

ANALISIS GEOTEKNIK TANAH LEMPUNG TERHADAP PENAMBAHAN LIMBAH GYPSUM

Febiola Nasrani Landangkasiang

Oktoavian B. A. Sompie, J. E. R. Sumampouw

Fakultas Teknik, Jurusan Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: febiolaland@gmail.com

ABSTRAK

Tanah lempung merupakan merupakan jenis tanah dengan kondisi daya dukung dan kuat geser yang rendah, diperlukan stabilitas perbaikan tanah secara kimiawi. Parameter yang dapat diketahui apakah tanah tersebut daya dukungnya baik atau tidak bisa dilihat dari nilai CBR dan nilai kuat geser. Penelitian ini menggunakan limbah gypsum sebagai bahan stabilisasi, yaitu dengan menambahkan limbah gypsum dengan variasi campuran 5%, 10%, 15%, dan 20% gypsum terhadap berat contoh tanah. Tujuannya untuk meningkatkan nilai CBR dan kuat geser pada tanah lempung. Berdasarkan hasil penelitian, untuk nilai CBR pada kondisi tanah asli sebesar 1,52% dan terus mengalami peningkatan hingga pada campuran 10% sebesar 3.05% kemudian kembali turun pada campuran 15% menjadi 2.38% dan pada campuran 20% menjadi 1.91%. Untuk nilai tegangan geser pada kondisi tanah asli sebesar 3.152 t/m² dan terus mengalami peningkatan hingga pada campuran 15% sebesar 6.174 t/m² kemudian kembali turun pada campuran 20% menjadi 5.088 t/m². Dapat disimpulkan bahwa untuk nilai CBR maksimum terjadi pada sampel tanah yang dicampur dengan limbah gypsum dengan kadar campuran 10%, sedangkan untuk nilai tegangan geser maksimum berada pada kadar campuran 15%.

Kata kunci: CBR, gypsum, lempung, stabilitas, tegangan geser

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Tanah merupakan satu bagian yang tidak dapat dipisahkan dalam perencanaan bangunan teknik sipil. Dari setiap jenisnya tanah memiliki spesifikasi yang berbeda, sehingga memerlukan penanganan yang berbeda baik secara mekanis dan kimia.

Dari berbagai jenis tanah, tanah lempung merupakan jenis tanah yang memiliki karakteristik yakni daya dukung yang rendah dan kembang susut yang besar, ini menjadikan tanah lempung sebagai material yang kurang baik dalam suatu pekerjaan konstruksi. Daya dukung yang rendah dapat mengakibatkan ketidakstabilan suatu pondasi bangunan yang didirikan di atas tanah lempung dan sifat kembang susut tanah lempung dapat mengakibatkan retak pada perkerasan jalan raya, juga terjadi pecah atau jebol pada lantai dasar bendungan.

Dalam konstruksi bangunan sipil kuat geser tanah dasar dan nilai CBR berpengaruh dalam perencanaan suatu bangunan, maka sebelum tanah digunakan dapat dilakukan stabilisasi tanah.

Tujuan dari stabilisasi tanah yaitu untuk meningkatkan daya dukung tanah dengan

peningkatan parameter tanah seperti, kepadatan, kuat geser dan nilai CBR. Ada beberapa cara stabilisasi tanah yang dapat dilakukan menggunakan metode perbaikan tanah secara mekanis dan metode perbaikan tanah secara kimiawi. Metode perbaikan tanah secara mekanis yaitu perbaikan tanah dengan usaha pemaksaan terhadap perubahan massa tanah melalui penggunaan tiang pancang, pemadatan tanah, dan sebagainya. Metode perbaikan tanah secara kimiawi yaitu perbaikan tanah dengan menambahkan suatu bahan kimia yang mempunyai sifat khusus yang dapat membantu mendapatkan suatu massa tanah yang lebih stabil contohnya pencampuran semen Portland, kapur, abu batu bara, tras, zeolite. Beberapa penelitian telah menggunakan tras (Kapantouw dkk, 2018) dan gypsum (Wibawa, 2015).

