

ANALISIS GEOTEKNIK TANAH LEMPUNG TERHADAP PENAMBAHAN SERBUK CANGKANG TELUR DAN GIPSUM

Khairunnisa^{1*}, Ellida Novita Lydia¹, dan Eka Mutia¹

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Samudra, Jl. Prof. Dr. Syarif Thayeb, Meurandeh, Langsa Lama, Langsa

*khairunnisagunarto7@gmail.com

Masuk: 19-07-2024, revisi: 05-02-2025, diterima untuk diterbitkan: 29-03-2025

ABSTRACT

Clay soil is characterized by fine grains, low bearing capacity, and high shrinkage levels, making it unsuitable for construction work. Therefore, soil improvement is necessary to enhance the CBR (California Bearing Ratio) value and increase its bearing capacity. This research aims to identify the optimal percentage and impact of adding eggshell powder and gypsum on the CBR value of clay soil. The study employs an experimental method, mixing varying percentages of eggshell powder (2%, 4%, 6%, 8%) with a constant 10% gypsum. Tests on soil's physical and mechanical properties, such as water content, specific gravity, Atterberg limits, sieve analysis, compaction, and CBR, were conducted. The findings show that the optimal CBR value was achieved with a mix of 84% clay, 6% eggshell powder, and 10% gypsum, resulting in a CBR penetration of 2.223% at 0.1" and 2.023% at 0.2" with 65 blows. The liquid limit was 31.00%, plastic limit 19.97%, plasticity index 11.32%, specific gravity 2.66, and optimum water content 19.00% with a dry density of 1.60%, leading to a 2,223% increase in CBR value. While this indicates that waste can enhance the bearing capacity of clay soil, it does not meet the minimum required CBR value of >6% for use as landfill material. Keywords: Clay soil; soil stabilization; CBR.

Key words: Clay soil; soil stabilization; CBR

ABSTRAK

Tanah lempung ialah tanah dengan butiran halus yang memiliki karakteristik daya dukung tanah rendah dan tingkat susut yang tinggi, sehingga dianggap material tidak baik pada pekerjaan konstruksi. Maka dari itu perlu dilakukan perbaikan tanah untuk meningkatkan nilai CBR daya dukung tanah. Tujuan penelitian ini untuk menentukan nilai persentase optimum dan pengaruh penambahan serbuk cangkang telur dan gipsum terhadap nilai CBR daya dukung tanah lempung. Metode pengujian menggunakan metode eksperimen yaitu dengan menggunakan campuran serbuk cangkang telur dan gipsum. Persentase yang digunakan sebesar 2%, 4%, 6%, 8% pada limbah serbuk cangkang telur dan persentase tetap sebesar 10% pada limbah gipsum dengan melakukan uji sifat fisik dan mekanik tanah seperti uji kadar air, berat jenis, batas atterberg, analisa saringan, pemadatan tanah dan CBR (*Callifornia Bearing Ratio*). Berdasarkan hasil penelitian nilai optimum CBR terjadi pada variasi 4 dengan campuran 84% tanah lempung + 6% cangkang telur + 10% gipsum yaitu 2,223% penetrasi 0,1" dan penetrasi 0,2" sebesar 2,023% di 65 tumbukan dengan hasil batas cair senilai 31,00%, batas plastis 19,97%, indeks plastis 11,32%, berat jenis 2,66, dan kadar air optimum 19,00% dengan isi kering 1,60% dengan persentase kenaikan nilai CBR sebesar 2,223%. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan limbah tersebut dapat meningkatkan nilai daya dukung tanah lempung, tetapi jika dijadikan sebagai bahan campuran timbunan tidak memenuhi syarat dari ketentuan nilai minimum CBR >6%.

Kata kunci: Tanah lempung; stabilisasi tanah; CBR

1. PENDAHULUAN

Latar belakang

Karena pengaruh besar tanah terhadap konstruksi, tanah sangat penting untuk dipertimbangkan dalam perencanaan bangunan (Sosrodarsono & Nakazawa, 2000). Tanah lempung merupakan tanah yang buruk untuk pekerjaan konstruksi karena mempunyai daya dukung rendah serta kembang susut signifikan di antara banyak jenis tanah. Tanah lempung ialah tanah yang memiliki butiran lebih kecil 0,002 mm, terdiri dari minirel dapat mengembang, mempunyai kapasitas pertukaran ion tinggi, dan potensi pengembangan yang besar jika kadar air meningkat (Hardiyatmo, 2002). Kekuatan daya dukung tanah dasar dan nilai CBR dapat mempengaruhi perencanaan konstruksi dalam konstruksi sipil, karena itu stabilisasi tanah dapat dilakukan sebelum tanah digunakan. Terdapat dua jenis perbaikan tanah, yaitu perbaikan mekanis dan kimiawi. Salah satu perbaikan tanah secara kimiawi dengan memanfaatkan bahan campuran serbuk cangkang telur dan gipsum.

Berdasarkan penelitian Butcher & Miles (1990), Cangkang telur adalah lapisan keras yang melindungi isi telur dari kerusakan. Kulit telur kering mempunyai sekitar 97% kalsium karbonat, 3% fosfor, dan 3% terdiri dari magnesium, natrium, kalium, seng, mangan, besi, dan tembaga yang berfungsi meningkatkan unsur tanah dan memperbaiki kualitas tanah (Prayoga et al., 2021). Kalsium karbonat cangkang telur memiliki sifat yang bisa menyerap dan mempertahankan air, yang membuat permukaan tanah lebih stabil. Selain itu pemanfaatan limbah cangkang telur yang biasanya hanya menjadi sampah dapat memberikan manfaat tambahan dalam mengurangi limbah dan meningkatkan nilai guna dari material tersebut.

