



Stabilization of Clay Soil using Waste from Concrete Compressive Strength Test Specimens and its Effect on Soil Bearing Capacity

Bayu Wiyata Prawira¹✉, Tatag Yufitra Rus², Ezra Hartato Pongtuluran³

^{1,2} Politeknik Negeri Balikpapan

✉ Bayuscorprio28@gmail.com

Received 05-08-2023; revision 03-04-2024; accepted 05-04-2024

Abstract

Clayey soil exhibits shrink-swell behavior and low bearing capacity. The production of concrete generates waste in the form of concrete compressive strength test samples, which have a negative impact on the environment. This study aims to utilize concrete compressive strength test samples as a soil stabilization material to enhance the bearing capacity of clayey soil and reduce environmental impact. The research objective is to evaluate the influence of concrete waste on the bearing capacity of clayey soil through unsoaked California Bearing Ratio (CBR) testing. The research methodology employed an experimental approach. The testing included measuring the moisture content, conducting sieve analysis, determining the Atterberg limits, measuring the bulk density and unit weight, and performing lightweight soil compaction tests. The obtained data were used to classify the soil types according to the Unified Soil Classification System (USCS). Subsequently, laboratory unsoaked CBR testing was conducted on the natural soil samples and on samples mixed with varying proportions of concrete waste (5%, 10%, 15%, 20%, and 25%). Based on the laboratory testing and analysis of the natural soil and soil mixed with concrete compressive strength test samples, it was found that the CBR value of the natural soil around the Civil Engineering Workshop of Poltekba in North Balikpapan, East Kalimantan, was 10.78%. The CBR testing results showed that the addition of concrete waste in proportions of 5%, 10%, 15%, 20%, and 25% resulted in successive increases in CBR values to 13.48%, 15.75%, 18.88%, 22.69%, and 26.87%, respectively. Therefore, it can be concluded that the utilization of concrete compressive strength test samples can enhance the bearing capacity of clayey soil. This research contributes to the development of effective and environmentally-friendly soil stabilization technology.

Keywords: Clayey soil; Concrete waste; Soil stabilization; Unsoaked CBR

Stabilisasi tanah lempung dengan menggunakan limbah sampel uji kuat tekan beton dan pengaruhnya terhadap nilai daya dukung tanah

Abstrak

Tanah lempung memiliki kembang susut dan daya dukung rendah. Pembuatan beton menghasilkan limbah berupa sampel uji kuat tekan beton yang berdampak negatif pada lingkungan. Penelitian ini bertujuan menggunakan limbah sampel uji kuat tekan beton sebagai bahan stabilisasi tanah lempung, meningkatkan daya dukung tanah dan mengurangi dampak lingkungan. Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi pengaruh limbah beton terhadap daya dukung tanah lempung melalui pengujian CBR *unsoaked*. Metodologi penelitian yang digunakan adalah jenis penelitian eksperimental. Pengujian

dilakukan terhadap tanah asli dengan mengukur kadar air, melakukan analisa saringan, menguji atterberg limit, mengukur berat jenis, dan berat volume. Data hasil pengujian akan digunakan untuk mengklasifikasikan jenis tanah menggunakan metode USCS. Selanjutnya, dilakukan pengujian pemadatan tanah ringan untuk mendapatkan nilai kadar air optimum dan berat isi kering maksimum. Data ini akan digunakan dalam pengujian CBR Laboratorium *unsoaked* pada tanah asli serta pengujian CBR Laboratorium *unsoaked* dengan campuran limbah beton dalam variasi 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. Berdasarkan hasil pengujian laboratorium dan analisis data tanah asli serta tanah yang dicampur dengan limbah sampel uji kuat tekan beton, ditemukan bahwa nilai CBR pada tanah asli di sekitar workshop Teknik Sipil Poltekba di Balikpapan Utara, Kalimantan Timur adalah 10,78%. Hasil pengujian CBR menunjukkan bahwa penambahan limbah beton sebesar 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% menghasilkan peningkatan nilai CBR secara berturut-turut menjadi 13,48%, 15,75%, 18,88%, 22,69%, dan 26,87%. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan limbah sampel uji kuat tekan beton dapat meningkatkan daya dukung tanah lempung. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi stabilisasi tanah yang efektif dan ramah lingkungan.

