Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil
Vol 15, No 02, September 2025

P-ISSN 2088-0561
E-ISSN 2502-1680

Pemanfaatan Limbah Beton dan Serbuk Batu Kapur sebagai Bahan Stabilisaasi Tanah Lunak

Dewi Amalia[1)], Geni Firuliadhim[2)], Sitorus Tio Rani Betseba[3)], Rifa Sabila[4)]
[1, 2, 3, 4)] *Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung*
Email: dewi.amalia@polban.ac.id [1)], geni.firuliadhim@polban.ac.id[2)], sitorus.tio.tkgd22@polban.ac.id[3)], rifa.sabila.tkgd22@polban.ac.id[4)]

DOI: http://dx.doi.org/10.29103/tj.v15i2.1304

(Received: 08 July 2025 / Revised: 19 August 2025 / Accepted: 04 September 2025)

Abstrak

Tanah lempung lunak sering menjadi kendala dalam pekerjaan konstruksi karena daya dukungnya rendah dan sifatnya mudah berubah akibat kadar air. Untuk mengatasi hal tersebut, penelitian ini dilakukan dengan menstabilisasi tanah menggunakan campuran serbuk batu kapur 10% dan limbah beton sebanyak 5%, 10%, dan 15% sebagai bahan alternatif ramah lingkungan. Serangkaian pengujian laboratorium seperti berat jenis, analisa ukuran butir, *atterberg limit*, pemadatan, *california bearing ratio* (CBR), dan *swelling* dilakukan setelah masa pemeraman selama 14 hari. Hasil menunjukkan bahwa campuran terbaik terdapat pada variasi 10% serbuk batu kapur dan 15% limbah beton. Pada variasi ini, indeks plastisitas menurun 85,90%, dari 36,60% menjadi 5,15%. Nilai CBR *unsoaked* meningkat 435,38%, dari 6,2% menjadi 33,2%, sedangkan nilai CBR *soaked* meningkat 523,66%, dari 4,65% menjadi 29%. Nilai *swelling* pun mengalami penurunan sebesar 89,18%, dari 6,47% menjadi 0,70%. Hasil ini membuktikan bahwa kombinasi bahan tersebut efektif memperbaiki karakteristik tanah lempung lunak.

Kata kunci: *Stabilisasi, Lempung, Limbah Beton, Serbuk Batu Kapur, California Bearing Ratio*

Abstract

Soft clay soils often pose challenges in construction due to their low bearing capacity and high sensitivity to moisture content. To address this issue, this study stabilized soft clay using a mixture of 10% limestone powder and concrete waste at 5%, 10%, and 15% as environmentally friendly alternative materials. Laboratory tests—including specific gravity, grain size analysis, Atterberg limits, compaction, California Bearing Ratio (CBR), and swelling—were conducted after 14 days of curing. The results showed the optimal mix was 10% limestone powder and 15% concrete waste. In this variation, the plasticity index decreased by 85.90%, from 36.60% to 5.15%. The unsoaked CBR value increased by 435.38%, from 6.2% to 33.2%, while the soaked CBR value rose by 523.66%, from 4.65% to 29%. Swelling also decreased significantly by 89.18%, from 6.47% to 0.70%. These findings confirm that the material combination effectively improves the engineering properties of soft clay soils.

Keywords: *Stabilization, Clay, Concrete Waste, Limestone Powder, California Bearing Ratio*

1. Latar Belakang

Sebagian besar wilayah di Indonesia didominasi oleh tanah lempung, terutama di daerah dengan topografi rendah atau bekas rawa yang cenderung tergenang air (Septino et al., 2023). Salah satunya adalah daerah Banjaran

Kabupaten Bandung, Jawa Barat. Daerah ini memiliki karakteristik tanah yang lunak, plastis, dan mudah jenuh air, sehingga sering mengalami masalah pada struktur tanah dasarnya. Tanah lempung di wilayah tersebut umumnya memiliki nilai daya dukung yang rendah dan rentan terhadap penurunan.

Tanah lunak dikenal sebagai jenis tanah yang berpotensi menimbulkan ketidakstabilan serta penurunan jangka panjang, disebabkan oleh rendahnya kekuatan geser dan tingginya sifat pemampatannya (Sianturi et al., 2022). Menurut klasifikasinya, salah satu jenis tanah lunak adalah tanah lempung. Tanah lempung merupakan hasil pelapukan unsur kimia penyusun batuan dengan ukuran partikel sangat halus, yang bersifat keras saat kering, plastis pada kadar air sedang, dan menjadi lengket serta sangat lunak ketika kadar airnya tinggi (Sir et al., 2019). Sifat-sifat negatif pada tanah lempung dapat memengaruhi kekuatan struktur bangunan dan berpotensi menimbulkan kerusakan fisik. Hal ini disebabkan karena tanah lempung memiliki tingkat pengembangan dan penyusutan yang tinggi, serta sangat dipengaruhi oleh keberadaan air (Fahruddin & Fatmawati, 2024). Penelitian (Wibisono et al., 2018) juga menunjukkan bahwa meningkatnya kandungan lempung dalam tanah campuran cenderung menurunkan sudut geser dalam, yang pada akhirnya berdampak pada rendahnya kekuatan geser total tanah.