Stabilisasi tanah lempung menggunakan limbah gypsum oleh Arif Wibawa (2015) yaitu dengan cara menambahkan limbah gypsum pada tanah lempung yang kemudian dilakukan pengujian direct shear. Dari hasil pengujian menunjukkan adanya peningkatan nilai dari tanah yang tidak dicampur dengan limbah gypsum dengan tanah yang telah dicampur dengan limbah gypsum.

Penelitian ini menggunakan limbah *gypsum* sebagai bahan stabilisasi. *Gypsum* merupakan salah satu bahan stabilisasi yang mudah diperoleh dan efektif. *Gypsum* adalah salah satu contoh mineral dengan kadar kalsium yang mengikat tanah bermateri organik terhadap lempung dan juga lebih menyerap air yang sangat berguna untuk memperkokoh tanah. Dilihat dari segi nilai ekonomis dan kurangnya pemanfaatan limbah *gypsum* serta kelebihanannya maka diharapkan dapat memberikan salah satu cara dalam meningkatkan daya dukung tanah lempung.

Rumusan Masalah

Tidak semua tanah layak untuk digunakan sebagai dasar konstruksi. Tanah lempung adalah salah satu sifat dan kondisi tanah yang tidak mendukung untuk dijadikan dasar dari suatu pekerjaan konstruksi. Maka dibutuhkan metode perbaikan tanah untuk mengatasi permasalahan tersebut. Penelitian ini mencoba memanfaatkan limbah *gypsum* sebagai bahan stabilisasi untuk mengetahui besar pengaruh dan pencampuran limbah *gypsum* terhadap kuat geser dan nilai CBR.

Batasan Masalah

Kegiatan penelitian ini dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Sampel tanah yang digunakan diambil dari desa Sawangan kecamatan Tombulu, Kabupaten Minahasa.
2. Identifikasi lempung berdasarkan klasifikasi USCS & AASHTO.
3. Sifat-sifat kimia dari lempung (mineral lempung) dan limbah *gypsum* tidak diperiksa.
4. Membandingkan pengaruh bahan campuran *gypsum* terhadap parameter parameter kuat geser tanah dan nilai CBR dengan presentase 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% limbah *gypsum*.
5. Percobaan CBR yang digunakan adalah CBR laboratorium rendaman.
6. Pemeriksaan kuat geser tanah dengan cara triaksial uji *Unconsolidated Undrained Test* (UU test)

Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui pengaruh bahan campuran limbah *gypsum* terhadap tegangan geser tanah dan nilai CBR.
2. Menentukan komposisi terbaik untuk meningkatkan stabilitas tanah lempung dengan penambahan limbah *gypsum*.

Manfaat Penelitian

Dapat diperoleh manfaat antara lain:

1. Memperoleh pengetahuan mengenai pengaruh yang ditimbulkan oleh penambahan variasi kadar limbah *gypsum* terhadap tanah lempung.
2. Mengetahui seberapa besar daya dukung tanah, nilai CBR dan kekuatan geser tanah dengan variasi kadar campuran limbah *gypsum*.
3. Diharapkan dapat meningkatkan kinerja konstruksi sipil pada stabilitas tanah
4. Mengurangi limbah *gypsum*.

LANDASAN TEORI

Tanah dan Sifat-sifatnya

Tanah adalah bagian kerak bumi yang tersusun dari mineral dan bahan organik. Tanah dapat dibagi atas beberapa jenis pengelompokan yaitu berdasarkan ukuran partikel tanah, campuran butiran dan sifat lekatannya.

Tanah dapat dibagi atas tiga jenis sifat lekatan yaitu tanah kohesif, tanah non kohesif dan tanah organik yang didefinisikan sebagai berikut:

1. Tanah kohesif adalah tanah yang mempunyai sifat lekatan antara butir-butirnya atau mengandung lempung cukup banyak.
2. Tanah non kohesif adalah tanah yang tidak mempunyai atau sedikit sekali lekatan antara butir-butirnya atau hampir tidak mengandung lempung.

