

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Butiran atau Gradasi Tanah

Pengujian butiran atau gradasi tanah adalah pengujian untuk mendapatkan distribusi ukuran partikel tanah. Analisa dilakukan melalui dua teknik. Analisa ukurna butir saringan yang mampu menentukan ukuran partikel mulai dari 0,075mm hingga 100 mm. Setiap kategorisasi butiran yang lebih besar dari 100 mm akan dilakukan secara visual, sedangkan partikel yang lebih kecil dari 0,075 mm dapat di distribusikan menggunakan metode *hydrometer*.

4.1.1 Analisa saringan

Dalam sitem Analisa ini tanah diklasifikasikan menurut ukuran butirannya. Untuk tanak berbutir kasar pembagian ukuran butirannya dapat di lakukan dengan Sieve Analisis/ pengayakan, sedangkan untuk tanah berbutir halus pembagian butirannya dapat dilakukan dengan metode kecepatan penurunan atau pengendapan di dalam air, atau disebut dengan metode mekanis. Dari hasil pengujian Analisis saringan dapat di lihat di bawah ini.

Tabel 4. 1 Analisa Saringan

Nomor Saringan	Diameter Lubang Saringan	Berat Tanah Tertahan Saringan	Berat Tanah Tertahan Saringan (%)	Kumulatif Dari Tanah Tertahan (%)	Tanah Yang Lolos Saringan (%)
1	2	3	4	5	6
			$[(3)W] \times 100$		$100 - 5$
4	4,75	0	0.00	0.00	100.00
10	2,00	0.65	3.71	3.71	96.29
20	0,85	1.38	7.87	11.57	88.43
40	0,43	1.99	11.35	22.92	77.08
60	0,3	1.52	8.67	31.58	68.42
140	0,150	7.27	41.45	73.03	26.97

200	0,075	4.48	25.54	98.57	1.43
Pan		0.2	1.14		
Berat Awal = 17.54					
Berat Total $w_1 = 17.49$					
$\text{Kehilangan selama pengujian} = \frac{w - w_1}{w} \times 100\% = \frac{17.54}{17.49} 100\%$ $= 0.29 < 2\% \text{ (memenuhi syarat)}$					

Sumber : Hasil Peneliti, 2025

Berdasarkan data, tanah yang tertahan paling banyak berada pada saringan No. 140 (0,150 mm) dengan 41,45% berat tanah tertahan. Ini menunjukkan bahwa sebagian besar partikel tanah berukuran kecil dan termasuk dalam kategori lanau atau pasir halus. Sementara itu, tidak ada tanah yang tertahan pada saringan No. 4 (4,75 mm),

4.1.2 Hidrometer Test

Pada analisis klasifikasi butiran tanah dilakukan dengan cara metode *Hydrometer*, karena tanah ini berukuran relative kecil yaitu lolos *mesh* 200. Metode *Hydrometer* ini sendiri merupakan metode Analisa sedimentasi dimana pembacaan percobaan didapat dari hubungan antar konsentrasi butir sempel yang dapat dibaca pada Menara Hidrometer. Pengujian hidrometer digunakan untuk menentukan distribusi ukuran partikel tanah berbutir halus, seperti lanau dan lempung. Pengujian ini sangat penting dalam klasifikasi tanah karena membantu dalam memahami karakteristik tanah berdasarkan ukuran butirannya, terutama untuk tanah dengan butiran yang lebih kecil dari 0,075 mm

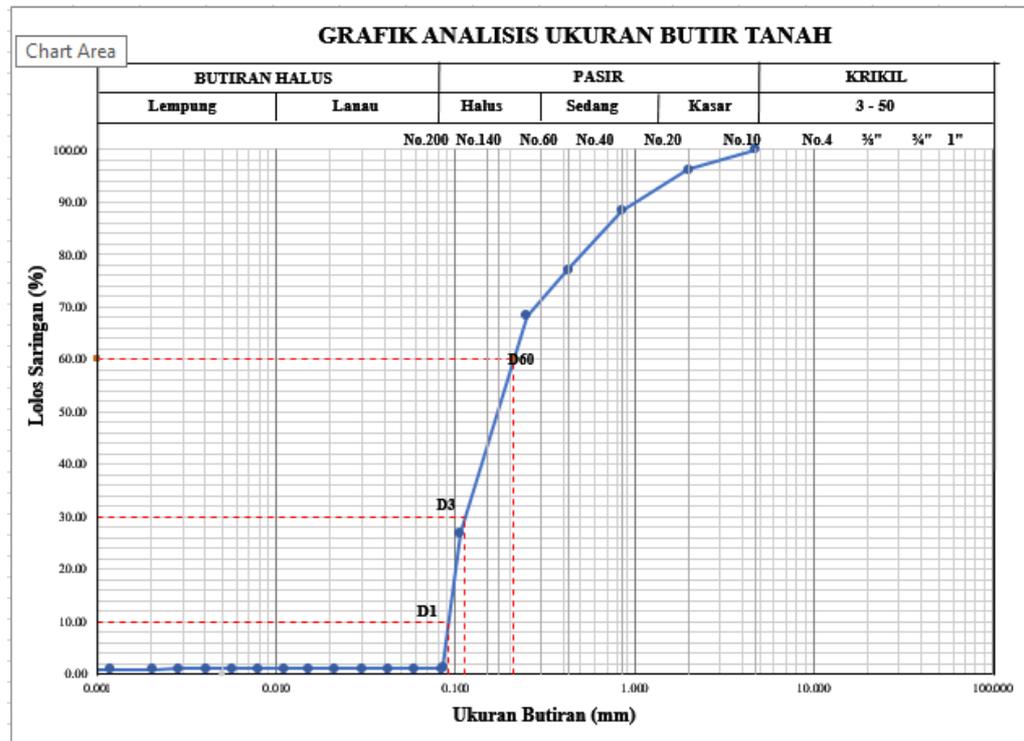
Tabel 4. 2 Uji hidrometer

Waktu (Menit) T	Pembacaan Hidrometer R	Koreksi pembacaan rcp	(%) butiran halus	Pembacaan hidrometer aktual rc1	L(mm)	K	D
0,25	48	55	117.38	49	8.3	0.01456	0.0839
0,5	48	55	117.38	49	8.3		0.0593
1	48	55	117.38	49	8.3		0.0419
2	47	54	115.25	48	8.4		0.0298
4	47	54	115.25	48	8.4		0.0211

8	46	53	113.12	47	8.6		0.0151
15	45	52	110.98	46	8.8		0.0112
30	44	51	108.85	45	8.9		0.0079
60	43	50	106.71	44	9.1		0.0057
120	43	50	106.71	44	9.1		0.0040
240	42	49	104.58	43	9.2		0.0029
480	41	48	102.44	42	9.4		0.0020
1440	40	47	100.31	41	9.6		0.0012
2880	40	47	100.31	41	9.6		0.0008

Sumber : Hasil Peneliti, 2025

Pada awal pengujian (0.25 menit) sebanyak 117.38% yang masih terapung. Namun seiring waktu, nilai ini terus menurun, hal ini mengindikasikan bahwa partikel mulai mengendap sesuai dengan ukurannya.



Gambar 4. 1 Grafik Analisis Ukuran Butir Tanah
Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Berdasarkan grafik, tanah ini terdiri dari beberapa fraksi ukuran partikel, yaitu, Gravel (kerikil) sebanyak 0,00%, Sand (pasir) sebanyak dan 98,57% Fines (lanau dan lempung) 15,37% (terdiri dari 10.23% lempung dan 5.14% lanau).

Tabel 4. 3 Tabel Analisa Saringan

NO	Hasil Sieve Analisis	Jumlah Butiran
1	Krikil	0.00
2	Pasir	98.57
3	Butiran Halus (Lempung-Lanau)	15.37
4	D60	0.21
5	D30	0.113
6	D10	0.091
7	Coeff. Uniformity (Cu)	0.43
8	Coeff. Gradation(Cc)	5.53
Parameter pasir bergradasi buruk : - Cu > 6 - Cc tidak berada di rentan 1 sampai 3		

Sumber : Hasil Peneliti, 2025

Grafik analisis ukuran butiran menunjukkan distribusi ukuran partikel dalam suatu sampel, yang biasanya digunakan untuk memahami karakteristik fisik tanah. Grafik ini dapat menampilkan hubungan antara persentase kumulatif massa yang lolos melalui saringan tertentu terhadap ukuran butiran, sehingga memudahkan dalam menentukan parameter. Dari hasil pengujian diketahui nilai pasir sebesar 98.57%, diameter efektif D60 sebesar 0.21 %, D30 sebesar 0.113 %, D10 sebesar 0,091 %, Koefisien keseragaman (Cu) sebesar 0,43 %, dan Koefisien gradasi (Cc) sebesar 5.53 %.

Karena $Cu < 6$ dan Cc tidak berada dalam rentang 1-3, tanah ini tergolong pasir bergradasi buruk (SP). Artinya, distribusi ukuran butiran tidak merata, yang dapat menyebabkan tanah memiliki daya dukung yang rendah dan kurang stabil dalam kondisi tertentu.

4.2 Sifat Fisik tanah

Sifat fisik tanah merupakan karakteristik utama yang memengaruhi respons tanah terhadap beban dan perubahan lingkungan. Sifat ini mencakup tekstur, kepadatan, kadar air, berat jenis, dan batas Atterberg yang mencerminkan perilaku tanah dalam berbagai kondisi. Tanah ekspansif, yang menjadi fokus dalam penelitian ini, memiliki kemampuan mengembang dan menyusut yang signifikan akibat perubahan kadar air.

4.2.1 Uji kadar air

Pengujian kadar air tanah asli dilakukan untuk menentukan jumlah air yang terkandung dalam tanah secara alami tanpa mengalami gangguan atau perubahan.

Tabel 4. 4 Uji kadar air tanah

<i>Nomor Contoh Kedalaman : 50-1 cm, Satuan : gram (g)</i>			
Nomor Container	1	2	3
1). Berat Container + Tanah Basah (w_1)	62.00	66.62	67.05
2). Berat Container + Tanah Kering (w_2)	50.92	54.74	54.44
3). Berat Air = ($w_1 - w_2$)	11.08	11.88	12.62
4). Berat Container (w_3)	24.52	23.71	24.44
5). Berat Tanah Kering = ($w_3 + w_4$)	26.40	31.03	30.00
6). Kadar Air (w)= $(w_1 - w_2) : (w_3 + w_4) \times 100\%$	41.97	38.29	42.03
7). Kadar Air Rata – rata $(w) = (a + b) : 2$	40.76		

Sumber : Hasil Peneliti, 2025

Kadar air dihitung dengan membandingkan berat air yang menguap selama proses pengeringan dengan berat tanah kering. Dari hasil pengujian, kadar air dari tiga sampel berbeda adalah 41.97%, 38.29%, dan 42.03%, dengan rata-rata kadar air sebesar 40.76%.