Berbagai teknik perbaikan tanah dapat diterapkan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Salah satunya adalah dengan cara stabilisasi tanah menggunakan bahan tambah (Ganti et al., 2025). Melalui cara tersebut, penurunan tanah dapat diminimalkan, kekuatan geser meningkat, daya dukung fondasi bertambah, stabilitas lereng membaik, dan sifat negatif tanah dapat dikurangi (Desiani & Redjasentana, 2019). Pada umumnya, bahan tambah stabilisasi tanah yang umum digunakan adalah semen dan kapur. Dalam penelitian ini, limbah beton dimanfaatkan sebagai alternatif material daur ulang yang ramah lingkungan. Selain itu, serbuk batu kapur (SBK) tetap digunakan bersama limbah beton (LB) untuk meningkatkan efektivitas stabilisasi dan memperoleh hasil yang lebih optimal (Gazali et al., 2023);(Nugroho et al., 2022). Dengan memanfaatkan kedua bahan tersebut secara bersamaan, diharapkan tercipta efek sinergis yang mampu mengatasi keterbatasan tanah lempung lunak secara lebih menyeluruh.

Berbagai upaya pemanfaatan limbah konstruksi telah dilakukan untuk mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan, salah satunya adalah penggunaan limbah beton sebagai bahan stabilisasi tanah. Limbah beton merupakan material sisa dari proses pembongkaran bangunan atau pengecoran yang tidak terpakai, dan jumlahnya semakin meningkat seiring bertambahnya aktivitas pembangunan (Zhafirah et al., 2024). Limbah beton dapat digunakan sebagai material campuran dalam tanah guna meningkatkan daya dukung tanah terhadap beban di atasnya (Budihardjo, n.d.).

Serbuk batu kapur merupakan bahan yang kaya akan kalsium karbonat ($CaCO_3$) dan telah banyak digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah karena kemampuannya dalam menurunkan plastisitas serta meningkatkan kepadatan tanah (Zulnasari et al., 2021)(Bhoi et al., 2024). Serbuk batu kapur bekerja dengan cara bereaksi secara kimia dengan partikel tanah, sehingga mampu menurunkan kandungan air dalam tanah (Muwaffa, 2021). Selain mudah diperoleh, penggunaannya juga dinilai lebih ekonomis dan ramah lingkungan, sehingga cocok dikombinasikan dengan limbah beton untuk mendukung perbaikan tanah secara maksimal.

P-ISSN 2088-0561
E-ISSN 2502-1680

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh kombinasi limbah beton dan serbuk batu kapur terhadap perubahan sifat fisik dan mekanik tanah lempung lunak. Aspek yang diamati meliputi perubahan kadar air, berat jenis, indeks plastisitas, nilai CBR dan nilai *swelling* dari masing-masing variasi campuran. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif solusi perbaikan tanah yang tidak hanya efektif secara teknis, tetapi juga mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan melalui pemanfaatan limbah konstruksi. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan sifat fisik dan mekanik tanah lempung setelah dilakukan stabilisasi dengan campuran tersebut dan untuk mengevaluasi efektivitas campuran sebagai alternatif material stabilisasi tanah yang ramah lingkungan.

2. Metode Penelitian

2.1 Tahapan Persiapan Benda Uji

Tahap penelitian diawali dengan studi literatur, dilanjutkan dengan penyediaan alat dan bahan. Bahan yang digunakan terdiri dari tanah lempung asal Banjaran (Kabupaten Bandung), serbuk batu kapur (kapur padam), dan limbah beton. Sampel tanah terganggu diambil pada kedalaman 0,5–1 m, kemudian dijemur hingga kering udara, dihancurkan, dan disaring dengan saringan No. 4 seperti pada Gambar 1 dan 2. Sementara itu, sampel tanah tidak terganggu diambil pada kedalaman 1–1,2 m menggunakan pipa PVC berdiameter 2,5 inci, kemudian dibungkus aluminium foil untuk menjaga kadar air asli.

Gambar 1 Penghancuran Tanah Yang Telah Dalam Kondisi Kering Udara

Gambar 2 Pengayakan Tanah Dengan Saringan No. 4

Limbah beton yang digunakan berasal dari bobokan *truck mixer* di *Batching Plant* Jayamix Jakarta Timur dengan mutu 400 MPa. Limbah beton dihancurkan menggunakan palu hingga menjadi partikel kecil kemudian disaring menggunakan saringan No. 4 seperti pada Gambar 4.

Gambar 3 Penghancuran Limbah Beton

2.2 Pembuatan Benda Uji

Penelitian ini menggunakan empat variasi campuran tanah dengan kadar serbuk batu kapur tetap sebesar 10%, sedangkan kadar limbah beton ditingkatkan secara bertahap. Pendekatan ini bertujuan untuk mengevaluasi kontribusi limbah beton terhadap perbaikan karakteristik tanah dengan pengaruh serbuk batu kapur yang konstan. Pencampuran dilakukan berdasarkan berat kering tanah sesuai proporsi pada Tabel 1.

Tabel 1 Kadar Campuran Bahan Stabilisasi

No	Kode	Kadar Campuran
1.	Tanah Asli (TA)	Tanpa Penambahan
2.	Variasi 1 (V_1)	10% Serbuk Batu Kapur
3.	Variasi 2 (V_2)	10% Serbuk Batu Kapur + 5% Limbah Beton
4.	Variasi 3 (V_3)	10% Serbuk Batu Kapur + 10% Limbah Beton
5.	Variasi 4 (V_4)	10% Serbuk Batu Kapur + 15% Limbah Beton

Pengujian awal yang dilakukan adalah pengujian sifat fisik tanah antara lain pengujian berat jenis yang mengacu pada SNI 1964:2008 (Badan Standardisasi Nasional, 2008b), pengujian batas cair yang mengacu pada SNI 3423:2008 (Badan Standardisasi Nasional, 2008b), pengujain batas plastis dan index plastisitas yang mengacu pada SNI 1966:2008 (Badan Standardisasi Nasional, 2008c) dan analisa ukuran butir yang mengacu pada SNI 3423:2008 (Badan Standardisasi Nasional, 2008a). Pengujian sifat fisik tanah dilakukan untuk mengetahui jenis tanah yang akan diteliti. Berdasarkan data tersebut dilakukan klasifikasi tanah dengan metode AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*).