Gypsum merupakan mineral yang memiliki kandungan kalsium yang mendominasi mineralnya. Dikenal dengan $\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$, gypsum adalah senyawa kimia yang mengandung dua molekul habur. Ini adalah salah satu bahan yang termasuk dalam mineral sulfat (SO_4) yang banyak ditemukan dan memiliki nilai ekonomis yang membuatnya mudah diakses dan digunakan secara luas (Untu et al., 2020). Kalsium sulfat hidrat pada gypsum memiliki sifat kurang plastis, kuat, mudah mengeras, dan dapat menghilangkan kadar air pada tanah lempung. Gypsum dicampur dengan tanah lempung dapat membantu meningkatkan kestabilan tanah organik dengan mengikat bahan organik pada tanah lempung dan meningkatkan kecepatan rembesan udara karena lebih banyak menyerap udara daripada natrium di dalam tanah yang dapat mengurangi keretakan tanah. Penggunaan kedua bahan tambahan ini secara bersamaan diharapkan dapat meningkatkan sifat tanah lempung, sehingga memperbaiki daya dukung tanah (CBR) dan stabilitasnya untuk keperluan konstruksi.

Desa Buket Meutuah berada di Kecamatan Langsa Timur, Kota Langsa dengan titik koordinat $4^{\circ}25'9''\text{N}$ - $98^{\circ}1'41''\text{E}$. Desa Buket Meutuah merupakan desa yang memiliki jenis tanah lempung berwarna kemerahan, bertekstur keras, sedangkan ketika terkena air tanah menjadi licin, mudah dibentuk, dan plastis (Nandawan, 2020). Kondisi tanah lempung di desa Buket Meutuah mengakibatkan terjadinya kerusakan jalan. Oleh karena itu dilakukan perbaikan tanah agar dapat mengurangi potensi terjadinya kerusakan jalan dan dapat menstabilisasikan tanah di Desa Buket Meutuah. Untuk meningkatkan stabilitas tanah lempung di desa tersebut, dilakukan penelitian menggunakan limbah serbuk cangkang telur dan gypsum sebagai bahan stabilisasi. Berdasarkan kandungan cangkang telur dan gypsum, dapat dilakukan pengujian untuk menstabilisasikan tanah lempung di Desa Buket Meutuah. Kurangnya pemanfaatan gypsum dan limbah serbuk cangkang telur diharapkan dapat meningkatkan nilai daya dukung tanah lempung.

Rumusan masalah

Rumusan masalah penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan limbah serbuk cangkang telur dan gypsum terhadap nilai CBR, dan
2. Berapakah nilai optimum persentase penambahan tanah lempung dengan limbah serbuk cangkang telur dan gypsum dalam meningkatkan stabilitas tanah lempung di Desa Buket Meutuah Kecamatan Langsa Timur.

Batasan masalah

Penelitian ini dibatasi pada:

1. Penelitian di laksanakan di laboratorium Teknik Sipil Universitas Samudra dengan menggunakan sampel tanah dari Dusun Perikanan Desa Bukit Meutuah Kecamatan Langsa Timur Kota Langsa.
2. Bahan-bahan yang digunakan adalah limbah cangkang telur pada persentase 2%, 4%, 6%, 8% dan gypsum dengan campuran persentase tetap 10% dari berat tanah.
3. Data yang digunakan berupa survei lapangan dan pengujian laboratorium yaitu pengujian kadar air, berat jenis, batas atterberg, pemadatan tanah (*Proctor Standard*), dan *California Bearing Ratio* (CBR).
4. Proses perendaman pengujian CBR selama 4 hari.

Tujuan penelitian

Tujuan penelitian adalah:

1. mengetahui pengaruh penambahan limbah serbuk cangkang telur dan gypsum terhadap nilai CBR, dan
2. menentukan nilai optimum persentase penambahan limbah serbuk cangkang telur dan gypsum dalam meningkatkan stabilitas tanah lempung.

Manfaat penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. diharapkan dapat meningkatkan stabilitas tanah dan kinerja konstruksi sipil dengan mengurangi limbah cangkang telur dan gypsum, dan
2. memberikan wawasan tentang pengaruh yang ditimbulkan dari penambahan limbah cangkang telur dan gypsum pada tanah lempung.

Tanah lempung

Tanah lempung merupakan agregat butiran ukuran mikroskopik dan submikroskopik bermula dari pembusukan kimiawi yang membentuk batuan dan sifatnya plastis (Nasrani et al., 2020). Tanah lempung terbentuk dari proses pelapukan batuan bersilika oleh asam karbonat dan berasal dari aktivitas panas bumi. Tanah lempung mengandung silika ataupun aluminium yang halus. Sifat khas tanah lempung adalah tanah lempung akan mengeras jika dalam keadaan kering, dan ketika basah bersifat lunak, kohesif, kembang susut, akibatnya mengalami perubahan volume yang besar.

Gypsum

Gypsum adalah endapan garam mengendap pada proses penguapan air laut. Gypsum merupakan salah satu contoh mineral yang kandungan kalsiumnya merupakan mayoritas mineral. Salah satu jenis gypsum yaitu kalsium sulfat terhidrasi ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Gypsum lebih baik dari perekat organik karena tidak mencemari udara, murah, tahan api, tahan terhadap bahan kimia, dan tahan terhadap kerusakan biologis (Nasrani et al., 2020). Gypsum juga dapat mengurangi keretakan pada tanah lempung, meningkatkan stabilitas tanah, dan dapat menyerap air sehingga mengurangi kadar air pada tanah lempung. Maka dari itu gypsum menjadi salah satu bahan campuran yang dapat memperbaiki nilai CBR daya dukung tanah lempung.

Cangkang telur

Cangkang telur adalah lapisan terluar telur yang melindungi seluruh telur dari kerusakan. Cangkang telur biasanya hanya dijadikan sampah bagi masyarakat sekitar, sehingga cangkang telur dapat memberikan salah satu dampak negatif. Berdasarkan penelitian Butcher dan Miles (1990), cangkang telur yang kering terdiri dari 97% kalsium karbonat yang memiliki sifat dapat menyerap dan mempertahankan air. Ini membantu membuat permukaan tanah lebih stabil. Selain itu, rata-rata kulit telur mengandung 3% fosfor dan 3% magnesium, natrium, kalium, seng, mangan, besi, dan tembaga (Fitriani et al., 2017). Banyaknya kandungan nutrisi pada cangkang telur dapat berfungsi untuk memperbaiki unsur tanah dan meningkatkan kualitas tanah sehingga bermanfaat untuk kontruksi dilapangan.

