



Pengaruh Serbuk Limbah Gypsum terhadap Nilai Daya Dukung dan Kuat Tekan pada Tanah Lempung Ekspansif di Lontar, Kecamatan Sambikerep, Surabaya

Novian Dhanny Chalik^{1*}, Arik Triarsono², Anggi Rahmad Zulfikar³, Irfan Prasetyo Loekito⁴

¹⁻⁴Program Studi Teknik Sipil, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia

Email: novian.20070@mhs.unesa.ac.id^{1*}, ariktriarso@unesa.ac.id², anggizulfikar@unesa.ac.id³, irfanloekito@unesa.ac.id⁴

*Penulis korespondensi: novian.20070@mhs.unesa.ac.id¹

Abstract. *Expansive clay soil is soil that can expand and contract significantly in response to changes in soil moisture content. This study used an experimental method to stabilize expansive clay soil using a mixture of gypsum waste powder, which was tested using the Atterberg test, the Unconfined Compression Strength test, and the California Bearing Ratio test with mixture variations of 0%, 10%, 20%, and 30%. The results showed that the addition of gypsum waste powder could reduce the expansivity level of the soil from a very high level of 42% to a moderate level of 20%, increase the value in the Unconfined test at a maximum mixture of 10%, and increase the value in the CBR test at a maximum mixture of 30%. Based on the above description, this study aims to determine the extent of the effect of gypsum waste powder on expansive clay soil on the bearing capacity and compressive strength of expansive clay soil.*

Keywords: *CBR Test; Expansive Clay Soil; Gypsum Waste Powder; Soil Bearing Capacity; Unconfined Test*

Abstrak. Tanah lempung ekspansif merupakan tanah yang dapat mengembang dan menyusut secara signifikan sebagai respons terhadap perubahan kadar air tanah. Dalam penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen stabilisasi tanah lempung ekspansif menggunakan campuran serbuk limbah gypsum yang diuji dengan uji Atterberg, uji *Unconfined Compression Strength*, uji *California Bearing Ratio* dengan menggunakan variasi campuran 0%, 10%, 20%, dan 30%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penambahan serbuk limbah gypsum dapat menurunkan tingkat ekspansif pada tanah dari tingkat sangat tinggi, yaitu 42% menjadi sedang sebesar 20%, meningkatkan nilai pada uji *Unconfined* pada pencampuran maksimal berada pada campuran 10%, dan meningkatkan nilai pada uji CBR pada pencampuran maksimal berada pada campuran 30%. Berdasarkan uraian diatas, penelitian ini memiliki tujuan Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh serbuk limbah gypsum pada tanah lempung ekspansif terhadap nilai daya dukung dan kuat tekan pada tanah lempung ekspansif.

Kata kunci: Daya Dukung Tanah; Serbuk Limbah Gypsum; Tanah Lempung Ekspansif; Uji CBR; Uji Unconfined

1. LATAR BELAKANG

Semua konstruksi bangunan sipil akan ditopang oleh tanah, termasuk gedung-gedung, jembatan, jalan dan berbagai bangunan air seperti bendungan dan saluran-saluran irigasi. Oleh karena itu kondisi tanah dasar sangat mempengaruhi kestabilan dan keamanan konstruksi bangunan diatasnya. Salah satu unsur bangunan yang langsung berhubungan dengan tanah dasar adalah pondasi karena pondasi merupakan struktur terbawah dari suatu bangunan yang akan meneruskan beban bangunan ke tanah atau batuan yang ada dibawahnya. Sehingga dalam perencanaan pondasi sangat diperlukan pengetahuan mengenai jenis tanah dasar di lokasi suatu bangunan yang akan dibangun (Dharmayasa, 2014).

Kota Surabaya khususnya daerah Lontar, Surabaya Barat merupakan kawasan industri, sehingga banyak investor yang ingin membangun perumahan yang dekat dengan daerah

industri mereka bekerja, karena sekarang masyarakat berfikir berpengaruh pada kesejahteraan. Dalam kondisi tanah dasar yang natural, tanah dasar di daerah Lontar ini dianggap tidak sesuai digunakan sebagai tanah dasar atau subgrade, hal tersebut dikarenakan tanah di daerah Lontar merupakan tanah lempung ekspansif tinggi.

Tanah lempung ekspansif (exspansive soil) adalah tanah yang mempunyai potensi penyusutan atau pengembangan oleh pengaruh perubahan kadar air sehingga konstruksi jalan disana sering mengalami kerusakan yang diantaranya: jalan bergelombang, retak retak pada dinding rumah warga, tanah keras pada musim kemarau dan lembek pada musim penghujan sehingga perlu diadakan perbaikan tanah (Ridwan & Wati, 2015).

Oleh karena itu, perlu dilakukan perbaikan tanah untuk meningkatkan daya dukungnya, seperti stabilisasi perbaikan tanah secara kimiawi. Salah satu parameter yang dapat diketahui adalah apakah tanah mempunyai daya dukung yang baik. Salah satu pengujian yang digunakan untuk mengetahui parameter yang digunakan untuk mengetahui daya dukung tanah adalah uji kuat tekan bebas. Pengujian ini banyak dilakukan dan cocok untuk jenis tanah lempung jenuh karena pembebanan yang cepat sehingga air tidak sempat mengalir ke luar dari benda uji. Tekanan aksial yang diterapkan di atas benda uji berangsur angsur ditambah hingga benda uji mengalami keruntuhan.