Tanah organik adalah tanah yang sifatnya sangat dipengaruhi oleh bahan-bahan organik.

Tanah Lempung

Tanah Lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik dan submikroskopik yang berasal dari pembusukan kimiawi unsur-unsur penyusun batuan dan bersifat plastis dalam selang kadar air sedang sampai luas.

Sifat yang khas dari tanah lempung adalah dalam keadaan kering akan bersifat keras, dan jika basah akan bersifat lunak plastis, dan kohesif, mengembang dan menyusut dengan cepat, sehingga mempunyai perubahan volume yang besar dan itu terjadi karena pengaruh air.

Klasifikasi Tanah USCS (*Unified Soil Classification System*)

Klasifikasi tanah sistem ini diajukan pertama kali oleh Casagrande dan selanjutnya dikembangkan oleh *United State Bureau of Reclamation* (USBR) dan *United State Army Corps of Engineer* (USACE). Kemudian *American Society for Testing Materials* (ASTM) telah memakai USCS sebagai metode standar guna mengklasifikasikan tanah. Dalam bentuk yang sekarang, sistem ini banyak digunakan dalam berbagai pekerjaan geoteknik.

1. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soils*) yang terdiri atas kerikil dan pasir yang mana kurang dari 50% tanah yang lolos saringan No.200 ($F_{200} < 5$). Simbol kelompok diawali dengan **G** untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil (*gravelly soil*) atau **S** untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir (*sandy soil*).
2. Tanah berbutir halus (*fine-grained soil*) yang mana lebih dari 50% tanah lolos saringan No.200 ($F_{200} \geq 5$). Simbol kelompok diawali dengan **M** untuk lanau inorganik (*inorganic clay*), atau **O** untuk lanau dan lempung organik. Simbol **Pt** digunakan untuk gambut (*peat*) dan tanah dengan kandungan organik tinggi.

Stabilitas Tanah

Stabilisasi dapat terdiri dari salah satu langkah berikut:

1. Meningkatkan kerapatan tanah
2. Menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan atau tahanan geser yang timbul
3. Menambah bahan untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan atau fisis pada tanah
4. Menurunkan muka air tanah
5. Mengganti tanah yang buruk

Melakukan stabilisasi tanah adalah suatu alternatif yang dapat diambil apabila pilihan lainnya tidak mungkin atau tidak ekonomis.

Limbah Gypsum

Gypsum merupakan garam yang pertama kali mengendap akibat proses evaporasi air laut. Sebagai mineral evaporit, endapan *gypsum* berbentuk lapisan di antara batuan-batuan sedimen batu gamping, serpih merah, batu pasir, lempung, dan garam batu. *Gypsum* adalah salah satu contoh mineral dengan kadar kalsium yang mendominasi pada mineralnya. *Gypsum* yang paling umum ditemukan adalah jenis hidrat kalsium sulfat dengan rumus ($\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$).

Gypsum sebagai perekat mineral mempunyai sifat yang lebih baik dibandingkan dengan

perekat organik karena tidak menimbulkan pencemaran udara, murah, tahan api, tahan deteriorasi oleh faktor biologis dan tahan terhadap zat kimia.

Kelebihan dari penggunaan *gypsum* dalam pekerjaan teknik sipil yaitu (Wibawa, 2015) :

1. *Gypsum* yang dicampur tanah lempung dapat mengurangi retak karena sodium pada tanah tergantikan oleh kalsium pada limbah *gypsum* sehingga pengembangannya lebih kecil
2. *Gypsum* dapat meningkatkan stabilitas tanah organik karena mengandung kalsium yang mengikat tanah bermateri organik terhadap lempung yang memberikan stabilitas terhadap agregat tanah
3. *Gypsum* meningkatkan kecepatan rembesan air, dikarenakan lebih menyerap banyak air.

