

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan dibahas mengenai hasil penelitian yang dilakukan di dalam laboratorium mekanika tanah, Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Dari hasil penelitian yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil dengan menggunakan tanah lempung yang diambil di daerah Kabupaten Paron, Ngawi, Jawa Timur, diperoleh hasil yang meliputi sifat fisik dan teknis tanah.

Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui perilaku tanah terhadap pemberian energi pemadatan yang berbeda-beda meliputi uji CBR Soaked dan uji CBRUnsoaked. Hasil dari pengujian akan dipaparkan dalam bentuk tabel dan grafik, meliputi sifat- fisik tanah dan sifat-sifat teknis tanah.

4.1. Pengujian Sifat Fisik dan Sifat Teknis Tanah

4.1.1. Pengujian Analisis Distribusi Butiran

Uji analisis butiran terbagi menjadi dua bagian pengujian, yaitu uji analisis saringan (dengan metode basah) dan uji analisis hidrometer. Analisis hidrometer berperan dalam menentukan distribusi ukuran butir-butir untuk tanah yang mengandung butir tanah lolos saringan no. 200. Sedangkan uji analisis saringan untuk menentukan distribusi ukuran butir-butir tanah yang tertahan saringan 200. Karena tanah lempung cukup sulit dalam proses pengayakan, maka uji analisis saringan dilakukan dengan metode basah (*Wet Sieve Analysis*), sehingga hasil ukuran butiran yang diperoleh lebih valid.

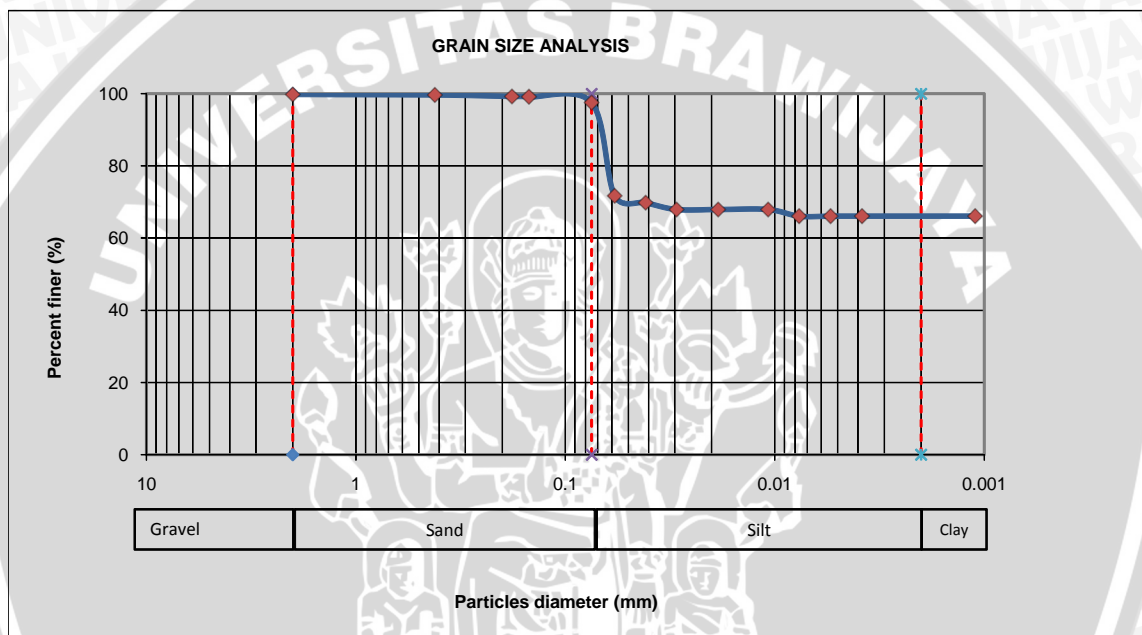
Hasil pengujian analisis saringan dapat dilihat pada **Tabel 4.1.**, sedangkan hasil pengujian analisis hidrometer dapat dilihat pada **Tabel 4.2.** Grafik yang menunjukkan distribusi ukuran butiran tanah lempung tercantum pada **Gambar 4.1.**

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Analisis Saringan Tanah Lempung

No Saringan	Diameter Saringan (mm)	Berat tertahan (gr)	Jumlah Tertahan	Presentase Tertahan %	Presentasi Lolos %
No. 10	2	0.80	0.8	0.20	99.8
No. 40	0.42	0.80	1.60	0.40	99.60
No. 80	0.18	1.50	3.10	0.78	99.23
No. 100	0.149	0.40	3.50	0.88	99.13
No. 200	0.075	6.30	9.80	2.45	97.55
PAN		390.20	400.00		

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Analisis Hidrometer Tanah Lempung

Waktu T (menit)	Pembacaan Hydrometer Ra	Composite Correction	Pembacaan Hydrometer terkoreksi R	Temperatur (C)	Kedalaman L (cm)	Konstanta K	Diameter Butiran D (mm)	Berat Lebih Kecil P %
0.5	1.02500	0.006	1.01900	31	9.7	0.01321	0.05813	71.713
1	1.02450	0.006	1.01850	30	9.8	0.01321	0.04138	69.825
2	1.02400	0.006	1.01800	30	10.0	0.01321	0.02946	67.938
5	1.02400	0.006	1.01800	30	10.0	0.01321	0.01863	67.938
15	1.02400	0.006	1.01800	30	10.0	0.01321	0.01076	67.938
30	1.02350	0.006	1.01750	30	10.1	0.01321	0.00766	66.051
60	1.02350	0.006	1.01750	30	10.1	0.01321	0.00541	66.051
120	1.02350	0.006	1.01750	30	10.1	0.01321	0.00383	66.051
1440	1.02350	0.006	1.01750	28	10.1	0.01321	0.00111	66.051



Gambar 4.1 Grafik Analisis Butiran

Tabel 4.3. Fraksi Butiran Tanah Lempung

Finer #200	97,55%	D10 (mm)	
Gravel	0,00%	D30 (mm)	
Sand	2,25%	D60 (mm)	
Silt	31,52%	$Cu = D60/D10$	
Clay	66,051%	$Cc = D30^2/(D10 \times D60)$	
		D50 (mm)	

Dari grafik yang didapatkan di atas, tanah dari daerah Paron Kabupaten Ngawi ini memiliki prosentase distribusi butiran sebagai berikut :

- Pasir sebesar 2,25 %
- Lanau sebesar 31,5 %

4.1.2. Pengujian Berat Jenis Tanah

Pengujian berat jenis bertujuan untuk menentukan berat jenis suatu sampel tanah, berat jenis tanah adalah nilai perbandingan berat butiran tanah dengan berat air destilasi diudara dengan volume yang sama pada temperatur tertentu biasanya diambil pada suhu 27.5°C . Hasil dari pengujian berat jenis tanah dapat dilihat pada **Tabel 4.4.**

Tabel 4.4. Pengujian Berat Jenis Tanah

Uraian	Keterangan	Perhitungan				
Berat Labu Ukur	dari hasil percobaan	56.2				
Berat Tanah kering (Ws)	diketahui	20				
Berat Labu Ukur+Air+Tanah (W1)	dari hasil percobaan	170.000	170.700	171.900	172.200	172.500
Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	dari hasil percobaan	66	55	40	34	30
Berat Labu Ukur+Air (W2)	$(-0.058^{\circ}\text{T})+161.5$	157.672	158.310	159.180	159.528	159.760
Berat Jenis Air (G1)	diketahui	0.980	0.986	0.992	0.994	0.996
Berat Jenis Tanah (GS)	$(Ws^*G1)/(Ws^*(W1-W2))$	2.555	2.591	2.726	2.714	2.743
Rata-rata Berat Jenis	$\Sigma GS/8$	2.693				

Uraian	Keterangan	Perhitungan			
Berat Labu Ukur	dari hasil percobaan	59.100			
Berat Tanah kering (Ws)	diketahui	20.000			
Berat Labu Ukur+Air+Tanah (W1)	dari hasil percobaan	168.400	169.800	170.000	170.200
Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	dari hasil percobaan	63	35	31	28
Berat Labu Ukur+Air (W2)	$(-0.055^{\circ}\text{T})+159,3$	155.835	157.375	157.595	157.760
Berat Jenis Air (G1)	diketahui	0.982	0.994	0.995	0.996
Berat Jenis Tanah (GS)	$(Ws^*G1)/(Ws^*(W1-W2))$	2.641	2.625	2.621	2.636
Rata-rata Berat Jenis	$\Sigma GS/8$	2.627			

Dari beberapa percobaan di atas diperoleh GS rata-rata untuk tanah lempung dari daerah Paron Kabupaten Ngawi adalah sebesar 2,6602.

4.1.3. Pengujian Berat Isi Tanah (Density) dan Porositas Tanah

Pengujian berat isi tanah memiliki tujuan untuk mengetahui berapa berat volume suatu sampel tanah. Pengujian porositas bertujuan untuk mengetahui nilai angka pori pada suatu sampel tanah. Hasil pengujian berat isi tanah (density) dan porositas tanah yang telah dilakukan tercantum pada **Tabel 4.5**.