Kata Kunci: Tanah lempung; Limbah beton; Stabilisasi tanah; CBR *unsoaked*

1. Pendahuluan

Tanah lempung merupakan salah satu jenis tanah yang termasuk ke dalam kategori tanah lunak dan memiliki ukuran butiran yang halus. Tanah ini dapat mengalami perubahan dimensi ketika terkena air karena sifat kembang susutnya, namun akan kembali ke dimensi semula dengan pemadatan yang tidak terarah ketika dalam keadaan kering. Konsistensi tanah berlempung kurang mendukung keamanan bangunan yang didirikan di atasnya karena daya dukungnya yang rendah. Tanah yang termasuk dalam kategori tanah lempung lunak memiliki daya dukung yang sangat rendah. Di Indonesia, kondisi iklimnya terdiri dari dua musim, yakni musim kemarau dan penghujan. Hal ini menyebabkan kadar air pada tanah lempung sangat mudah berubah dengan cepat, mulai dari kondisi yang optimal hingga kondisi yang minimal (Solekan, 2017). Oleh karena itu, tanah dengan kadar lempung tinggi perlu diperkuat dengan proses stabilisasi atau perbaikan tanah.

Pembangunan infrastruktur seperti jalan raya, bangunan, dan jembatan semakin meningkat seiring waktu. Kenaikan ini menghasilkan permintaan material bangunan yang tinggi, khususnya beton. Meskipun demikian, proses pembuatan beton menghasilkan banyak limbah berupa sampel uji kuat tekan beton yang dibuang begitu saja ke lingkungan, menyebabkan dampak negatif pada lingkungan dan kesehatan manusia (Muhammad, Gerard Aponno, Suselo Utoyo, 2015).

Limbah beton dapat menjadi alternatif bahan untuk meningkatkan daya dukung tanah. Proses hidrasi antara agregat limbah beton dan air dapat menghasilkan kapur bebas (Ca(OH)_2) yang berfungsi untuk meningkatkan daya dukung tanah. Selain itu, agregat halus pada limbah beton dapat membantu meningkatkan gradasi butiran pada tanah lempung dan meningkatkan mutu tanah lempung secara keseluruhan. Dengan demikian, penggunaan limbah beton sebagai bahan stabilisasi tanah dapat memberikan manfaat yang signifikan bagi keberlangsungan pembangunan infrastruktur yang aman dan ramah lingkungan (Zorghi, 2023). Oleh karena itu, penggunaan limbah sampel beton sebagai bahan stabilisasi tanah menjadi alternatif yang layak untuk dipertimbangkan.

