Sandrawati, R. Harryanto, "Pengaruh Posisi Lereng terhadap Sifat Fisika dan Kimia Tanah pada Inceptisols di Jatinangor," *Soilrens*, vol. 16, no. 2, pp. 37–44, 2018.
- [13]. S. Srihandayani dan D. I. Mazni, "Karakteristik tanah timbun sebagai pengganti subgrade di lahan gambut," *Jurnal Penelitian Dan Kajian Teknik Sipil*, vol. 07, no. 01, pp. 10–14, 2021.
- [14]. I. N. Aribudiman, T. G. S. Putra, I. W. A. Basoka, "Karakteristik Tanah Lempung Ekspansif Yang Ditambahkan Semen Dan Abu Sekam Padi Sebagai Subgrade Jalan (Studi Kasus: Jalan Raya Munggu, Ruas Cunggu-Tanah Lot) ," *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, vol. 18, no. 2, pp. 113–21, 2014.
- [15]. H. C. Hardiyatmo, "Tanah Ekspansif," *Gajah Mada University Press*, 2014.
- [16]. M. H. Nasution, N. B. N. Putri, L. Candra, "Pengaruh Komposisi Gypsum Terhadap Setting Time Pada Proses Produksi Semen PCC," *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 6, no. 1, pp. 23–29, 2019.
- [17]. W. E. E. Tapenu, S. P. A. Anggraini, S Yuniningsih. "Pra Rancang Bangun Arang Aktif Dari Sekam Padi Dengan Sistem Fast Pyrolysis Dengan Kapasitas 5000 Ton/Tahun," *Jurnal Penelitian Mahasiswa Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, vol. 3, no. 1, pp. 35–41, 2019.
- [18]. S. Handayani dan Karnilawati. "Karakterisasi Dan Klasifikasi Tanah Ultisol Di Kecamatan Indrajaya Kabupaten Pidie," *Jurnal Ilmiah Pertanian*, vol. 14, no. 2, pp. 52–59, 2018.