Dalam peningkatan kestabilan tanah biasanya digunakan *Polypropylene Polymer* (PP) yang harganya cukup mahal. Biaya yang mahal ini mengakibatkan peningkatan dari harga pembangunan. Untuk mengurangi tingginya biaya perbaikan tanah, dalam penelitian ini dilakukan pengujian stabilitas tanah dengan menambahkan limbah gypsum yang diolah menjadi serbuk sebagai bahan pencampur tanah. Gypsum merupakan bahan material yang kaya akan mineral sering kali digunakan oleh masyarakat untuk memenuhi kebutuhan konstruksi. Dalam ilmu kimia gypsum disebut sebagai Kalsium Sulfat Hidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Gypsum mengandung material yang termasuk kedalam mineral sulfat yang berada di bumi dan nilainya sangat menguntungkan, sehingga banyak ketersediaannya dan mudah didapat.

Limbah gypsum merupakan salah satu material yang termasuk dalam kategori limbah B3 (Bahan Beracun dan Berbahaya) sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 18 Tahun 1999. Gypsum biasanya digunakan sebagai campuran semen portland atau untuk pupuk. Selain itu gypsum juga banyak digunakan pada bahan bangunan seperti pelapis lis plafon, plester, dan cetakan keramik, dan lain sebagainya. Akan tetapi dalam penggunaannya sering kali menghasilkan menimbulkan limbah buangan yang kurang bisa dimanfaatkan. Selain itu, gypsum didominasi oleh mineral kalsium. Salah satu kelebihan gypsum adalah salah satu

mineral yang memiliki siklus tertutup atau dapat digunakan terus menerus. Karena kelebihan tersebut maka limbah gypsum ini dapat dimanfaatkan untuk stabilisasi tanah.

Limbah gypsum dari berbagai tempat bercampur menjadi satu di tempat pembuangan akhir. Limbah gypsum dihasilkan di seluruh dunia dengan total sekitar 7-8 miliar ton dan jumlah ini terus meningkat 100-280 juta ton setiap tahunnya (Nikulicheva dkk., 2021). Sekitar 2.95 juta ton limbah gypsum dari konstruksi dihasilkan setiap tahunnya di Eropa (Martos dkk., 2018), limbah gipsum sintetis Phospogypsum (PG) dihasilkan sekitar 10 juta ton di Tunisia (Jalali dkk., 2020), dan 11 juta ton di India (Chavali dan Hari, 2018). Jumlah PG secara global mencapai 280 juta per tahun dan 85% diantaranya dibuang tanpa dilakukan pengelolaan limbah (Silva dkk., 2019).

Dilihat dari segi nilai ekonomis dan kurangnya pemanfaatan limbah gypsum serta kelebihannya, maka melalui penelitian ini diharapkan dapat memberikan salah satu cara dalam meningkatkan daya dukung tanah lempung yang berasal dari wilayah Lontar, Kota Surabaya dengan cara menambahkan limbah gypsum sebagai bahan perbandingan untuk mengetahui nilai daya dukung pondasi dangkal pada tanah lempung ekspansif serta mendapatkan solusi untuk meminimalisir dan mengolah limbah gypsum.

Metode pengujian perbaikan tanah dengan menggunakan serbuk limbah gypsum tersebut menggunakan uji Unconfined Compression Strength untuk mendapatkan nilai Kuat Tekan Bebas (q_u) tersebut. Kuat Tekan Bebas adalah salah satu parameter yang digunakan untuk mengetahui daya dukung tanah dalam perencanaan pondasi dangkal (Ridwan & Wati, 2015). Tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini adalah Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh serbuk limbah gypsum pada tanah lempung ekspansif terhadap nilai daya dukung dan kuat tekan pada tanah lempung ekspansif.

2. KAJIAN TEORITIS

Tanah Lempung Ekspansif

Pengertian Tanah Lempung Ekspansif

Tanah lempung ekspansif merupakan tanah yang dapat mengembang dan menyusut secara signifikan sebagai respons terhadap perubahan kadar air tanah. Pengaruh penyusutan pada tanah berbutir halus merupakan permasalahan teknis yang penting. Ketika tekanan kapiler melebihi kekuatan kohesi dan tarik tanah, retakan susut lokal dapat terjadi. Retakan-retakan ini merupakan bagian dari struktur makro tanah liat dan merupakan kelemahan yang secara signifikan mengurangi kekuatan keseluruhan massa tanah liat, sehingga mempengaruhi stabilitas lereng tanah liat dan daya dukung pondasi, saya berikan (Elsy E, Rosmiyati A, &

Martha C, 2021). Retakan yang terjadi pada saat permukaan mengering biasa terjadi pada tanah liat lunak dan dapat berdampak buruk, misalnya pada struktur permukaan jalan yang dibangun di atasnya. Retakan susut dan susut disebabkan oleh penguapan permukaan pada musim panas, penurunan muka air tanah, dan pengisapan dari akar tanaman. Selama musim hujan, tanah menerima kelembapan kembali sehingga volumenya meningkat dan mengembang. Perubahan volume akibat proses muai dan kontraksi seringkali menyebabkan kerusakan pada bangunan ringan dan permukaan jalan.