Tabel 4.5. Pengujian Berat Isi dan Porositas Tanah

Titik No./Kedalaman	satuan	1	2
Tinggi Ring	cm	2.60	2.60
Diameter Ring (tabung)	cm	2.30	2.30
1 Berat Ring	gr	18.60	18.60
2 Berat Ring + Tanah Basah	gr	36.20	36.10
3 Berat Tanah (2) - (1)	gr	17.60	17.50
4 Volume Tanah (Volume Ring)	cm ³	10.80	10.80
5 Berat Isi Tanah (3)/(4)	gr/cm ³	1.63	1.62
6 Berat Ring + Tanah Kering	gr	30.80	30.40
7 Berat Tanah Kering (6) - (1)	gr	12.20	11.80
8 Berat Air (3) - (7)	gr	5.40	5.70
9 Kadar Air (8)/(7)*100%	%	44.26	48.31
10 $\gamma_d (7) / (4)$	gr/cm ³	1.13	1.09
$\gamma_{d \text{ rata-rata}}$	gr/cm ³	1.11	
11 Berat Jenis (Gs)		2.66	
12 Volume Tanah Kering (7)/(Gs)* γ_w	cm ³	4.59	4.44
13 Isi Pori (4) - (12)		6.22	6.37
14 Derajat Kejenuhan Sr = (8)/(13)*100%	%	86.87	89.53
15 Porositas (13)/(4)*100%	%	57.55	58.94
16 Rata-rata Porositas	%	58.24	

Dari data di atas, dapat diketahui bahwa berat isi tanah lempung dari daerah Paron Kabupaten Ngawi adalah sebesar 1,11 gr/cm³, dengan porositas sebesar 58,2422%.

4.1.4. Pengujian Kadar Air tanah

Pengujian kadar air bertujuan untuk menentukan kadar air sampel tanah. Hasil dari pengujian kadar air dapat dilihat pada **Tabel 4.6** berikut ini :

Tabel 4.6. Hasil Pengujian Kadar Air Tanah

Sampel	1	2	3
berat cawan	5.7	5.7	4.2
berat cawan + tanah basah	25.9	38.4	28.4
berat cawan + tanah kering	20.3	28.9	21.2
berat air	5.6	9.5	7.2
berat tanah kering	14.6	23.2	17
kadar air	38.356	40.948	42.353
Kadar air rata-rata	40.552		

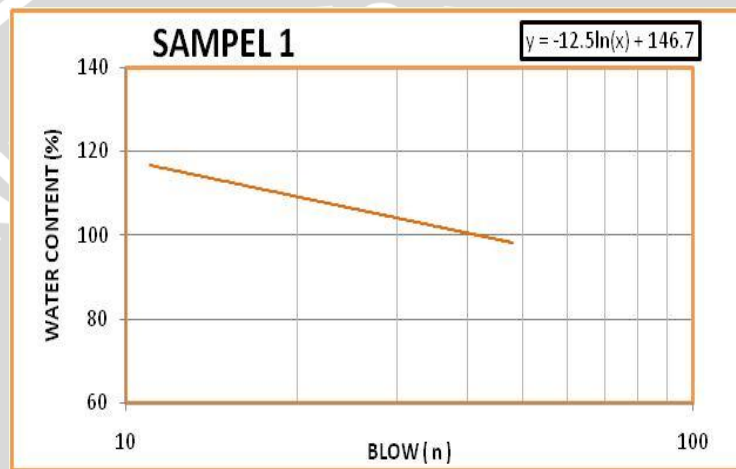
Dari hasil pengujian kadar air tanah maka dapat diketahui tanah daerah Paron, Ngawi mengandung kadar air 40,552 %.

4.1.5. Pengujian Batas Konsistensi Tanah (Atterberg Limits)

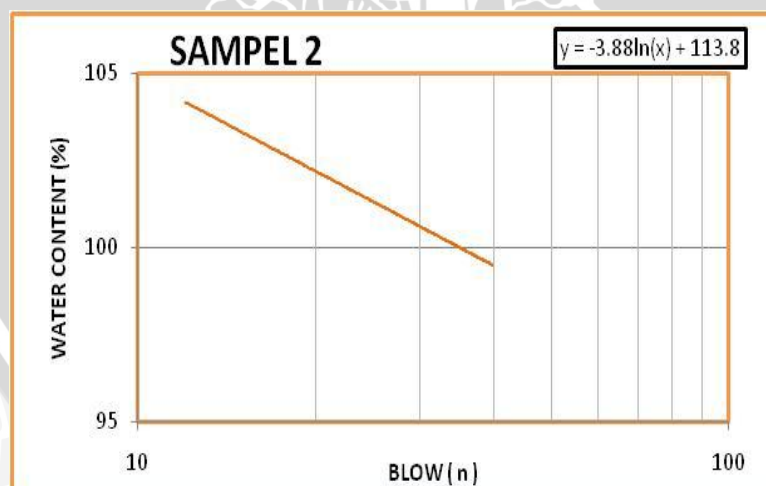
Pengujian batas-batas konsistensi atau biasa disebut *Atteberg Limit* terdiri dari tiga penelitian yaitu sebagai berikut :

4.1.5.1. Pengujian Batas Cair (*Liquid Limit*)

Pengujian batas cair memiliki tujuan untuk menentukan batas cair suatu tanah dan mengetahui jenis serta sifat-sifat tanah dengan ukuran butir lolos saringan no.40. Hasil dari pengujian yang telah didapatkan adalah sebagai berikut:



Gambar 4.2 Grafik Hubungan antara Pukulan dengan Kadar Air Sampel 1



Gambar 4.3 Grafik Hubungan antara Pukulan dengan Kadar Air Sampel 2

Dari grafik yang diperoleh di atas, untuk ketukan ke 25 dimasukkan nilai $x = 25$ pada persamaan yang diperoleh, sehingga diperoleh pada sampel 1 $LL = 106.464$ % dan pada sampel 2 $LL = 101.311$ %. Maka nilai batas cair untuk tanah dari daerah paron Kabupaten Ngawi adalah sebesar 103.887 %.

4.1.5.2. Pengujian Batas Plastis (*Plastic Limit*) dan Indeks Plastis

Pengujian batas plastis bertujuan untuk menentukan kadar air tanah pada kondisi plastis. Hasil dari pengujian yang didapatkan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.7. Pengujian Batas Plastis

No. cawan		1	2
Berat cawan	gr	4.2	5.6
Berat cawan + t. basah	gr	10.8	10.2
Berat cawan + t. kering	gr	8.7	8.7
Berat air	gr	2.1	1.5
Berat tanah kering	gr	4.5	3.1
Kadar air	%	46.667	48.387

Dari data yang diperoleh di atas, didapatkan batas plastis (PL) rata-rata untuk tanah dari daerah Paron Kabupaten Ngawi ini adalah sebesar 47.527 %, sehingga Indeks Plastis yang diperoleh adalah:

$$\begin{aligned}
 IP &= LL - PL \\
 &= 103.887 - 47.527 \\
 &= 56.3605 \%
 \end{aligned}$$

4.1.5.3. Pengujian Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Pengujian batas susut memiliki tujuan untuk menentukan kadar air tanah pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat. Dan hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut :

Tabel 4.8. Pengujian Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

no. cetakan	1	2	3	4
berat cetakan	14.8	14.6	30.1	16.6
berat cetakan + tanah basah	52.4	50.1	48.1	50.9
berat cetakan + tanah kering	33.2	32	38.9	33.3
berat tanah basah	37.6	35.5	18	34.3
berat tanah kering	18.4	17.4	8.8	16.7
berat air	19.2	18.1	9.2	17.6
isi tanah basah	27.5	26.5	13.5	25
isi tanah kering	10	10	5	9
kadar air (%)	104.348	104.023	104.545	105.389
SL (%)	9.239	9.195	7.955	9.581
SL rata2 (%)	8.992			

Dari data yang diperoleh di atas, menunjukkan bahwa batas susut untuk tanah dari daerah Paron Kabupaten Ngawi adalah sebesar 8,992 %.

4.1.6. Pengujian Free Swell

Pada uji pengembangan bebas (*free swell test*), (Gibbs and Holtz, 1956) yang telah dilakukan di laboratorium mekanika tanah Universitas Brawijaya didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.9 Pengujian Pengujian Free Swell

Waktu (menit)	Volume Sampel 1 (ml)	Volume Sampel 2 (ml)
0	10	10
5	27	30
10	27	30
20	27	30
30	27	30
Rata-rata	28,5	

$$\begin{aligned}
 \text{Pengembangan Bebas} &= \frac{\text{Volume Akhir} - \text{Volume Awal}}{\text{Volume Awal}} \times 100\% \\
 &= \frac{28,5 - 10}{10} \times 100\% \\
 &= 185\%
 \end{aligned}$$

Pada pengujian pengembangan bebas yang telah dilakukan di laboratorium mekanika tanah universitas brawijaya ini, diperoleh hasil pengembangan yang terjadi adalah sebesar 185 %.