Sistem klasifikasi tanah AASHTO

Sistem ini bertujuan untuk menetapkan jenis tanah. Menurut sistem ini, tanah terbagi menjadi delapan kelompok, yang terdiri dari subkelompok A-1 hingga A-8. Indeks kelompok yang dibuat menggunakan persamaan empiris untuk menilai setiap kelompok. Analisis saringan dan batas Atterberg adalah tes yang dilakukan. Penentuan kelompok pada sistem ini, terdapat dalam Tabel 1.

Kadar air

Kadar air adalah persentase perbandingan antar massa kering tanah dan berat air dinyatakan satuan berat didasarkan pada berat basah atau berat kering. Uji ini dilakukan untuk mengetahui nilai kadar air pada jenis tanah asli yang akan diuji. Penentuan kadar air dapat dihitung dengan Persamaan 1.

$$\text{Kadar air (W)} = \frac{W_w}{W_s} = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\% \quad (1)$$

dengan W = kadar air (%), W_1 = berat cawan kosong (gram), W_2 = berat cawan + tanah basah (gram), W_3 = berat cawan + tanah kering (gram), $W_2 - W_3$ = berat air (W_w), $W_3 - W_1$ = berat tanah kering (W_s).

Berat jenis (gs)

Berat jenis ialah perbandingan nilai massa partikel tanah terhadap kadar air dengan suhu tertentu ataupun 20°C (Standar Nasional Indonesia SNI 1964-2008). Berat jenis dihitung dengan Persamaan 2.

$$G_s = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \quad (2)$$

diman G_s = berat jenis tanah, W_1 = berat piknometer (gram), W_2 = berat piknometer dan tanah kering (gram), W_3 = berat piknometer, air dan tanah (gram), W_4 = berat piknometer dan air (gram).

Nilai berat jenis biasanya 2,65-2,75. Untuk tanah non-kohesif nilai $G_s = 2,67$, sedangkan tanah liat non-organik adalah 2,68-2,72. Rincian nilai berat jenis tanah terdapat di Tabel 2.

Tabel 1. Sistem klasifikasi tanah AASHTO (Hardiyatmo, 2002)

Klasifikasi Umum	Tanah Berbutir (35% atau kurang dari seluruh tanah lolos saringan no.200)							Tanah Lanau + Lempung (lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos saringan No.200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Klasifikasi Kelompok	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Analisis Saringan (% Lolos)												
No.10	50 Maks	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
No.40	30 Maks	50 Maks	50 Min	-	-	-	-	-	-	-	-	
No. 200	15 Maks	25 Maks	10 Maks	35 Maks	35 Maks	35 Maks	35 Maks	36 Min	36 Min	36 Min	36 Min	
Sifat Fraksi Lolos Saringan No.40												
Batas Cair (LL)	-	-	-	Maks 40	Min 41	Maks 40	Min 41	Maks 40	Min 41	Maks 40	Min 41	
Indek Plastis (PI)	Maks 6		NP	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11	Maks 10	Min 10	Min 11	Min 11	
Tipe Material Yang Paling Dominan	Pecahan Batu, Kerikil Dan Pasir		Pasir Halus	Kerikil Dan Pasir Yang Berlanau Atau Berlempung				Tanah Berlanau		Tanah Berlempung		
Penilaian Sebagai Tanah Dasar	Sangat Baik Sampai Baik							Sedang Sampai Buruk				

Tabel 2. Berat jenis tanah (Hardiyatmo, 2002)

Macam tanah	Berat jenis (G _s)
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau anorganik	2,62 – 2,68
Lempung organik	2,58 – 2,65
Lempung anorganik	2,68- 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25- 1,80

Analisa saringan

Bertujuan untuk mengetahui sebaran gradasi dengan menggunakan ukuran gradasinya lebih rendah dari 0,075 mm ataupun tertahan saringan no. 200. Analisis ini memakai saringan ukuran berbeda dan ditentukan berat tertahan setiap saringan dan melewati saringan nomor 200, berguna untuk klasifikasi tanah. Ada dua metode untuk mengukur distribusi partikel tanah yaitu metode basah dan metode kering (Budi, 2011).

Batas Atterberg

Batas Atterberg ialah parameter utama untuk mengidentifikasi sifat tanah lempung. Uji ini meliputi kadar air yang menentukan batas plastisitas, indeks plastisitas, dan batas cair tanah, serta perubahan tanah berdasarkan hasil penelitian. Nilai-nilai ini dapat dikaitkan dengan kurva tegangan tanah masing-masing.

1. Batas cair (*liquid limit*)

Tujuan dari uji ini agar mengetahui tinggi muka air tanah selama peralihan antar kondisi cair dan plastis tanah. Hal ini menunjukkan tingkat air terendah yang dapat dialirkan oleh tanah karena beratnya dan ditentukan dari uji *Casagrande* (1948). Nilai batas cair ditentukan menggunakan Persamaan 3

$$LL = w \left(\frac{N}{25}\right)^{0,121} \quad (3)$$

dengan LL = Batas cair terkoreksi tertutupnya alur (%), W = Kadar air (%), N = Jumlah Ketukan hingga tertutupnya alur.

2. Batas plastis (*plastic limit*)

Batas plastisitas didefinisikan sebagai kadar air suatu titik antar daerah plastis dan semi plastis dimana tanah berdiameter silinder 3,2 mm mulai retak pada saat digulung. Batas plastis dapat ditentukan dengan Persamaan 4.

$$PL = \frac{w_1 - w_2}{w_2 - w_3} \times 100\% \quad (4)$$

dengan pl = Batas plastis (%), w_1 = Berat cawan (gram), w_2 = Berat cawan dan tanah basah (gram), w_3 = Berat cawan dan tanah kering (gram).

3. Indeks plastisitas (*plasticity index*)

Indeks plastisitas ialah selisih nilai hasil batas cair dan batas plastis. Nilai indeks plastisitas tanah dapat dihitung dengan Persamaan 5.

$$PI = LL - PL \quad (5)$$

dengan IP = Indeks plastisitas (%), LL= Batas cair (%), PL = Batas plastis (%)

Indeks plastisitas adalah kisaran kadar air dengan tanah bersifat plastis. Oleh sebab itu, indeks plastisitas mencerminkan plastisitas tanah. Jika nilai PI tinggi memiliki lebih banyak partikel liat, sedangkan tanah dengan nilai PI lebih rendah cepat kering, dan sedikit mengurangi kadar air. Rincian indeks plastisitas dapat dilihat di Tabel 3.