Gypsum

Pengertian Gypsum

Gypsum adalah bentuk hemihidrat dari kalsium sulfat dihidrat dengan rumus kimia $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$. Di alam, *gypsum* merupakan massa yang padat dan berwarna abu-abu, merah atau coklat. Warna tersebut disebabkan adanya zat lain seperti tanah liat, oksidasi besi, anhidrat, karbohidrat, dan sedikit SiO_2 atau oksida logam lain. *Gypsum* adalah mineral yang bahan utamanya terdiri dari hidratedcalcium sulfate. Seperti pada mineral dan batu, gypsum akan menjadi lebih kuat apabila mengalami penekanan (Surya, 2017). Gypsum banyak digunakan dalam pekerjaan konstruksi, seperti sebagai hiasan bangunan, bahan dasar pembuat semen, pengisi (filler) cat, dan berbagai macam keperluan lainnya.

Atterberg Test

Uji batas Atterberg pertama kali diperkenalkan oleh Albert Atterberg (Swedia). Pada mulanya pengertian batas Atterberg mengacu pada enam batas konsistensi tanah berbutir halus, yaitu batas aliran kental, batas cair, batas kohesif, batas kohesif, batas plastis, dan susut. Untuk keperluan teknis saat ini, istilah "*Atterberg Limit*" biasanya hanya mengacu pada Uji Batas Cair, Batas Plastik, namun dalam beberapa kasus juga mencakup Batas Penyusutan. Dua nilai yang paling penting adalah nilai batas cair dan batas plastis (disebut batas-batas Atterberg). Pengukuran nilai batas-batas ini dilakukan secara rutin untuk sebagian besar penyelidikan-penyelidikan yang meliputi tanah yang berbutir halus. Karena batas-batas ini tidak merupakan sifat-sifat fisika yang jelas maka dipakai cara empiris untuk menentukannya (Febrijanto, Hardiana, & Hidayat, 2016).

Unconfined Compression Strength Test

Uji kuat tekan bebas (*Unconfined Compression Strenght*) merupakan cara yang dilakukan di laboratorium untuk mengukur kuat tekan yang diberikan sampai tanah tersebut terpisah dari butiran-butirannya juga mengukur regangan tanah akibat tekanan tersebut. *Unconfined compression strenght* atau pengujian kuat tekan bebas tanah untuk menentukan nilai kekuatan dengan sampel berbentuk silinder hasil dari pemadatan. Pengujian ini

menggunakan mesin tekan untuk menekan sampel yang dibentuk silinder dari satu arah (Amran & Pradana, 2023).

California Bearing Ratio (CBR) Test

Menurut (Akbar, Burhanuddin, & Jufriadi, 2021) California Bearing Ratio (CBR) adalah sebuah metode (cara) untuk menentukan besaran nilai daya dukung tanah dalam menahan/mendukung beban yang bekerja di atasnya, yaitu beban yang bekerja di atas perkerasan jalan. Nilai CBR laboratorium didapat dengan menggunakan alat yang bernama alat uji CBR sedangkan untuk nilai CBR lapangan didapat dengan menggunakan alat uji CBR lapangan yang menggunakan Dam Truk yang berisi muatan penuh sebagai beban ujinya (beban penetrasi).

3. METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Kampus Ketintang Surabaya. Penelitian dilaksanakan pada semester genap tahun ajaran 2023/2024.

Sampel Penelitian

a. Sampel Tanah

Sampel tanah diambil di Perumahan Graha Natura D-28, Lontar, Kecamatan Sambikerep, Surabaya dengan menggunakan alat bantu, yaitu sekop.

b. Limbah Gypsum

Limbah Gypsum yang digunakan diperoleh dari pengrajin gypsum di daerah Lidah Kulon, Surabaya. Pengambilan limbah gypsum merupakan sisa hasil dari industri pembuatan profil gypsum yang digunakan sebagai hiasan bangunan.

c. Sampel Benda Uji

Sampel benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah sebanyak 4 sampel. Dengan masing-masing komposisi sebagai berikut:

- 1) Komposisi tanah + 0% serbuk limbah gypsum
- 2) Komposisi tanah + 10% serbuk limbah gypsum
- 3) Komposisi tanah + 20% serbuk limbah gypsum
- 4) Komposisi tanah + 30% serbuk limbah gypsum

Digunakan variasi pencampuran 0%, 10%, 20% dan 30% penambahan serbuk limbah gypsum karena melanjutkan pengujian nilai kuat geser pada tanah lempung.

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data primer didapatkan dengan melakukan uji laboratorium. Prosedur yang dilakukan sebagai berikut:

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Penambahan Campuran Serbuk Limbah Gypsum Pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Uji *Atterberg*

Metode pencampuran serbuk limbah gypsum dengan tanah lempung ekspansif yaitu dengan penyebaran serbuk limbah gypsum secara merata di permukaan tanah, diikuti dengan pengadukan atau pengolahan tanah sesuai variasi pencampuran yang digunakan yaitu 0%, 10%, 20% dan 30%.