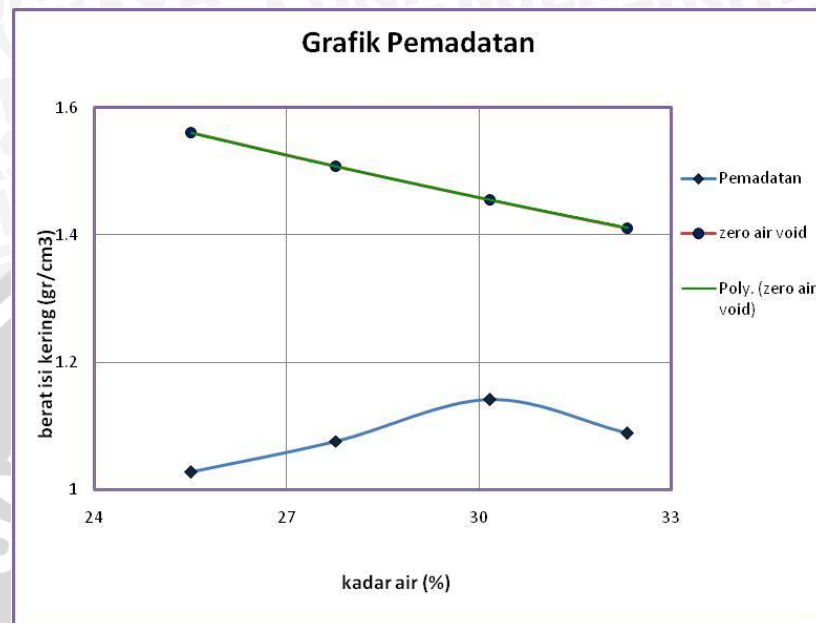
4.2. Pengujian Pemadatan Standart

Pengujian Proctor standart memiliki tujuan untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan dengan cara memadatkan suatu sampel tanah dalam silinder berukuran tertentu menggunakan cetakan, sampel tanah yang digunakan adalah tanah yang lolos saringan no. 4.

Selain itu uji proctor standar juga memiliki tujuan untuk mencari nilai kepadatan maksimum (*Maximum Dry Density*) dari suatu sampel tanah. Pada pengujian proctor standar didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Proctor Standar

Percobaan		1	2	3	4
kadar air (w)	%	25.507	27.768	30.169	32.309
berat isi kering (yd)	gr/cm ³	1.027	1.077	1.142	1.088
berat jenis zero air void (γ_{zav})	gr/cm ³	1.585	1.530	1.476	1.431

**Gambar 4.4** Grafik Hubungan antara Kadar Air dengan Berat Volume Tanah Kering

Dari kurva yang didapatkan di atas, dapat diketahui bahwa tanah dari daerah Paron Kabupaten Ngawi ini memiliki nilai kadar air optimum (OMC) sebesar 30,169 % dengan berat volume kering maksimum (γ_d maks) sebesar 1,142 gr/cm³.

4.3. Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*)

Pada penelitian ini pengujian CBR dibedakan menjadi dua bagian yaitu CBR terendam (*soaked*) dan CBR tidak terendam (*unsoaked*). Untuk masing-masing bagian dilakukan untuk beberapa sampel dengan variasi energi pemadatan yang berbeda. Pada penelitian ini digunakan variasi energi pemadatan sebagai berikut:

Tabel 4.11 Variasi Energi pemadatan

Jumlah Pukulan (Nb)	Energi Pemadatan (E) ft-lb/ft ³	Energi Pemadatan (E) kJ/m ³
25	14996.2	718.02
50	29992.4	1436.04
100	59984.8	2872.07

Dimana :
$$E = \frac{N_b \cdot N_i \cdot W \cdot H}{V}$$

$N_i = 3$ lapisan

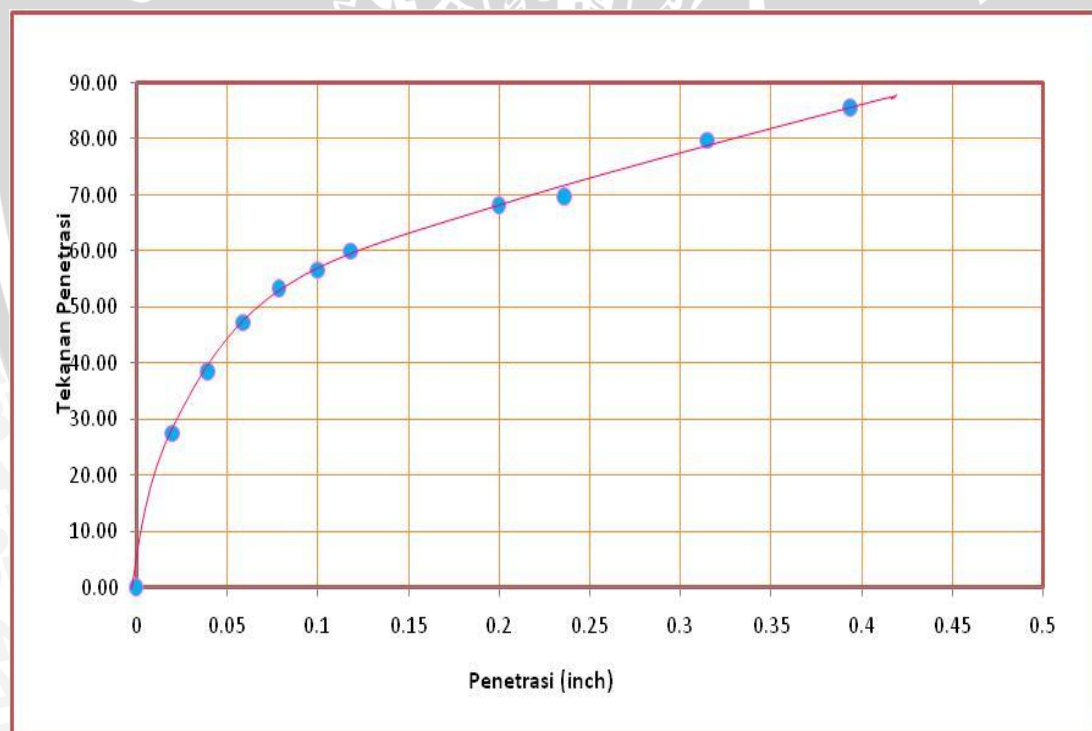
$W = 10$ lb

$H = 18$ inch = 1,499994 ft

$V = 0,075$ ft³

4.3.2. CBR Tanpa Rendaman (*Unsoaked*)

Pengujian CBR tanpa rendaman (*unsoaked*) ini merupakan pengujian yang dilakukan di Laboratorium mekanika tanah Universitas Brawijaya tanpa melalui proses perendaman melainkan langsung dengan pengujian menggunakan alat uji CBR. Secara umum nilai CBR tanpa rendaman akan tinggi seiring dengan penambahan energi pemadatan yang diberikan. Hasil dari pengujian CBR tanpa rendaman dengan variasi energi pemadatan sebagai berikut :

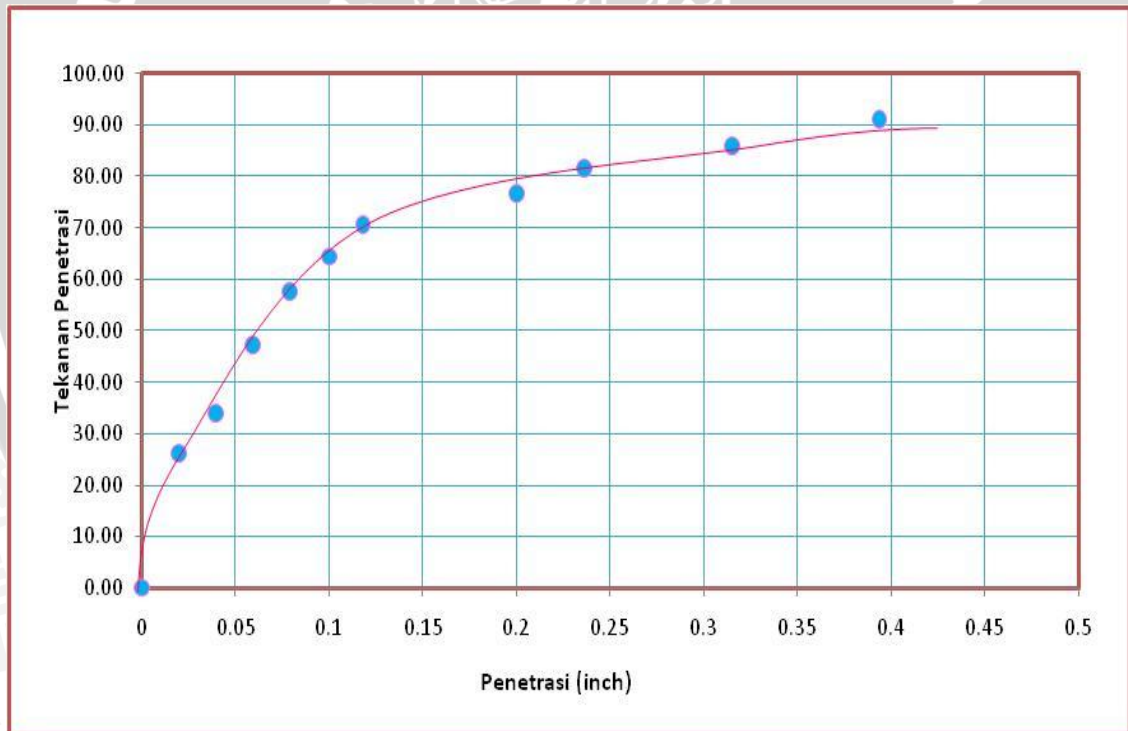


Gambar 4.5 Grafik Hubungan Antara Beban dan Penetrasi Tanah pada Energi Pemadatan 718,02 kJ/m³