Tabel 3. Nilai indeks plastisitas dan macam tanah (Hardiyatmo, 2002)

No	PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
1	0	Non Plastis	Pasir	Non Kohesif
2	< 7	Plastisitas Rendah	Lanau	Kohesif Sebagian
3	7 – 17	Plastisitas sedang	Lempug berlanau	Kohesif
4	>17	Plastisitas Tinggi	Lempung	Kohesif

Pemadatan tanah

Bertujuan untuk mengetahui perbandingan berat volum kering tanah terhadap kadar air untuk mencapai kepadatan yang optimum. Persamaan 6 menunjukkan hubungan antara kadar air (w), berat volumetrik kering (γ_d), dan berat volumetrik basah (γ_b).

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1 + W} \quad (6)$$

dengan γ_d = Berat volume kering tanah (gram), γ_b = Berat volume basah tanah (gram), W = Kadar air (%).

California bearing ratio (CBR)

Perbedaan beban penetrasi dengan beban standar di kedalaman dan kecepatan penetrasi sama disebut *California Bearing Ratio (CBR)*. Tujuan pengujian CBR untuk mengukur kekuatan permukaan pada lapisan tanah yang sering digunakan untuk tanah dasar (tanggul) atau tanah lapisan dasar dalam konstruksi jalan. Uji CBR di laboratorium ada dua jenis yaitu uji kering (tanpa perendaman) dan uji basah (perendaman). Nilai CBR dihitung dengan Persamaan 7.

$$\text{CBR } 0,1 = \frac{P_1}{PS_1} \times 100$$

$$\text{CBR } 0,2 = \frac{P_2}{PS_2} \times 100$$
(7)

dimana P_1 = Nilai beban terkoreksi pada penetrasi 0,1” (kN), P_2 = Nilai beban terkoreksi pada penetrasi 0,2” (kN), PS_1 = Beban standar pada penetrasi 0,1” (13 kN), PS_2 = Beban standar pada penetrasi 0,2” (20kN).

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian menggunakan metode eksperimen dengan memakai nilai persentase penelitian terdahulu. Persentase penelitian terdahulu adalah upaya untuk menemukan perbandingan persentase yang digunakan pada penelitian sebelumnya, menjadi inspirasi baru untuk penelitian yang akan datang, dan menunjukkan orisinalitas penelitian. Berikut adalah Tabel 4 untuk persentase penelitian sebelumnya.

Tabel 4. Persentase penggunaan serbuk cangkang telur dan gipsium pada penelitian terdahulu

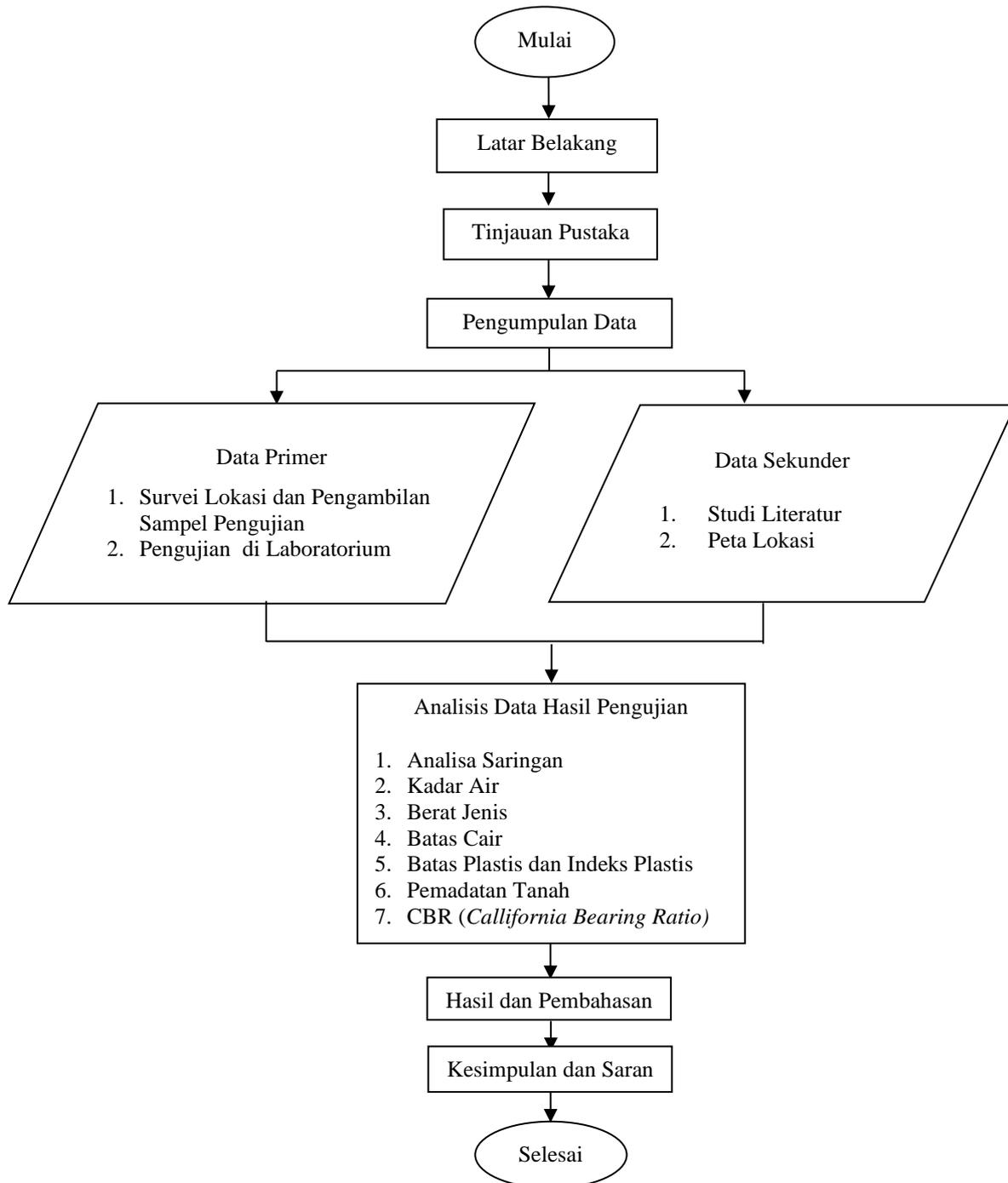
No	Judul	Persentase Yang Digunakan				
1	Analisis Pengaruh Penambahan Limbah Gypsum Terhadap Nilai CBR Tanah Dasar Di Ruas Jalan BK 1 Desa Tanjung Bulan Kabupaten Oku Timur. Jumlah Kenaikan Persentase	5%	10%	15%	20%	
2	Analisis Geoteknik Tanah Lempung Terhadap Penambahan Limbah Gypsum. Jumlah Kenaikan Persentase	3,06%	5,27%	7,26%	6,04%	
3	Analisis Geoteknik Tanah Lempung Terhadap Penambahan Limbah Gypsum. Jumlah Kenaikan Persentase	5%	10%	15%	20%	
3	Stabilisasi Tanah Lempung Lunak Dengan Memanfaatkan Limbah Gypsum Dan Pengaruhnya Terhadap Nilai <i>California Bearing Ratio (CBR)</i> Jumlah Kenaikan Persentase	1,62%	3,05%	2,38%	1,91%	
4	Stabilisasi Tanah Lempung Lunak Dengan Memanfaatkan Limbah Gypsum Dan Pengaruhnya Terhadap Nilai <i>California Bearing Ratio (CBR)</i> Jumlah Kenaikan Persentase	0%	3%	6%	10%	
4	Penambahan Serbuk Cangkang Telur Sebagai Bahan Stabilisasi Pada Tanah Lempung Jumlah Kenaikan Persentase	45,56%	50,89%	44,7%	57,87%	
5	Variasi Penambahan Serbuk Cangkang Telur Sebagai Alternatif Bahan Satabilisasi Terhadap Nilai <i>California Bearing Ratio (CBR)</i> Jumlah Kenaikan Persentase	0%	3%	6%	9%	
5	Variasi Penambahan Serbuk Cangkang Telur Sebagai Alternatif Bahan Satabilisasi Terhadap Nilai <i>California Bearing Ratio (CBR)</i> Jumlah Kenaikan Persentase	1,36%	1,50%	1,48%	1,44%	
6	Pemanfaatan Serbuk Cangkang Telur Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Dan Pengaruhnya Terhadap Nilai <i>California Bearing Ratio (CBR)</i> Jumlah Kenaikan Persentase	0%	5%	10%	15%	
6	Pemanfaatan Serbuk Cangkang Telur Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Dan Pengaruhnya Terhadap Nilai <i>California Bearing Ratio (CBR)</i> Jumlah Kenaikan Persentase	1,40%	5,43%	7,26%	8,07%	
	Jumlah Kenaikan Persentase	0%	4%	8%	12%	14%
	Jumlah Kenaikan Persentase	5,10%	6,50%	8,50%	10,4 %	9,50%