4.2.2 Berat jenis

Berat Jenis merupakan perbandingan berat isi tanah dengan berat isi air pada suhu yang tetap. Keberadaan pengujian ini menjadi penting karena besarnya digunakan setiap perhitungan yang berkaitan dengan udara dan air/pori serta butir padat tanah. Untuk mengetahui perbandingan antara berat partikel tanah dengan volume partikel tanah yang bersangkutan. Berat jenis tanah biasanya dilambangkan dengan G_s . Berdasarkan pengujian Berat Jenis yang distandarkan oleh SNI 1964:2008, di dapatkan bahwa tanah ekspansif tersebut memiliki nilai sebesar 2,40.

Tabel 4. 5 Uji Berat Jenis Tanah

Uji Berat Jenis Tanah SNI 1964 : 2008			
Nomor Piknometer	Satuan	41	233
Berat piknometer (W1)	gram	50.3	52.22
Berat Piknometer + air (W2)	gram	149.96	151.68
Berat Piknometer + air + tanah (W3)	gram	164.58	166.31
Berat tanah kering (Ws)	gram	25	25
Temperatur °C	°C	27.9	27.9
Faktor koreksi (a = gr/g20)		0.99633	
Berat jenis spesifik (Gs)	gram/cm3	2.40	2.40
Berat jenis rata rata (Gs)	gram/cm3	2.40	

Sumber : Hasil Peneliti, 2025

Berdasarkan hasil akhir berat jenis tanah sebesar 2,40 untuk kedua sampel. Nilai ini menunjukkan bahwa tanah yang diuji memiliki karakteristik material yang umum ditemukan pada jenis tanah lempung atau lanau dengan kandungan mineral yang cukup tinggi. Faktor koreksi suhu juga diperhitungkan dengan nilai 0,99633, yang menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh sudah dikoreksi terhadap standar suhu referensi untuk meningkatkan akurasi pengujian. Rata-rata berat jenis tanah dari kedua sampel tersebut adalah 2.40.

4.2.3 Atterberg limit

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat konsistensi tanah berbutir halus pada kadar air yang bervariasi. Pengujian ini di gunakan untuk menentukan batas – batas konsistensi tanah, terutama untuk tanah berbutir halus seperti lempung. batas konsistensi yang dilakukan meliputi : Pengujian batas cair, batas plastis dan batas susut.

1. Batas cair (*Liquid Limit*)

Batas Cair tanah adalah kadar air minimum di mana sifat suatu tanah berubah dari keadaan cair menjadi plastis. Besaran batas cair digunakan untuk menentukan sifat dan klasifikasi tanah.

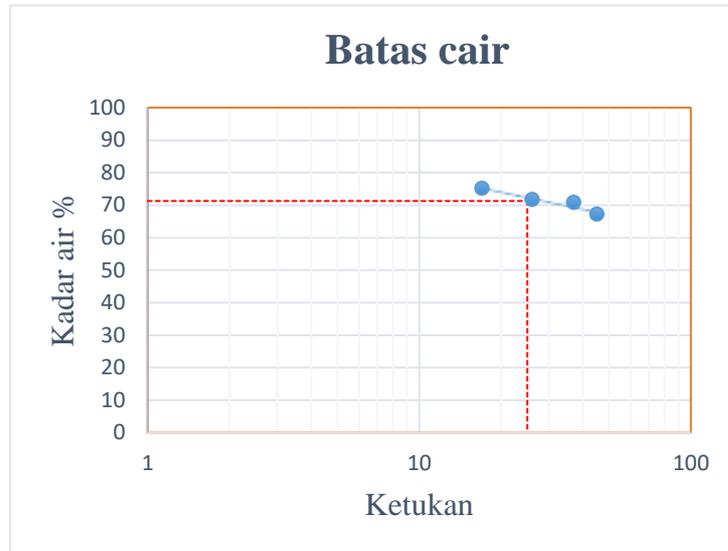
Tabel 4. 6 Batas cair

Liquid Limit (LL)					
SNI 1976 : 2008					
No. cawan		1	2	3	4
Banyak ketukan		17	26	37	45
Berat cawan	gram	14.16	14.98	14.15	14.42
Berat cawan + contoh basah (A)	gram	37.78	36.97	35.3	34.19
Berat cawan + contoh kering (B)	gram	27.64	27.78	26.53	26.24
Berat air	gram	10.14	9.19	8.77	7.95
Berat contoh kering	gram	13.48	12.8	12.38	11.82
Kadar air	%	75.22	71.80	70.84	67.26

Sumber : Hasil Peneliti, 2025

Sesuai dengan perhitungan pada tabel diatas pukulan ke 17 mendapatkan nilai kadar air 75,22 %, Pukulan ke 26 mendapatkan 71,80%, pukulan ke 37 mendapatkan nilai 70,84% dan pukulan ke 45 mendapatkan nilai 67,26%

Pola yang ditampilkan dalam grafik ini membantu dalam menganalisis distribusi kelembaban tanah dan menentukan karakteristik hidrogeologinya. Grafik dibawah menunjukkan nilai kadar air yang sesuai dengan 25 pukulan. Dari grafik, dapat diinterpretasikan bahwa kadar air pada batas cair tanah ini berkisar di sekitar 71.28%. Nilai ini menunjukkan bahwa tanah memiliki karakteristik plastisitas yang tinggi, yang umumnya ditemukan pada tanah lempung atau tanah dengan kandungan mineral lempung yang signifikan.



Gambar 4. 2 Grafik Batas Cair
Sumber : Hasil Penelitian, 2025

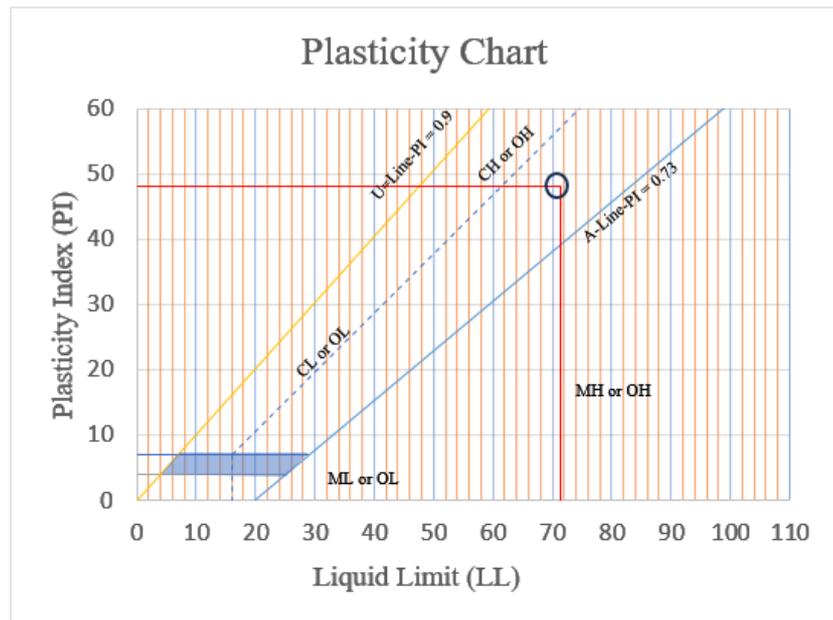
2. Batas plastis

Maksud dari pengujian ini adalah untuk menentukan kadar air pada kondisi batas plastis. Pengujian ini dilakukan untuk menentukan Kadar air di mana tanah mulai berubah dari kondisi semi-plastis menjadi rapuh. Batas plastis adalah kadar air minimum suatu sampel tanah dalam keadaan plastis. Batas Plastis dihitung berdasarkan persentasi berat air terhadap berat tanah kering pada benda uji. Dari hasil pengujian didapatkan nilai sebesar 23.14 %. Dengan didapatnya nilai batas cair dan batas plastis maka akan didapatkan nilai indeks plastisitas tanah dengan persamaan berikut:

Tabel 4. 7 Batas plastis

Plastic Limit (PL)			
SNI 1966 : 2008			
No. cawan		1	2
Berat cawan	gram	23.64	23.67
Berat cawan + contoh basah (A)	gram	53.64	54.61
Berat cawan + contoh kering (B)	gram	47.47	49.37
Berat air	gram	6.17	5.24
Berat contoh kering	gram	23.83	25.7
Kadar air	%	25.89	20.39
Rata-Rata	%	23.14	

Sumber : Hasil Peneliti, 2025



Gambar 4.3 Grafik Plasticity

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

3. IP (indeks plastisitas)

Pengujian ini dilakukan untuk Menunjukkan rentang kadar air di mana tanah berada dalam keadaan plastis dengan mengacu pada SNI 6371 Tahun 2015 dengan perhitungan sebagai berikut :

$$PI = LL - PL = 48.14 \%$$

Tabel 4.8 Indeks Plastisitas

LL	PL	PI
71.28	23.14	48.14

Sumber : Hasil Peneliti, 2025

Dari hasil pengujian nilai PI sebesar 48,14 %, yaitu memiliki nilai yang tinggi dan dapat disimpulkan bahwa tanah tersebut mengandung lempung yang tinggi/ tanah ekspansif.

4. Batas susut (*Shrinkage Limit*)

Batas susut digunakan untuk mengukur kadar air pada titik dimana tanah beralih dari kondisi semi padat menjadi padat. Hasil pengujian menunjukkan shrinkage limit tanah sebesar 25,90 %, menandakan bahwa tanah tersebut memiliki potensi penyusutan yang cukup tinggi saat kehilangan kadar air.