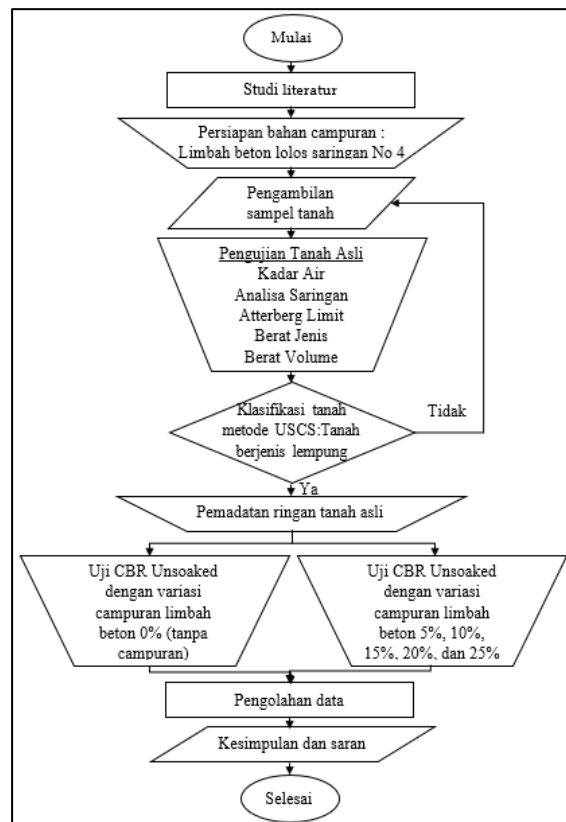
Melakukan penelitian tentang penggunaan limbah sampel uji kuat tekan beton sebagai bahan stabilisasi tanah memiliki nilai penting, terutama dalam memperbaiki kondisi tanah lempung yang mudah mengalami keruntuhan. Selain itu, penelitian ini juga memberikan informasi mengenai pengaruh limbah sampel uji kuat tekan beton terhadap daya dukung tanah, yang dapat membantu menentukan dosis penggunaan limbah yang optimal. Harapannya, penelitian ini dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan teknologi stabilisasi tanah yang efektif dan ramah lingkungan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi nilai daya dukung tanah lempung tanpa campuran menggunakan pengujian CBR (*California Bearing Ratio*) *unsoaked*. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi nilai daya dukung tanah lempung dengan berbagai variasi campuran limbah beton melalui pengujian CBR (*California Bearing Ratio*) *unsoaked*. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang karakteristik daya dukung tanah lempung dan potensi pemanfaatan limbah beton sebagai bahan tambahan dalam meningkatkan daya dukung tanah tersebut.

2. Metode

2.1. Bagan alir penelitian

Alur pelaksanaan penelitian pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

2.2. Bahan campuran

Persiapan bahan campuran melibatkan penghancuran sampel uji kuat tekan beton dan penyaringan menggunakan saringan No. 4. Detail kebutuhan bahan stabilisasi untuk setiap pengujian dapat ditemukan dalam Tabel 1. berikut ini.

Tabel 1. Jumlah Bahan Stabilisasi

Variasi campuran (%)	Berat tanah untuk uji CBR Lab	Berat bahan stabilisasi untuk 1 benda uji (gram)	Jumlah benda uji	Berat bahan stabilisasi (gram)
0	5000 gram	0	3	0
5		250	3	750
10		500	3	1500
15		750	3	2250
20		1000	3	3000
25		1250	3	3750
Total				11250

2.3. Sampel tanah

Pengambilan sampel tanah dilakukan di sekitar Workshop Teknik Sipil Politeknik Negeri Balikpapan. Jumlah tanah yang dibutuhkan untuk setiap engujian dapat ditemukan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Jumlah Sampel Tanah

Pengujian	Berat sampel (gram)	Jumlah sampel	Total (gram)
Kadar air	50	3	150
Analisa saringan	1000	3	3000
Atterberg Limit	75	6	450
Berat jenis	50	3	150
Berat volume	-	3	-
Pemadatan ringan	2500	5	12500
CBR	5000	18	90000
Jumlah			106250

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kadar air

Pengujian kadar air merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menentukan jumlah air yang terkandung dalam suatu bahan atau sampel (SNI 1965:2008). Hasil pengukuran kadar air pada tanah asli dicatat dalam Tabel 3. seperti yang ditunjukkan di bawah ini:

Tabel 3. Kadar Air Tanah Asli

Nama pengujian	Notasi	Satuan	Hasil pengujian		
			Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
Berat tanah basah + cawan	W1	gram	67,90	67,10	64,90
Berat tanah kering + cawan	W2	gram	52,80	51,70	50,60
Berat cawan	W3	gram	11,10	11,10	11,10
Berat tanah basah	Wtb	gram	56,80	56,00	53,80
Berat tanah kering	Ws	gram	41,70	40,60	39,50
Berat air	Ww	gram	15,10	15,40	14,30