Nilai Batas Cair / Liquid Limit (LL)

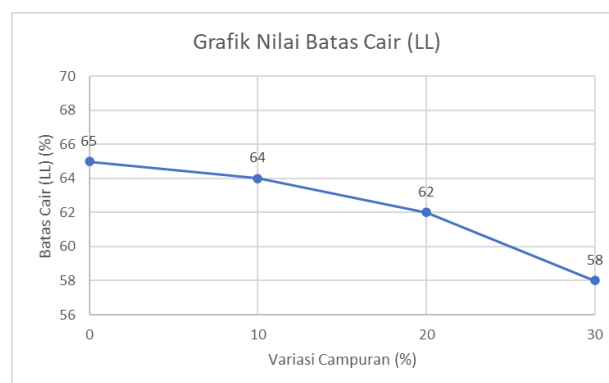
Hasil dari uji laboratorium batas cair tanah lempung ekspansif dengan penambahan serbuk limbah gypsum ditabulasikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Pengaruh Penambahan Serbuk Limbah Gypsum Pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Batas Cair (LL).

Benda Uji	Campuran Benda Uji Tanah Lempung Ekspansif (gr)	Serbuk Limbah Gypsum (%)	Nilai Batas Cair (LL) (%)
1	100	0	65
2	100	10	64
3	100	20	62
4	100	30	58

Sumber: Hasil Laboratorium.

Berdasarkan Tabel 1. yang didapatkan setelah melakukan pengujian menunjukkan bahwa nilai batas cair pada tanah lempung ekspansif tanpa penambahan serbuk limbah gypsum, yaitu sebesar 65%.



Gambar 1. Grafik Pengaruh Penambahan Serbuk Limbah Gypsum Pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Batas Cair (LL).

Pada Gambar 1. menunjukkan hasil dari nilai batas cair pada tanah lempung ekspansif dengan penambahan serbuk limbah gypsum menunjukkan bahwa nilai batas cair mengalami penurunan terhadap tanah asli. Penurunan nilai batas cair terjadi pada penambahan 20%--30%. Penurunan nilai batas cair disebabkan karena bahan tambah limbah gypsum mengandung mineral dengan kadar kalsium yang mendominasi pada mineralnya. Dalam ilmu kimia gypsum disebut sebagai Kalsium Sulfat Hidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Wibawa, 2015). Artinya, serbuk limbah gypsum dapat meningkatkan stabilitas tanah organik karena mengandung kalsium yang mengikat tanah bermateri organik terhadap lempung yang memberikan stabilitas terhadap agregat tanah.

Nilai Batas Plastis / Plastic Limit (PL)

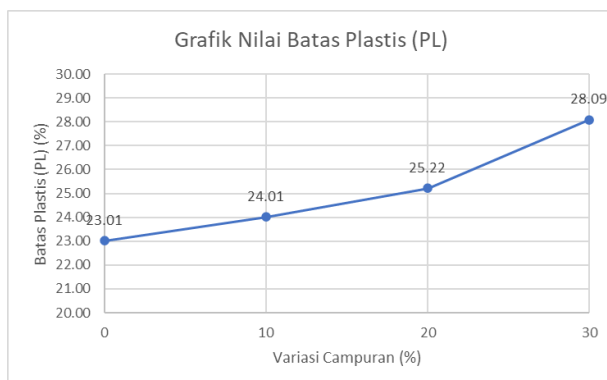
Hasil dari uji laboratorium batas plastis tanah lempung ekspansif dengan penambahan serbuk limbah gypsum ditabulasikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Pengaruh Penambahan Serbuk Limbah Gypsum Pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Batas Plastis (PL).

Benda Uji	Campuran Benda Uji Tanah Lempung Ekspansif (gr)	Serbuk Limbah Gypsum (%)	Nilai Batas Plastis (PL) (%)
1	20	0	23.01
2	20	10	24.01
3	20	20	25.22
4	20	30	28.09

Sumber: Hasil Laboratorium.

Berdasarkan Tabel 2 yang didapatkan setelah melakukan pengujian menunjukkan bahwa nilai batas plastis pada tanah lempung ekspansif tanpa penambahan serbuk limbah gypsum, yaitu sebesar 23.01%.



Gambar 2. Grafik Pengaruh Penambahan Serbuk Limbah Gypsum Pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Batas Plastis (PL).

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa dengan penambahan serbuk limbah gypsum sebesar 10%-30% dapat menyebabkan kenaikan nilai batas plastis. Kenaikan drastis terjadi pada

campuran 30% sebesar 28.09%. Kenaikan pada hasil uji batas plastis disebabkan oleh timbulnya retakan pada sampel yang terjadi karena berkurangnya kadar air yang diikat oleh unsur senyawa kalsium oksida (CaO) milik serbuk limbah gypsum yang bereaksi dengan air sehingga mencapai keadaan plastis yang menyebabkan peningkatan nilai pada grafik.

Nilai Indeks Plastisitas / Plasticity Index (PI)

Hasil dari uji laboratorium nilai indeks plastisitas tanah lempung ekspansif dengan penambahan serbuk limbah gypsum ditabulasikan dalam Tabel 3.