Tabel 4. 9 Shrinkage Limit (SL)

<i>Shrinkage Limit (SL)</i>				
SNI 3422 : 2008				
Nomor percobaan		1	2	3
Berat cawan	gram	69.16	50.94	56.71
Berat cawan + contoh tanah basah	gram	93.47	80.45	82.84
Berat cawan + contoh tanah kering	gram	82.67	67.78	73.8
Berat air	gram	10.8	12.67	9.04
Berat contoh tanah basah (Ww)	gram	24.31	29.51	26.13
Berat contoh tanah kering (Wo)	gram	13.51	16.84	17.09
Volume contoh tanah basah (V)	cm ³	15.75	19.2	15.53
Volume contoh tanah kering (Vo)	cm ³	5.92	7.90	6.76
Kadar air awal atau semula (w)	%	79.94	75.24	52.90
Berat jenis	-	0.09	0.08	0.15
Rasio susut (R)	%	2.28	2.13	2.53
Batas susut (S)	%	7	8	2
Perubahan volume (VC)	%	166	144	130
Susut linier (LS)	%	27.83	25.68	24.21
Rata - rata	%	25.90		

Sumber : Hasil Peneliti, 2025

Hasil uji batas susut pada tiga sampel tanah dalam tabel di atas, diperoleh nilai susut linier (LS) masing-masing sebesar 27,83% (sampel 1), 25,68% (sampel 2), dan 24,21% (sampel 3), dengan nilai rata-rata 25.90%. Nilai susut linier ini menunjukkan sejauh mana perubahan volume tanah akibat pengeringan dan hilangnya kadar air. Semakin tinggi nilai susut linier, semakin besar perubahan dimensi tanah saat mengalami penyusutan, yang dapat berdampak pada stabilitas tanah dalam konstruksi. Dengan nilai rata-

rata 25.90%, tanah dalam uji ini termasuk dalam kategori tanah dengan potensi susut yang tinggi, yang berisiko mengalami retak atau perubahan volume yang signifikan saat kadar airnya berkurang.

Tabel 4. 10 Klasifikasi USCS

LL	PL	PI	SL
71.28	23.14	48.14	25.90

Sumber : Hasil Peneliti, 2025

5. Free swelling

Free Swelling adalah metode laboratorium yang digunakan untuk mengukur potensi pengembangan tanah ketika menyerap air. Berikut adalah tabel hasil pengujian *free swelling*, yang mencantumkan nilai pengembangan tanah dalam persen berdasarkan pengujian laboratorium.

Tabel 4. 11 Free Swelling

Free Swelling	
Volume Awal	20
Volume Akhir	40
Free Swelling Indeks $FSI = \frac{(v_d - v_k)}{v_k} \times 100$	100

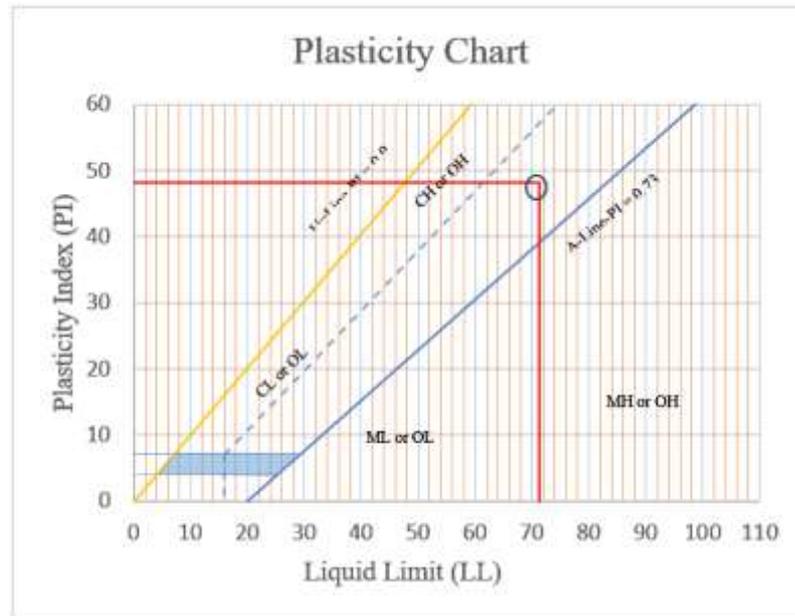
Sumber : Hasil Peneliti, 2025

4.3 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah adalah pengelompokan berbagai jenis tanah ke dalam kelompok yang sesuai dengan karakteristiknya. Sistem klasifikasi ini menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi namun tidak ada yang benar-benar memberikan penjelasan yang tegas mengenai kemungkinannya (Das, 1995).

4.3.1 Klasifikasi USCS

Klasifikasi tanah merupakan proses pengelompokan berbagai jenis tanah berdasarkan karakteristiknya. Sistem klasifikasi USCS (Unified Soil Classification System) digunakan untuk mengategorikan tanah berdasarkan ukuran butiran serta sifat plastisitasnya. Sifat plastisitas tanah dapat ditentukan melalui pengujian Atterberg limit, di mana hasil pengujian menunjukkan bahwa tanah memiliki Liquid Limit (LL) sebesar 71,28% dan Plasticity Index (PI) sebesar 48,14%.



Gambar 4. 4 Grafik Casagrande Plasticity

Sumber : Hasil Peneliti, 2025

Tanah tersebut termasuk dalam kategori lempung anorganik dengan plastisitas tinggi atau Lempung gemuk (*Flat Clay*) dan masuk dalam kategori CH (*Clay of High Plasticity*).

4.3.2 Teori Seed At al

Teori Seed et al berkaitan dengan perilaku tanah ekspansif, khususnya dalam konteks konsolidasi dan pemadatan tanah lempung. Berdasarkan teori ini, tanah ekspansif memiliki kecenderungan untuk mengalami perubahan volume yang signifikan akibat fluktuasi kadar air, yang berpotensi menimbulkan kerusakan struktural pada bangunan di atasnya. Menurut Seed et al., tanah ekspansif memiliki potensi mengembang dan menyusut yang signifikan akibat perubahan kadar air,

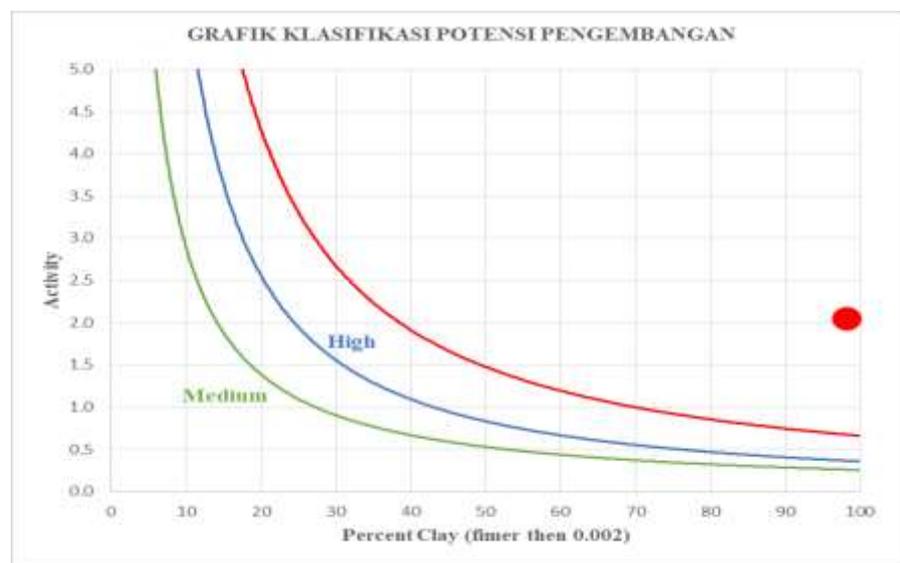
yang dapat menyebabkan kerusakan struktural pada bangunan di atasnya. Teori ini menekankan pentingnya memahami sifat mekanis tanah, seperti tekanan pengembangan dan perubahan volume akibat siklus basah-kering, untuk merancang solusi perbaikan tanah yang efektif.

Oleh karena itu, pemahaman terhadap sifat mekanis tanah, seperti tekanan pengembangan serta perubahan volume akibat siklus basah-kering, menjadi faktor krusial dalam perancangan metode perbaikan tanah yang tepat guna.

Tabel 4. 12 Nilai Activity

PI	Fraksi Lempung	Nilai Tingkat Keaktifan	Potensi Pengembangan
48.14	98.27	2.04	sangat tinggi

Sumber : Hasil Peneliti, 2025

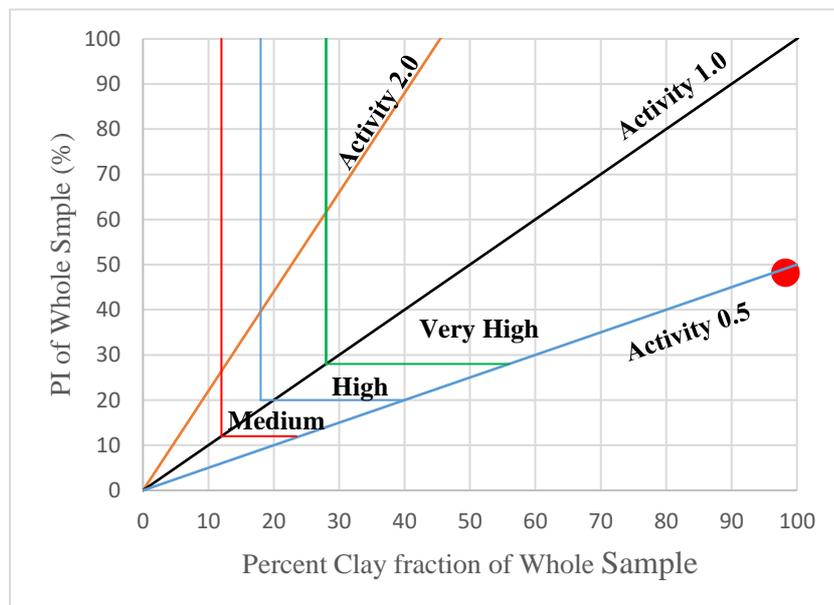


Gambar 4. 5 Grafik klasifikasi potensi pengembangan
Sumber : Hasil Peneliti, 2025

Nilai indeks plastisitas tanah sebesar 48,14% mengindikasikan bahwa tanah memiliki tingkat plastisitas yang sangat tinggi. Selain itu, fraksi lempung yang mencapai 98,27% menunjukkan dominasi partikel lempung dalam komposisi tanah, yang memiliki kemampuan tinggi dalam menyerap air. Tingkat keaktifan tanah sebesar 2,04. Yang termasuk dalam kategori sangat tinggi.

4.3.3 Teori Van de Merwe

Teori Van Der Merwe merupakan pendekatan yang digunakan untuk memperkirakan potensi pengembangan tanah ekspansif berdasarkan kandungan mineral lempung, kadar air, dan indeks plastisitas tanah. Van Der Merwe mengembangkan diagram empiris yang dapat digunakan untuk mengklasifikasikan tanah ekspansif berdasarkan indeks aktivitasnya, sehingga membantu dalam perencanaan serta mitigasi risiko terhadap bangunan dan infrastruktur yang didirikan di atas tanah tersebut. Dalam hal ini, tanah memiliki fraksi lempung sebesar 98,27% serta indeks plastisitas (PI) sebesar 48,14%, sehingga menunjukkan bahwa potensinya tergolong sangat tinggi.