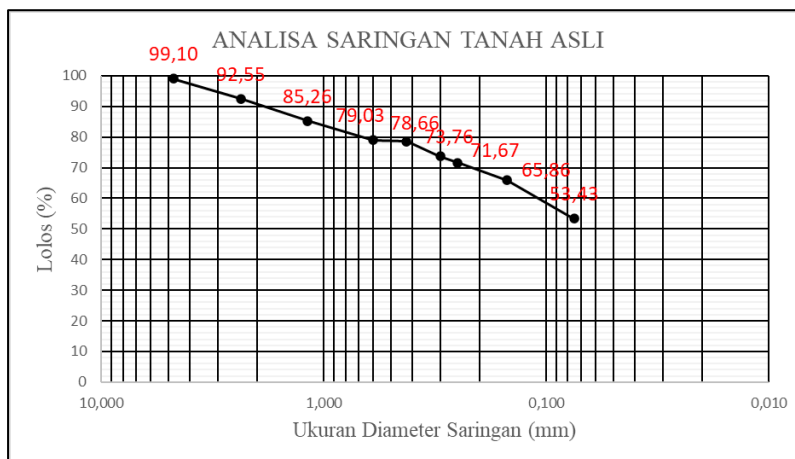
Kadar air	Wn	%	36,21	37,93	36,20
Kadar air rata-rata	Wn	%		36,78	

3.2. Analisa saringan

Pengujian analisis saringan adalah metode analisis yang digunakan untuk menentukan distribusi ukuran partikel dalam suatu sampel (SNI 03-1968-1990). Hasil analisis saringan ini nantinya akan digunakan untuk mengklasifikasikan jenis tanah dengan menggunakan metode *Unified Soil Classification System* (USCS). Tabel 4. menampilkan hasil uji analisis saringan pada sampel tanah asli, sedangkan Gambar 2. menampilkan grafik analisis saringan tanah asli yang menunjukkan distribusi ukuran partikel dalam sampel tersebut.

Tabel 4. Analisa Saringan Tanah Asli

Saringan	Diameter	Berat Tertahan (gram)			Berat Tertahan Rata-rata	Berat Kumulatif	Persen (%)	
No	(mm)	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	(gram)	(gram)	Tertahan	Lolos
4	4,75	9,0	10,0	8,0	9,0	9,0	0,90	99,10
8	2,36	64,5	56,5	75,5	65,5	74,5	7,45	92,55
16	1,18	74,5	70,5	73,5	72,8	147,3	14,74	85,26
30	0,6	64,5	61,5	61,0	62,3	209,7	20,97	79,03
40	0,425	3,0	4,0	4,0	3,7	213,3	21,34	78,66
50	0,3	49,0	52,0	46,0	49,0	262,3	26,24	73,76
60	0,25	20,5	17,0	25,0	20,8	283,2	28,33	71,67
100	0,15	42,0	85,5	47,0	58,2	341,3	34,14	65,86
200	0,075	130,0	120,5	122,0	124,2	465,5	46,57	53,43
Pan		543,0	521,5	538,0	534,2	999,7	100,00	0,00
Jumlah		1000	999	1000	999,7			



Gambar 2. Grafik Analisa Saringan Tanah Asli

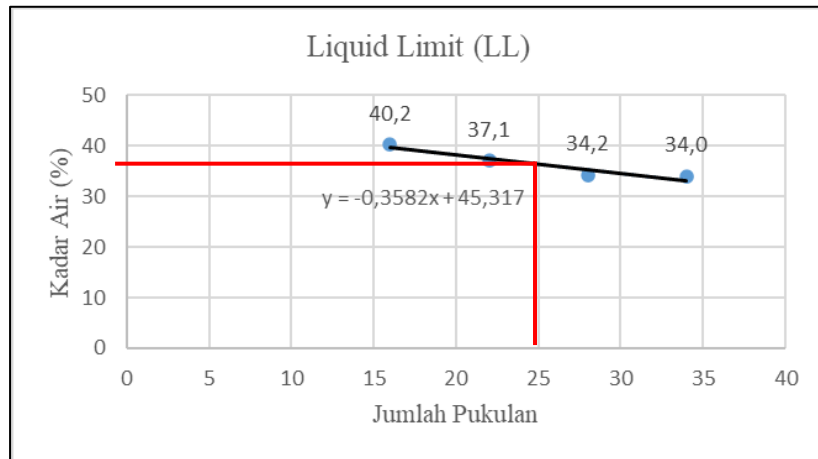
3.3. Atterberg limit

Pada pengujian angka konsistensi batas *Atterberg* pada tanah asli, dilakukan analisis batas cair (*Liquid Limit*) dengan rentang pukulan sesuai (SNI 1967:2008), yaitu 15 hingga 35 pukulan, untuk memastikan keakuratan hasil pengujian. Hasil pengujian tersebut terdiri dari