Dari persentase penggunaan serbuk cangkang telur dan gipsium terdahulu, maka persentase yang akan digunakan yaitu **2%, 4%, 6%, dan 8%** pada cangkang telur karena nilai tertinggi persentase dari penelitian terdahulu berkisaran antara **3%** sampai dengan **12%**. Sementara pada persentase gipsium akan digunakan sebesar **10%** karena nilai tertinggi persentase dari penelitian terdahulu berkisaran antara **10%** sampai dengan **15%**.

Kemudian setelah dilakukan penentuan persentase, dilanjutkan pengambilan pada sampel tanah yang berasal dari desa Buket Meutuah, Kec. Langsa Timur Kota Langsa. Sampel tanah yang diambil dengan menggunakan cangkul, ditempatkan ke dalam plastik dan dimasukkan ke dalam karung. Sampel tanah dikeringkan dengan menggunakan oven atau bisa juga dikeringkan secara langsung sebelum dilakukan pengujian.

Untuk sampel cangkang telur didapatkan dari limbah pabrik roti yang berada di sekitaran Kota Langsa. Sebelum cangkang telur digunakan dilakukan pembersihan terlebih dahulu dengan cara mencuci cangkang telur, menjemur dan dilanjutkan dengan menghaluskan cangkang telur sampai lolos saringan 200. Sementara itu untuk gipsium didapatkan dari sisa-sisa material yang berada di perumahan Kota Langsa. Sebelum gipsium digunakan gipsium dihaluskan terlebih dahulu dengan menggunakan penumbuk sampai benar-benar halus sehingga dapat lolos saringan 200. Setelah bahan-bahan uji sudah terkumpul dilanjutkan dengan pengujian sesuai dengan tahapan-tahapan pengujian. Selanjutnya dilakukan analisis data dengan menggunakan data hasil penelitian. Berdasarkan analisis data tersebut dapat ditarik kesimpulan mengenai nilai optimum persentase dan pengaruhnya.

Diagram alir penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian tanah lempung asli maupun tanah campuran serbuk cangkang telur dan gipsum dapat dilihat pada sub-sub bab berikut.

Kadar air tanah

Pengujian kadar air hanya dilakukan pada tanah lempung asli untuk mengetahui persentase kandungan air dalam tanah sebelum dilakukan stabilisasi. Hasil pengujian di dalam Tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengujian kadar air tanah asli

Uraian	Satuan	Sampel	
No Cawan		1	2
Berat Cawan	gram	11,49	11,52
Berat Cawan + Tanah Basah	gram	22,01	22,2
Berat Cawan + Tanah Kering	gram	19,66	19,25
Berat Tanah Kering	gram	8,17	7,73
Berat air	gram	2,35	2,95
Kadar Air	%	28,76	38,16
Rata-rata kadar air	%	33,46	

Hasil pengujian didapatkan nilai 33,46%.

Analisa saringan

Pengujian ini dilaksanakan dengan tujuan menentukan gradasi agregat tanah asli. Hasil pengujian terdapat di dalam Tabel 6.