Gambar 4. 6 Grafik Teori Van De Merwe
Sumber : Hasil Peneliti, 2025

4.4 Sifat Mekanis Tanah

Pengujian sifat mekanis tanah bertujuan untuk mengetahui bagaimana tanah bereaksi terhadap beban dan tekanan. Sifat mekanis tanah ekspansif mencakup berbagai parameter yang menentukan respons tanah terhadap beban dan perubahan lingkungan. Salah satu sifat mekanis utama adalah daya dukung tanah, yang menunjukkan kemampuan tanah dalam menahan beban tanpa mengalami deformasi berlebihan. Tanah ekspansif cenderung memiliki daya dukung yang rendah akibat perubahan volume yang signifikan ketika mengalami siklus basah dan kering.

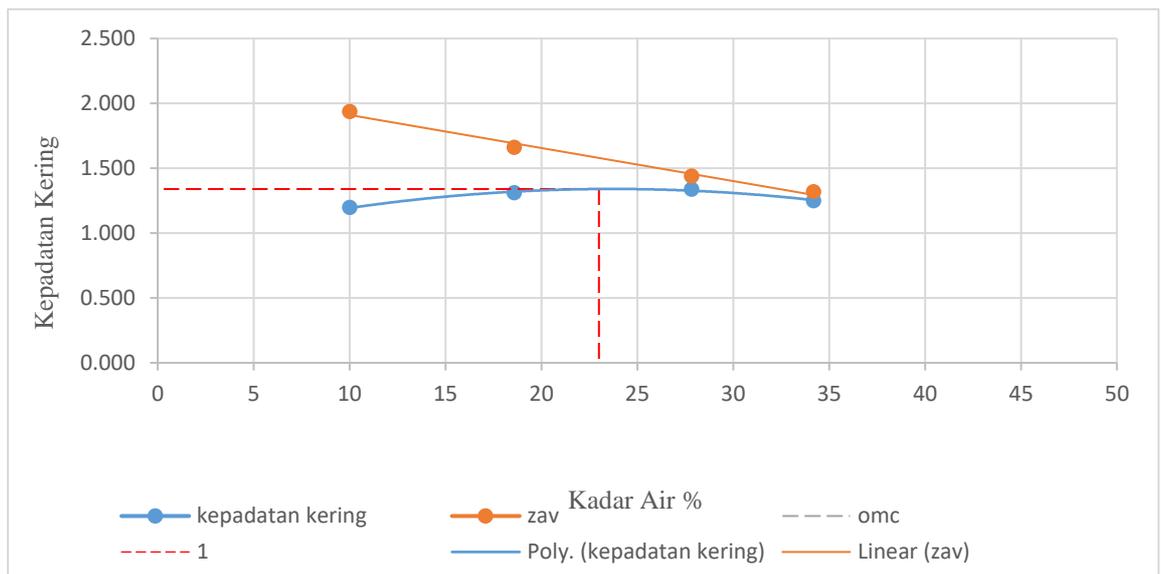
4.4.1 Pengujian Proctor Standar

Pemadatan (Compaction) adalah proses naiknya kerapatan tanah dengan memperkecil jarak antar partikel sehingga terjadi reduksi volume udara, tidak terjadi perubahan volume air yang cukup berarti pada tanah ini.

Tabel 4. 13 Pengujian Proctor Standar

UJI KEPADATAN RINGAN (PROCTOR STANDART)													
SNI 1742 : 2008													
Proctor Test													
No Mould	-	1	2	3	4								
Massa Mould	gram	3535	3535	3535	3535								
Massa Tanah Basah + Mould	gram	4772	4994	5143	5110								
Massa Tanah Basah, Wwet	gram	1237	1453	1608	1575								
Volume Mould	cm3	939.493	939.493	939.493	939.493								
Kepadatan Basah	gr/cm3	1.317	1.553	1.712	1.676								
Kadar Air													
No. Container	-	88	M.60	N.57	B.28	M1	N.18	N.53	N.04	26	N10	N13	1
Massa tanah Basah + Container	gram	56.85	57.26	60.89	42.84	43.65	42.6	45.9	46.73	54.24	45.62	46.22	48.06
Massa Tanah Kering + Container	gram	52.92	53.44	56.56	38.65	39.16	37.95	39.38	39.92	45.01	37.72	38.11	39.51
Massa Air	gram	3.73	3.82	4.33	4.19	4.49	4.65	6.52	6.81	9.23	7.9	8.11	8.55
Massa Container	gram	15.17	14.97	14.11	14.99	14.58	14.39	15.03	14.54	14.1	14.33	14.74	14.42
Massa Tanah Kering	gram	37.75	38.47	42.45	23.66	24.58	23.56	24.35	25.38	30.91	23.39	23.37	25.09
Kadar Air	%	9.88	9.93	10.20	17.71	18.27	19.74	26.78	26.83	29.86	33.78	34.70	34.08
Kadar Air Rata - Rata	%		10.00			18.57		27.82				34.19	
Penentuan Kepadatan													
Massa tanah basah, Wwet	gram		1237			1453			1608				1575
Kadar air rata - rata	%		10.00			18.57			27.82				34.19
Massa tanah kering	gram		1124.508			1230.487			1257.989				1173.753
Volume mould	cm3		939.493			939.493			939.493				939.493
Kepadatan kering	gram/cm3		1.197			1.310			1.339				1.249
$\gamma_w = G_s / (1 + (w/100) * G_s)$	gram/cm3		1.936			1.660			1.439				1.319

Sumber : Hasil Peneliti, 2025



Gambar 4. 7 Grafik Uji Kepadatan Ringan

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Dari Hasil pengujian dapat dilihat Kepadatan kering Meningkat Lalu Menurun Terlihat bahwa kepadatan basah meningkat seiring dengan penambahan air hingga di penambahan air sebanyak 800ml (32% dari berat tanah)., Kepadatan Kering Maksimum: Dari data, kepadatan kering tertinggi adalah 1,339 gr/cm³ pada kadar air 600 ml (24% dari berat tanah). Ini adalah γ_d max. Kadar air optimum adalah 24%, di mana kepadatan kering maksimum tercapai.

4.4.2 CBR (*California Bearing Ratio*)

Pengujian CBR dimaksudkan untuk menentukan kekuatan tanah atau campuran agregat yang dipadatkan pada kadar air tertentu. Uji ini dikembangkan oleh California State Highway Departement, Amerika Serikat, 1930. CBR (*California Bearing Ratio*) adalah pengujian untuk menentukan daya dukung tanah, suatu perbandingan antara beban percobaan (*test load*) dengan beban standar (*standard load*) dan dinyatakan dalam persentase. Dalam Pengujian CBR laboratorium ada 2 cara yaitu tanpa rendaman (*Unsoaked*) dan rendaman (*Soaked*).

Berikut merupakan data yang didapat peneliti

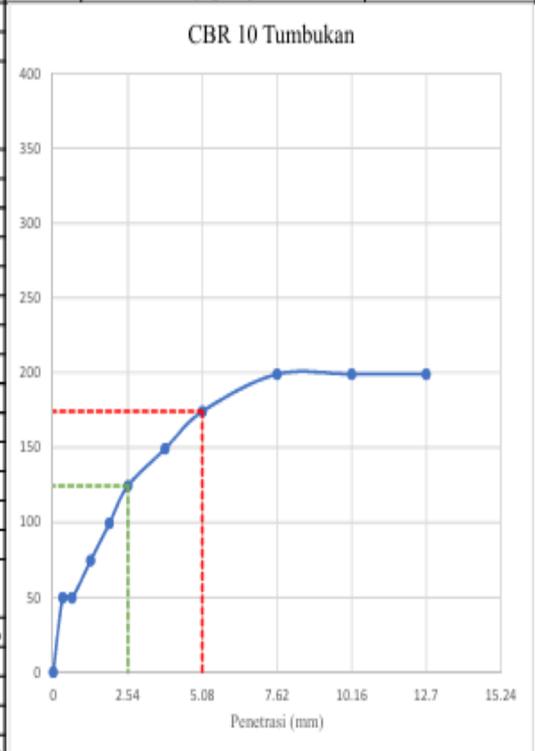
1. Cbr Unsoaked

CBR tanpa rendaman (*unsoaked*) adalah metode pengujian kekuatan tanah dengan cara membandingkan penetrasi piston pada tanah yang dipadatkan dengan alat pengujian CBR tanpa merendam sampel tanah dalam air terlebih dahulu. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui daya dukung tanah dalam kondisi kering atau belum terpengaruh oleh kondisi jenuh air.

a. Pengujian CBR Tanpa Rendaman 10 Tumbukan

Tabel 4. 14 CBR Unsoaked 10 Tumbukan

CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)					
SNI 1774 : 2012					
Kadar air			Densitas, No Cetakan		
Massa Tanah Basah + Cawan, g	39.21		Massa Benda Uji + Cetakan, g	11294	
Massa Tanah Kering + Cawan, g	33.03		Massa Cetakan, g	7546	
Massa air, g	6.18		Massa Benda Uji Basah, g	3748	
Massa cawan, g	14.57		Isi Cetakan, cm ³	2122	
Massa Tanah Kering, g	18.46		Densitas Basah (p), g/cm ³	1.77	
Kadar air (w), %	33.48		Densitas Kering (pd), g/cm ³	1.32	
Kalibrasi Poving Ring, K = 0,20082			49.77 (lb)		
Waktu (menit)	Penetrasi		Pembacaan Arloji Ukur Beban Devisi	Bahan Penetrasi = Pembacaan Arloji ukur beban x k	
	mm	in		Kn	lb
0	0	0	0	0	0
1/4	0.32	0.013	1	0.20082	49.8
1/2	0.64	0.025	1	0.20082	49.8
1	1.27	0.05	1.5	0.30123	74.7
1 1/2	1.91	0.075	2	0.40164	99.5
2	2.54	0.1	2.5	0.50205	124.4
3	3.81	0.15	3	0.60246	149.3
4	5.08	0.2	3.5	0.70287	174.2
6	7.62	0.3	4	0.80328	199.1
8	10.16	0.4	4	0.80328	199.1
10	12.7	0.5	4	0.80328	199.1
Nilai CBR, %					
2,54 mm			0,10 in		
$\frac{0.50205}{13} \times 100$			$\frac{124.4}{3000} \times 100$		
= 3.86 mm			= 4.15 %		
5,08 mm			0,20 in		
$\frac{0.70287}{20.02} \times 100$			$\frac{174.2}{4500} \times 100$		
= 3.51 mm			= 3.87 %		