CBR (*California Bearing Ratio*)

Untuk menguji kekuatan tanah yang dipadatkan biasanya digunakan percobaan tahanan penetrasi, diantaranya adalah pengujian CBR. Pengujian CBR merupakan cara untuk menilai kekuatan tanah dasar (subgrade) dari jalan yang hendak dipakai. Untuk pembuatan cara CBR ini dikembangkan pertama kalinya oleh California State Highway Departemen dan digunakan serta dikembangkan lebih lanjut oleh U.S. Corps Of Engineers. Berdasarkan cara mendapatkan contoh tanahnya, pengujian CBR dapat dibagi atas :

1. Pengujian CBR lapangan
2. Pengujian CBR lapangan rendaman
3. Pengujian CBR rencana titik / CBR laboratorium, dapat dibedakan atas 2 macam yaitu:
 - CBR laboratorium rendaman
 - CBR laboratorium tanpa rendaman

Nilai CBR adalah bilangan perbandingan (dalam %) antara tekan yang diperlukan untuk menembus tanah dengan piston berpenampang bulat seluas 3 inch dengan kecepatan penetrasi 0,05 inch/menit, terhadap tekan yang diperlukan untuk menembus suatu bahan standart tertentu. Nilai standart diperoleh melalui pengujian material batu pecah berkualitas tinggi yang dipadatkan dengan menganggap nilai CBR sebesar 100%.

$$\text{Nilai CBR} = \frac{\text{Nilai Beban Uji}}{\text{Nilai Beban Standart}} \times 100 \%$$

Jadi nilai CBR adalah nilai yang dinyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan beban

standart berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100% dalam memikul beban lalu lintas.

Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap keruntuhan dan pergeseran yang terjadi akibat beban yang dialaminya.

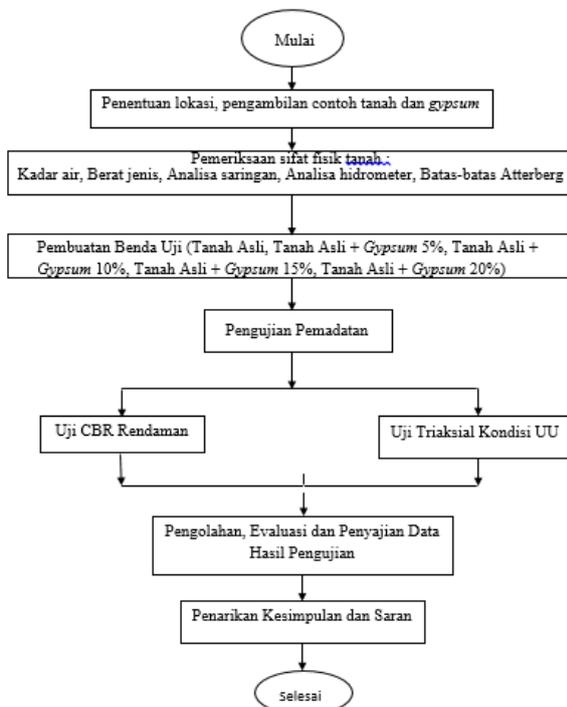
Pengujian Kuat Geser Tanah dengan Tekan Triaksial

Uji Tekan Triaksial (Triaxial Compression Test) diketahui sebagai uji yang paling diandalkan dalam memperoleh parameter geser dan data tegangan-regangan tanah. Cara pengujian ini membolehkan pemberian tegangan-tegangan vertical dan horizontal secara serentak terhadap contoh tanah.

Pada uji tekan triaksial, contoh uji biasanya berbentuk silinder dengan diameter 3,81 cm (1,5 inci) dan tinggi 7,62 cm (3 inci). Contoh ini diselubungkan dengan suatu membrane karet tipis dan kemudian dimasukkan dalam suatu sel triaksial khusus.

METODOLOGI PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Analisis Hasil Penelitian dengan Teori Formula, Tabel dan Grafik

Pengujian yang telah dilaksanakan akan menghasilkan hubungan antara variasi campuran yang diberikan dengan nilai CBR. Selanjutnya dibuat tabel hasil pengujian dan grafik untuk memudahkan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian karakteristik dirangkumkan pada tabel 1.

