
Analisis Pengaruh Kuat Tekan dan Kuat Geser Sampel Kering Optimum Dan Basah Optimum Pada Tanah Lempung

¹Ilham Yunus, ²Humairah Annisa

^{1,2}Teknik Sipil, Universitas Lamappapoleonro

^{1,2}Jalan Kesatria No. 60 Watansoppeng, Botto Kecamatan Lalabata, Soppeng Sulawesi Selatan-Indonesia

e-mail : ¹ilham.yunus@unipol.ac.id, ²humairah@unipol.ac.id

JTEKSIL

Abstrak

Kata Kunci :

Tanah Lempung;
Kuat Tarik;
Kuat Geser;
Kering Optimum;
Basah Optimum

Tanah lempung memiliki daya dukung yang rendah. Pegaaruh air sangat besar terhadap perilaku fisis dan mekanisnya. Tanah lempung dalam keadaan kering relatif kekurangan air, sehingga tanah lempung memiliki kemampuan yang lebih besar untuk menyerap air. Percobaan tanah lempung dalam kondisi kering optimum dan basah optimum berguna untuk mengetahui daya dukung tanah dalam kondisi kering dan basah. Dilakukan pengujian sifat fisik sampel tanah berupa uji kadar air, berat jenis, berat volume, batas-batas *Atterberg*, dan analisa saringan, setelah melakukan pengujian sifat fisik tanah dilanjutkan dengan pengujian pemadatan tanah untuk mendapatkan nilai kadar air optimum dan berat volume kering tanah. Dari kadar air optimum dapat mengetahui persentase kadar air basah optimum dan kering optimum, setelah mendapatkan hasil kadar air optimum, basah optimum dan kering optimum dilanjutkan dengan pengujian inti dari penelitian ini yaitu pengujian kuat tekan bebas dan pengujian kuat geser langsung. Dari hasil penelitian yang dilakukan menghasil nilai kuat tekan bebas (q_u) serta nilai kohesi (c) dan kuat geser maksimum tanah dalam kondisi kadar air basah optimum, kering optimum dan optimum. Pada kondisi optimum menghasilkan nilai yang paling tinggi untuk nilai kuat tekan bebas, kuat geser langsung dan nilai kohesi. Hal ini dikarenakan pada kondisi optimum kepadatan tanah maksimal, sehingga tanah dalam keadaan stabil. Pada kondisi kering optimum tanah lempung memiliki kepadatan tanah yang tidak stabil, sehingga butiran – butiran tanah tidak saling mengikat, sebaliknya dalam kondisi basah optimum tekanan pada butiran tanah sangat tinggi, sehingga tanah memiliki plastisitas yang tinggi.

Abstract

Keywords:

Loamy Soil;
Tensile Strength;
Shear Strength;
Optimum Dry;
Wet Optimum.

Clay soils have low bearing capacity. The influence of water is very large on its physical and mechanical behavior. Clay soils in dry conditions are relatively water deficient, so clay soils have a greater ability to absorb water. The experiment of clay soil in optimum dry and optimum wet conditions is useful to determine the bearing capacity of the soil in dry and wet conditions. The physical properties of soil samples were tested in the form of moisture content, specific gravity, volume weight, Atterberg boundaries, and sieve analysis. After testing the physical properties of the soil, the soil compaction test was continued to obtain the optimum moisture content and dry volume weight of the soil. From the optimum moisture content can know the percentage of optimum wet and optimum dry water content, after getting the results of optimum moisture content, optimum wet and optimum dry followed by the core test of this research, namely free compressive strength testing and direct shear strength testing. From the results of the research conducted, the value of free compressive strength (q_u) as well as the value of cohesion (c) and the maximum

shear strength of the soil in the conditions of optimum wet, optimum dry and optimum water content. The optimum condition produces the highest value for free compressive strength, direct shear strength and cohesion value. This is because at optimum conditions the soil density is maximum, so the soil is in a stable state. In the optimum dry condition, clay soil has an unstable soil density, so that the soil grains do not bind each other, whereas in the optimum wet condition the pressure on the soil grains is very high, so the soil has high plasticity.