Dari data pengujian di atas, maka nilai CBR Tanpa Rendaman tanah pada Energi Pemadatan 718,02 kJ/m³ adalah :

$$\begin{aligned}
 CBR_{0,1''} &= \frac{P_T}{P_S} \times 100\% \\
 &= \frac{56,63}{1000} \times 100\% \\
 &= 5,663 \% \\
 CBR_{0,2''} &= \frac{P_T}{P_S} \times 100\% \\
 &= \frac{68,10}{1500} \times 100\% \\
 &= 4,540 \%
 \end{aligned}$$

Dari kedua perhitungan di atas didapatkan $CBR_{0,1''} > CBR_{0,2''}$, sehingga nilai CBR pada Energi Pemadatan $718,02 \text{ kJ/m}^3$ dipakai nilai CBR pada penetrasi 0,1 inchi sebesar **5,663 %**



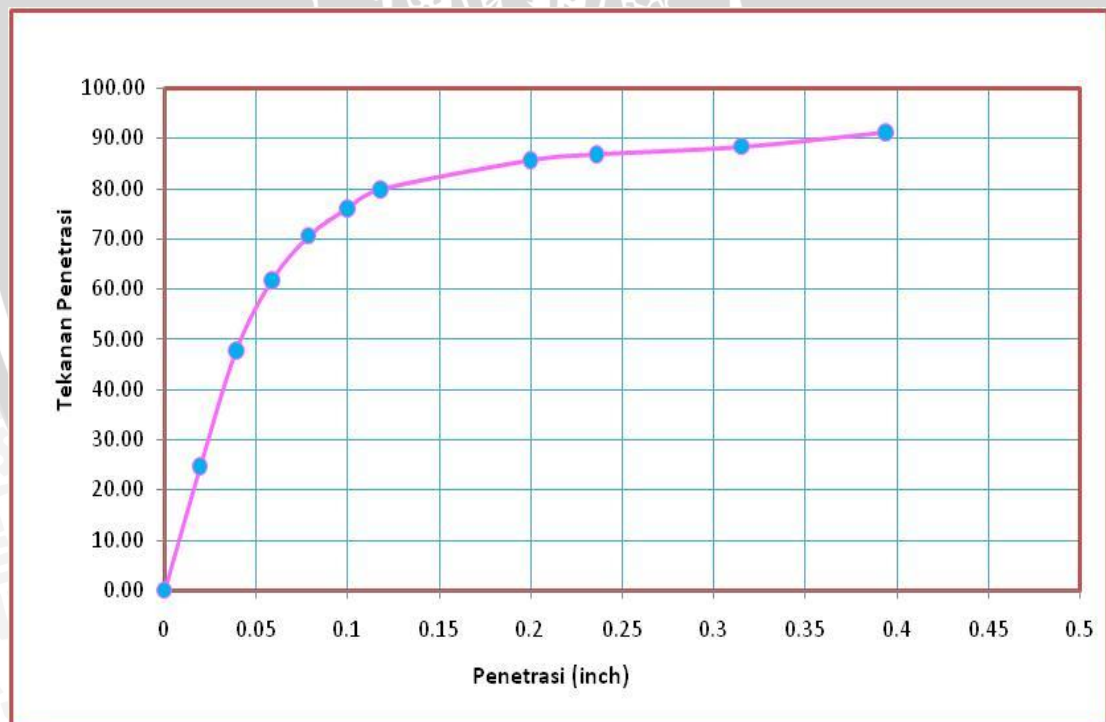
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Antara Beban dan Penetrasi Tanah pada Energi Pemadatan $1436,04 \text{ kJ/m}^3$

Dari data pengujian di atas, maka nilai CBR Tanpa Rendaman tanah pada Energi Pemadatan $1436,04 \text{ kJ/m}^3$ adalah :

$$\begin{aligned}
 CBR_{0,1''} &= \frac{P_T}{P_S} \times 100\% \\
 &= \frac{65,20}{1000} \times 100\% \\
 &= 6,520\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 CBR_{0,2''} &= \frac{P_T}{P_S} \times 100\% \\
 &= \frac{79,80}{1500} \times 100\% \\
 &= 5,320\%
 \end{aligned}$$

Dari kedua perhitungan diatas didapatkan $CBR_{0,1''} > CBR_{0,2''}$, sehingga nilai CBR pada Energi Pemasatan $1436,04 \text{ kJ/m}^3$ dipakai nilai CBR pada penetrasi 0,1 inchi sebesar **6,520 %**



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Antara Beban dan Penetrasi Tanah pada Energi Pemasatan $2872,07 \text{ kJ/m}^3$

Dari data pengujian di atas, maka nilai CBR Tanpa Rendaman tanah pada Energi Pemasatan $2872,07 \text{ kJ/m}^3$ adalah :

$$\begin{aligned} CBR_{0,1''} &= \frac{P_T}{P_S} \times 100\% \\ &= \frac{77,45}{1000} \times 100\% \\ &= 7,745\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CBR_{0,2''} &= \frac{P_T}{P_S} \times 100\% \\ &= \frac{91,38}{1500} \times 100\% \\ &= 6,092\% \end{aligned}$$

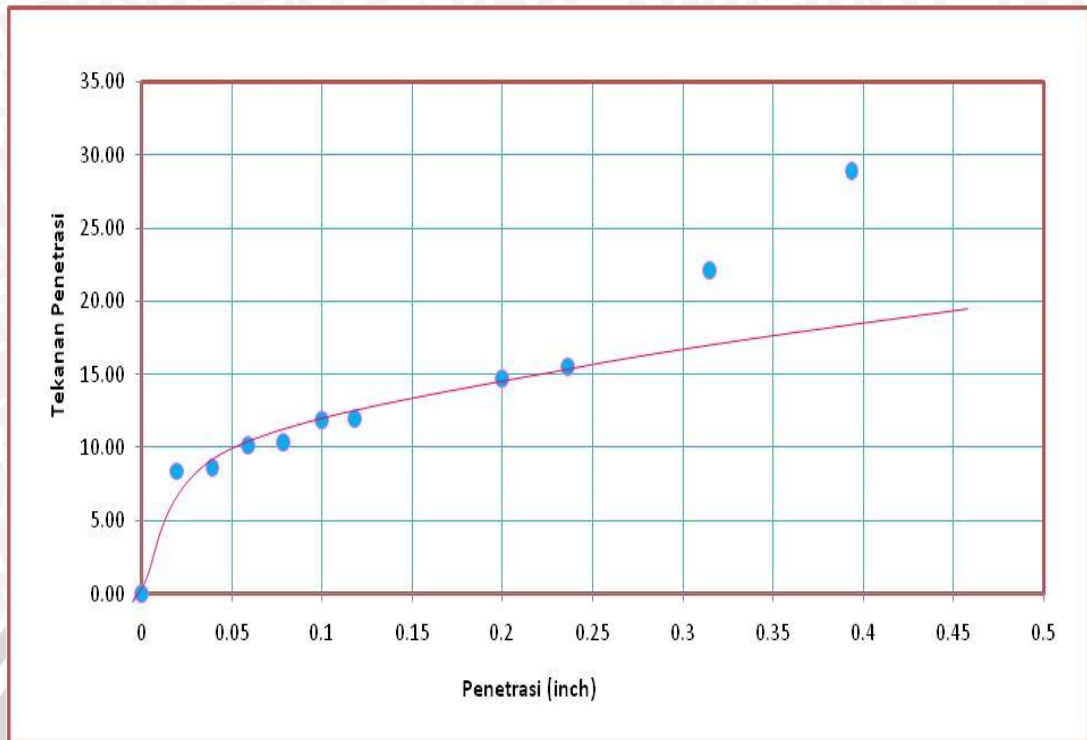
Dari kedua perhitungan diatas didapatkan $CBR_{0,1''} > CBR_{0,2''}$, sehingga nilai CBR pada Energi Pemadatan $2872,07 \text{ kJ/m}^3$ dipakai nilai CBR pada penetrasi 0,1 inchi sebesar **7,745 %**

4.3.3. CBR Rendaman (*Soaked*)

Pengujian CBR ini dilakukan di Laboratorium mekanika tanah Universitas Brawijaya dengan tujuan untuk mencari besarnya nilai CBR serta nilai pengembangan CBR di dalam keadaan jenuh air. Sehingga pada keadaan ini tanah mengalami pengembangan yang maksimum, dimana tanah dan cetakan direndam di dalam air selama 4 hari. Dari pengujian CBR Rendaman didapatkan data nilai CBR rendaman dan data *Swelling* rendaman.

a. Pengambilan Data Nilai CBR Rendaman

Hasil dari pengujian CBR Rendaman dengan variasi energi pemadatan adalah sebagai berikut:



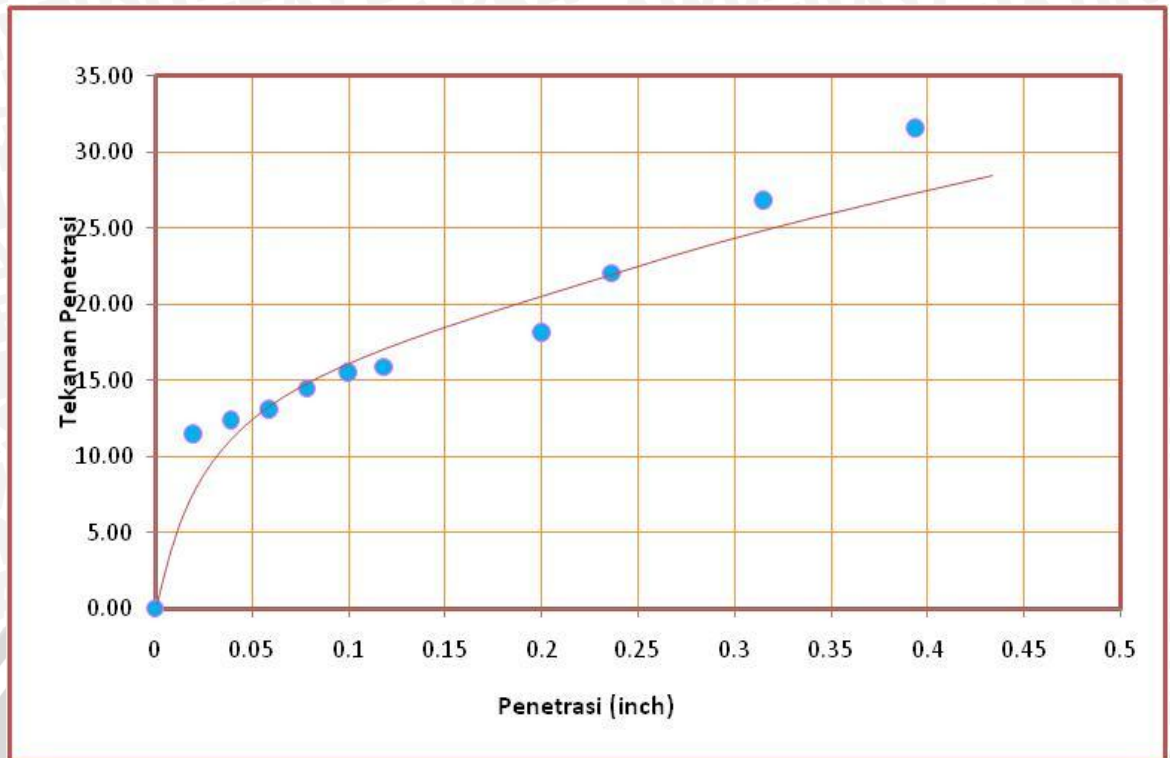
Gambar 4.8 Grafik Hubungan Antara Beban dan Penetrasi Tanah pada Energi Pemadatan $718,02 \text{ kJ/m}^3$

Dari data pengujian di atas, maka nilai CBR Rendaman tanah pada Energi Pemadatan $718,02 \text{ kJ/m}^3$ adalah :

$$\begin{aligned}
 CBR_{0,1''} &= \frac{P_T}{P_S} \times 100\% \\
 &= \frac{11,88}{1000} \times 100\% \\
 &= 1,188 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 CBR_{0,2''} &= \frac{P_T}{P_S} \times 100\% \\
 &= \frac{14,60}{1500} \times 100\% \\
 &= 0,973 \%
 \end{aligned}$$

Dari kedua perhitungan di atas didapatkan $CBR_{0,1''} > CBR_{0,2''}$, sehingga nilai CBR pada Energi Pemadatan $718,02 \text{ kJ/m}^3$ dipakai nilai CBR pada penetrasi 0,1 inchi sebesar **1,188 %**



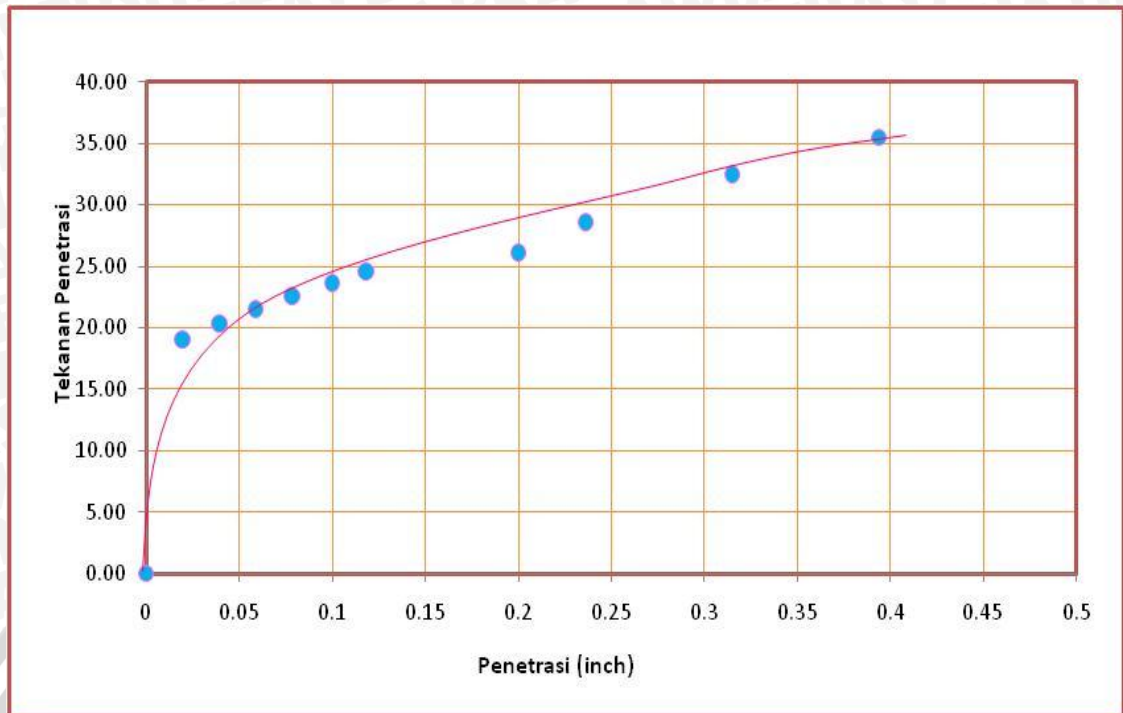
Gambar 4.9 Grafik Hubungan Antara Beban dan Penetrasi Tanah pada Energi Pemadatan 1436,04 kJ/m³

Dari data pengujian di atas, maka nilai CBR Rendaman tanah pada Energi Pemadatan 1436,04 kJ/m³ adalah :

$$\begin{aligned}
 CBR_{0,1''} &= \frac{P_T}{P_S} \times 100\% \\
 &= \frac{16,80}{1000} \times 100\% \\
 &= 1,680 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 CBR_{0,2''} &= \frac{P_T}{P_S} \times 100\% \\
 &= \frac{21,20}{1500} \times 100\% \\
 &= 1,413 \%
 \end{aligned}$$

Dari kedua perhitungan di atas didapatkan $CBR_{0,1''} > CBR_{0,2''}$, sehingga nilai CBR pada Energi Pemadatan 1436,04 kJ/m³ dipakai nilai CBR pada penetrasi 0,1 inchi sebesar **1,680 %**



Gambar 4.10 Grafik Hubungan Antara Beban dan Penetrasi Tanah pada Energi Pemadatan 2872,07 kJ/m³

Dari data pengujian di atas, maka nilai CBR Rendaman tanah pada Energi Pemadatan 2872,07 kJ/m³ adalah :

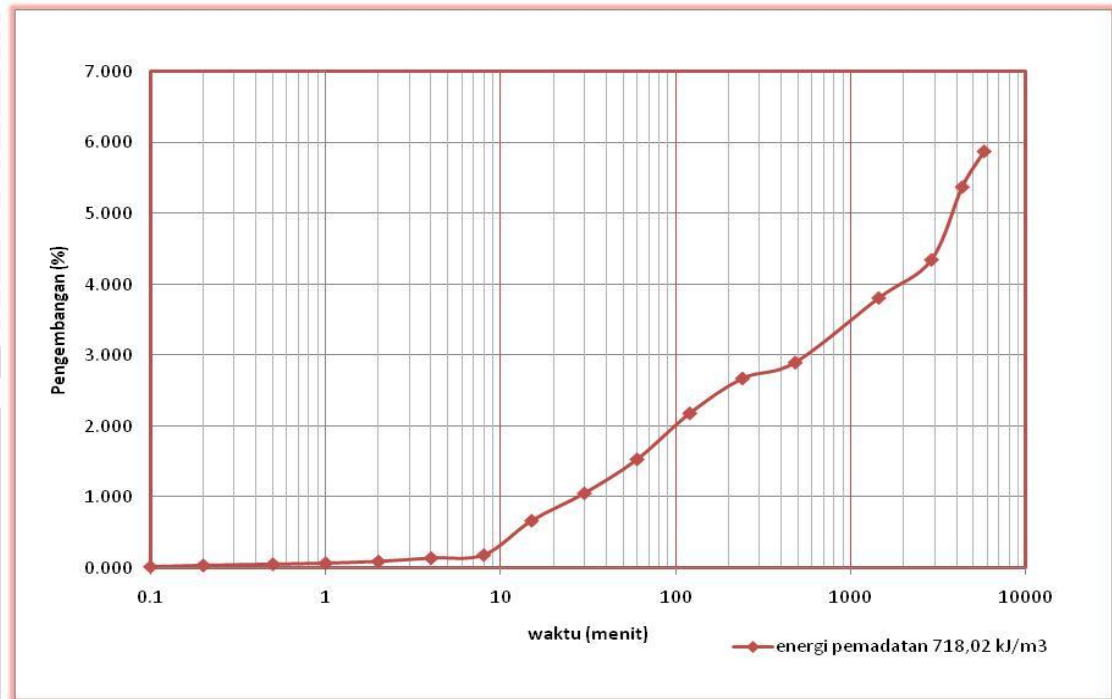
$$\begin{aligned}
 CBR_{0,1''} &= \frac{P_T}{P_S} \times 100\% \\
 &= \frac{24,60}{1000} \times 100\% \\
 &= 2,460 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 CBR_{0,2''} &= \frac{P_T}{P_S} \times 100\% \\
 &= \frac{27,90}{1500} \times 100\% \\
 &= 1,860 \%
 \end{aligned}$$