Tabel 1 Hasil Pengujian Karakteristik Tanah

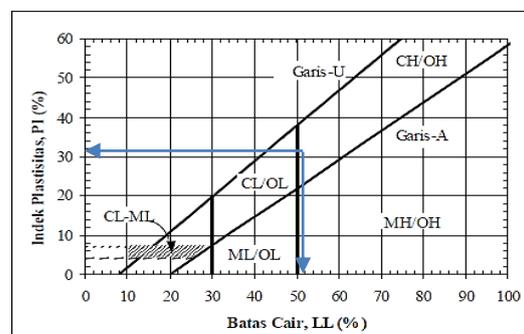
No.	Karakteristik	Nilai
1.	Kadar air tanah kering udara	14 %
2.	Berat Jenis (<i>Specific Gravity</i> , G _s)	2.51
3.	Batas Cair (<i>Liquid Limit</i> , LL)	52 %
4.	Batas Plastis (<i>Plastic Limit</i> , PL)	20.88 %
5.	Indeks Plastisitas (<i>Plasticity Index</i> , PI)	31.12 %
6.	Material lolos saringan no. 200	51.17%

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik diatas maka dapat disimpulkan:

- a) Nilai presentase lolos saringan no.200 \geq 50%, maka berdasarkan tabel klasifikasi USCS dan AASHTO tanah ini dikategorikan kedalam golongan tanah berbutir halus.
- b) Tabel sistem klasifikasi USCS dan AASHTO untuk data batas cair dan indeks plastisitas di plot pada diagram plastis sehingga didapat identifikasi tanah yang lebih spesifik. Hasil dapat dilihat pada gambar 3 dan 4.

Klasifikasi Tanah Sistem USCS

Dari hasil pengujian batas-batas konsistensi pada tabel 1 dan hasil analisa saringan maka dilakukan klasifikasi tanahAA sistem USCS sebagai berikut :



Gambar 2 Diagram Plastisitas Tanah Berbutir Halus USCS

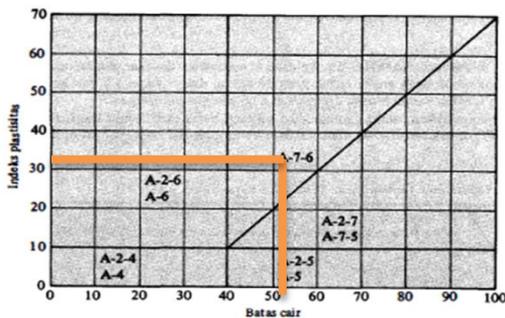
Dapat dilihat dari grafik pada Gambar 3 bahwa hasil plot menunjukkan suatu titik pertemuan diatas garis A, yang mana titik temu itu menjelaskan jenis tanah yang diuji. Dengan merujuk pada hasil diatas maka tanah berbutir halus tersebut termasuk kedalam kelompok campuran CH, yaitu lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung “gemuk” (*fat clays*).

Tabel 2. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem USCS

Divisi Utama	Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi	
Tanah berbutir kasar: 50% butiran tertahan saringan No. 200	Kerikil 50% faksi kasar tertahan saringan No. 4	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
		GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
	Kerikil dengan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung	
	Pasir 50% faksi kasar tertahan saringan No. 4	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
		SP	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
	Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	
		SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung	
	Tanah berbutir halus: 50% atau lebih lolos saringan No. 200	Lanau dan lempung butiran < 50%	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung
			CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (<i>lean clay</i>)
Lanau dan lempung butiran < 20%		OL	Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
		MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomea, atau lanau diatomea, lanau yang elastis	
Lanau dan lempung butiran < 5%		CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (<i>fat clays</i>)	
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi	

Sistem AASHTO

Dari hasil pengujian batas-batas konsistensi pada tabel 4.1 dan hasil analisa saringan maka dilakukan klasifikasi tanah sistem AASHTO sebagai berikut :



Gambar 3. Grafik Diagram Plastisitas Tanah Berbutir Halus AASHTO

Dapat dilihat dari gambar 3 bahwa hasil plot menunjukkan suatu titik pertemuan berada dalam daerah A-7-6, yang mana titik temu itu menjelaskan jenis tanah yang diuji. Dengan

merujuk pada hasil diatas maka tanah berbutir halus tersebut termasuk kedalam kelompok A-7-6 yaitu tanah berlempung.