Tumbukan 10

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Hasil dari pengujian California Bearing Ratio (CBR) Unsoaked dengan 10 tumbukan per lapis, pada penetrasi 2,54 mm mendapatkan nilai 4,15 % dan pada penetrasi 5,08 mendapatkan nilai 3.87 %.

b. Pengujian CBR Tanpa Rendaman 30 Tumbukan

Tabel 4. 15 CBR Unsoaked 30 Tumbukan

CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)					
SNI 1774 : 2012					
Kadar air			Densitas, No Cetakan		
Massa Tanah Basah + Cawan, g			37.04	Massa Benda Uji + Cetakan, g	11233
Massa Tanah Kering + Cawan, g			31.75	Massa Cetakan, g	7363
Massa air, g			5.29	Massa Benda Uji Basah, g	3870
Massa cawan, g			14.52	Isi Cetakan, cm ³	2122
Massa Tanah Kering, g			17.23	Densitas Basah (p), g/cm ³	1.82
Kadar air (w), %			30.70	Densitas Kering (pd), g/cm ³	1.40
Kalibrasi Poving Ring, K = 0.20082			49.77 lb		
Waktu (menit)	Penetrasi		Pembacaan Arloji Ukur Beban	Bahan Penetrasi = Pembacaan Arloji ukur beban x k	
	mm	in	Devisi	Kn	lb
0	0	0	0	0	0
1/4	0.32	0.013	1.5	0.30123	74.7
1/2	0.64	0.025	1.5	0.30123	74.7
1	1.27	0.05	2.5	0.50205	124.4
1 1/2	1.91	0.075	3	0.60246	149.3
2	2.54	0.1	3.5	0.70287	174.2
3	3.81	0.15	4	0.80328	199.1
4	5.08	0.2	4.5	0.90369	224.0
6	7.62	0.3	5	1.0041	248.9
8	10.16	0.4	5.5	1.10451	273.7
	12.7	0.5	5.5	1.10451	273.7
Nilai CBR, %					
2,54 mm			0,10 in		
	$\frac{0.7}{13} \times 100$			$\frac{174.2}{3000} \times 100$	
=	5.41 mm	=		5.81 %	
5,08 mm			0,20 in		
	$\frac{0.9}{20.02} \times 100$			$\frac{224.0}{4500} \times 100$	
=	4.51 mm	=		4.98 %	

Tumbukan 30

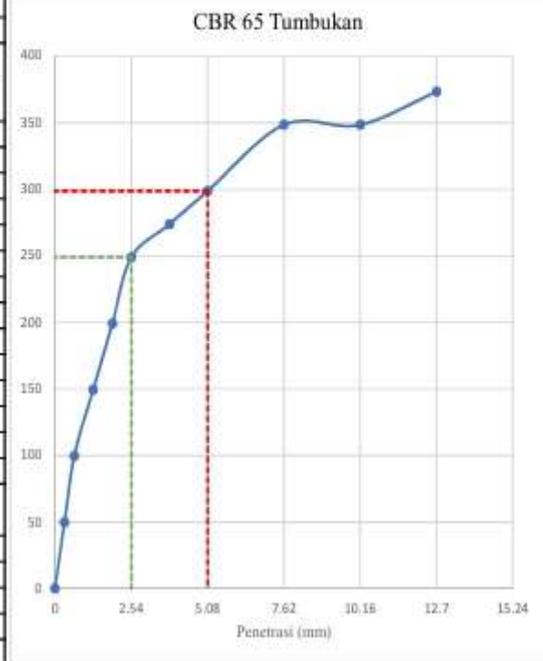
Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Hasil dari pengujian California Bearing Ratio (CBR) Unsoaked dengan 30 tumbukan per lapis, pada penetrasi 2,54 mm mendapatkan nilai 5,81 % dan pada penetrasi 5,08 mendapatkan nilai 4,98 %.

c. Pengujian CBR Tanpa Rendaman 65 Tumbukan

Tabel 4. 16 CBR Unsoaked 65 Tumbukan

CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)					
SNI 1774 : 2012					
Kadar air			Densitas, No Cetakan		
Massa Tanah Basah + Cawan, g			37.42	Massa Benda Uji + Cetakan, g	11448
Massa Tanah Kering + Cawan, g			31.44	Massa Cetakan, g	7863
Massa air, g			5.98	Massa Benda Uji Basah, g	3585
Massa cawan, g			15.01	Isi Cetakan, cm ³	2122
Massa Tanah Kering, g			16.43	Densitas Basah (p), g/cm ³	1.69
Kadar air (w), %			36.40	Densitas Kering (pd), g/cm ³	1.24
Kalibrasi Poving Ring, K = 0,20082			49.77 lb		
Waktu (menit)	Penetrasi		Pembacaan Arloji Ukur Beban	Bahan Penetrasi = Pembacaan Arloji ukur beban x k	
	mm	in	Devisi	Kn	lb
0	0	0	0	0	0
1/4	0.32	0.013	1	0.20082	49.8
1/2	0.64	0.025	2	0.40164	99.5
1	1.27	0.05	3	0.60246	149.3
1 1/2	1.91	0.075	4	0.80328	199.1
2	2.54	0.1	5	1.0041	248.9
3	3.81	0.15	5.5	1.10451	273.7
4	5.08	0.2	6	1.20492	298.6
6	7.62	0.3	7	1.40574	348.4
8	10.16	0.4	7	1.40574	348.4
10	12.7	0.5	7.5	1.50615	373.3
Nilai CBR, %					
2,54 mm			0,10 in		
	$\frac{1.0041}{13} \times 100$			$\frac{248.9}{3000} \times 100$	
	= 7.72 mm			= 8.30 %	
5,08 mm			0,20 in		
	$\frac{1.20492}{20.02} \times 100$			$\frac{298.6}{4500} \times 100$	
	= 6.02 mm			= 6.64 %	



Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Hasil dari pengujian California Bearing Ratio (CBR) Unsoaked dengan 65 tumbukan per lapis, pada penetrasi 2,54 mm mendapatkan nilai 8,30 % dan pada penetrasi 5,08 mendapatkan nilai 6,64 %.

2. CBR soaked
 - a. Pengujian CBR Rendaman 10 Tumbukan

Tabel 4. 17 CBR Unsoaked 10 Tumbukan

CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)									
SNI 1774 : 2012									
				Sebelum direndam	Setelah direndam				
Kadar air						Densitas, No Cetakan			
Massa Tanah Basah + Cawan, g				38.09	38.26	Massa Benda Uji + Cetakan, g			
Massa Tanah Kering + Cawan, g				32.97	32.05	Massa Cetakan, g			
Massa air, g				5.12	6.21	Massa Benda Uji Basah, g			
Massa cawan, g				14.07	12.41	Isi Cetakan, cm ³			
Massa Tanah Kering, g				18.90	19.64	Densitas Basah (p), g/cm ³			
Kadar air (w), %				27.09	31.62	Densitas Kering (pd), g/cm ³			
Kalibrasi Poving Ring, K = 0,20082				49.77	lb				
Waktu (ment)	Penetrasi		Pembacaan Arloji Ukur Beban	Bahan Penetrasi = Pembacaan Arloji ukur beban x k					
	mm	in		Devisi	Kn	lb			
0	0	0	0	0	0				
1/4	0.32	0.013	0.5	0.1004	24.885				
1/2	0.64	0.025	0.5	0.1004	24.885				
1	1.27	0.05	0.8	0.1607	39.816				
1 1/2	1.91	0.075	0.9	0.1807	44.793				
2	2.54	0.1	1	0.2008	49.770				
3	3.81	0.15	1.2	0.2410	59.724				
4	5.08	0.2	1.4	0.2811	69.678				
6	7.62	0.3	1.4	0.2811	69.678				
8	10.16	0.4	1.5	0.3012	74.655				
10	12.7	0.5	1.5	0.3012	74.655				
Nilai CBR, %									
2,54 mm					0,10 in				
	0.2008			49.770					
	13	x 100		3000	x 100				
=	1.54	%	=	1.66	%				
5,08 mm					0,20 in				
	0.2811	x 100		69.678	x 100				
	20.02			4500					
=	1.40	%	=	1.55	%				

Catatan, Jumlah tumbukan per lapis = 10

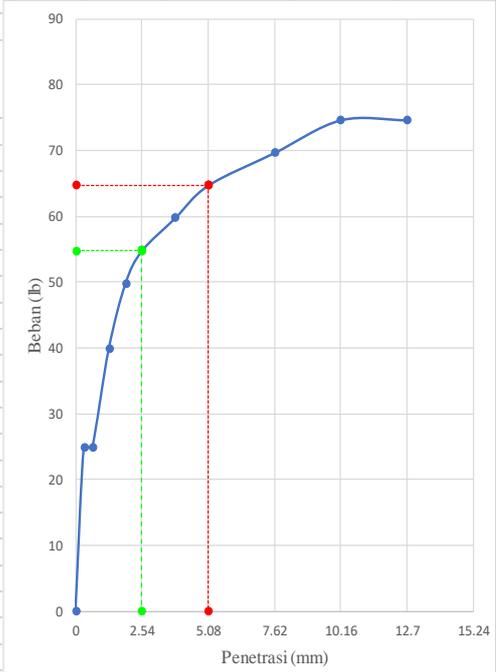
Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Hasil dari pengujian California Bearing Ratio (CBR) Soaked dengan 10 tumbukan per lapis, pada penetrasi 2,54 mm mendapatkan nilai 1,66 % dan pada penetrasi 5,08 mm mendapatkan nilai 1,55 %.