Dari kedua perhitungan di atas didapatkan $CBR_{0,1''} > CBR_{0,2''}$, sehingga nilai CBR pada Energi Pemadatan 2872,07 kJ/m³ dipakai nilai CBR pada penetrasi 0,1 inchi sebesar **2,460 %**

b. Pengambilan Data *Swelling*

Dalam pengujian CBR rendaman didapatkan hasil pengembangan (*swelling*), dimana untuk masing-masing variasi energi pemadatan didapatkan pengembangan sebagai berikut :

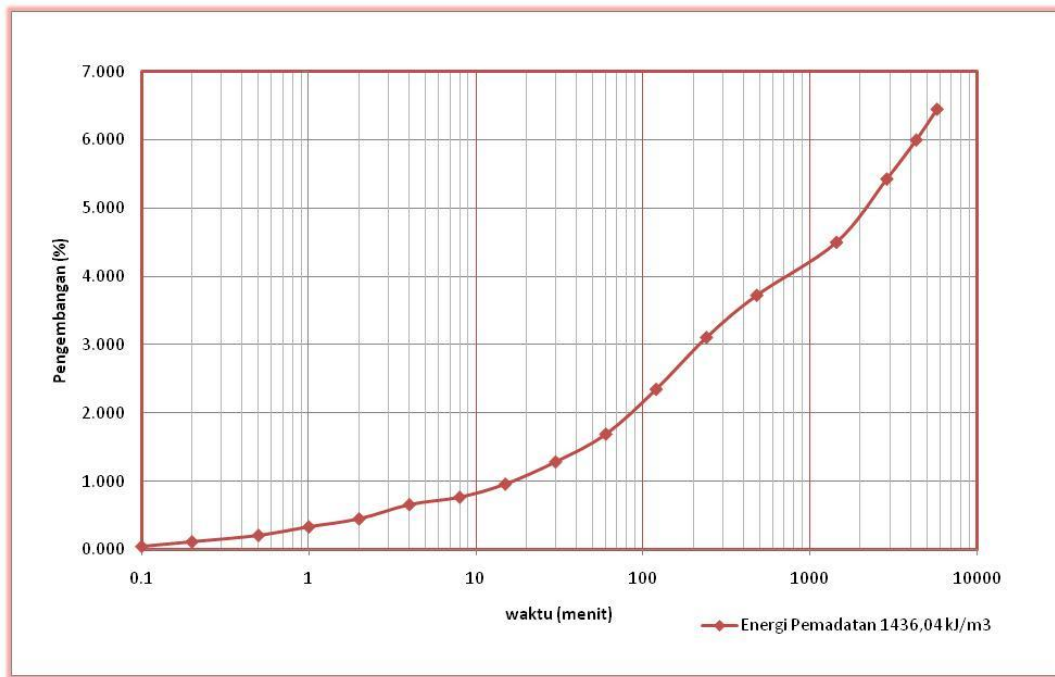


Gambar 4.11 Grafik Pengembangan pada Energi Pemadatan 718,02 kJ/m³

Dari melihat hasil gambar grafik di atas didapatkan hasil pengembangan rata-rata terjadi peningkatan dari jam awal sampai jam terakhir. Pembacaan pertama dimulai pada jam ke 0 , kemudian 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 4; 8; 15; 30; 60; 120; 240; 480; 1440; 2880; 4320; hingga 5760 menit. Berdasarkan hasil tabel dan grafik diatas maka nilai pengembangan pada energi pemadatan 718,02 kJ/m³ dapat diplotkan kedalam rumus pengembangan dibawah ini :

$$\begin{aligned}
 \text{Pengembangan} &= \frac{\text{Tinggi Akhir} - \text{Tinggi Awal}}{\text{Tinggi Awal}} \times 100\% \\
 &= \frac{0,278}{4,724} \times 100\% \\
 &= 5,881\%
 \end{aligned}$$

Maka dapat diambil kesimpulan bahwa tanah lempung yang berasal dari Daerah Paron, Kabupaten Ngawi Jawa Timur memiliki nilai tingkat pengembangan pada energi pemadatan 718,02 kJ/m³ sebesar 5,881 %

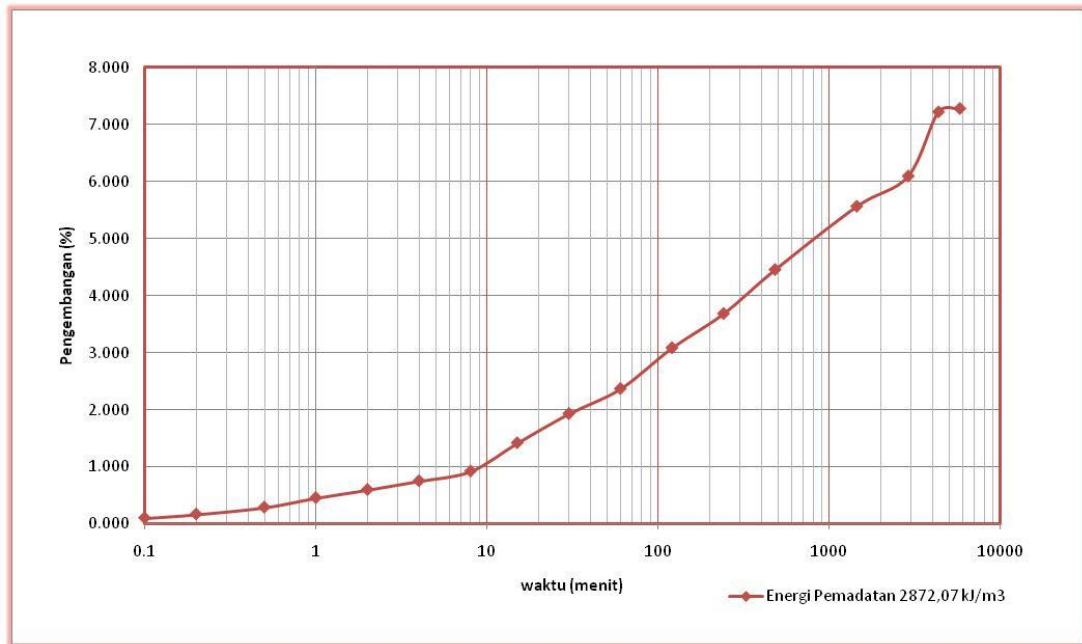


Gambar 4.12 Grafik Pengembangan pada Energi Pemadatan 1436,04 kJ/m³

Dari melihat hasil gambar grafik di atas didapatkan hasil pengembangan rata-rata terjadi peningkatan dari jam awal sampai jam terakhir. Pembacaan pertama dimulai pada jam ke 0 , kemudian 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 4; 8; 15; 30; 60; 120; 240; 480; 1440; 2880; 4320; hingga 5760 menit. Berdasarkan hasil tabel dan grafik diatas maka nilai pengembangan pada energi pemadatan 1436,04 kJ/m³ dapat diplotkan kedalam rumus pengembangan dibawah ini :

$$\begin{aligned}
 \text{Pengembangan} &= \frac{\text{Tinggi Akhir} - \text{Tinggi Awal}}{\text{Tinggi Awal}} \times 100\% \\
 &= \frac{0,305}{4.724} \times 100 \% \\
 &= 6,466\%
 \end{aligned}$$

Maka dapat diambil kesimpulan bahwa tanah lempung yang berasal dari Daerah Paron, Kabupaten Ngawi Jawa Timur memiliki nilai tingkat pengembangan pada energi pemadatan 1436,04 kJ/m³ sebesar 6,466 %



Gambar 4.13 Grafik Pengembangan pada Energi Pemadatan 2872,07 kJ/m³

Dari melihat hasil gambar grafik di atas didapatkan hasil pengembangan rata-rata terjadi peningkatan dari jam awal sampai jam terakhir. Pembacaan pertama dimulai pada jam ke 0 , kemudian 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 4; 8; 15; 30; 60; 120; 240; 480; 1440; 2880; 4320; hingga 5760 menit. Berdasarkan hasil tabel dan grafik diatas maka nilai pengembangan pada energi pemadatan 2872,07 kJ/m³ dapat diplotkan kedalam rumus pengembangan dibawah ini :

$$\begin{aligned}
 \text{Pengembangan} &= \frac{\text{Tinggi Akhir} - \text{Tinggi Awal}}{\text{Tinggi Awal}} \times 100\% \\
 &= \frac{0,344}{4,724} \times 100 \% \\
 &= 7,279\%
 \end{aligned}$$

Maka dapat diambil kesimpulan bahwa tanah lempung yang berasal dari Daerah Paron, Kabupaten Ngawi Jawa Timur memiliki nilai tingkat pengembangan pada energi pemadatan 2872,07 kJ/m³ sebesar 7,279 %

4.4. Pembahasan

Pada bab ini akan membahas tentang karakteristik tanah lempung yang bersifat ekspansif dari daerah Pron Kabupaten Ngawi Jawa Timur, berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di Laboratorium mekanika tanah Universitas Brawijaya. Selain itu juga membahas tentang hal-hal yang menjadi tujuan dalam penelitian ini.