Tabel 3 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem AASHTO

Klasifikasi umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)						
	A-1		A-3	A-2			
Klasifikasi kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisis ayakan (% lolos)	Maks 50 No. 10 Maks 30 No. 40 Maks 15 No. 200	Maks 50 Maks 25	Min 51 Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40	Batas cair (LL)		NP	Maks 40 Maks 10	Min 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Indeks plastisitas (PI)	Maks 6		NP	Maks 40 Maks 10	Min 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						

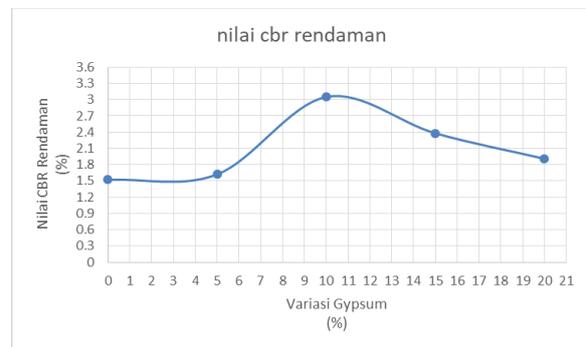
Klasifikasi umum	Tanah lanau - lempung (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6*
Analisis ayakan (% lolos)	No. 10 No. 40 No. 200	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40	Batas cair (LL)		Maks 40 Maks 10	Maks 40 Min 11
Indeks plastisitas (PI)	Maks 40 Maks 10		Maks 40 Maks 10	Maks 40 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau			Tanah berlempung
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Bisa sampai jelek			

Hasil Pengujian CBR Rendaman

Tabel 4 Hasil Pengujian CBR Rendaman

Gypsum (%)	Nilai CBR Rendaman (%)
0% Gypsum	1.52
5% Gypsum	1.62
10% Gypsum	3.05
15% Gypsum	2.38
20% Gypsum	1.91

Sumber: Hasil penelitian, 2019.



Gambar 4. Grafik Hubungan Kadar Gypsum dengan Nilai CBR Rendaman

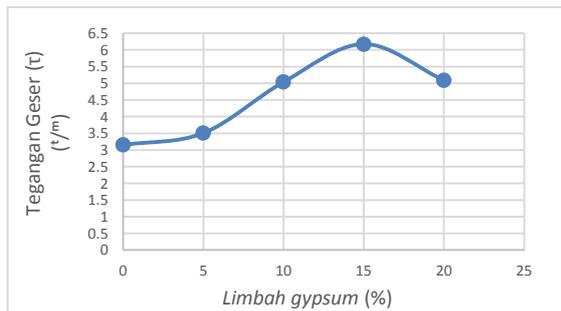
Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa untuk kadar gypsum 0% - 10% semakin besar kadar gypsum nilai CBR semakin besar akan tetapi, untuk kadar 10% - 20% semakin besar kadar

gypsum semakin kecil nilai CBR. Nilai CBR mencapai 3.05% pada kadar gypsum 10%.