© 2023

Universitas Lamappapoleonro

PENDAHULUAN

Mendirikan bangunan di atas tanah lempung akan menimbulkan beberapa permasalahan, diantaranya daya dukung tanah. Daya dukung tanah lempung pada umumnya rendah, ini disebabkan kuat geser tanah lempung kecil, sehingga bila tegangan geser yang ditimbulkan pondasi besar maka bangunan akan runtuh. Tanah lempung merupakan jenis tanah dengan daya dukung rendah, pengaruh air sangat besar terhadap perilaku fisis dan mekanisnya. Untuk itu, dalam penggunaan tanah lempung sebagai bahan konstruksi, kadar air tanah memegang peranan yang sangat penting. Dalam bentuk massa yang kering, tanah lempung mempunyai kekuatan yang lebih besar, bila ditambah air akan berperilaku plastis, dengan kadar kembang susut yang besar.

Pada tanah lempung proses kering dan basah akan menyebabkan nilai kembang dan akan menurun sampai akhirnya akan mencapai nilai konstan. Sifat pengembangan tanah lempung yang dipadatkan akan lebih besar pada saat kering optimum dan basah optimum. Lempung yang dipadatkan pada kering optimum relatif kekurangan air oleh sebab itu tanah lempung mempunyai kemampuan lebih besar untuk meresap air sebagai hasilnya adalah sifat mudah mengembang. Kuat tekan bebas (*Unconfined Compression Test*) merupakan cara yang dilakukan di laboratorium untuk menghitung kekuatan geser tanah. Uji kuat tekan bebas ini mengukur seberapa kuat tanah menerima kuat tekan yang diberikan sampai tanah tersebut terpisah dari butiran-butirannya juga mengukur regangan tanah akibat tekanan tersebut. Sedangkan kuat geser tanah merupakan kemampuan tanah untuk melawan tegangan geser dalam tanah, untuk menentukan kuat geser tanah dilakukan pengujian geser langsung. Uji geser langsung akan lebih sesuai untuk menentukan parameter kuat geser tanah bila digunakan untuk pondasi. Percobaan *unconfined* terutama dilakukan pada tanah lempung, apabila tanah lempung mempunyai derajat kejenuhan 100% maka kekuatan gesernya dapat ditentukan langsung dari nilai kekuatan *unconfined*.

Tanah lempung dalam keadaan kering optimum memiliki sifat mengembang yang lebih besar dari tanah lempung basah optimum saat dipadatkan. Hal ini dikarenakan pada saat tanah lempung dalam keadaan kering optimum relatif kekurangan air sehingga tanah lempung mempunyai kemampuan yang lebih besar untuk menyerap air. Pada percobaan tanah lempung dalam kondisi kering optimum dan basah optimum berguna untuk mengetahui daya dukung tanah dalam kondisi kering dan basah, oleh karena itu perlu dilakukan penelitian menggunakan uji kuat tekan bebas dan uji geser langsung sehingga dapat mengetahui kemampuan tanah untuk menahan beban yang berada di atas tanah tersebut.

Tujuan penelitian ini Untuk mengetahui perbandingan besarnya daya dukung tanah dalam kondisi kering *optimum* dan basah *optimum*, dan Untuk mengetahui pengaruh kuat tekan dan kuat geser tanah pada sampel dengan kondisi kering *optimum* dan basah *optimum*