b. Pengujian CBR Rendaman 30 Tumbukan

Tabel 4. 18 CBR Unsoaked 30 Tumbukan

CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)						
SNI 1774 : 2012						
			Sebelum direndam	Setelah direndam	Densitas, No Cetakan	
Kadar air			Sebelum direndam	Setelah direndam	Sebelum direndam	Setelah direndam
Massa Tanah Basah + Cawan, g			39.42	37.88	Massa Benda Uji + Cetakan, g	
Massa Tanah Kering + Cawan, g			33.60	32.40	Massa Cetakan, g	
Massa air, g			5.82	5.48	Massa Benda Uji Basah, g	
Massa cawan, g			14.48	14.59	Isi Cetakan, cm ³	
Massa Tanah Kering, g			19.12	17.81	Densitas Basah (p), g/cm ³	
Kadar air (w), %			30.44	30.77	Densitas Kering (pd), g/cm ³	
Kalibrasi Poving Ring, K = 0,20082			49.77	lb		
Waktu (menit)	Penetrasi		Pembacaan Arloji Ukur Beban	Bahan Penetrasi = Pembacaan Arloji ukur beban x k		
	mm	in		Kn	lb	
0	0	0	0	0	0	
1/4	0.32	0.013	0.5	0.1004	24.885	
1/2	0.64	0.025	0.5	0.1004	24.885	
1	1.27	0.05	0.8	0.1607	39.816	
1 1/2	1.91	0.075	1	0.2008	49.770	
2	2.54	0.1	1.1	0.2209	54.747	
3	3.81	0.15	1.2	0.2410	59.724	
4	5.08	0.2	1.3	0.2611	64.701	
6	7.62	0.3	1.4	0.2811	69.678	
8	10.16	0.4	1.5	0.3012	74.655	
10	12.7	0.5	1.5	0.3012	74.655	
Nilai CBR, %						
2,54 mm			0,10 in			
	0.2209	x 100		54.747	x 100	
	13			3000		
	=	1.70%		=	1.82%	
5,08 mm			0,20 in			
	0.2611	x 100		64.701	x 100	
	20.02			4500		
	=	1.30%		=	1.44%	



Catatan, Jumlah tumbukan per lapis = 30

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

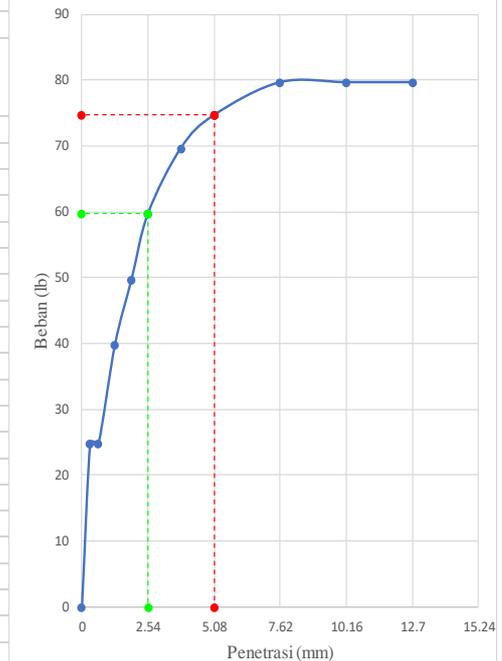
Hasil dari pengujian California Bearing Ratio (CBR) Soaked dengan 30 tumbukan per lapis, pada penetrasi 2,54 mm mendapatkan nilai 1,82 % dan pada penetrasi 5,08 mendapatkan nilai 1,44 %.

c. Pengujian CBR Rendaman 65 Tumbukan

Tabel 4. 19 CBR Soaked 65 Tumbukan

CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)						
SNI 1774 : 2012						
Kadar air			Sebelum direndam	Setelah direndam	Densitas, No Cetakan	
			Sebelum direndam	Setelah direndam	Sebelum direndam	Setelah direndam
Massa Tanah Basah + Cawan, g			39.84	39.92	Massa Benda Uji + Cetakan, g	
Massa Tanah Kering + Cawan, g			34.08	33.95	Massa Cetakan, g	
Massa air, g			5.76	5.97	Massa Benda Uji Basah, g	
Massa cawan, g			14.26	15.08	Isi Cetakan, cm ³	
Massa Tanah Kering, g			19.82	18.87	Densitas Basah (p), g/cm ³	
Kadar air (w), %			29.06	31.64	Densitas Kering (pd), g/cm ³	
Kalibrasi Poving Ring, K = 0,20082			49.77 lb			
Waktu (menit)	Penetrasi		Pembacaan Arloji Ukur Beban	Bahan Penetrasi = Pembacaan Arloji ukur beban x k		
	mm	in		Kn	lb	
0	0	0	0	0	0	
1/4	0.32	0.013	0.5	0.10041	24.885	
1/2	0.64	0.025	0.5	0.10041	24.885	
1	1.27	0.05	0.8	0.160656	39.816	
1 1/2	1.91	0.075	1	0.20082	49.770	
2	2.54	0.1	1.2	0.240984	59.724	
3	3.81	0.15	1.4	0.281148	69.678	
4	5.08	0.2	1.5	0.30123	74.655	
6	7.62	0.3	1.6	0.321312	79.632	
8	10.16	0.4	1.6	0.321312	79.632	
10	12.7	0.5	1.6	0.321312	79.632	
Nilai CBR, %						
2,54 mm			0,10 in			
0.240984 x 100			59.724 x 100			
13			3000			
1.85%			1.99			
5,08 mm			0,20 in			
0.30123 x 100			74.655 x 100			
20.02			4500			
1.50%			1.66			

Catatan, Jumlah tumbukan per lapis = 65



Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Hasil dari pengujian California Bearing Ratio (CBR) Soaked dengan 65 tumbukan per lapis, pada penetrasi 2,54 mm mendapatkan nilai 1,99 % dan pada penetrasi 5,08 mm mendapatkan nilai 1,66 %.

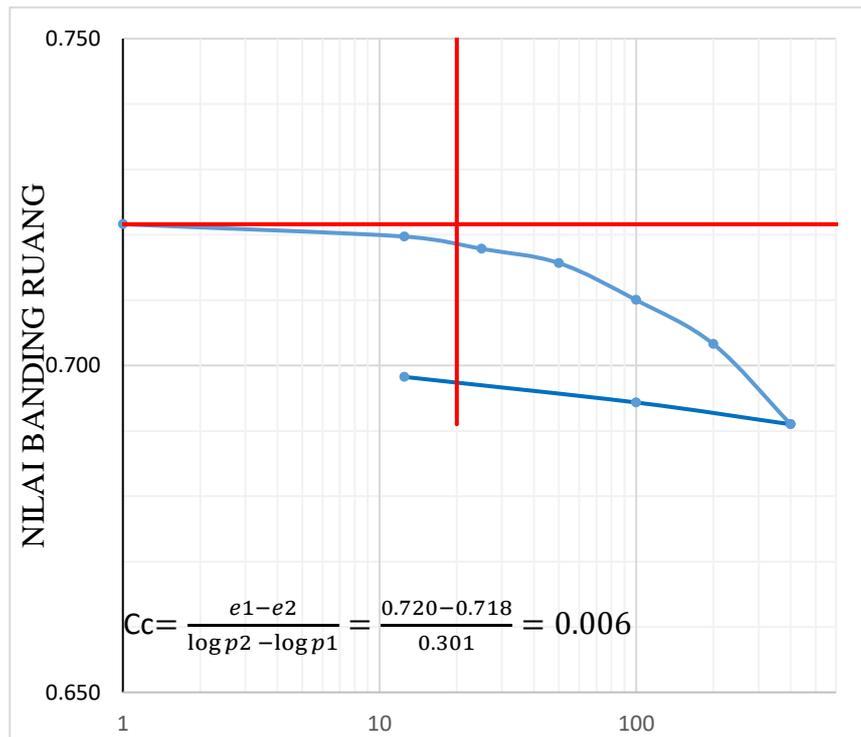
4.4.3 Oedometer Test

Uji konsolidasi dilakukan di laboratorium dengan alat oedometer atau konsolidometer. Beban diterapkan di atas benda uji. dan penurunan diukur dengan arloji pembacaan {dial gauge). Beban diterapkan dalam periode 24 jam. Selama proses ini, air pori dalam tanah mengalir keluar, menyebabkan penurunan atau pemampatan tanah yang dikenal sebagai settlement. Data yang diperoleh dari pengujian ini mencakup hubungan antara tegangan dan regangan tanah, yang berguna untuk menentukan parameter konsolidasi seperti koefisien kompresi (Cc), koefisien konsolidasi (Cv).

Tabel 4. 20 koefisien konsolidasi dan Cc

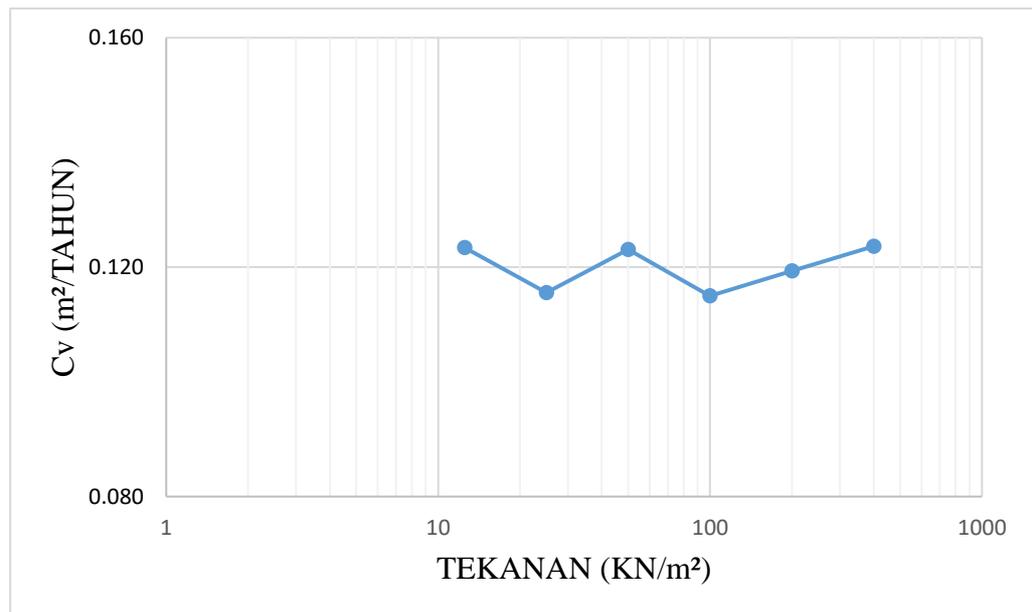
Cv	Cc
0.1234	0.006
0.1156	
0.1231	
0.1150	
0.1193	
0.1236	