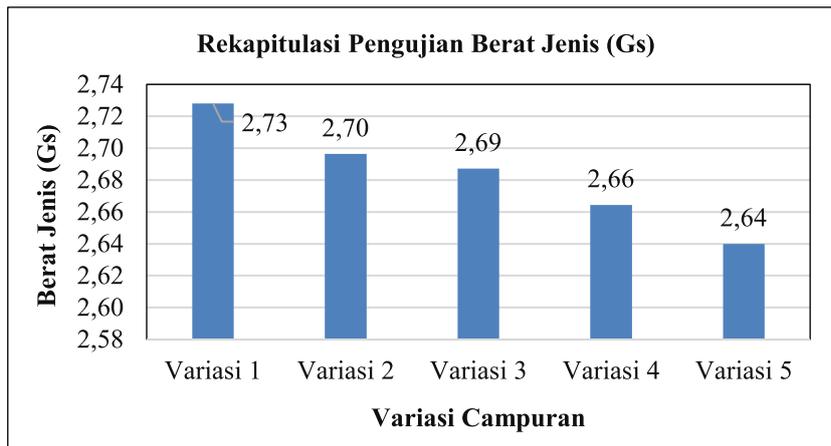
Tabel 6. Hasil pengujian analisa saringan

Saringan		Berat Tertahan (gram)	Berat Kumulatif Tertahan (gram)	Persentase Kumulatif (%)	
inci	mm			Tertahan	Lolos
no. 4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
no. 10	2	59,90	59,90	11,98	88,02
no. 20	0,85	36,30	96,20	7,26	80,76
no. 50	0,3	64,42	160,62	12,88	67,88
no. 80	0,18	43,94	204,56	8,79	59,09
no. 200	0,075	91,31	295,87	18,26	40,83
PAN		204,13	500,00	40,83	0,00
Jumlah Total		500		100	

Hasil dari pengujian tanah lolos saringan nomor 200 yaitu 40,83%, dapat dilihat pada Tabel 1 bahwasanya tanah asli yang lolos saringan nomor 200 > 36% maka termasuk kedalam agregat tanah dengan jenis material tanah lempung bergradasi buruk dikarenakan lebih banyak lolos saringan dengan diameter yang sama sehingga butiran tanah bersifat homogen.

Berat jenis (G_s)

Pengujian ini untuk menetapkan nilai perbandingan tanah lempung asli dan tanah campuran. Pengujian ini dilakukan disetiap variasi baik variasi 1 (Tanah Asli) maupun variasi campuran yang lainnya. Gambar grafik histogram dari hasil pengujian disajikan pada Gambar 2.

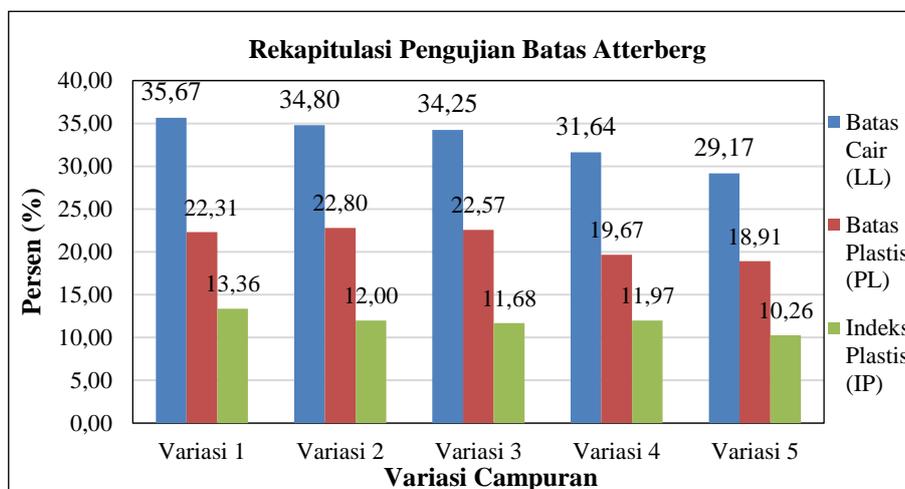


Gambar 2. Histogram berat jenis (Gs) tanah asli dan tanah campuran

Berdasarkan gambar 2 didapatkan hasil nilai G_s yang berbeda – beda dimana nilai G_s tanah variasi 1 (Tanah Asli) sebesar 2,73. Nilai G_s mengalami penurunan hingga variasi 5 (82% Tanah Lempung + 8% Serbuk Cangkang Telur + 10% Gypsum) dengan nilai 2,64. Penurunan yang terjadi pada nilai berat jenis pada variasi 1 (tanah asli) dengan variasi akhir sebesar 3,2%, ini menunjukkan bahwa penambahan limbah serbuk cangkang telur dan gipsium dapat menurunkan nilai berat jenis pada tanah asli.

Pengujian Atterberg

Pengujian dilakukan pada variasi tanah asli dan variasi campuran lainnya. Hasil pengujian terdapat pada Gambar 3.



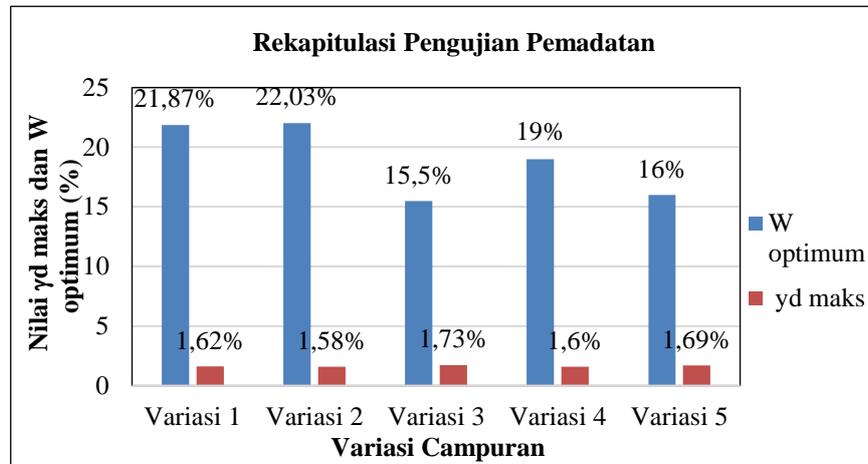
Gambar 3. Rekapitulasi pengujian batas Atterberg

Dari gambar 3. bahwa kadar air variasi 1 (Tanah Asli) adalah sebesar 35,67% dan pada saat penambahan serbuk cangkang telur dan gipsium mengalami penurunan hingga variasi 5 (82% tanah lempung+ 8% cangkang telur + 10% gipsium) sebesar 30,07%. Untuk nilai indeks plastisitas (PI) terjadi penurunan ketika dilakukan penambahan serbuk cangkang telur dan gipsium dimana nilai awal PI sebesar 13,36% kemudian turun menjadi 11,17% pada variasi 5 (82% Tanah Lempung+ 8% Cangkang Telur+ 10% Gypsum). Berdasarkan data rekapitulasi, nilai batas cair, batas plastis dan nilai indeks plastis mengalami penurunan di setiap variasi campuran. Penambahan limbah serbuk cangkang telur dan gipsium dapat menjadi campuran yang efektif untuk mengurangi kadar air tanah asli karena keduanya memiliki sifat penyerapan kadar air yang kuat. Selain itu penambahan serbuk cangkang telur dan gipsium dapat meningkatkan stabilitas tanah, mengurangi porositas tanah dan mengurangi pencemaran lingkungan.