Tabel 5. yang mencantumkan nilai batas cair, Gambar 3. yang menunjukkan hubungan antara kadar air dan jumlah pukulan pada batas cair, serta Tabel 6. dan Tabel 7. yang berisi nilai batas plastis (*Plastic Limit*) dan indeks plastisitas tanah asli (*Plasticity Index*) (SNI 1966:2008) masing-masing.

Tabel 5. Batas Cair (Liquid Limit) Tanah Asli

Nama Pengujian	<i>Liquid Limit</i>				Satuan
No. Cawan	I	II	III	IV	
Jumlah pukulan	16	22	28	34	Pukulan
Berat cawan (A)	11,1	11,1	11,1	11,1	gram
Berat tanah basah + cawan	58,2	56,2	56,2	60,4	gram
Berat tanah basah (B)	47,1	45,1	45,1	49,3	gram
Berat tanah kering + cawan	44,7	44,0	44,7	47,9	gram
Berat tanah kering (C)	33,6	32,9	33,6	36,8	gram
Berat air (B-C)	14	12	12	13	gram
Kadar air	40,2	37,1	34,2	34,0	%
LL (<i>Liquid Limit</i>)	36,4				%



Gambar 3. Grafik Liquid Limit Tanah Asli

Untuk menentukan kadar air pada batas cair (Liquid Limit) pada pukulan ke-25, digunakan persamaan $y = -0,3582x + 45,317$. Jadi nilai batas cair (Liquid limit) tanah asli yaitu 36,4%.

Tabel 6. Batas Plastis (Plastic Limit) Tanah Asli

Nama Pengujian	<i>Plastic Limit</i>			Satuan
No. cawan	I	II	III	
Berat cawan (A)	11,2	11,2	11,1	gram
Berat tanah basah + cawan	38,3	32,4	34,2	gram
Berat tanah basah (B)	27,1	21,2	23,1	gram
Berat tanah kering + cawan	33,4	28,8	30,2	gram
Berat tanah kering (C)	22,2	17,6	19,1	gram
Berat air (B-C)	4,9	3,6	4,0	gram

Kadar air	22,07	20,45	20,94	%
PL (<i>Plastic Limit</i>)		21,16		%

Tabel 7. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*) Tanah Asli

Nama Pengujian	Hasil	Satuan
LL	36,4	%
PL	21,16	%
PI (LL-PL)	15,21	%

Berdasarkan nilai indeks plastisitas (PI) yang telah dihasilkan, dilakukan pengelompokan nilai tersebut sesuai dengan acuan yang tercantum dalam tabel klasifikasi jenis tanah yang disusun oleh (Hardiyatmo, 2002). Dengan mengacu pada tabel tersebut dan memasukkan nilai indeks plastisitas (PI) yang diperoleh, disimpulkan bahwa sampel tanah asli yang telah diuji batas *Atterberg* memiliki karakteristik plastisitas sedang. Tanah tersebut termasuk dalam kategori tanah lempung berlanau, yang menunjukkan sifat kohesif.