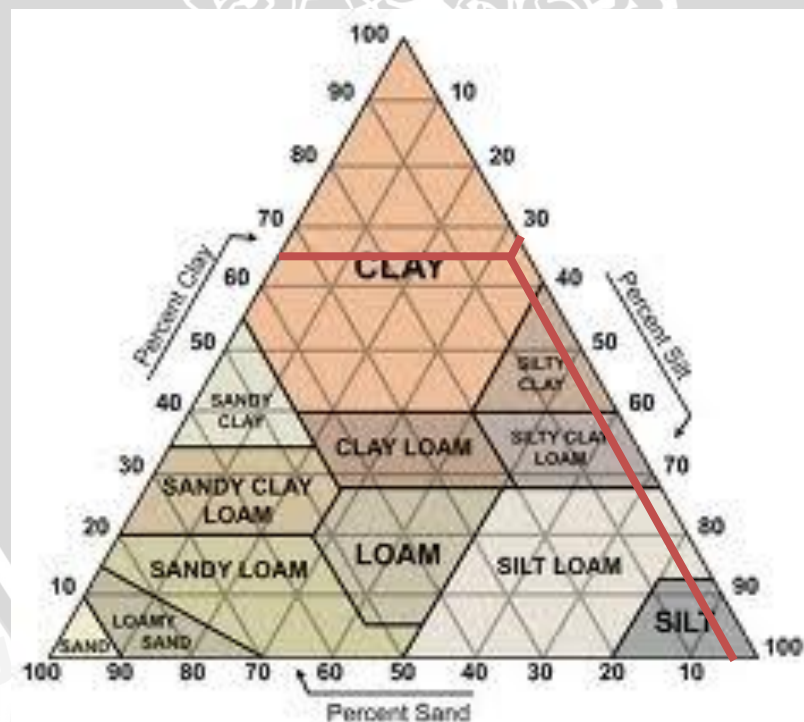
4.4.2. Identifikasi Jenis Tanah Ekspansif dari Daerah Paron Kabupaten Ngawi

4.4.2.1. Analisis Distribusi Butiran

Dari hasil pengujian analisis butiran saringan dapat diketahui tanah yang berasal dari daerah Kecamatan Paron, Kabupaten Ngawi mengandung :

- Pasir sebesar 2,25 %
- Lanau sebesar 31,5 %
- Lempung sebesar 66,051 %

Dari hasil pengujian distribusi pembagian butir tanah kemudian diplotkan berdasarkan klasifikasi tekstur tanah USDA sehingga dapat diketahui jenis tanah yang akan diuji, seperti pada **Gambar 4.8** berikut ini.

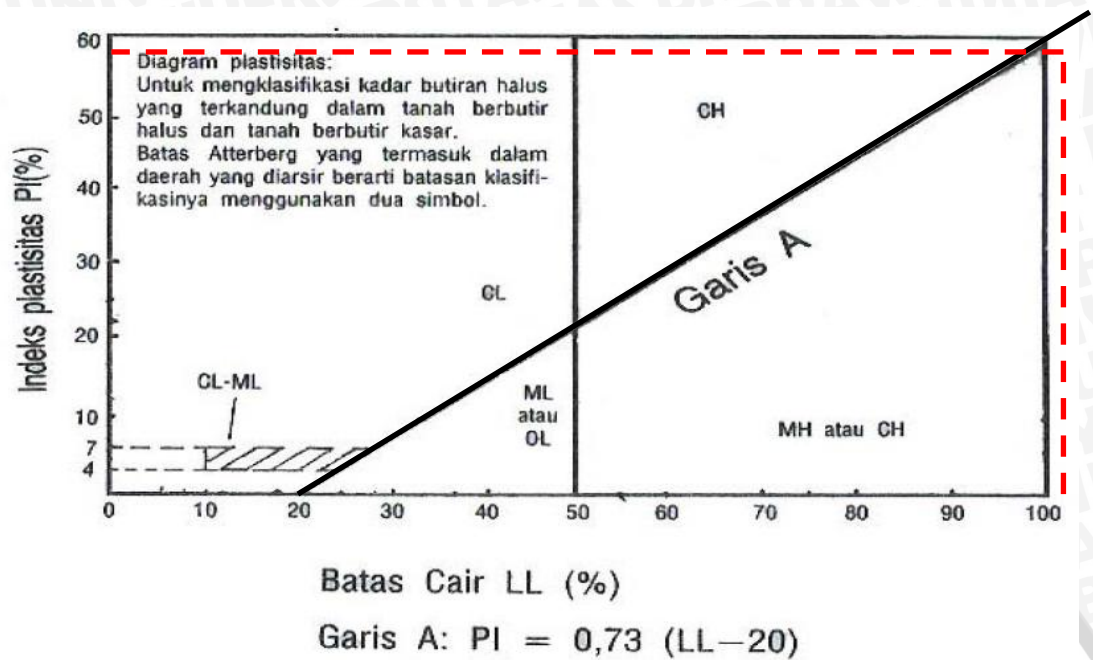


Gambar 4.14 Grafik Klasifikasi Tanah Berdasarkan Tekstur

Dari penelitian berdasarkan tekstur tanah USDA dapat disimpulkan bahwa tanah yang bersifat ekspansif di daerah Kecamatan Paron, Kabupaten Ngawi termasuk dalam tanah lempung (*clay*).

4.4.2.2. Berdasarkan klasifikasi tanah sistem Unified

Berdasarkan klasifikasi tanah sistem Unified adalah sebagai berikut :



Gambar 4.15 Grafik Klasifikasi Tanah Sistem *Unified*

Dengan nilai LL yang diperoleh yaitu sebesar 103,887 %, maka $PI = 0,73 (103,887 - 20) = 61,237 \%$, sehingga tanah lempung dari daerah Paron Kabupaten Ngawi ini tergolong tanah OH.

4.4.2.3. Berdasarkan Sistem Klasifikasi AASHTO

Berdasarkan pada tabel klasifikasi tanah AASHTO seperti tertuang pada **Gambar 2.4**, prosentase lolos saringan nomor 200 lebih besar dari 35 %, secara umum tanah masuk kelompok lanau-lempung. Dengan diketahuinya nilai batas cair (LL) lebih besar dari 41 %, dan harga indeks Plastisitas (PI) lebih besar dari 11 % tetapi lebih kecil daripada harga batas cair (LL) dikurangi 30, maka tanah termasuk golongan A-7-5.

Untuk mendapatkan pengelompokan yang lebih detail maka dihitung indeks kelompoknya dengan **Persamaan 2.2** sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 GI &= (F-35)[0,2+0,005 (LL-40)] + [0,01 (F-15)(PI-10)] \\
 &= (97,55 - 35) [0,2 + 0,005 (103,887 - 40)] + [0,01 (97,55 - 15) \\
 &\quad (56,36-10)] \\
 &= 70,76 \\
 &= 71
 \end{aligned}$$

Berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO maka tanah lempung yang berasal dari Kecamatan Paron, Kabupaten Ngawi dapat dikategorikan ke dalam kelompok tanah berlempung A-7-5(71).

4.4.2.4. Berdasarkan Batas-Batas Atterberg

Berdasarkan terhadap batas-batas atterberg terdapat beberapa parameter dalam penentuan jenis tanah, dengan data yang telah diperoleh yaitu :

LL	= 103.887 %
PL	= 47.527 %
IP	= 56.3605 %
SL	= 8,992 %
Probable Swell	= 185 %

Dari hasil penelitian yang diperoleh yaitu SL sebesar 8,992 % dengan Potensi mengembang (*Probable Swell*) sebesar 1,85. Berdasarkan Tabel 2.8 maka tanah dari daerah Paron Kabupaten Ngawi ini tergolong dalam tanah ekspansif tingkat kritis.

Sedangkan berdasarkan Tabel 2.9, tanah dengan nilai Indeks Plastis sebesar 56,3605 % tergolong tanah ekspansif tingkat sangat tinggi (*Very high*), namun menurut Raman tanah dengan SL 8,992% tergolong tanah ekspansif tingkat rendah, hal tersebut bertolak belakang dengan Altmeyer yang menyatakan kebalikannya.