Tabel 2 Jumlah Sampel Pengujian Pemadatan

No	Kode	Jumlah Benda Uji
1.	Tanah Asli (TA)	5 Buah
2.	Variasi 1 (V_1)	5 Buah
3.	Variasi 2 (V_2)	5 Buah
4.	Variasi 3 (V_3)	5 Buah
5.	Variasi 4 (V_4)	5 Buah
	Total Benda Uji	25 Buah

Pengujian sifat mekanis tanah yang dilakukan adalah pengujian pemadatan dengan metode pemadatan berat (*modified proctor*) yang mengacu pada SNI 1743:2008 (Badan Standardisasi Nasional, 2008d), *california bearing ratio* (CBR) dan *swelling* yang mengacu pada SNI 1744:2012 (Badan Standardisasi Nasional, 2012). Sebelum dilakukan proses pengujian CBR dan *swelling*, diawali dengan pengujain pemadatan untuk mendapatkan nilai *maximum dry density* (MDD), dan *optimum moisture content* (OMC). Jumlah benda uji pemadatan diperlihatkan pada Tabel 2.

Tanah untuk uji CBR diperam selama 14 hari guna menyeragamkan kadar air dan memastikan reaksi pemadatan optimal seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Sampel dipadatkan dalam tiga variasi jumlah tumbukan (10, 30, dan 65) pada lima lapisan tanah, kemudian diuji dengan metode CBR pada dua kondisi, yaitu tanpa perendaman (unsoaked) dan dengan perendaman (soaked) selama 96 jam. Proses pemadatan tanah CBR disajikan pada Gambar 5.

P-ISSN 2088-0561
E-ISSN 2502-1680

Gambar 4 Pemeraman Tanah Selama 14 Hari

Gambar 5 Pemadatan Tanah CBR

Pengujian swelling dilakukan bersamaan dengan perendaman tanah CBR untuk mengetahui tingkat pengembangan akibat penyerapan air. Pada permukaan tanah dipasang pelat beban dengan arloji pengukur di atasnya seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Pembacaan arloji dilakukan setiap 24 jam selama 4 hari guna mencatat perubahan tinggi permukaan tanah. Data hasil pembacaan digunakan untuk menghitung persen pengembangan (swelling percentage) tiap sampel uji.

Gambar 6 Arloji Pengukur Pada Tanah CBR

2.3 Analisis Data

Data hasil pengujian tanah yang meliputi kadar air, berat jenis, batas batas atterberg, analisa ukuran butir, pemadatan, uji kuat tekan bebas (UCS), uji *California Bearing Ratio* (CBR), dan pengembangan (*swelling*) dianalisis menggunakan persamaan yang sesuai dengan standar (SNI dan ASTM).

2.3.1 Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Berat jenis butiran tanah dihitung berdasarkan perbandingan berat butiran tanah terhadap berat air dengan menggunakan metode piknometer sesuai (SNI 1964:2008):

$$Gs = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \text{ x } K \quad (1)$$

dengan:

W_1 = berat piknometer kosong (gr)
W_2 = berat piknometer + contoh tanah kering (gr)
W_3 = berat piknometer + tanah kering + air suling (gr)
W_4 = berat piknometer + air suling (gr)
K = faktor koreksi terhadap suhu

2.3.2 Batas Atterberg (*Atterberg Limits*)

Atterberg limits memiliki 3 jenis pengujian, yaitu batas cair, batas plastis, dan batas susut. Batas cair dihitung dengan persamaan (SNI 1967:2008):

$$LL = \frac{Ww}{Ws} x\ 100\% \quad (2)$$

dengan:

W_w = berat air (gr)
W_s = berat tanah kering (gr)

Batas plastis dihitung dengan persamaan (SNI 1966:2008):

$$PL = \frac{Ww}{Ws} x\ 100\% \quad (3)$$

dengan:

W_w = berat air (gr)
W_s = berat tanah kering (gr)

Batas susut dihitung dengan persamaan (SNI 3422:2008):

$$SL = \left[\frac{W_1 - W_2}{W_2}\right] x \left[\frac{V_1 - V_2}{V_2}\right] x\ 100\% \quad (4)$$

dengan:

W_1 = berat tanah basah (gr)
W_2 = berat tanah kering oven (gr)
V_1 = volume sampel tanah basah (gr)
V_2 = volume sampel tanah kering (gr)

Index plastisitas dihitung dengan persamaan (SNI 1966:2008):

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

dengan:

LL = batas cair (*liquid limit*)
PL = batas plastis (*plastic limit)*

2.3.3 Analisa Ukuran Butir (*Grain Size Analysis*)

Analisa ukuran butir dilakukan dengan metode gabungan saringan dan hidrometer sesuai SNI 3423:2008. Metode saringan digunakan untuk menentukan persentase butiran kasar dengan persamaan:

$$\%Lolos = \frac{\text{Berat Lolos}}{\text{Berat Sampel}} x\ 100\% \quad (6)$$

Sedangkan metode hidrometer digunakan untuk menentukan distribusi butiran halus berdasarkan kecepatan pengendapan partikel dalam air yang dinyatakan dengan:

$$D = \sqrt{\frac{18 x\ \mu x\ h}{(Gs - 1) x\ \gamma w x\ t}} \quad (7)$$

dengan:

D = diameter butiran (mm)
μ = viskositas air
h = kedalaman bacaan hidrometer (cm)
Gs = berat jenis tanah
γw = berat jenis air
t = waktu pengendapan

P-ISSN 2088-0561
E-ISSN 2502-1680

Hasil dari kedua metode digabungkan dalam grafik distribusi gradasi tanah untuk memperoleh parameter karakteristik tanah, yaitu D_{10}, D_{30}, D_{60}, koefisien keseragaman dan koefisien gradasi berturut-turut

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (8)$$

$$Cu = \frac{(D_{30})^2}{D_{60}\, x\, D_{60}} \quad (9)$$

2.3.4 Pemadatan

Pengujian pemadatan tanah dilakukan untuk mengetahui hubungan antara kadar air dan berat isi kering tanah sehingga dapat diperoleh nilai berat isi kering maksimum (*Maximum Dry Density*/MDD) dan kadar air optimum (*Optimum Moisture Content*/OMC). Berat isi kering dihitung dengan persamaan:

$$\rho d = \frac{(Gs \times \rho w)}{(100 + Gs \times w)} \times 100\% \quad (10)$$

dengan:

Gs = berat jenis tanah
ρ_w = kepadatan air (gr/cm^3)
w = kadar air (%)

Nilai MDD diperoleh dari titik puncak kurva hubungan antara ρ_d dan ω, sedangkan kadar air pada titik tersebut merupakan OMC. Pengujian pemadatan ini mengacu pada SNI 1742:2008.

2.3.5 Uji Kuat Tekan Bebas (*Unconfined Compression Strength* – UCS)

Pengujian *Unconfined Compressive Strength* (UCS) dilakukan untuk mengetahui kuat tekan bebas tanah. Nilai UCS dihitung dengan persamaan (SNI 3638:2012):

$$qu = \frac{P}{A} \quad (11)$$

dengan:

P = beban maksimum (kg)
A = luas penampang benda uji (mm^2)

2.3.6 *California Bearing Ratio* (CBR)

Pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) bertujuan untuk mengetahui daya dukung tanah terhadap beban lalu lintas. Nilai CBR dihitung dengan persamaan (SNI 1744:2012):

$$CBR = \frac{\text{Beban Terkoreksi}}{\text{Beban Standar}} \times 100 \quad (12)$$

2.3.7 *Swelling Percentage*

Pengujian *swelling* dilakukan untuk mengetahui potensi pengembangan (ekspansi) tanah ketika terkena air. Nilai *swelling* dihitung menggunakan persamaan:

$$Swelling = \frac{\Delta_h}{h_0} \times 100\% \quad (13)$$

dengan:

Δ_h = pertambahan tinggi sampel (mm)
h_0 = tinggi awal sampel (mm)

P-ISSN 2088-0561
E-ISSN 2502-1680

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian Sifat Fisik Tanah

Pengujian sifat fisik tanah dilakukan untuk mengetahui karakteristik dasar tanah sebelum dan sesudah dilakukan pencampuran dengan bahan stabilisasi. Pada Tabel 3 disajikan hasil perhitungan sifat fisik tanah. Nilai pada Tabel 3 diperoleh dari hasil pengujian di laboratorium. Berat jenis tanah ditentukan menggunakan metode piknometer sesuai SNI 1964:2008. Sedangakn Batas Atterberg diperoleh melalui pengujian batas cair dan batas plastis, kemudian indeks plastisitas dihitung dengan Rumus 5. Untuk analisis ukuran butir digunakan metode gabungan, yaitu analisis saringan untuk fraksi kasar dan uji hidrometer untuk fraksi halus, sehingga diperoleh persentase kerikil, pasir, lanau, dan lempung dari Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Pengujian Sifat Fisik Tanah

No.	Pengujian		TA	V_1	V_2	V_3	V_4
1	Berat Jenis		2,727	2,733	2,738	2,745	2,749
2	Batas Batas Atterberg (%)	Kadar Air	57,80	56,10	50,20	46,90	44,80
		Batas Cair	58,06	55,45	50,01	47,33	45,60
		Batas Plastis	21,46	35,14	37,40	39,19	40,45
		Index Plastisitas	36,60	20,31	12,61	8,14	5,15
3	Analisa Ukuran Butir (%)	Kerikil	0	1,04	1,07	1,09	1,12
		Pasir	19,97	43,26	45,92	54,40	58,59
		Lanau	36,46	14,50	14,96	15,13	12,48
		Lempung	43,57	41,20	38,05	29,38	27,81

Pada pengujian analisa ukuran butir, tanah kering oven sebanyak 100 gram diambil dan disaring. Hasil saringan dapat menyimpulkan jenis tanah, di mana material Kerikil diameter > 2 mm, pasir diameter 0,075 mm - 2 mm, lanau diameter 0,002 mm - 0,075 mm, dan lempung diameter < 0,002 mm. Berdasarkan hasil pengujian sifat fisik tanah pada tanah asli (TA) dan empat variasi pencampuran bahan stabilisasi (V1–V4), dapat disimpulkan bahwa pencampuran serbuk batu kapur dan limbah beton memberikan pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik tanah. Nilai berat jenis tanah mengalami peningkatan secara bertahap dari 2,727 pada tanah asli menjadi 2,749 pada variasi keempat, menunjukkan adanya peningkatan kepadatan partikel akibat penambahan bahan stabilisasi.