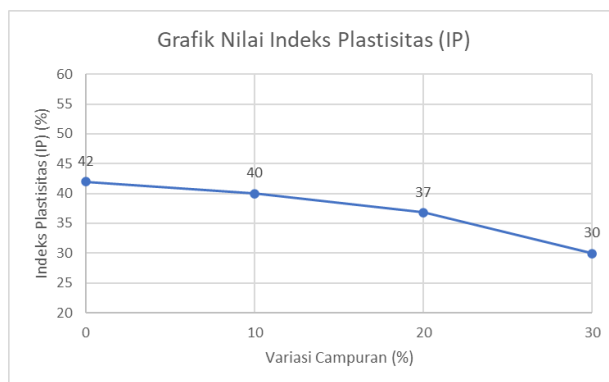
Tabel 1. Pengaruh Penambahan Serbuk Limbah Gypsum Pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Indeks Plastisitas (PI).

Serbuk Limbah Gypsum (%)	Nilai Indeks Plastisitas (PI)
0	42
10	40
20	37
30	30

Sumber: Hasil Laboratorium.

Berdasarkan Tabel 3 yang didapatkan setelah melakukan pengujian menunjukkan bahwa nilai indeks plastisitas pada tanah lempung ekspansif tanpa penambahan serbuk limbah gypsum, yaitu sebesar 42%.

Berdasarkan kajian Pustaka bab 2, dimana hasil diatas merupakan tanah dengan Kondisi ekspansif tinggi karena berada pada nilai diatas 20-55 (Gunarso, Nuprayogi, Partono, & Pardoyo, 2017).



Gambar 3. Grafik Pengaruh Penambahan Serbuk Limbah Gypsum Pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Indeks Plastisitas (PI).

Dapat dilihat pada Gambar 3 bahwa terjadi penurunan nilai indeks plastisitas dari nilai sebesar 42% dengan ekspansif kategori sangat tinggi turun menjadi ekspansif kategori tinggi turun menjadi ekspansif kategori sedang sebesar 20%. Penurunan diakibatkan oleh mengurangnya kadar air dalam tanah karena terserap oleh tanah dan kandungan serbuk limbah gypsum sehingga kandungan air yang terserap terbilang kecil atau sedikit.

Dengan demikian, nilai batas cair, nilai batas plastis dan nilai indeks plastisitas dapat dipengaruhi dengan penambahan serbuk limbah gypsum sebagai bahan stabilisasi.

Pengaruh Penambahan Campuran Serbuk Limbah Gypsum Pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Uji *Unconfined Compression Strength*

Hasil dari uji Unconfined tanah lempung ekspansif dengan penambahan serbuk limbah gypsum ditabulasikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Pengaruh Penambahan Campuran Serbuk Limbah Gypsum Pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai *Uji Unconfined Compression Strength*

Penambahan Serbuk Limbah Gypsum (%)	Nilai Kuat Tekan Bebas Prosentase Kenaikan (%)
0	2,30
10	2,58
20	1,81
30	1,37

Sumber: Hasil Laboratorium.

Berdasarkan Tabel 4. yang didapatkan setelah melakukan pengujian menunjukkan bahwa nilai *Uji Unconfined Compression Strength* (Q_u) mengalami peningkatan yang disebabkan oleh penambahan serbuk limbah gypsum pada tanah lempung ekspansif. Hasil pada saat tanah asli menunjukkan $2,30 \text{ gr/cm}^2$, lalu meningkat menjadi $2,58 \text{ gr/cm}^2$ setelah ditambah serbuk limbah gypsum sebanyak 10%, selanjutnya akan menyebabkan nilai turun saat pencampuran pada campuran 20% hasil tanah asli menunjukkan $1,81 \text{ gr/cm}^2$, kemudian pada campuran 30% hasil tanah menunjukkan $1,37 \text{ gr/cm}^2$. Nilai tinggi yang diperoleh pada campuran 10% dikarenakan reaksi yang berpengaruh pada kandungan bahan tambah tersebut memiliki daya rekat yang bagus dan mampu menyerap air pada tanah. (Perkasa, Sariman, & Lebang, 2023).



Gambar 4. Grafik Nilai *Uji Unconfined Compression Strength*.

Pada gambar 4. dapat dilihat bahwa dengan penambahan serbuk limbah gypsum sebesar 10%, 20% dan 30% terjadi penurunan nilai kuat tekan pada campuran 20% dan 30% dikarenakan tergantung pada kadar gypsum yang ditambahkan, atau faktor lain seperti penambahan air.

Pengaruh Penambahan Campuran Serbuk Limbah Gypsum Pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Uji CBR

Uji Proctor Standar / Standard Proctor Test

Hasil dari uji laboratorium nilai uji proctor standar tanah lempung ekspansif dengan penambahan serbuk limbah gypsum ditabulasikan dalam Tabel 5.

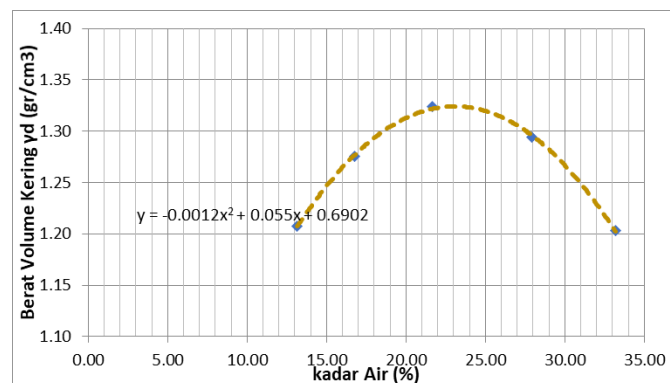
Tabel 2. Hasil Pengujian Proctor Standar.