Sumber : Hasil Penelitian, 2025



Gambar 4. 8 Grafik Penurunan

Sumber : Hasil Penelitianan,2025

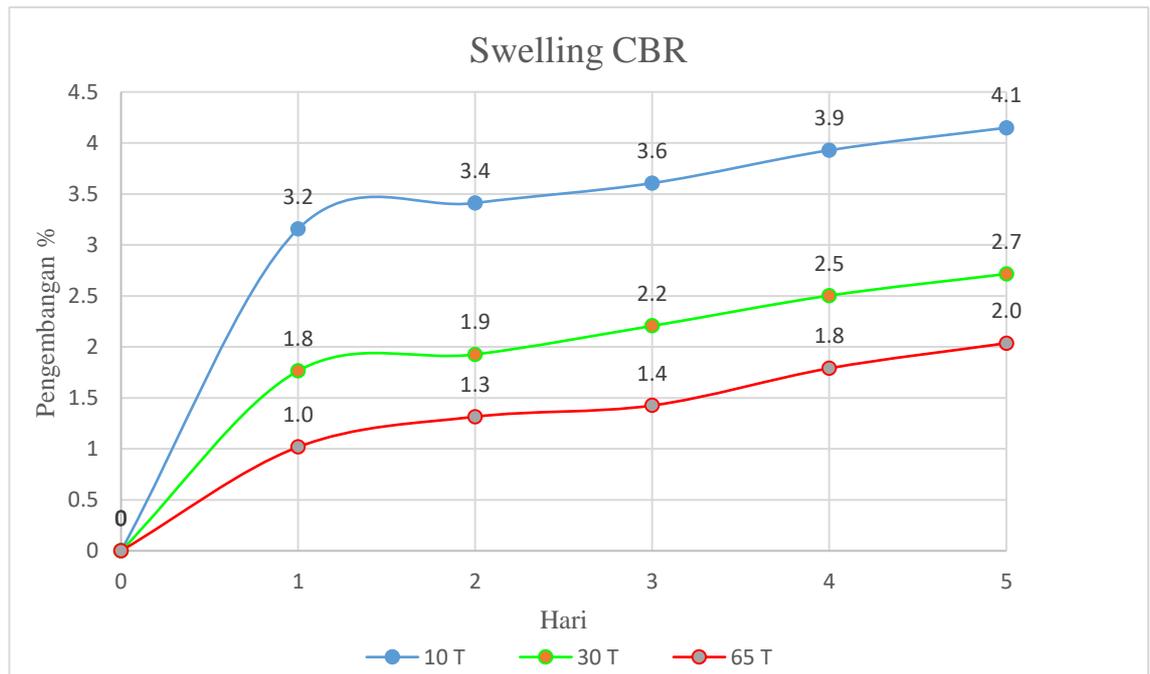


Gambar 4. 9 Grafik Hubungan Pembebanan Dan Koefisien Konsolidasi

Sumber : Hasil Penelitianan,2025

4.5 Pengembangan CBR

Grafik berikut menunjukkan hubungan antara waktu perendaman dan persentase pengembangan (*swelling*) dalam uji *California Bearing Ratio (CBR)*. Dari grafik, terlihat bahwa tingkat pengembangan tanah meningkat seiring waktu perendaman yaitu 5 hari.



Gambar 4. 10 Grafik Swelling CBR Soaked

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

4.6 Pembahasan

4.6.1 Nilai Karakteristik Tanah

Nilai karakteristik tanah merupakan parameter penting yang diperoleh dari hasil pengujian sifat fisik dan mekanis tanah, dan digunakan untuk memahami perilaku tanah terhadap beban serta stabilitas suatu struktur yang didirikan di atasnya.

Dari Hasil uji hidrometer menunjukkan bahwa setelah waktu 2880 menit (selama 2 hari), hanya 107.14% tanah yang masih terapung, menandakan bahwa sebagian besar partikel halus telah mengendap. Hal ini menunjukkan bahwa tanah memiliki fraksi lempung yang signifikan, yang berkontribusi terhadap sifat kohesif dan potensi pengembangan (*swelling*) akibat perubahan kadar air. Tanah dengan kandungan partikel halus tinggi cenderung mengalami penurunan daya dukung, perubahan volume, serta potensi retak atau penurunan.

berdasarkan hasil analisis saringan menunjukkan bahwa sebagian besar partikel tertahan pada saringan No. 140 (0,150 mm) sebesar 41,45%, yang mengindikasikan dominasi fraksi lanau atau pasir halus, sementara kandungan kerikil tidak ada sama sekali yang tertahan pada saringan No. 4 (4,75 mm). Selain itu, mayoritas sampel tanah memiliki ukuran partikel lebih kecil dari 0,075 mm, yang menunjukkan bahwa tanah ini lebih condong ke kategori lanau atau lempung. Karakteristik ini berpengaruh besar terhadap kestabilan bangunan yang ada di atasnya.

Persentase air dalam tanah dibandingkan dengan berat kering tanah. Penting untuk mengetahui konsistensi dan kekuatan tanah. Dari hasil pengujian kadar air ini menunjukkan bahwa kadar air rata-rata tanah sebesar 40,76% dengan variasi dari tiga sampel yaitu 41,97%, 38,29%, dan 42,03%, serta berat jenis tanah sebesar 2,40. Kadar air yang tinggi ini menunjukkan bahwa tanah memiliki daya serap air yang besar, yang berpotensi meningkatkan sifat ekspansif yang mengandung banyak fraksi lempung atau lanau.

Atterberg Limit adalah parameter penting untuk menentukan batas-batas konsistensi tanah halus. Berikut adalah hasil pengujian kadar air pada batas cair tanah ini berkisar di sekitar 71,28%. Nilai ini menunjukkan bahwa tanah memiliki karakteristik plastisitas yang tinggi, yang umumnya ditemukan pada tanah lempung atau tanah dengan kandungan mineral lempung yang signifikan. Dari hasil pengujian batas plastis juga didapatkan nilai sebesar 23,14 %. Dari hasil pengujian didapatkan nilai PI sebesar 48,14 % dan memiliki nilai keaktifan sebesar 2,04. Tanah memiliki nilai yang tinggi dan dapat disimpulkan bahwa tanah tersebut mengandung lempung yang tinggi/ tanah ekspansif.

Berdasarkan nilai hasil analisa saringan dan hydrometer contoh tanah asli didapat kandungan lempung sebesar 15,37 %, serta kandungan lempung 5,14% dan lanau sebesar 10,23%. Dan untuk nilai batas konsistensi didapatkan nilai batas cair (LL) sebesar 71,28% dan nilai batas plastis (PL) sebesar 23,14% sehingga didapat nilai indeks plastisitas (IP) sebesar 48,14%. Berdasarkan hasil dari pengujian analisis saringan, Hydrometer test dan batas konsistensi contoh tanah asli, kemudian dilakukan klasifikasi tanah menggunakan sistem USCS (*Unified Soil Classification System*), sehingga didapat hasil klasifikasi contoh tanah asli adalah

kategori lempung anorganik dengan plastisitas tinggi atau Lempung gemuk (*Flat Clay*) dan masuk dalam kategori CH (*Clay of High Plasticity*).

4.6.2 Analisis Dari Pengujian Proctor Standart

Hasil uji kepadatan maksimum (*Proctor*) menunjukkan bahwa tanah memiliki kadar air optimum sebesar 22% dengan kepadatan kering maksimum sebesar 1,339g/cm³. Nilai ini mengindikasikan bahwa tanah memiliki daya dukung yang bergantung pada kadar air yang dikandungnya. Jika kadar air melebihi batas optimum, tanah akan kehilangan kekuatannya dan menjadi lunak, sehingga dapat menyebabkan penurunan dan ketidakstabilan bangunan akibat penurunan daya dukung. Sebaliknya, jika tanah terlalu kering, partikel-partikel tanah tidak akan saling mengikat dengan baik, yang juga dapat mengurangi kekuatan tanah.

4.6.3 Analisis Dari Pengujian CBR Unsoaked

Hasil dari pengujian California Bearing Ratio (CBR) Unsoaked dengan 10 tumbukan per lapis, pada penetrasi 2,54 mm mendapatkan nilai 4,15 % dan pada penetrasi 5,08 mendapatkan nilai 3.87 %. Hasil dari pengujian California Bearing Ratio (CBR) Unsoaked dengan 30 tumbukan per lapis, pada penetrasi 2,54 mm mendapatkan nilai 5,81 % dan pada penetrasi 5,08 mendapatkan nilai 4,98 %. Hasil dari pengujian California Bearing Ratio (CBR) Unsoaked dengan 65 tumbukan per lapis, pada penetrasi 2,54 mm mendapatkan nilai 8,30 % dan pada penetrasi 5,08 mendapatkan nilai 6,64 %.

4.6.4 Analisis Dari Pengujian CBR Soaked

Hasil Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*) Hasil pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) rendaman menunjukkan bahwa nilai CBR meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah tumbukan, pada 10 tumbukan didapat nilai sebesar 1,66% dan 1,55%, pada 30 tumbukan didapat nilai sebesar 1,82% dan 1,44%, serta pada 65 tumbukan didapat nilai sebesar 1,99% dan 1,66%. Nilai CBR yang rendah ini menunjukkan bahwa tanah memiliki daya dukung yang lemah dan kurang mampu menahan beban tanpa mengalami deformasi yang signifikan.

4.6.5 Analisis dari Pengujian oedometer

Pengujian konsolidasi dilakukan pada contoh tanah asli untuk menentukan tinggi efektif angka pori (e) yang menggambarkan seberapa longgar tanah. Indeks kompresi (C_c) perbandingan antara beda tekanan dan angka pori pada tanah dengan beban, koefisien konsolidasi (C_v) dan waktu yang diperlukan suatu lapisan tanah hingga konsolidasi selesai. Pada pengujian oedometer ini, penerapan beban yang diberikan kepada benda uji dimulai dari 0,25 kg, 0,5 kg, 1 kg, 2 kg, 4 kg, dan 8 kg. Yang dibaca dialnya masing masing selama 24. Setelah sampai di beban terakhir lalu dilakukan pengurangan beban yang berurutan sampai beban 0,25 kg. Dalam melakukan pengujian di dapatkan hasil nilai minimum ($C_v=0.1150$), nilai maksimum ($C_v=0.1236$) dengan rata-rata sebesar (0,1200) yang digunakan sebagai parameter yang menunjukkan kecepatan tanah dalam mengeluarkan air pori selama proses konsolidasi untuk mendapatkan hasil nilai angka pori. Angka pori menunjukkan perbandingan volume pori tanah terhadap volume butir padat semakin kecil nilai e berarti tanah semakin padat (pori-pori berkurang). Nilai e menurun dari 0,722 menjadi 0,691, penurunan ini terjadi karena tanah mengalami konsolidasi. Setelah dititik tertentu, nilai e cenderung stabil dikisaran 0,691-0,698, yang menandakan proses konsolidasi mendekati selesai. nilai e yang relatif stabil menunjukkan tanah tidak lagi mengalami pemampatan yang signifikan pada tahap beban terakhir.