Pengujian pemadatan tanah

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan hubungan antara kadar air optimum dan kerapatan kering tanah (γ_d), atau ZAV (*Zero Air Void*) guna mengevaluasi tanah agar sesuai persyaratan kepadatan. Pada pemadatan tanah dilakukan

sebanyak 5 sampel dengan berat tanah 2,5 kg dengan kadar air yang bervariasi dari 200 ml hingga 600 ml. Hasil pengujian pemadatan tanah disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Rekapitulasi histogram pengujian pemadatan tanah

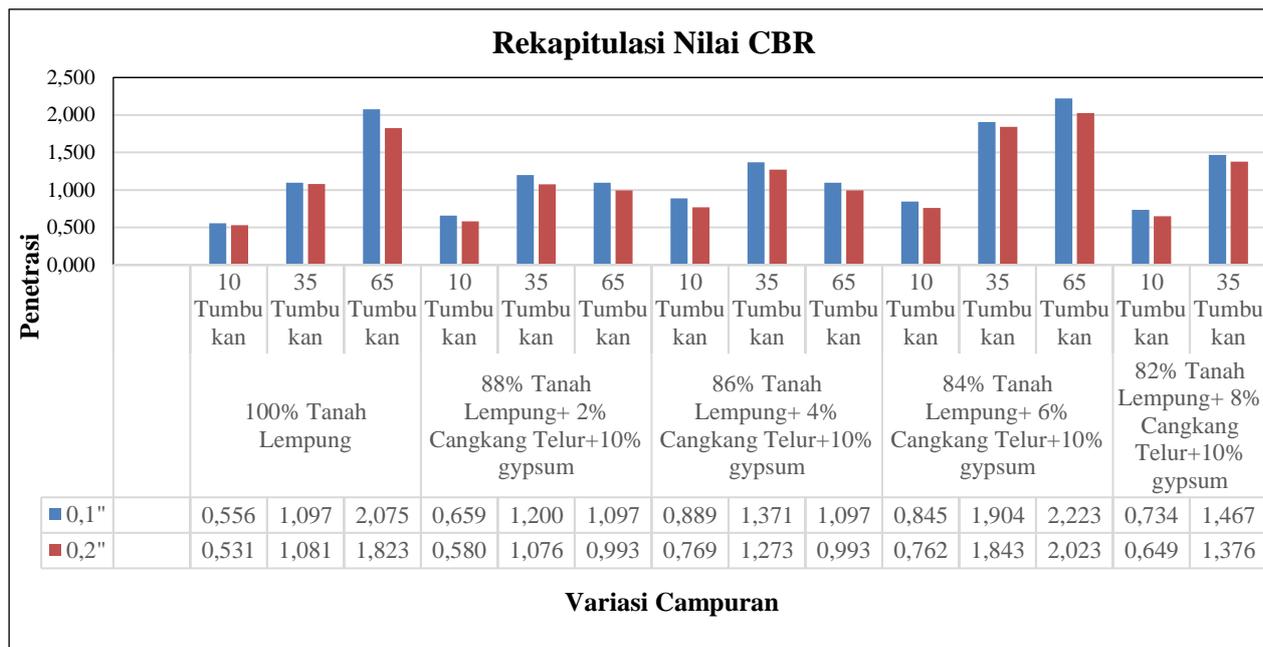
Dari gambar 4. dilihat bahwa penambahan campuran cangkang telur dan gipsium dapat menaikkan dan menurunkan kadar air optimum maupun berat isi kering yang cenderung tidak stabil. Dapat dilihat bahwa berat volume kering maksimum mempengaruhi kadar air optimum karena adanya tekanan kapiler tanah dalam rongga pori tanah. Hal ini dapat dipengaruhi dari besarnya campuran variasi cangkang telur dan gipsium. Hal ini menunjukkan bahwa tanah yang telah ditambahkan serbuk cangkang telur dan gipsium mengalami perubahan gradasi. Dikarenakan gipsium merupakan variasi yang tetap sehingga tidak dapat diketahui bahwa variasi yang paling mempengaruhi dalam pengujian pemadatan tanah.

Pengujian callifornia bearing ratio (CBR)

Pengujian *Callifornia Bearing Ratio* (CBR) bertujuan untuk mengetahui nilai daya dukung tanah berdasarkan hasil nilai CBR, semakin tinggi nilai CBR yang dihasilkan, semakin baik daya dukung tanah tersebut. Metode yang digunakan ialah *soaked* (perendaman) dengan lama perendaman 4 hari atau 96 jam. Pengujian CBR ini dilakukan dengan variasi tumbukan yaitu dengan menggunakan variasi 10, 35 dan 65 tumbukan di masing-masing campuran. Variasi ini bertujuan untuk mengetahui nilai optimum pada setiap variasi tumbukan maupun variasi campuran. Hasil Pengujian CBR disajikan pada Gambar 5.