Nilai batas cair (*liquid limit*) pada masing-masing variasi campuran mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya bahan stabilisasi. Berdasarkan Tabel 1, tanah asli memiliki nilai batas cair sebesar 58,06%, sedangkan pada variasi keempat nilainya turun menjadi 45,60%. Penurunan ini menunjukkan bahwa plastisitas tanah semakin berkurang akibat pencampuran serbuk batu kapur dan limbah beton, yang berdampak pada meningkatnya kekakuan dan kestabilan tanah. Hubungan antara kadar air dan jumlah ketukan pada tanah asli dan variasi 4 dapat dilihat pada grafik yang ditampilkan pada Gambar 7 dan Tabel 4.

Nilai kadar air pada jumlah ketukan ke-25 diperoleh dari uji batas cair dengan alat *Casagrande* sesuai SNI 1967:2008. Data kadar air dari beberapa jumlah ketukan diplot pada grafik semi-log dan ditarik garis lurus, di mana titik potong pada ketukan ke-25 menunjukkan nilai batas cair (LL). Grafik pada Gambar 7 menunjukkan hubungan antara kadar air dan jumlah ketukan dalam penentuan batas cair. Pada jumlah ketukan ke-25, kadar air tanah asli tercatat sebesar 57,8%, sementara variasi 4 hanya sebesar 44,80%. Kurva variasi 4 yang terletak di bawah kurva tanah asli menunjukkan bahwa tanah hasil stabilisasi memerlukan kadar air

P-ISSN 2088-0561
E-ISSN 2502-1680

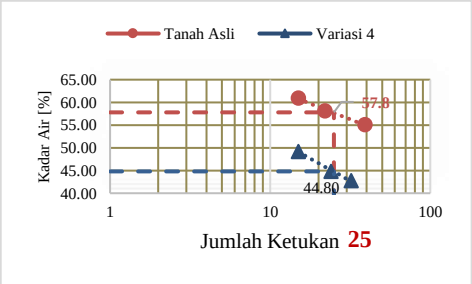
lebih rendah untuk mencapai kondisi plastis, yang menandakan penurunan plastisitas dan peningkatan kestabilan tanah terhadap perubahan kadar air. Jadi dapat disimpulkan bahwa batas cair adalah nilai batas cair tanah yang dinyatakan dalam persen (%). Nilai ini menunjukkan kadar air maksimum yang dapat ditahan oleh tanah sebelum berubah menjadi cairan. Hasil pengujian batas cair sangat penting dalam menentukan sifat-sifat tanah, seperti kemampuan drainase, kekuatan, dan kompresibilitas.

Distribusi ukuran butir tanah setelah pencampuran bahan stabilisasi ditunjukkan pada Tabel 1. Berdasarkan tabel tersebut, fraksi lempung pada tanah asli sebesar 43,57% menurun menjadi 27,81% pada variasi 4, sedangkan fraksi pasir meningkat dari 19,97% menjadi 58,59%. Perubahan distribusi ukuran butir tersebut dapat dilihat pada Gambar 8 yang menunjukkan hubungan antara diameter partikel dan persentase lolos kumulatif.

Tabel 4 Hasil Pengujian Batas Cair

	Tanah Asli			Variasi 4		
Ketukan	15	22	39	15	24	32
Kadar Air (%)	60,94	58,13	55,13	49,18	44,84	42,78

Grafik gradasi butiran tanah adalah grafik yang digunakan untuk menampilkan distribusi ukuran butiran tanah yang diperoleh dari uji ayakan dan hidrometer. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, tanah kering sebanyak 100 gram diayak dan yang lolos ayakan 200 atau diameter lebih kecil dari 0,002 mm diuji hidrometer. Grafik gradasi butiran tanah biasanya memiliki format Sumbu x (ukuran saringan (mm atau mikron) dengan skala logaritmik) dan Sumbu y (Persentase lolos (%) dengan skala linier).



Gambar 7 Grafik Batas Cair

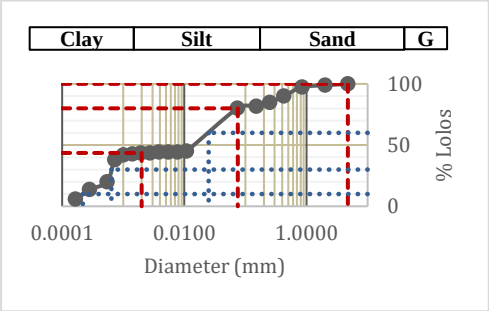
Berdasarkan grafik pada Gambar 8, nilai D10, D30, dan D60 masing-masing sebesar 0,00022 mm, 0,00064 mm, dan 0,025 mm. Berdasarkan nilai tersebut, diperoleh koefisien keseragaman (Cu) sebesar 113,636 dan koefisien gradasi (Cc) sebesar 0,745. Nilai Cu dan Cc tersebut menunjukkan bahwa gradasi tanah asli termasuk A-7-6 berdasarkan klasifikasi AASHTO.

3.2 Pengujian Pemadatan Tanah

Pengujian pemadatan adalah metode yang digunakan untuk menentukan kepadatan maksimum dan kadar air optimum tanah yang dapat dicapai melalui proses pemadatan. Hasil pengujian pemadatan berat adalah kepadatan maksimum (MDD) yaitu kepadatan maksimum tanah yang dapat dicapai melalui proses pemadatan dan kadar air optimum (OMC) yaitu Kadar air optimum yang diperlukan untuk mencapai kepadatan maksimum.