3.4. Berat jenis

Menurut (SNI 1964:2008), berat jenis tanah atau G_s (*specific gravity*) merupakan besaran fisika yang mencerminkan berat rata-rata zat padat pada suatu volume tertentu dari tanah. Data hasil pengujian berat jenis tanah disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Berat Jenis Tanah Asli

Pengujian Berat Jenis		Satuan	Sampel		
Nomor Piknometer			1	2	3
Berat Piknometer + Sampel	W2	(gram)	54,00	53,00	53,50
Berat Piknometer	W1	(gram)	29,10	28,00	28,50
Berat tanah	$W_t = W_2 - W_1$	(gram)	24,90	25,00	25,00
Temperatur (Celcius)			24		
Berat Piknometer + air + tanah pada temperatur (20 C)	W3	(gram)	94,10	92,40	93,20
Berat Piknometer + air pada 20 C	W4	(gram)	78,40	76,60	77,40
$W_5 = W_t + W_4$		(gram)	103,30	101,60	102,40
Isi Tanah	$W_5 - W_3$	(cm ³)	9,20	9,20	9,20
Berat Jenis (G_s)	$W_t / W_5 - W_3$	(gram/cm ³)	2,71	2,72	2,72
Rata-rata		(gram/cm ³)	2,71		

3.5. Berat volume

Metode pengujian ini digunakan untuk mengukur berat isi tanah berbutir halus atau tanah lempung dengan menggunakan cetakan benda uji yang terbuat dari bahan logam atau plastik (SNI 03-3637-1994). Hasil pengujian berat volume dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Berat Volume Tanah Asli

Nama	Satuan	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
Berat Cetakan	gram	52,0	52,0	52,0
Berat Cetakan + Sampel	gram	123,0	122,5	123,5
Volume	cm ³	39,7	39,7	39,7
Berat isi tanah	gram/cm ³	1,79	1,78	1,80
Kadar air	%	26,92	26,67	25,56
Berat isi kering tanah	gram/cm ³	1,41	1,40	1,44

3.6. Klasifikasi tanah metode USCS

Dalam klasifikasi tanah menggunakan metode *Unified Soil Classification System* (USCS), data analisis saringan dan *Atterberg limit* digunakan sebagai acuan. Berdasarkan hasil analisis saringan yang tercatat berat tanah di pan >50% maka bahwa tanah tersebut termasuk dalam kategori tanah berbutir halus. Selanjutnya, klasifikasi lebih lanjut dilakukan berdasarkan nilai batas cair yang telah diukur. Dengan nilai batas cair sebesar 36,4%, tanah tersebut dapat diklasifikasikan ke dalam kelompok tanah lanau dan lempung. Kelompok ini kemudian dibagi lagi menjadi tiga jenis, yaitu ML (*silt low-plasticity*), CL (*clay low-plasticity*), dan OL (*clay low-plasticity*). Untuk menentukan jenis tanah secara spesifik dari ketiga jenis tersebut, digunakan diagram plastisitas dengan mempertimbangkan nilai batas cair sebesar 36,4% dan nilai indeks plastisitas sebesar 15,21%_o. Berdasarkan hasil analisis tersebut, dapat disimpulkan bahwa tanah tersebut termasuk dalam jenis tanah CL (*clay low-plasticity*).

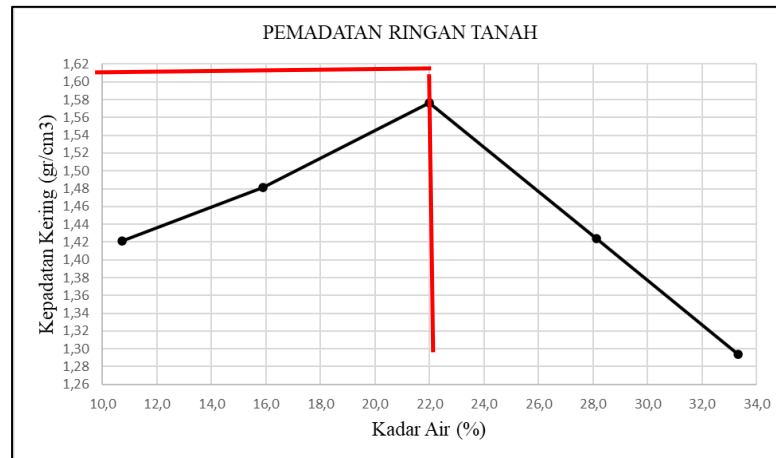
3.7. Pemadatan ringan tanah

Uji pemadatan dilakukan untuk menentukan berat isi kering maksimum dan kadar air optimum pada tanah (SNI 1742:2008). Berdasarkan hasil uji kepadatan tanah pada tanah asli, didapatkan hasil yang disajikan dalam Tabel 10. dan Gambar 4. sebagai berikut:

Tabel 10. Pemadatan Tanah Asli

Persiapan Contoh Uji :						
Massa tanah kering	(gr)	2500	2500	2500	2500	2500
Kadar air awal	(%)	16,43	16,43	16,43	16,43	16,43
Penambahan air	(%)	9	15	21	27	33
Penambahan air	(cc)	225	375	525	675	825
Kepadatan :						
Massa tanah basah + cetakan	(gr)	5164	5303	5503	5407	5310,5
Massa cetakan	(gr)	3638	3638	3638	3638	3638
Massa tanah basah	(gr)	1526	1665	1865	1769	1672,5
Isi cetakan	(cm ³)	970	970	970	970	970
Kepadatan basah, ρ	(gr/cm ³)	1,57	1,72	1,92	1,82	1,72
Kepadatan kering, ρ_d	(gr/cm ³)	1,42	1,48	1,58	1,42	1,29
Kadar air :						
No. Cawan		A	B	C	D	E

Massa tanah basah + cawan	(gr)	57,5	63,7	68,9	72,5	73,5
Massa tanah kering + cawan	(gr)	53	56,5	58,5	59	58
Massa air	(gr)	4,5	7,2	10,4	13,5	15,5
Massa cawan	(gr)	11	11,2	11,2	11	11,5
Massa tanah kering	(gr)	42	45,3	47,3	48	46,5
Kadar air	(%)	10,7	15,9	22,0	28,1	33,3



Gambar 4. Grafik Pemadatan Tanah asli

Berdasarkan hasil uji pemadatan tanah asli dengan metode pemadatan ringan, diperoleh nilai kadar air optimum sebesar 22% dan nilai kepadatan kering maksimum sebesar 1,58 gram/cm³.

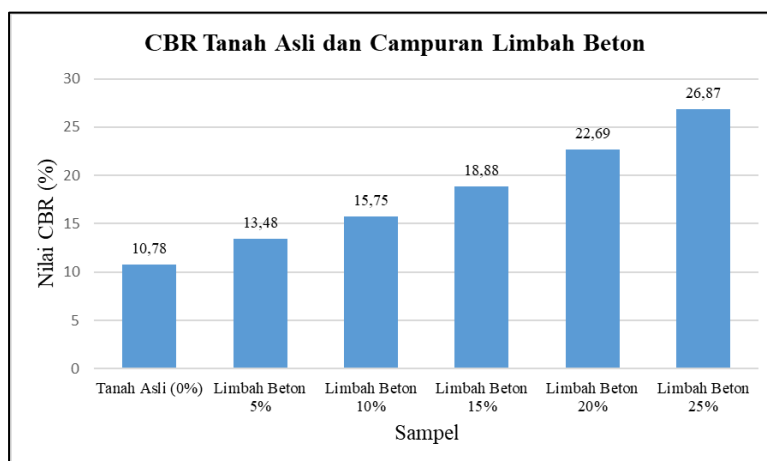
3.8. CBR (California Bearing Ratio)

California Bearing Ratio (CBR) digunakan untuk menguji daya dukung tanah dalam kondisi tertentu, yaitu saat mengalami pemadatan menggunakan alat pemadat tertentu (SNI 1744:2012). Dalam pengujian ini, digunakan tiga sampel tanah asli atau tanpa campuran limbah beton (0% campuran limbah beton) dengan berat total 5 kg yang telah dikeringkan dan lolos saringan No 4 (4,75 mm) dan juga ada sampel tanah yang telah mengalami substitusi dengan campuran limbah sampel uji kuat tekan beton yang telah dihancurkan dan lolos saringan No 4 (4,75 mm). Substitusi tersebut dilakukan dengan persentase campuran sebesar 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. Berikut adalah rekapitulasi hasil pengujian CBR tanah asli dan tanah campuran pada Tabel 11 dan Gambar 5.