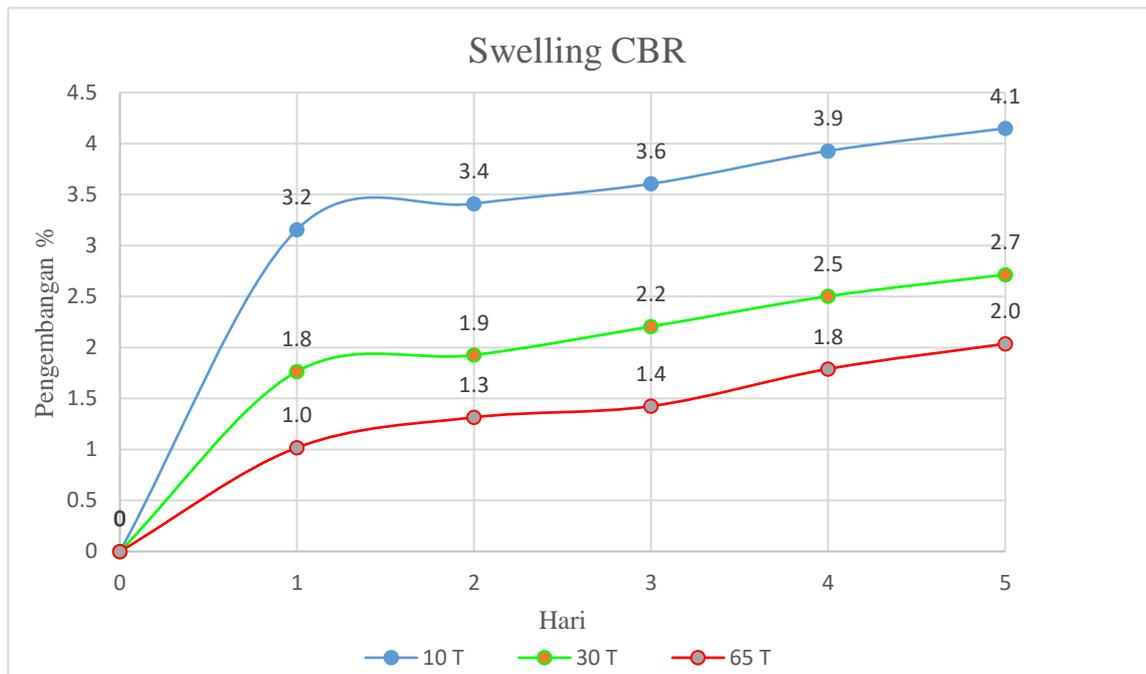
4.6.6 Hasil Uji Pengembangan Dan Heave

Analisis hasil uji tekanan pengembangan pada pengujian CBR rendaman Tekanan pengembangan merupakan salah satu karakteristik utama tanah ekspansif yang terjadi akibat perubahan kadar air dalam tanah. Tanah ekspansif memiliki mineral lempung seperti montmorillonit yang menyebabkan perubahan volume signifikan saat mengalami pembasahan dan pengeringan. Ketika tanah menyerap air, partikel lempung mengalami peningkatan gaya elektrostatis, sehingga menimbulkan gaya dorong yang menghasilkan tekanan pengembangan. Berikut adalah hasil pengujian CBR rendaman.

Tabel 4. 22 Swelling CBR Soaked

SWELLING CBR (SOAKED)							
10 Tumbukan							
Hari	0	1	2	3	4	5	6
Tanggal	6/12/20 25	6/13/20 25	6/14/20 25	6/15/20 25	6/16/20 25	6/17/20 25	6/18/20 25
Jam	13:30	13:30	13:30	13:30	13:30	13:30	13:30
Tinggi awal, mm	11786.4	11786.4	11786.4	11786.4	11786.4	11786.4	11786.4
Pembacaan Dev	0	372	402	425	463	489	
Perubahan Dev	0	372	30	23	38	26	
Pengembangan ,%	0	3.2	3.4	3.6	3.9	4.1	0.0
30 Tumbukan							
Hari	0	1	2	3	4	5	6
Tanggal	6/12/20 25	6/13/20 25	6/14/20 25	6/15/20 25	6/16/20 25	6/17/20 25	6/18/20 25
Jam	13:30	13:30	13:30	13:30	13:30	13:30	13:30
Tinggi awal, mm	11786.4	11786.4	11786.4	11786.4	11786.4	11786.4	11786.4
Pembacaan Dev	0.00	208	227	260	295	320	
Perubahan Dev	0	208	19	33	35	25	
Pengembangan ,%	0	1.8	1.9	2.2	2.5	2.7	0
65 Tumbukan							
Hari	0	1	2	3	4	5	6
Tanggal	6/12/20 25	6/13/20 25	6/14/20 25	6/15/20 25	6/16/20 25	6/17/20 25	6/18/20 25
Jam	13:30	13:30	13:30	13:30	13:30	13:30	13:30
Tinggi awal, mm	11786.4	11786.4	11786.4	11786.4	11786.4	11786.4	11786.4
Pembacaan Dev	0	120	155	168	211	240	
Perubahan Dev		120	35	13	43	29	
Pengembangan ,%	0	1.0	1.3	1.4	1.8	2.0	0.0

Sumber : Hasil Penelitian, 2025



Gambar 4. 11 Grafik Pengembangan CBR Rendaman

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Grafik diatas menggambarkan hubungan antara waktu (hari ke-0 sampai hari ke-5) dengan nilai pengembangan tanah (swelling %) pada tiga variasi perlakuan tanah yaitu 10 tumbukan, 30 tumbukan, 65 tumbukan.

Hasil pada tanah 10 tumbukan menunjukkan laju pengembangan tertinggi dengan lonjakan yang signifikan pada hari pertama dari 0% menjadi 3,2%, kemudian bertambah secara bertahap hingga mencapai 4,1% pada hari ke-5. Hal ini menunjukkan bahwa tanah ini memiliki nilai potensi ekspansif yang sangat tinggi

Hasil pengujian di 30 tumbukan menunjukkan tingkat pengembangan sedang, naik dari 0% ke 1,8% di hari pertama dan mencapai 2,7% pada hari ke-5. Pola kenaikannya lebih stabil dibandingkan dengan tanah 10 tumbukan yang relatif cepat.

Hasil pengujian tanah di 65 tumbukan mengalami pengembangan paling rendah, hanya mencapai 2,0% pada hari ke-5. Kenaikan terjadi secara bertahap, menunjukkan bahwa karakter tanah ini lebih stabil terhadap pengaruh air.

Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan berbanding terbalik antara nilai T dengan tingkat pengembangan tanah. Semakin kecil nilai T, semakin besar nilai pengembangan tanah, yang mengindikasikan kandungan mineral lempung aktif (seperti montmorillonit) yang lebih tinggi, serta kemampuan menyerap air yang lebih besar. Kondisi ini penting untuk diperhatikan dalam perencanaan pondasi, terutama pada struktur bangunan ringan atau jalan, karena tanah yang ekspansif dapat menyebabkan daya angkat (heave) yang signifikan, berpotensi menimbulkan retak atau deformasi struktural.

Semakin kecil angka T (misalnya 10 T), semakin besar potensi pengembangan tanah. Hal ini menunjukkan bahwa jenis atau perlakuan tanah dengan nilai T rendah lebih sensitif terhadap air, kemungkinan disebabkan oleh kandungan lempung aktif yang tinggi atau tingkat kepadatan yang rendah.

4.6.7 Hubungan Nilai Pengembangan Dan Heave

Hasil uji swelling CBR menunjukkan bahwa nilai pengembangan tanah berbeda-beda tergantung perlakuan (10 T, 30 T, dan 65 T). Nilai pengembangan yang ditunjukkan pada grafik berkisar dari 2,0% hingga 4,1%, yang menandakan bahwa seluruh sampel tanah termasuk dalam kategori tanah ekspansif dengan potensi pengangkatan (heave) yang bervariasi.

Hubungan antara nilai pengembangan dan heave bersifat langsung dan proporsional. Semakin besar nilai pengembangan tanah, maka semakin besar pula gaya angkat vertikal (heave) yang ditimbulkan. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya volume tanah akibat penyerapan air, yang menyebabkan ekspansi struktur lempung. Pada tanah dengan perlakuan 10 T, nilai pengembangan mencapai 4,1%, yang tergolong tinggi. Tanah ini memiliki potensi heave yang sangat besar, yang dapat menyebabkan gangguan serius pada struktur bangunan, seperti retak pada pondasi, pelat lantai terangkat, dan deformasi jalan. Tanah jenis ini memerlukan perlakuan khusus sebelum digunakan sebagai material dasar konstruksi.

Sementara itu, tanah perlakuan 30 T mengalami pengembangan maksimum sebesar 2,7%, dan 65 T sebesar 2,0%. Kedua jenis tanah ini menunjukkan karakteristik heave yang lebih rendah. Walaupun demikian, nilai di atas 2% tetap

menunjukkan bahwa tanah tersebut memiliki daya ekspansif sedang dan tetap perlu diwaspadai terutama untuk bangunan yang sensitif terhadap pergerakan tanah.

Berdasarkan hasil tersebut, hubungan antara nilai pengembangan dan heave dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori:

Tabel 4. 23 Hubungan Nilai Pengembangan

Pengembangan	Potensi heave	catatan
> 4% (10 T)	sangat tinggi	Tidak direkomendasikan tanpa stabilisasi.
2–3% (30 T):	sedang	Perlu perlakuan teknis ringan hingga sedang
≤ 2% (65 T):	rendah	Dapat digunakan dengan perlakuan minimum

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

1. 10 T: Memiliki nilai pengembangan tertinggi yang menunjukkan kecenderungan heave paling besar. Karakteristik ini sangat umum pada tanah dengan kadar mineral lempung aktif tinggi. Potensi risiko kerusakan struktural sangat tinggi jika tidak ada perkuatan.
2. 30 T: Memiliki tingkat pengembangan sedang, menunjukkan bahwa heave masih mungkin terjadi, namun dalam intensitas yang lebih rendah. Kategori ini tergolong masih perlu perhatian dalam desain konstruksi.
3. 65 T: Menunjukkan nilai pengembangan rendah, sehingga potensi heave kecil. Tanah ini cenderung stabil, aman digunakan untuk subgrade dengan perlakuan minimum.

Secara teknis, pengembangan tanah terjadi karena adanya air yang masuk ke dalam pori tanah dan menyebabkan adsorpsi air oleh mineral lempung, terutama jenis montmorillonit yang sangat aktif. Kegiatan ini menyebabkan volume tanah bertambah, dan bila tanah tersebut berada di bawah struktur, maka akan menimbulkan gaya angkat ke atas atau heave.