Penambahan Air (%)	Kadar Air Tanah (%)	Tanah Lempung Ekspansif (gr)	Berat Volume Kering (gr/cm ³)
5	7	2500	1.21
10	7	2500	1.28
20	2	2500	1.32
25	3	2500	1.29
30	3	2500	1.20

Sumber: Hasil Laboratorium.

Pengujian proctor standar dilakukan untuk mendapatkan kadar air optimum (W_{opt}). pengujian dilakukan dengan penambahan air sebanyak 5%, 10%, 20%, 25% dan 30% pada tanah asli yang mengandung kadar air 7% pada penambahan air 5% dan 10%, kemudian 2% pada penambahan air 20%, dan 3% pada penambahan air 25% dan 30%.

Dari hasil pengujian akan mendapatkan nilai kadar air dan berat volume kering, lalu nilai tersebut dimasukkan ke dalam grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Pengujian Proctor Standar.

Berdasarkan Gambar 5. didapatkan kadar optimum (W_{opt}), yakni sebesar 22% yang akan digunakan sebagai kadar air optimum dalam pengujian CBR. Tanah tidak harus dalam kondisi sangat kering untuk uji Proctor. Uji Proctor justru dirancang untuk menemukan kadar air optimal di mana tanah dapat dipadatkan dengan paling efisien, bukan pada kondisi sangat kering. Prosesnya dimulai dengan tanah yang relatif kering, kemudian ditambahkan air secara bertahap untuk membuat beberapa sampel dengan kadar air yang berbeda, dan setiap sampel akan dipadatkan.

Uji CBR

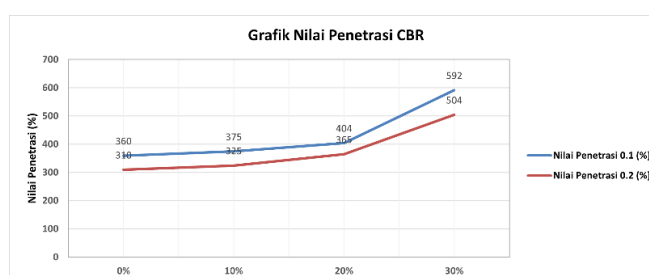
Hasil dari uji laboratorium nilai CBR ditabulasikan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Pengaruh Penambahan Serbuk Limbah Gypsum Pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai CBR.

Benda Uji	Campuran Benda Uji		Nilai CBR (%)		Volume Berat Kering (gr/cm ³)
	Tanah Lempung Ekspansif (gr)	Serbuk Limbah Gypsum (%)	Penetrasi 0.1 (%)	Penetrasi 0.2 (%)	
1	5000	0	360	310	1.34
2	5000	10	375	325	1.36
3	5000	20	404	365	1.43
4	5000	30	592	504	1.49

Sumber: Hasil Laboratorium.

Berdasarkan Tabel 6. yang didapatkan setelah melakukan pengujian menunjukkan bahwa nilai CBR mengalami peningkatan berturut-turut sebesar 1.34, 1.36, 1.43, 1.49gr/cm³. Peningkatan nilai CBR disebabkan karena terjadinya sementasi akibat penambahan serbuk limbah *gypsum*. Menurut (Syawal & Saleh, 2016) sementasi menyebabkan pengumpulan yang dapat meningkatkan daya ikat antara butiran. Meningkatnya ikatan antar butiran, maka akan meningkatnya kemampuan saling mengunci antar butiran. Selain itu, rongga pori yang telah ada sebagian akan dikelilingi bahan sementasi yang lebih keras, sehingga butiran tidak mudah hancur atau berubah bentuk karena pengaruh air.

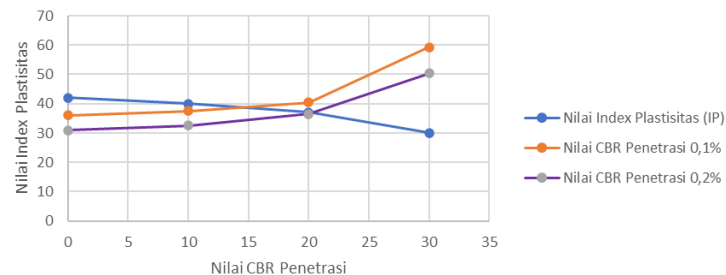


Gambar 6. Grafik Pengaruh Penambahan Serbuk Limbah Gypsum Pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Penetrasi CBR.