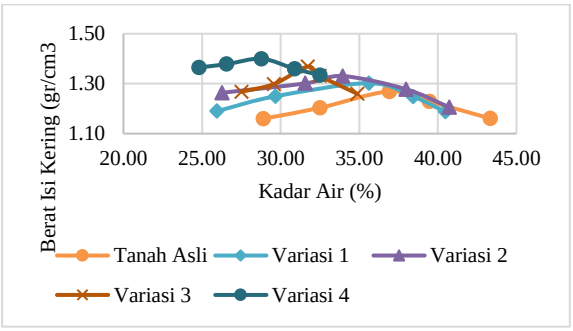
P-ISSN 2088-0561
E-ISSN 2502-1680

Kadar air optimum diperoleh melalui pengujian pemadatan berat pada tanah asli dan tanah yang telah dicampur dengan serbuk batu kapur dan limbah beton sesuai kadar yang telah di tentukan pada Tabel 1. Nilai kadar air optimum tersebut kemudian digunakan sebagai acuan kadar air dalam pembuatan sampel untuk pengujian CBR. Hasil dari pengujian pemadatan berat pada tanah asli dan tanah variasi 1 hingga 4 ditunjukan pada Gambar 9 dan Tabel 5. Nilai OMC diperoleh dari puncak kurva hubungan γd dan w pada uji pemadatan sesuai SNI 1742:2008.



Gambar 8 Grafik Gradasi Butiran Tanah Asli

Berdasarkan grafik hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi serbuk batu kapur dan limbah beton mampu meningkatkan nilai berat isi kering maksimum dan menurunkan kadar air optimum. Temuan ini memiliki kecenderungan serupa dengan penelitian (Januar Jafaruddin et al., 2025) yang menggunakan serbuk batu kapur secara tunggal, maupun (Saputra et al., 2025) yang memadukannya dengan difa soil. Namun, pada penelitian ini, peningkatan yang lebih signifikan diperoleh melalui penambahan limbah beton sebagai bahan tambah kedua.



Gambar 9 Hubungan Berat Isi Kering Dengan Kadar Air Dari Hasil Uji Pemadatan Tanah Asli, dan Variasi 1 Hingga 4

Tabel 5 Hasil Pengujian Pemadatan Berat

No	Kode	MDD (gr/cm^2)	OMC (%)
1.	Tanah Asli (TA)	1,27	36,91
2.	Variasi 1 (V_1)	1,30	35,62
3.	Variasi 2 (V_2)	1,33	33,94
4.	Variasi 3 (V_3)	1,37	31,72
5.	Variasi 4 (V_4)	1,40	28,78

3.3 Pengujian *California Bearing Ratio* (CBR)

Nilai CBR design ditentukan dari titik potong antara kurva hubungan nilai CBR dengan berat isi kering dan garis horizontal sebesar 95% dari kepadatan kering

P-ISSN 2088-0561
E-ISSN 2502-1680

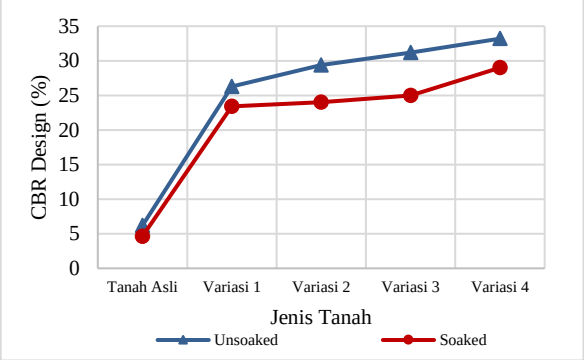
maksimum (MDD). Penarikan garis 95% MDD dilakukan untuk menggambarkan kondisi kepadatan lapangan minimum yang masih memenuhi standar teknis.

Tujuan dari pengujian dilakukan untuk menentukan nilai CBR pada tanah yang telah distabilisasi dengan menggunakan kadar air optimum yang telah diperoleh melalui pengujian pemadatan. Hasil pengujian CBR dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Hasil Pengujian CBR *Unsoaked* dan *Soaked*

No	Persentase Campuran	*Unsoaked*	*Soaked*
1	Tanah Asli	6,20	4,65
2	Tanah + 10% SBK	26,30	23,40
3	Tanah + 10% SBK + 5% LB	29,40	24,00
4	Tanah + 10% SBK + 10% LB	31,20	25,00
5	Tanah + 10% SBK + 15% LB	33,20	29,00

Nilai CBR mengalami peningkatan signifikan dari 6,2% menjadi 33,2% (*unsoaked*) dan dari 4,65% menjadi 29% (*soaked*) pada variasi campuran 10% serbuk batu kapur dan 15% limbah beton. Peningkatan ini menunjukkan pola yang sejalan dengan (Soehardi & Dwi Putri, 2024) yang menggunakan kapur tunggal, serta (Harinarayan Dewanda et al., 2023) yang menggunakan *recycled concrete aggregate*. Kombinasi keduanya dalam penelitian ini menghasilkan peningkatan CBR yang stabil pada kedua kondisi.



Gambar 10 CBR *Design Unsoaked* & *Soaked* Tanah Asli dan Variasi 1 Hingga 4

3.4 Pengujian *Swelling*

Hasil pengujian pengembangan (*swelling*) pada tanah yang telah diperam selama 14 hari dan direndam selama 4 hari, baik untuk tanah asli maupun variasi 1 hingga variasi 4, ditampilkan pada Tabel 7 dan Gambar 16.