Hasil Pengujian Triaksial Kondisi UU

Tabel 5. Hasil Pengujian Triaksial pada Kondisi

Sampel	Kohesi (c) t/m ²	Sudut Geser Dalam (Ø)	Tegangan Geser (τ) t/m ²
Tanah asli	1.921	8	3.152
Tanah+ 5%	2.00	9	3.506
Tanah+10%	2.273	15	5.038
Tanah+15%	2.843	18	6.174
Tanah+ 20%	2.814	13	5.088



Grafik 3 Hubungan Kadar Limbah gypsum dengan Tegangan Geser

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa pencampuran limbah gypsum akan meningkatkan tegangan geser, tetapi untuk kadar limbah gypsum 15% - 20% semakin besar kadar limbah gypsum semakin kecil tegangan geser. Tegangan geser mencapai titik maksimum pada kadar limbah gypsum 15% yaitu 6.174 t/m².

Tabel 6 Hasil Penelitian untuk Pengujian CBR Rendam dan Triaksial

Campuran limbah gypsum (%)	Nilai CBR (%)	Triaksial		
		Kohesi (c) t/m ²	Sudut Geser Dalam (Ø)°	Tegangan Geser (τ) t/m ²
0	1.52	1.921	8	3.152
5	1.62	2.00	9	3.506
10	3.05	2.273	15	5.038
15	2.38	2.843	18	6.174
20	1.91	2.814	13	5.088

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan:

1. Tanah lempung yang distabilisasi dengan limbah gypsum 5% sampai dengan 10% menunjukkan adanya peningkatan nilai CBR rendaman sampai pada kadar limbah gypsum 10% dan setelah kadar 15% nilai CBR mulai menurun sesuai dengan grafik.
 - a. Tanah Lempung yang distabilisasi dengan limbah gypsum 5% sampai pada kadar 15% dan setelah kadar 20% nilai tegangan geser mulai menurun sesuai dengan grafik. Nilai kohesi (c) terbesar pada kadar limbah gypsum 15% sebesar 2.843 t/m² dan tegangan geser (τ) 6.174 t/m². Jadi semakin besar nilai kohesi maka semakin besar nilai tegangan geser.
 - b. Nilai sudut geser (Ø) terbesar ada pada kadar limbah gypsum 15% sebesar 18° dan nilai tegangan geser (τ) sebesar 6.174 t/m². Sehingga semakin besar nilai sudut geser maka semakin besar pula nilai tegangan geser.

Saran

1. Perlu diadakan pengujian lanjutan dengan parameter yang lain seperti kuat tekan bebas dan konsolidasi agar menjadi pembanding apakah limbah gypsum bisa digunakan juga pada parameter tersebut.
2. Penggunaan limbah gypsum sebagai bahan stabilisasi direkomendasikan untuk diuji pada jenis tanah lainnya sehingga akan berpengaruh terhadap daya dukungnya. Dengan penambahan limbah gypsum diharapkan dapat membuat kekuatan tanahnya bertambah.

DAFTAR PUSTAKA

Hardiyatmo, H. C., *Mekanika Tanah 1*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, 2002

Kalalo, Melania, Jack H. Tico, Agnes T. Mandagi. 2017. *Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah*. Jurnal Sipil Statik, Vol.5 No.5, 2017

Kapantouw Gloria, Sjachrul Balamba, Alva N. Sarajar. 2018. *Korelasi Antara Tegangan Geser Dan Nilai CBR Pada Tanah Lempung Dengan Bahan Campuran Tras*

- Lumikis, Breyndah Kezia, Sartje Monitntja, Sjachrul Balamba, Alva Sarajar. 2013. *Korelasi Antara Tegangan Geser dan Nilai CBR pada Tanah Lempung Ekspansif dengan Bahan Campuran Semen*. Jurnal Sipil Statik, Vol.1 No.6, Mei 2013
- Sompie Gracia Mizuno Elisa, O. B. A Sompie, Steeva G. Rondonuwu, 2018. *Analisis Stabilitas Tanah Dengan Model Material Mohr Coulomb dan Soft Soil*. Jurnal Sipil Statik, Vol.6 No.10, 2018
- Wibawa, Arif., 2015. *Pengaruh Penambahan Limbah Limbah gypsum Terhadap Nilai Kuat Geser Tanah Lempung*, Jurnal Fropil, Volume 3, No.2.(Hal. 65 – 71)

Halaman ini sengaja dikosongkan