Tabel 11. Rekapitulasi Hasil Pengujian CBR

Variasi	Sampel	CBR (%)	Rata-rata (%)
Tanah Asli (0%)	1	10,47	10,78
	2	10,91	
	3	10,95	
Limbah Beton 5%	1	13,53	13,48
	2	13,48	
	3	13,44	
Limbah Beton 10%	1	15,54	15,75
	2	15,97	

	3	15,75	
	1	18,72	
Limbah Beton 15%	2	18,76	18,88
	3	19,16	
	1	22,47	
Limbah Beton 20%	2	22,78	22,69
	3	22,82	
	1	26,93	
Limbah Beton 25%	2	26,53	26,87
	3	27,14	



Gambar 5. Grafik Perbandingan Nilai CBR

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang dilakukan pada sampel tanah asli yang diambil di sekitar workshop Teknik Sipil Poltekba di Balikpapan Utara, Kalimantan Timur, diperoleh nilai California Bearing Ratio (CBR) sebesar 10,78%. Berdasarkan hasil pengujian CBR pada sampel tanah yang telah ditambahkan limbah sampel uji kuat tekan beton, diperoleh hasil sebagai berikut. Pada sampel dengan penambahan limbah beton sebesar 5%, tercatat nilai CBR sebesar 13,48%. Selanjutnya, terjadi peningkatan nilai CBR pada sampel dengan penambahan limbah beton sebesar 10% dengan nilai CBR mencapai 15,75%. Begitu pula pada sampel dengan penambahan limbah beton sebesar 15%, terjadi peningkatan nilai CBR menjadi 18,88%. Selanjutnya, pada sampel dengan penambahan limbah beton sebesar 20%, tercatat nilai CBR sebesar 22,69%, dan pada sampel dengan penambahan limbah beton sebesar 25%, terjadi peningkatan nilai CBR menjadi 26,87%.

Ucapan Terimakasih

Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada para kontributor yang telah memberikan waktunya, dukungan, dan saran yang berharga dalam penelitian ini. Terima kasih kepada kedua orang tua yang selalu memberikan semangat dan do'a. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Bapak Tatag Yufitra Rus, S.T., M.Sc. sebagai dosen pembimbing 1 dan Bapak Mohammad Isram M. Ain, S.T., M.Sc. sebagai pembimbing 2 yang telah membimbing dan memberikan pengarahan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Daftar Pustaka

- Badan Standardisasi Nasional. (2008). Cara Uji Kepadatan Ringan untuk Tanah. In *SNI 1742:2008*.
- Badan Standardisasi Nasional. (1994). *Metode Pengujian Berat Isi Tanah Berbutir Halus Dengan Cetakan Benda Uji*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). Cara Uji Berat Jenis Tanah. In *SNI 1964:2008*.
- Badan Standardisasi Nasional. (1990). Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. In *SNI 03-1968-1990*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). Metode Uji CBR laboratorium. In *SNI 1744:2012*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). Cara Uji Penentuan Kadar Air untuk Tanah dan Batuan di Laboratorium. In *SNI 1965:2008*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah. In *SNI 1967:2008*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). Cara Uji Penentuan Batas Plastis dan Indeks Plastisitas Tanah. In *SNI 1966:2008*.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah I* (3rd ed.). Gadjah Mada University Press.
- Muhammad, Gerard Aponno, Suselo Utoyo, D. P. (2015). Pemanfaatan Silinder Limbah Tes Beton Sebagai Dinding Penahan Tanah Tipe Gravitasi. *Prokons Jurusan Teknik Sipil*, 9(1), 1. <https://doi.org/10.33795/prokons.v9i1.76>
- Solekan. (2017). *Penggunaan limbah beton sebagai bahan perbaikan tanah lempung terhadap parameter kuat geser*.
- Zorghi, H. A. (2023). *Pengaruh Penambahan Limbah Beton Terhadap Stabilitas Tanah Lempung (The Effect Of Added Concrete Waste On The Stability Of Clay Soil)*.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution Non-Commercial 4.0 International License