TINJAUAN PUSTAKA

Tanah

Tanah merupakan lapisan kerak bumi yang berada di lapisan paling atas, yang juga merupakan tabung reaksi alami yang menyangga seluruh kehidupan yang ada di bumi. Tanah mempunyai ciri khas dan sifat-sifat yang berbeda-beda antara tanah di suatu tempat dengan tempat yang lain. Sifat-sifat tanah itu meliputi fisika dan sifat kimia. Beberapa sifat fisika tanah antara lain tekstur, struktur dan kadar lengas tanah. Untuk sifat kimia menunjukkan sifat yang dipengaruhi oleh adanya unsur maupun senyawa yang terdapat di dalam tanah tersebut. Tanah merupakan suatu benda alam yang tersusun dari padatan (bahan mineral dan bahan organik), cairan dan gas, yang menempati permukaan daratan, menempati ruang, dan dicirikan oleh salah satu atau kedua berikut: horison-horison, atau lapisan-lapisan, yang dapat dibedakan dari bahan asalnya sebagai hasil dari suatu proses penambahan, kehilangan, pemindahan dan transformasi energi dan materi atau berkemampuan mendukung tanaman berakar di dalam suatu lingkungan alami

Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terinci. Tujuan klasifikasi tanah adalah untuk menentukan kesesuaian terhadap pemakaian tertentu, serta untuk menginformasikan tentang keadaan tanah dari suatu daerah kepada daerah lainnya dalam bentuk berupa data dasar. Klasifikasi tanah juga berguna untuk studi yang lebih terinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan akan pengujian untuk menentukan sifat teknis tanah seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi, dan sebagainya. Jenis dan sifat tanah yang sangat bervariasi ditentukan oleh perbandingan banyak fraksi-fraksi (kerikil, pasir, lanau dan lempung), sifat plastisitas butir halus. Klasifikasi bermaksud membagi tanah menjadi beberapa golongan tanah dengan kondisi dan sifat yang serupa diberi simbol nama yang sama.

Tanah Lempung

Tanah lempung terdiri dari berbagai golongan tekstur yang agak susah dicirikan secara umum. Sifat fisika tanah lempung umumnya terletak diantara sifat tanah pasir dan liat. Pengolahan tanah tidak terlampaui berat, sifat merembeskan airnya sedang dan tidak terlalu melekat. Tanah lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran kurang dari 0,002 mm (= 2 mikron). Namun demikian, di beberapa kasus, partikel berukuran antara 0,002 mm sampai 0,005 mm juga masih digolongkan sebagai partikel lempung. Disini tanah di klasifikasikan sebagai lempung hanya berdasarkan pada ukurannya saja. Belum tentu tanah dengan ukuran partikel lempung tersebut juga mengandung mineral-mineral lempung (*clay mineral*). Tanah lempung merupakan partikel-partikel berukuran mikrokopis sampai submikrokopis yang berasal dari pelapukan kimiawi batuan. lempung bersifat plastis pada

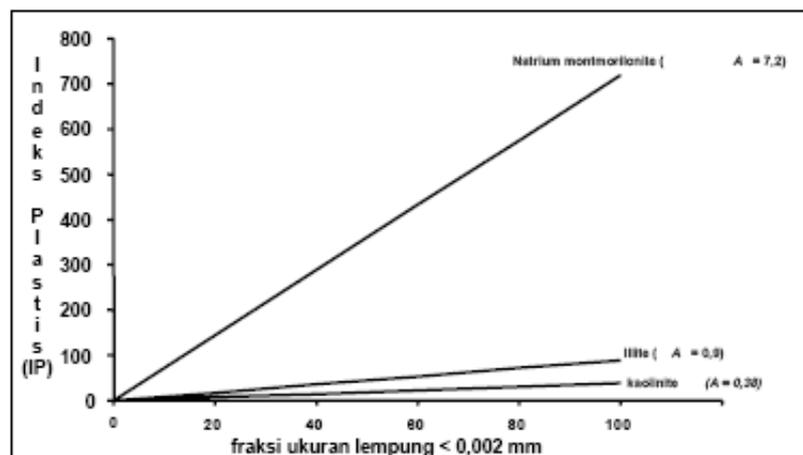
kadar air sedang dan dalam keadaan kering lempung sangat keras sehingga tidak mudah dikelupas dengan jari.