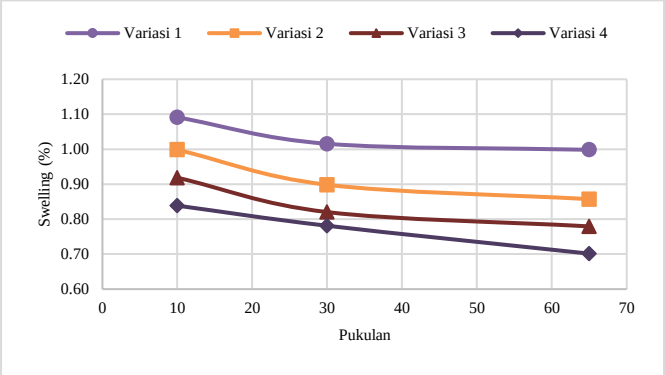
Tabel 7 *Swelling* Tanah Asli dan Variasi 1 Hingga 4

No	Pukulan	TA (%)	V_1 (%)	V_2 (%)	V_3 (%)	V_4 (%)
1.	10	6,47	1,09	1,00	0,92	0,84
2.	30	5,70	1,02	0,90	0,82	0,78
3.	65	4,74	1,00	0,86	0,78	0,70

Setiap variasi menunjukkan penurunan nilai *swelling* yang signifikan dibandingkan tanah asli. Variasi 1 hingga variasi 4 memperlihatkan tren penurunan bertahap, di mana variasi 4 memiliki nilai *swelling* paling rendah, yaitu 0,84% pada

P-ISSN 2088-0561
E-ISSN 2502-1680

pukulan 10 dan 0,70% pada pukulan 65. Secara umum, grafik menunjukkan bahwa semakin tinggi tingkat stabilisasi dan jumlah pukulan, maka semakin kecil nilai *swelling* yang terjadi. Hal ini menegaskan bahwa kombinasi antara bahan stabilisasi dan pemadatan efektif dalam mengurangi potensi pengembangan tanah. Penurunan ini konsisten dengan (Al-Alam & Bachtiar, 2023) yang menggunakan kapur, dan (Ahmed et al., 2024) yang menggunakan *recycled concrete aggregate*, meskipun kombinasi keduanya dalam penelitian ini menunjukkan hasil yang lebih efektif.



Gambar 11 Persentase Pengembangan Tanah Variasi 1 Hingga 4 Setelah Perendaman Selama 4 Hari.

4 Kesimpulan dan Saran

4.3 Kesimpulan

Pemanfaatan limbah beton dan serbuk batu kapur sebagai bahan stabilisasi pada tanah lunak terbukti memberikan pengaruh positif terhadap sifat fisik dan mekanik tanah. Terjadi penurunan berat jenis, kadar air, batas cair, dan indeks plastisitas, serta peningkatan nilai kepadatan kering maksimum (MDD) dan nilai CBR *design*, baik tanpa maupun dengan rendaman. Nilai CBR design tertinggi tercapai pada variasi 4, menunjukkan peningkatan daya dukung tanah yang signifikan. Selain itu, nilai pengembangan (*swelling*) cenderung menurun seiring peningkatan energi tumbukan, yang menunjukkan bahwa campuran stabilisasi efektif dalam mengurangi potensi pengembangan tanah saat jenuh air. Secara keseluruhan, kombinasi bahan limbah ini dinilai efektif dalam memperbaiki karakteristik tanah lunak untuk keperluan konstruksi.

4.4 Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan menambahkan variasi persentase limbah beton untuk memperoleh nilai kadar limbah beton yang optimum. Selain itu, perlu menambahkan variasi peram yaitu 0 hari, 3 hari, 7 hari, 14 hari dan 28 hari guna membandingkan pengaruh lama waktu peram terhadap nilai CBR tanah yang distabilisasi.

Ucapan Terima Kasih

Tim penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak - pihak yang terlibat dalam penelitian.

Daftar Kepustakaan

Ahmed, S. T., Kabir, M. U., Zahid, C. Z. Bin, Tareque, T., & Mirmotalebi, S. (2024). Improvement of subgrade California Bearing Ratio (CBR) using recycled concrete aggregate and fly ash. *Hybrid Advances*, *5*. https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2024.100153

Al-Alam, H., & Bachtiar, V. (2023). *Pemanfaatan Limbah Spent Bleaching Earth Pada Stabilisasi Tanah-Kapur Untuk Lapisan Fondasi Badan Jalan Ditinjau Terhadap Karakteristik Kembang-Susut*. https://doi.org/https://doi.org/10.26418/jelast.v10i2.66043

Badan Standardisasi Nasional. (2008a). *Standar Nasional Indonesia Cara Uji Analisis Ukuran Butir Tanah*.

Badan Standardisasi Nasional. (2008b). *Standar Nasional Indonesia Cara Uji Berat Jenis Tanah*.

Badan Standardisasi Nasional. (2008c). *Standar Nasional Indonesia Cara Uji Index Plastisitas Tanah*.

Badan Standardisasi Nasional. (2008d). *Standar Nasional Indonesia Cara uji Kepadatan Berat Untuk Tanah*.

Badan Standardisasi Nasional. (2008e). *Standar Nasional Indonesia Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah*.