Berdasarkan grafik pada Gambar 6 menunjukkan peningkatan nilai penetrasi saat pencampuran berada di variasi 10% dengan nilai terbesar, yaitu 592%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan serbuk limbah gypsum pada tanah lempung ekspansif dapat meningkatkan nilai pada uji CBR, Peningkatan terjadi karena penambahan campuran limbah gypsum. Kenaikan nilai CBR yang lebih besar tiap campuran ini disebabkan tingkat pemadatan yang lebih kuat pada saat pencampuran, namun semua persentase ada pada batas optimumnya dan besaran nilai CBR tiap variasi campuran berbeda. Hal ini disebabkan karena ω optimum yang digunakan adalah ω optimum variasi disetiap campuran. Maka akibatnya nilai optimum

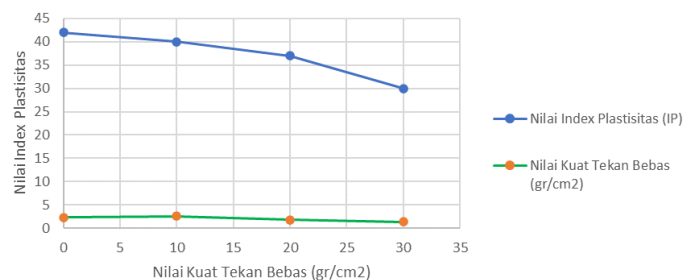
CBR bisa terjadi pada tiap variasi campuran. Variasi campuran juga dapat membuat kemampuan antara tanah dan *gypsum* lebih kuat hingga membuat rongga tanah semakin kecil (Indera, Mina, & Fakhri, 2018).

Grafik Hubungan



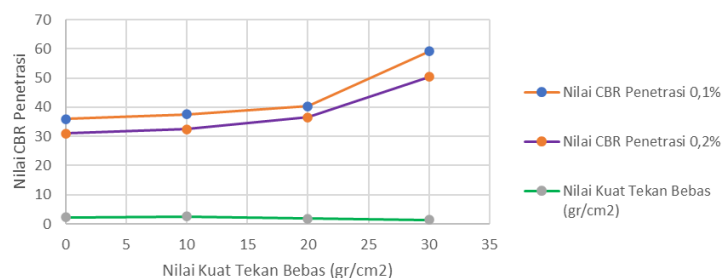
Gambar 7. Grafik Nilai Indeks Plastisitas Terhadap Nilai CBR Penetrasi.

Berdasarkan grafik pada Gambar 18 menunjukkan penurunan nilai indeks plastisitas, penurunan diakibatkan oleh mengurangnya kadar air dalam tanah karena terserap oleh tanah dan kandungan serbuk limbah gypsum sehingga kandungan air yang terserap terbilang kecil atau sedikit. Tetapi pada nilai CBR penetrasi menunjukkan peningkatan, peningkatan terjadi karena penambahan campuran limbah gypsum.



Gambar 8. Grafik Nilai Indeks Plastisitas Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas.

Berdasarkan grafik pada Gambar 8 menunjukkan penurunan nilai indeks plastisitas, penurunan diakibatkan oleh mengurangnya kadar air dalam tanah karena terserap oleh tanah dan kandungan serbuk limbah gypsum sehingga kandungan air yang terserap terbilang kecil atau sedikit. Tetapi pada nilai kuat tekan bebas juga menunjukkan penurunan, penurunan dikarenakan tergantung pada kadar gypsum yang ditambahkan, atau faktor lain seperti penambahan air.



Gambar 9. Grafik Nilai CBR Penetrasi Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas.

Berdasarkan grafik pada Gambar 9 menunjukkan peningkatan pada nilai CBR penetrasi, peningkatan terjadi karena penambahan campuran limbah gypsum. Tetapi pada nilai kuat tekan bebas juga menunjukkan penurunan, penurunan dikarenakan tergantung pada kadar gypsum yang ditambahkan, atau faktor lain seperti penambahan air.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil uji laboratorium dan analisis data yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa: Hasil uji Atterberg yang dilakukan diketahui bahwa dengan penambahan serbuk limbah gypsum terhadap tanah lempung ekspansif dapat meningkatkan stabilitas tanah di Kecamatan Lontar, Surabaya Barat. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan hasil dengan tanpa penambahan serbuk limbah gypsum sebesar 42% yang termasuk dalam kategori derajat ekspansif tinggi. Sedangkan dengan penambahan campuran maksimal sebesar 30% serbuk limbah gypsum, diperoleh nilai titik minimum sebesar 20% yang termasuk dalam kategori sedang.

Hasil uji *Unconfined Compression Strength* yang dilakukan dapat diketahui bahwa penambahan serbuk limbah gypsum terhadap tanah lempung ekspansif dapat mengalami peningkatan pada penambahan serbuk limbah gypsum variasi 10% sebesar 2,58gr/cm² dan mengalami penurunan pada penambahan serbuk limbah gypsum variasi 20% sebesar 1,81gr/cm² dan mengalami penurunan kembali pada penambahan serbuk limbah gypsum variasi 30% sebesar 1,37gr/cm². Dalam pengujian *Unconfined Compression Strength* penambahan serbuk limbah gypsum terhadap tanah lempung ekspansif dapat meningkatkan daya dukung tanah dikarenakan reaksi yang berpengaruh pada kandungan bahan tambah tersebut memiliki daya rekat yang bagus dan mampu menyerap air pada tanah.

Hasil uji CBR yang dilakukan dapat diketahui bahwa penambahan serbuk limbah gypsum terhadap tanah lempung ekspansif dapat menyebabkan peningkatan nilai berat kering secara konstan dengan nilai 1.34, 1.36, 1.43, 1.49.gr/cm³. Hal ini menunjukkan bahwa dengan

penambahan serbuk limbah gypsum pada tanah lempung ekspansif dapat meningkatkan nilai pada uji CBR.