Partikel mineral lempung biasanya bermuatan negatif sehingga partikel lempung hampir selalu mengalami hidrasi, yaitu dikelilingi oleh lapisan-lapisan molekul air dalam jumlah yang besar. Lapisan ini sering mempunyai tebal dua molekul dan disebut lapisan difusi, lapisan difusi ganda atau lapisan ganda adalah lapisan yang dapat menarik molekul air atau kation yang disekitarnya. Lapisan ini akan hilang pada temperature yang lebih tinggi dari 60° sampai 100° C dan akan mengurangi plastisitas alamiah, tetapi sebagian air juga dapat menghilang cukup dengan pengeringan udara saja.

Mendefinisikan aktivitas tanah lempung sebagai perbandingan antara Indeks Plastisitas (PI) dengan presentase butiran yang lebih kecil dari 0,002 mm atau dapat pula dituliskan sebagai persamaan berikut:

$$A = \frac{PI}{\% \text{ berat fraksi berukuran lempung}}$$

Aktivitas digunakan sebagai indeks untuk mengidentifikasi kemampuan mengembang dari suatu tanah lempung. Ketebalan air mengelilingi butiran tanah lempung tergantung dari macam mineralnya.



Gambar 1. Variasi indeks plastisitas dengan persen fraksi lempung

Kuat Tekanan Tanah

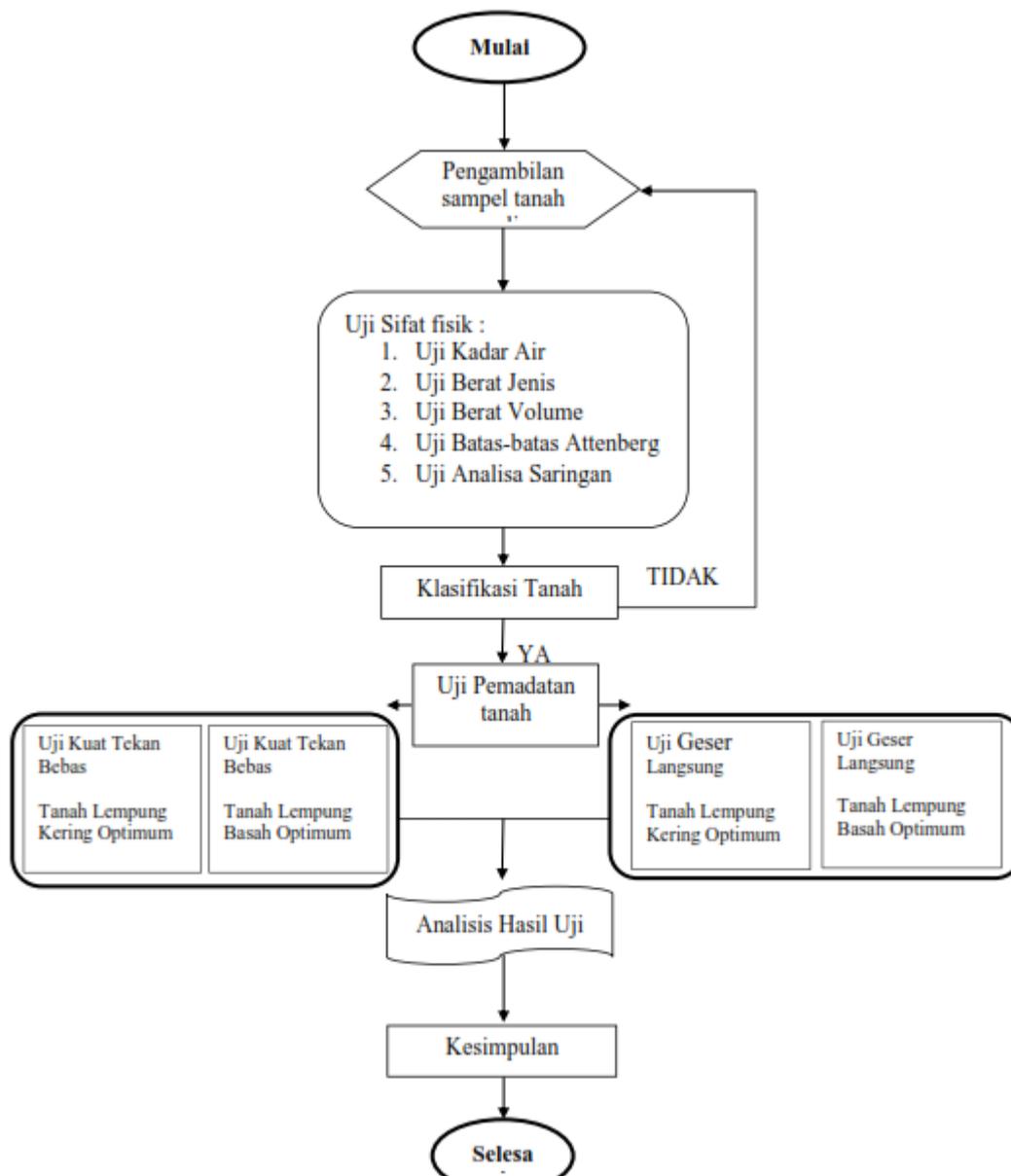
Kuat tekan bebas adalah tekanan aksial benda uji pada saat mengalami keruntuhan atau pada saat regangan aksial mencapai 20%. Uji kuat tekan bebas adalah salah satu cara untuk mengetahui geser tanah. Uji kuat tekan bebas bertujuan untuk menentukan kekuatan tekan bebas suatu jenis tanah yang bersifat kohesif, baik dalam keadaan asli (*undisturbed*), buatan (*remoulded*) maupun tanah yang dipadatkan (*compacted*). Kuat tekan bebas (q_u) adalah