Dari hasil data rekapitulasi CBR yang terdapat pada lampiran halaman 75, didapatkan hasil bahwa nilai CBR tanah lempung variasi 1 dengan penetrasi 0,1” terendah adalah 0,556% pada 10 tumbukan dan nilai tertinggi di penetrasi 0,1” yaitu 2,223% di variasi 4 (84% Tanah Lempung+ 6% Cangkang Telur + 10% Gypsum) di 65 tumbukan. Untuk nilai CBR variasi 1 (Tanah Asli) penetrasi 0,2” terendah sebesar 0,5331% pada 10 tumbukan dan nilai CBR tertinggi penetrasi 0,2” sebesar 2,023% pada variasi 4 (84% Tanah Lempung+ 6% Cangkang Telur + 10% Gypsum) 65 tumbukan yang menjadi variasi campuran optimum pada penelitian ini, karena pada saat campuran variasi 5 (82% Tanah Lempung+ 8% Cangkang Telur + 10% Gypsum) nilai kuat tekan CBR nya turun pada penetrasi 0,1” sebesar 0,734% 10 tumbukan dan 1,489% 65 tumbukan, sementara pada penetrasi 0,2 nilai kuat tekan CBR sebesar 0,649% 10 tumbukan dan 1,445% 65 tumbukan. Nilai daya dukung CBR optimum terjadi pada variasi 4 (84% Tanah Lempung+ 6% Cangkang Telur+ 10% Gypsum) sehingga campuran tersebut meningkatkan nilai daya dukung tanah lempung Desa Buket Meutah, Kecamatan Langsa Timur, Kota Langsa.

Persentase kenaikan nilai CBR yang didapatkan dari hasil pengujian penetrasi 0,1 pada tumbukan 65 variasi 1 (Tanah Asli) sampai pada penetrasi optimum (variasi 4 dengan campuran 84% Tanah Lempung + 6% cangkang telur+ 10% Gypsum) tumbukan 65 memiliki nilai kenaikan sebesar 2,223%. Ini menunjukkan bahwa penambahan bahan campuran limbah serbuk cangkang telur dan gipsium meningkatkan nilai daya dukung tanah lempung, tetapi jika dijadikan sebagai bahan campuran timbunan tidak memenuhi syarat dari ketentuan nilai minum CBR > 6%.



Gambar 5. Rekapitulasi pengujian CBR

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

- Dari hasil pengujian CBR perendaman 4 hari didapatkan:
 - Nilai CBR tertinggi variasi 1 sebesar 1,075% pada penetrasi 0,1" tumbukan 65. Nilai batas cair adalah 35,67%, batas plastis 22,31%, indeks plastis 13,36%, berat jenis 2,73, dan kadar air optimum 21,87% dengan berat isi kering 1,62%.
 - Nilai CBR pada variasi 2 sebesar 1,097% pada penetrasi 0,1" tumbukan 65. Nilai batas cair sebesar 34,80%, batas plastis 22,80%, indeks plastis 12,00%, berat jenis 2,70, dan kadar air optimum 22,03% dengan berat isi kering 1,58%.
 - Nilai CBR variasi 3 sebesar 1,097% pada penetrasi 0,1" tumbukan 65, batas cair sebesar 34,25%, batas plastis 22,57%, indeks plastis 11,68%, berat jenis 2,69, dan kadar air optimum 15,5% dengan berat isi kering 1,73%.
 - Nilai CBR variasi 4 sebesar 2,223% pada penetrasi 0,1" tumbukan 65, batas cair sebesar 31,64%, batas plastis 19,97%, indeks plastis 11,97%, berat jenis 2,66, dan kadar air optimum 19,00% dengan berat isi kering 1,60%.
 - Nilai CBR variasi 5 sebesar 1,489% pada penetrasi 0,1" tumbukan 65, batas cair sebesar 29,17%, batas plastis 18,91%, indeks plastis 10,26%, berat jenis 2,64, dan kadar air optimum 16,00% dengan berat isi kering 1,69%.
- Nilai optimum persentase CBR tanah lempung pada variasi tumbukan dengan penambahan limbah serbuk cangkang telur dan gipsium dalam meningkatkan stabilitas tanah lempung terdapat pada variasi 4 campuran 84% Tanah Lempung + 6% Cangkang Telur + 10% gipsium di tumbukkan 65 sebesar 2,223%. Ini menunjukkan bahwa penambahan bahan campuran limbah serbuk cangkang telur dan gipsium meningkatkan nilai daya dukung tanah lempung, tetapi jika dijadikan sebagai bahan campuran timbunan tidak memenuhi syarat dari ketentuan nilai minimum CBR > 6%.

Saran

- Perlu dilaksanakan penelitian lebih mendalam dengan melakukan penambahan bahan campuran yang dapat menstabilisasikan tanah lempung, seperti: abu batok kelapa, abu batok kepala sawit atau bahan campuran lainnya.
- Perlu dilakukan pengujian CBR variasi campuran lainnya agar dapat diketahui nilai CBR optimum pada persentase maupun variasi campuran yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Untu, M. A., Mandagi, A. T., & Sumampouw, J. E. (2020). Pengaruh penggunaan jerami padi dan gypsum sebagai bahan stabilisasi pada tanah lempung ekspansif. *Jurnal Sipil Statik*, 8(6), 849-858.
- Budi, G. S. (2011). Pengujian Tanah di Laboratorium. *Yogyakarta*, 1-125.
- Butcher, G. D., & Miles, R. (1990). Concepts of eggshell quality. *Journal International IFAS Extension. Institute Of Food And Agricultural Sciences. University Florida. Gainesville FL*, 32611.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah 1* (Edisi ketiga). Gadjah Mada University Press.
- Nandawan, P. (2020). Karakteristik Tanah Lempung Di Desa Sungai Lueng Dan Bukit Metuah Pada Wilayah Kota Langsa. <https://Etd.Unsam.Ac.Id/Detail.Php?Id=400,1>, 1-14.
- Nasrani, F., Oktovian, L., Sompie, B. A., & Sumampouw, J. E. R. (2020). Analisis geoteknik tanah lempung terhadap penambahan limbah gypsum. *Jurnal Sipil Statik*, 8(2), 197-204.
- Prayoga, D., Abdullah, F., & Supardin, S. (2021). Pengaruh limbah cangkang telur dan abu vulkanik sebagai bahan tambah terhadap daya dukung tanah lempung dengan uji CBR. *Jurnal Sipil Sains Terapan*, 04(02), 31-36.
- Fitriani, S., Fathul., W. M., & Farida, I. (2017). Penggunaan limbah cangkang telur, abu sekam, dan copper slag sebagai material tambahan pengganti semen. *Jurnal Konstruksi*, 15(1), 46-56. <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.15-1.583>
- Sosrodarsono, S., Nakazawa, K. (1981). *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Pradnya Paramita