Hasil grafik gabungan yang dilakukan dapat diketahui bahwa nilai indeks plastisitas menunjukkan penurunan, tetapi pada nilai CBR penetrasi menunjukkan peningkatan, lalu pada nilai plastisitas menunjukkan penurunan, tetapi nilai kuat tekan bebas juga menunjukkan penurunan, dan pada nilai CBR penetrasi menunjukkan peningkatan, tetapi nilai kuat tekan bebas menunjukkan penurunan.

DAFTAR REFERENSI

- Akbar, S. J., Burhanuddin, B., & Jufriadi, J. (2021). Hubungan Nilai Cbr Dan Sand Cone Lapisan Pondasi Bawah Pada Perkerasan Lentur Jalan. *Teras Jurnal* 5(1), 21-31.
- Amran, Y., & Pradana, D. Y. (2023). PARAMETER NILAI KUAT TEKAN BEBAS TANAH TERHADAP TINGKAT KEPADATAN TANAH LEMPUNG EKSPANSIF. *TAPAK* 12(2), 166-178.
- Aryanto, M., Suhendra, & Rizky, K. A. (2021). Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Menggunakan Kapur Tohor. *Jurnal Talenta Sipil* 4(1), 38-43.
- Budiono, H. (2016, Juli Kamis). *Peluang Besar, Pemakaian Gypsum di Indonesia Masih 0,4 Persen Per Kapita*. Retrieved from Kompas.com: <https://properti.kompas.com/read/2016/07/21/193000721/Peluang.Besar.Pemakaian.Gypsum.di.Indonesia.Masih.0.4.Persen.Per.Kapita>
- Dharmayasa, I. G. (2014). Analisis Daya Dukung Pondasi Dangkal Pada Tanah Lunak di Daerah Dengan Muka Air Tanah Dangkal (Studi Kasus Pada Daerah Suwung Kauh). *PADURAKSA* 3(2), 22-44.
- Elsy E, H., Rosmiyati A, B., & Martha C, U. (2021). Pemanfaatan Fly Ash untuk Stabilisasi Tanah Dasar Lempung Ekspansif. *Jurnal Teknik Sipil* 10(1), 89-102.
- Febrijanto, R., Hardiana, Y., & Hidayat, D. (2016). *Pekerjaan Tanah Untuk Jalan*. Bandung: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Badan Penelitian dan Pengembangan.
- Gunarso, A., Nuprayogi, R., Partono, W., & Pardoyo, B. (2017). SSstabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Dengan Campuran Larutan NaOH 7,5 %. *Jurnal Karya Teknik Sipil* 6(2), 238-245.
- Herman. (n.d.). *Bahan Ajar – Mekanika Tanah II – Pertemuan II & III*. Retrieved from Academia.edu: https://www.academia.edu/8591802/Bahan_Ajar_Mekanika_Tanah_II_Pertemuan_II_and_III
- Indera, K. R., Mina, E., & Fakhri, N. (2018). STABILISASI TANAH LEMPUNG LUNAK DENGAN MEMANFAATKAN LIMBAH GYPSUM DAN PENGARUHNYA TERHADAP NILAI CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR). *Jurnal Fondasi* 7(1), 22-31.
- Niyomukiza, J. B., Wardani, S. P., & Setiadi, B. H. (2021). Recent Advances in the Stabilization of Exspansive Soils Usings Waste Materials: A Review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 623 (1).

- Perkasa, A. J., Sariman, S., & Lebang, F. (2023). Analisis Penggunaan Limbah Gypsum dan Semen Putih Terhadap Kuat Tekan Bebas Tanah Lempung Kelanauan. *Jurnal Penelitian Teknik Sipil Konsolidasi* , 221-225 .
- Rangan, P. R., Arrang, A. T., & Agustinus. (2020). Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif dengan Limbah Keramik (Studi Kasus: Tanah di Tanete, Lembang Limbong, Kecamatan Rembon, Kabupaten Tana Toraja). *Jurnal Teknik Sipil*, 945-950.
- Ridwan, M., & Wati, N. R. (2015). Pengaruh Penambahan Batu Kumbung Pada Tanah di Daerah Lamongan Terhadap Nilai California Bearing Ratio (CBR) Test. *Rekayasa Teknik Sipil 1(1)/rekat/15*, 01-08.
- Siregar. (2018). Limbah Gypsum Lis Plafond Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Lempung. *Progam Studi Teknik Sipil Universitas Islam 45 Bekasi*.
- Surya, A. F. (2017, April Kamis). *Gypsum*. Retrieved from Academia.edu: [https://www.academia.edu/8653961/GYPSUM%20\[5%20April%202017\]](https://www.academia.edu/8653961/GYPSUM%20[5%20April%202017])
- Syawal, M., & Saleh, S. M. (2016). Dampak Penambahan Kapur Paada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai CBR Tanah Dasar Konstruksi Jalan. *Jurnal Teknik Sipil. Universitas Syiah Kuala*.
- Wibawa, A. (2015). Pengaruh Penambahan Limbah Gypsum Terhadap Nilai Kuat Geser Tanah Lempung. *Jurnal Fropil 3(2)*, 65-71.
- Zada, U., & et al. (2023). *Recent Advances in Exxpansive Soil Stabilization Using Admixtures: Current Challenges and Opportunities*. Case Studies in Construction Materials.