harga tegangan aksial maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji silindris (sampel tanah) sebelum mengalami keruntuhan geser. Uji kuat tekan bebas (*Unconfined Compression Test*) merupakan carayang dilakukan di laboratorium untuk menghitung kekuatan geser tanah. Uji kuat ini mengukur seberapa kuat tanah menerima kuat tekan yang diberikan sampai tanah tersebut terpisah dari butiran-butirannya juga mengukur regangan tanah akibat tekanan tersebut. Uji tekan bebas ini dilakukan pada contoh tanah asli dan contohtanah tidak asli lalu diukur kemampuannya masing-masing contoh terhadapkuat tekan bebas. Dari nilai kuat tekan

maksimum yang dapat diterima padamasing-masing contoh akan didapat sensitivitas tanah. Nilai sensitivitas ini mengukur bagaimana perilaku tanah jika terjadi gangguan yang diberikan dari luar.

METODE PENELITIAN

Tahapan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif (*quantitative research*) dengan metode eksperimental, dimana pengambilan data-data dilakukan dari hasil pengujian laboratorium. Berikut tahapan penelitian dalam Gambar berikut:



Gambar 2. Flowchart Tahapan Penelitian

Metode Pengumpulan Data

- 1) Metode Observasi
Observasi atau pengamatan dilakukan di lapangan, untuk keperluan pengecekan dan pengambilan kebutuhan material di lapangan.
- 2) Eksperimental
Melakukan kegiatan pengujian/ percobaan untuk memperoleh data-data yang dibutuhkan untuk dianalisis kemudian.
- 3) Studi Pustaka
Pengumpulan data dengan cara mempelajari buku–buku, artikel, jurnal, berita, dan lain-lain yang dianggap relevan dan dapat mendukung dalam proses penelitian.