Badan Standardisasi Nasional. (2012). *Metode uji CBR laboratorium*. www.bsn.go.id

Bhoi, K. D., Desai, P. P., Kembale, A. A., Patil, M. R., & Savyanavar, R. V. (2024). *Soil Stabilization by Using Lime and Fly Ash*. https://www.ijresm.com

Budihardjo, M. A. (n.d.). Peningkatan Stabilitas Lereng Lapisan Tanah Liat Penahan Lindi TPA dengan Penambahan Limbah Bangunan. *2018*. https://doi.org/https://doi.org/10.14710/presipitasi.v15i2.152-157

Desiani, A., & Redjasentana, S. (2019). *Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Soil Binder*. https://doi.org/https://doi.org/10.28932/jts.v8i1.1356

Fahruddin, Moch. B., & Fatmawati, L. E. (2024). *Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Menggunakan Bahan Stabilisator Abu Serabut Kelapa Dan Semen*. https://doi.org/https://journal.universitaspahlawan.ac.id/index.php/jrpp/article/download/29935/20296/98828

Ganti, A., Rd, E. A., Kalapadang, E., Matasik, R. R., & Daud Biang, F. (2025). Pengaruh Campuran Metakaolin dan Waterglass Terhadap Nilai California Bearing Ratio Tanah Lempung. *Journal of Mandalika Literature*, *6*(1). https://doi.org/https://doi.org/10.36312/jml.v6i1.3937

Gazali, A., Purnamasari, E., & Febrianto, A. E. (2023). Pengaruh Penambahan Kapur Tohor dan Matos terhadap Nilai CBR Laboratorium dalam Stabilisasi Tanah Lempung Kecamatan Bati Bati Kabupaten Tanah Laut. *Buletin Profesi Insinyur*, *6*(2). https://doi.org/10.20527/bpi.v6i2.197

Harinarayan Dewanda, Pratik Jaiswal, & Sitarami Reddy. (2023). Use of recycled concrete aggregates in stabilization of black cotton soil. *Sustainability, Agri, Food and Environmental Research-DISCONTINUED*. https://doi.org/10.7770/safer-v12n-art796

Januar Jafaruddin, A., Pristianto, H., Saputra, A., & Abidin, Z. (2025). *Jurnal Teknik Sipil : Rancang Bangun The Effect Of Clay Soil Stabilization With Lime Additives On Shear Strength*. https://doi.org/10.33506/rb.v11i01.4381

Muwaffa, M. K. (2021). Pengaruh Campuran Kapur Terhadap Kepadatan Tanah Lempung Dengan Pengujian CBR. In *Jurnal Tugas Akhir Teknik Sipil* (Vol. 5, Issue 2). https://doi.org/doi.org/10.32487/jutateks.v5i2.355

Nugroho, S. A., Al Ridho, M. F., & Fatnanta, F. (2022). Pengaruh Abu Sekam Kayu Pada Nilai Unconfined Compression Strength Lempung Plastisitas Tinggi Terstabilisasi Semen Kapur. *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, *12*(1), 141. https://doi.org/10.29103/tj.v12i1.688

Saputra, N. A., Ansyari, R. M., & Faradila, A. (2025). *Analisis Potensi Penambahan Kapur Tohor Dan Variasi Difa Soil Stabilizer Terhadap Stabilisasi Tanah Lempung*. https://doi.org/https://doi.org/10.30651/ag.v10i1.26506

Septino, M. Y., Zainuri, & Soehardi, F. (2023). *Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Penambahan Limbah Gypsum Ditinjau Dari Nilai Kuat Geser*. *11*(1). https://doi.org/10.35583/js.v11i1.190

Sianturi, N. M., Khairul, M., Kamarudin, A., Roni, D., Damanik, S., Erlando Purba, V., & Saragih, D. S. (2022). Perilaku Mekanis Tanah Lunak yang Distabilisasi dengan Kapur dan Abu Vulkanik. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, *28*(1), 118–127. https://doi.org/mkts.v28i1.41963

Sir, T. M. W., Lay, R. R., & Bunganaen, W. (2019). Stabilisasi Tanah Lempung Desa Niukbaun Menggunakan Campuran Tanah Kapur Dan Semen. In *Jurnal Teknik Sipil: Vol. VIII* (Issue 2).

Soehardi, F., & Dwi Putri, L. (2024). Pengaruh Waktu Perendaman Dengan penambahan Kapur Sebagai Bahan Stabilisasi Pada Tanah Lempung Terhadap Nilai CBR. *JICE-Journal of Infrastructure and Civil Engineering*, *4*(2), 60–64. https://doi.org/10.35583/jice.v4i2.57

Wibisono, G., Nugroho, S. A., & Umam, K. (2018). the influence of sand's gradation and clay content of direct sheart test on clayey sand. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *316*(1). https://doi.org/10.1088/1757-899X/316/1/012038

Zhafirah, A., Hidayah, A. N., & Yogaswara, D. (2024). Pengaruh Penambahan Limbah Beton K-175 sampai K-225 pada Tanah Pasir Terhadap CBR. *Siklus : Jurnal Teknik Sipil*, *10*(1), 12–20. https://doi.org/10.31849/siklus.v10i1.12125

Zulnasari, A., Nugroho, S. A., & Fatnanta, F. (2021). Perubahan Nilai Kuat Tekan Lempung Lunak Distabilisasi Dengan Kapur dan Limbah Pembakaran Batubara. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, *17*(1), 24. https://doi.org/10.25077/jrs.17.1.24-36.2021

Copyright (c) Dewi Amalia, Geni Firuliadhim, Sitorus Tio Rani Betseba, Rifa Sabila