Pengolahan Data

Data-data yang diperoleh dari hasil penelitian di laboratorium diolah menurut klasifikasi data dengan menggunakan persamaan-persamaan dan rumus-rumus yang berlaku. Hasil dari pengolahan data tersebut diuraikan dalam bentuk tabel dan grafik.

Analisis Data

Dari rangkaian pengujian-pengujian yang dilaksanakan di laboratorium, maka:

- a) Dari pengujian kadar air sampel tanah, diperoleh nilai kadar air tanah dalam persentase.
- b) Dari pengujian berat jenis sampel tanah, diperoleh berat jenis tanah.
- c) Dari pengujian batas-batas Atterberg, diperoleh nilai batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastis limit*), dan indeks plastisitas (*plastis indeks*) yang digunakan untuk mengklasifikasikan tanah dengan Sistem Klasifikasi *Unified*.
- d) Dari pengujian analisis saringan (*sieve analysis*), diperoleh persentase pembagian ukuran butiran tanah, yang akan digunakan untuk mengklasifikasikan tanah dengan Sistem Klasifikasi *Unified*.
- e) Dari Pengujian Pemadatan Tanah Standar, diperoleh harga *Optimum Moisture Content* (OMC).
- f) Dari pengujian Geser Langsung di laboratorium, diperoleh hubungan sudut geser dalam (ϕ) dan nilai kohesi (*c*) dari suatu jenis tanah.
- g) Dari pengujian Kuat Tekan Bebas, diperoleh nilai kuat tekan (*qu*)

Pelaksanaan Pengujian

Pelaksanaan pengujian yang dilakukan yaitu pengujian sifat fisik, pengujian kuat tekan bebas dan pengujian kuat geser langsung pada tanah lempung. Tahap pengujian tersebut dilakukan di laboratorium Mekanika Tanah, Universitas Lamappapoleonro. Penelitian dilakukan tiga kali percobaan pada masing-masing pengujian. Hal ini dilakukan untuk mengetahui keakuratan data

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Fisik

Pengujian sifat fisik tanah adalah sebagai pertimbangan untuk merencanakan dan melaksanakan pembangunan suatu konstruksi. Sampel tanah yang disiapkan adalah tanah lempung dimana tanah lempung pada kondisi tidak terganggu (*undisturb*) dan sampel tanah terganggu (*disturb*), untuk sampel tanah tidak terganggu masih di dalam tabung sedangkan untuk sampel tanah terganggu dimasukkan didalam karung kemudian bongkahan tanah yang di dalam karung

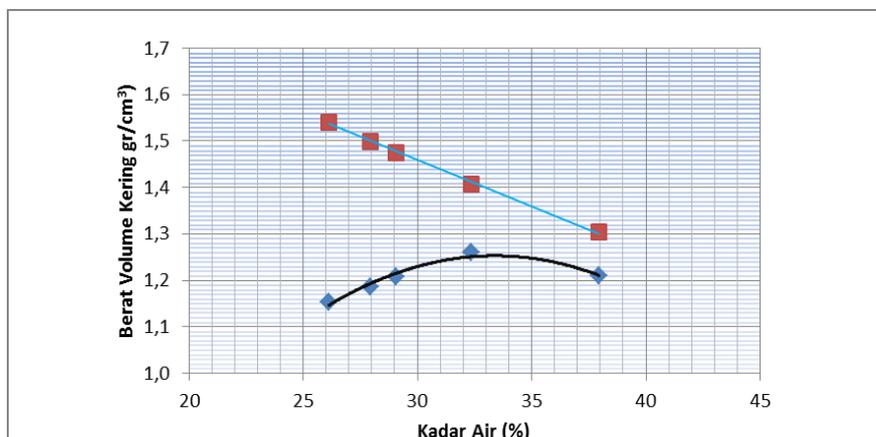
dikeringkan, setelah sampel tanah terganggu dikeringkan kemudian tanah diayak dengan saringan no. 40. Setelah semua sampel tanah siap kemudian mulai melakukan pengujian sifat fisik tanah. Pengujian sifat fisik tanah ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Lamappapoleonro. Dari hasil pengujian sifat fisik tanah didapatkan nilai-nilai berikut:

Tabel 1. Hasil Uji Fisik

No	Pengujian	Hasil Uji	Satuan
Sampel Tanah tidak Terganggu			
1	Kadar Air	47,01	%
2	Berat Volume	1,79	gr/cm ³
Sampel Tanah Terganggu			
3	Kadar Air	32	%
4	Berat Jenis	2,584	
5	Analisis Saringan		
a.	Lolos Saringan no. 10	98,74	%
b.	Lolos Saringan no. 40	93,80	%
c.	Lolos Saringan no. 200	85,87	%
6	Batas-batas Atterberg		
a.	Batas Cair (<i>Liquid Limit</i>)	90,92	%
b.	Batas Plastis (<i>Plastic Limit</i>)	53,78	%
c.	Indeks Plastisitas (<i>Plasticity Index</i>)	37,1385	%

Hasil Pengujian Pemadatan Tanah

Dilakukan pengujian pemadatan tanah ini bertujuan untuk meningkatkan kekuatan tanah dengan cara dipadatkan sehingga rongga-rongga udara pada sampel tanah asli dapat berkurang yang mengakibatkan kepadatan menjadi meningkat. Hal tersebut dilakukan dengan cara memberikan beban yang ditumbuk secara berulang sehingga didapat lah nilai kadar air optimum dan nilai berat isi kering maksimum. Pengujian pemadatan tanah dilakukan dengan menggunakan metode pemadatan standar (*standart proctor*) karena penelitian ini digunakan untuk mengetahui perilaku dari tanah lempung yang nantinya dapat digunakan sebagai referensi atau acuan penelitian berikutnya. Adapun hasil data pengujian pemadatan tanah yang dilakukan di laboratorium dengan metode pemadatan standar (*standart proctor*) didapat nilai kadar air optimum (wopt) untuk tanah asli dapat dilihat di gambar berikut.



Gambar 3. Grafik Kadar Air Optimum Pada Tanah Asli

Dari gambar dapat dilihat nilai kadar air optimum (w 33% dengan berat volume kering $1,23 \text{ gr/cm}^3 \text{ opt}$) pada tanah asli adalah. Setelah didapat nilai Optimum pada tanah asli, maka dapat membuat sampel tanah untuk pengujian kuat tekan dan kuat geser langsung dengan sampel tanah dalam kondisi kering optimum dan basah optimum. Pada kondisi kering optimum dilakukan pengurangan 6% dari kadar air optimum yaitu 27% dengan berat volume kering $1,16 \text{ gr/cm}^3$ pada kondisi basah optimum dilakukan penambahan 6% dari kadar air optimum yaitu 39% dengan berat volume kering $1,19 \text{ gr/cm}^3$

Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas

Percobaan ini dilakukan untuk mengukur daya dukung vertikal tanah pada posisi terbuka (tidak ada tekanan horisontal) yang dilakukan dengan Perendaman selama 4 hari. Berikut hasil dari perhitungan nilai kuat tekan (q_u) pada sampel tanah dalam kondisi basah optimum, kering optimum dan sampel tanah dalam kondisi optimum. Pada sampel basah optimum menghasilkan kadar air untuk sampel A1, A2 dan A3 adalah 42,25% ; 43,76% dan 42,60%

Tabel 2. Hasil Perhitungan nilai Kuat Tekan (q_u) Pada Sampel Tanah dalam Kondisi Basah Optimum

Sampel Tanah Kondisi Optimum		
Sampel A1	Sampel A2	Sampel A3
42,25%	43,76%	42,60%
0,04809 kg/cm^2	0,09210 kg/cm^2	0,08810 kg/cm^2

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan hasil pengujian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Tanah lempung yang digunakan sebagai sampel penelitian berasal dari Daerah Rawa Sragi, Desa Belimbing Sari Kecamatan Jabung, Kabupaten Lampung Timur termasuk dalam kategori tanah lempung lunak plastisitas tinggi dengan nilai *Plasticity Index* yang tinggi. Berdasarkan klasifikasi tanah menurut USCS (*Unified Soil Classification System*) tanah ini termasuk ke dalam kelompok CH yaitu tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung “gemuk” (*fat clays*)
2. Dari hasil pengujian pemadatan standar didapat nilai Kadar Air Optimum untuk Sampel tanah asli sebesar 33%
3. Dari hasil penelitian yang dilakukan di laboratorium didapat nilai kuat tekan bebas (q_u), pada kondisi optimum $0,10345 \text{ kg/cm}^2$, basah optimum $0,08809 \text{ kg/cm}^2$ dan kondisi kering optimum $0,09446 \text{ kg/cm}^2$
4. Dari hasil pengujian kuat tekan bebas tanah dan kuat geser langsung tanah dapat dilihat hasilnya, pada saat tanah lempung dalam kondisi basah optimum dan kering optimum nilai kuat tekan bebas, kuat geser langsung dan nilai kohesi memiliki nilai yang paling kecil, sedangkan pada kondisi tanah optimum memiliki nilai tertinggi. Hal ini dikarenakan pada kondisi optimum sampel tanah yang diuji dalam keadaan stabil.

SARAN

1. Pada penelitian selanjutnya diusahakan untuk melakukan pengujian dengan menggunakan campuran dengan kondisi kering optimum, basah optimum dan optimum sehingga dapat membandingkan daya dukung tanah dengan campuran dan tanpa campuran.

2. Sampel tanah yang digunakan untuk penelitian selanjutnya seharusnya menggunakan jenis tanah yang berbeda atau dari tempat yang berbeda karena untuk melihat kuat tekan bebas dan nilai kuat geser langsung pada jenis tanah yang berbeda.

UCAPAN TERIMA KASIH

dengan terlaksananya penelitian kami mengucapkan banyak terima kasih kepada Rektor Universitas Lamappapoleonro yang telah menerima penelitian ini dan memberikan dana penelitian anggaran tahun 2023.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim. 2017. *Standard Test Method for Indirect Tensile (IDT) Strength of Asphalt Mixtures*, ASTM D6931-17. United States: ASTM International

Ardana, M.D. 2008. *Kolerasi Kekuatan Geser Undrained Tanah Lempung Dari Uji*

Guo, Q., Li, L., Cheng, Y., Jiao, Y., & Xu, C. 2015. *Laboratory Evaluation On Performance of Diatomite and Glass Fiber Compound Modified Asphalt Mixture. Materials & Design (1980-2015)*, 66, 51-59

Unconfined Compression Dan Uji Laboratory Vane Shear (Study Pada Remolded Clay). Universitas Udayana. Denpasar.

Sholeh, Moch. 2010. *Pengaruh Proses Pembasahan Dan Pengeringan Pada Tanah Ekspansif Yang Distabilisasi Dengan Kapur Dan Eco Cure2*. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya

Surta Ria Nurliana Panjaitan. 2000. *Pengaruh Pembasahan Dan Pengeringan Terhadap Kuat Tekan Bebas Tanah Lempung Yang Distabilisasi Dengan Abu Cangkang Kelapa Sawit*. Institut Teknologi Medan. Medan

Tommy dan Rano Adex. 2000 *Pengaruh Siklus Pengeringan-Pembasahan Berulang Terhadap Properti Dinamik Tanah Lempung Ekspansif Tidak Jenuh Yang Distabilisasi Dengan Fly Ash Menggunakan Alat Uji Elemen Bender*