Sama halnya dengan Raman, menurut Chen tanah dengan nilai Indeks Plastis sebesar 56,3605 % > 35 % tergolong dalam tanah ekspansif dengan potensi mengembang yang sangat tinggi, hal ini bisa dilihat pada Tabel 2.10.

4.4.2.5. Berdasarkan uji klasifikasi teknik

Berdasarkan uji klasifikasi teknik terdapat beberapa parameter untuk menentukan jenis suatu tanah. Pada penelitian yang telah dilakukan diperoleh nilai aktifitas sebagai berikut :

- Aktifitas (A) = $\frac{\text{Indeks Plastisitas}}{C-10} = \frac{56,36053}{66,051-10} = 1,0055$

Dimana: C = prosentase lempung dengan diameter butiran < 0,002 mm

Berdasarkan pada Tabel 2.5. tanah dari daerah Paron Kabupaten Ngawi ini tergolong tanah ekspansif dengan kandungan Montmorillonite (Ca).

Sesuai data yang telah didapatkan dalam penelitian yaitu besarnya colloid < 0,002mm adalah 66,051% > 15%, batas cair (LL) sebesar 103.887 % > 35 %, serta perubahan volume sebesar 180% > 30%. Dari Tabel 2.6. maka didapatkan bahwa tanah dari daerah Paron Kabupaten Ngawi ini tergolong tanah ekspansif tingkat sangat tinggi.

Dari hasil penelitian yang telah didapatkan, jumlah prosentase tanah lolos saringan 200 adalah sebesar 97,55 % > 95 %, dengan nilai batas cair (LL) sebesar 103.887 % > 30 %, serta perubahan volume sebesar 185% > 10%, maka menurut ketentuan Chen pada Tabel 2.7. tanah dari daerah Paron Kabupaten Ngawi ini tergolong dalam tanah ekspansif tingkat sangat tinggi.

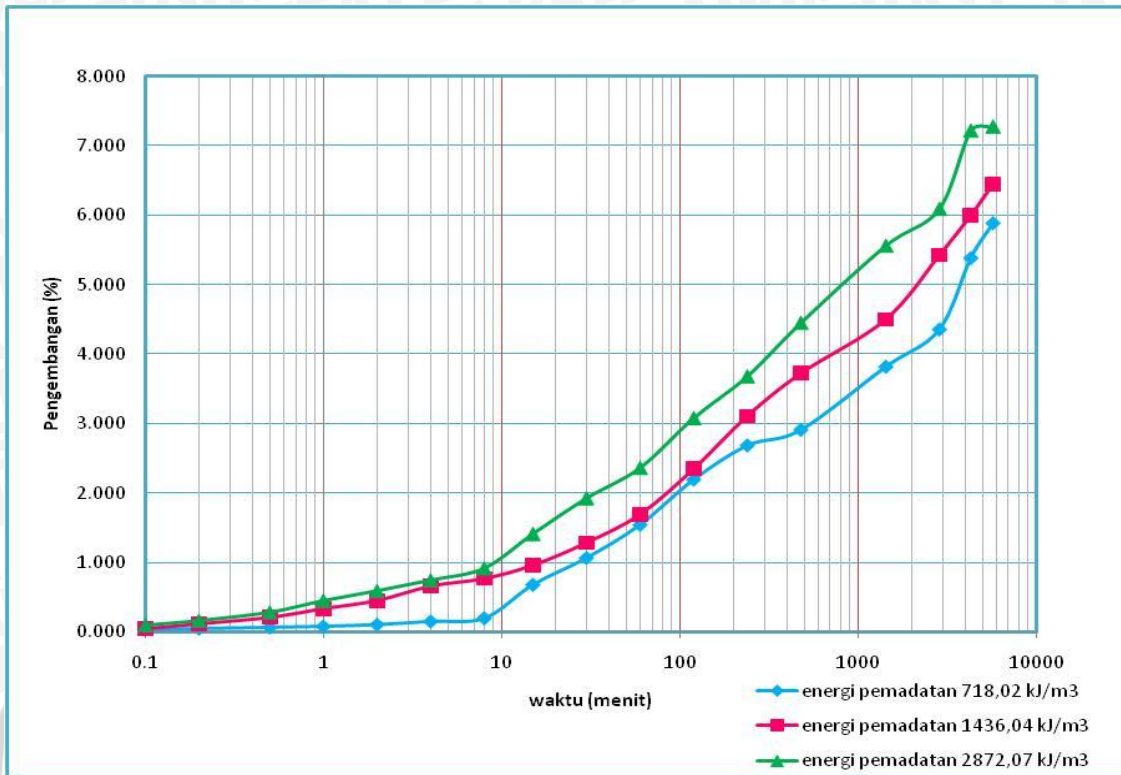
Dari beberapa ulasan di atas tentang klasifikasi tanah dengan beberapa parameter yang telah ditentukan oleh para ahli, maka dapat disimpulkan bahwa tanah lempung ekspansif dari daerah Paron Kabupaten Ngawi Jawa Timur ini merupakan tanah lempung ekspansif dengan tingkat ekspansif yang sangat tinggi dengan potensi pengembangan yang sangat tinggi pula.

4.4.2. Hubungan Pengembangan (*Swelling*) yang Terjadi terhadap Variasi Energi Pemasatan yang Diberikan

Dari pengujian CBR rendaman (*soaked*) didapatkan besar pengembangan yang terjadi akibat variasi energi pemasatan yang diberikan. Hasil pengujian CBR rendaman (*soaked*) ditampilkan pada Tabel 4.24.

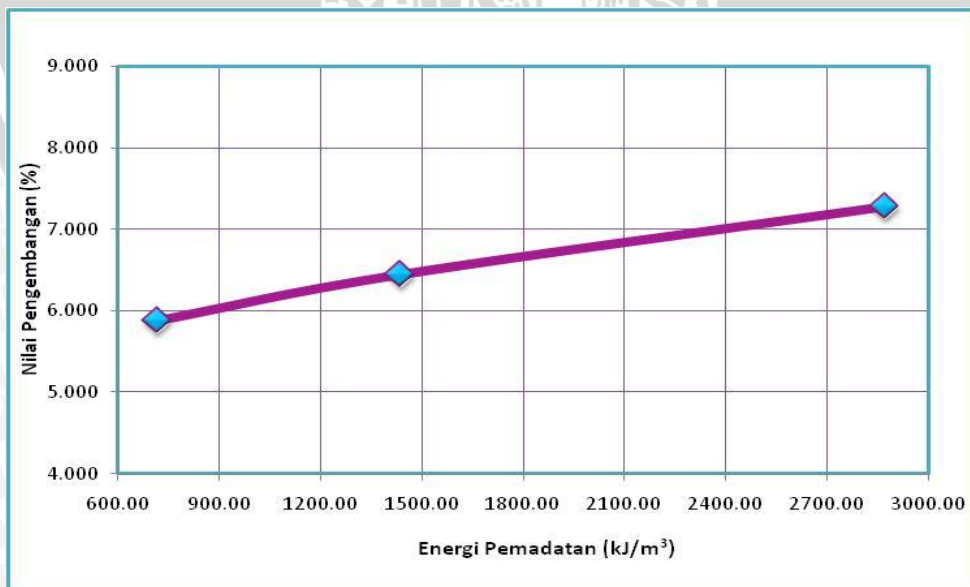
Tabel 4.12 Hasil Pengujian CBR Rendaman (*Soaked*)

No	Energi Pemasatan (kJ/m ³)	Nilai Rata-Rata CBR Soaked (%)	Nilai Pengembangan CBR Soaked (%)
1	718.02	1.188	5.881
2	1436.04	1.680	6.446
3	2872.07	2.460	7.279



Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Pengembangan yang Terjadi pada Setiap Variasi Energi Pemadatan

Dari hasil pengujian CBR rendaman (*soaked*) di atas didapatkan hubungan antara besarnya pengembangan terhadap energi pemadatan yang ditampilkan dalam grafik berikut ini :



Gambar 4.17 Grafik Hubungan Antara Pengembangan terhadap Variasi Energi Pemadatan

Dengan melihat Gambar **Grafik 4.17** diatas, pada pengujian pengembangan (*swelling*) yang dilakukan dilaboratorium mekanika tanah menunjukkan bahwa nilai tingkat pengembangan yang tertinggi terjadi pada energi pemadatan sebesar 2872,07 kJ/m³ yaitu sebesar 7,745% dan nilai tingkat pengembangan yang terendah terjadi pada energi pemadatan sebesar 718,02 kJ/m³ sebesar 5,881 %. Hasil tes ini menunjukkan hasil yang berbeda dengan hipotesa semula, yaitu dengan bertambahnya energi pemadatan maka pengembangan (*swelling*) yang terjadi juga akan berkurang. Hal ini mengindikasikan adanya gejala *overcompact*.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Wijaya Seta juga menghasilkan adanya gejala *overcompact* yang disebabkan tanah lempung dipadatkan dengan energi pemadatan yang tinggi. Kondisi ini kemungkinan juga terjadi pada penelitian ini, mengingat dalam penelitian ini juga digunakan energi pemadatan yang tinggi. Dengan kenaikan energi pemadatan, nilai kepadatannya bertambah tetapi pengembangannya (*swelling*) juga ikut bertambah.

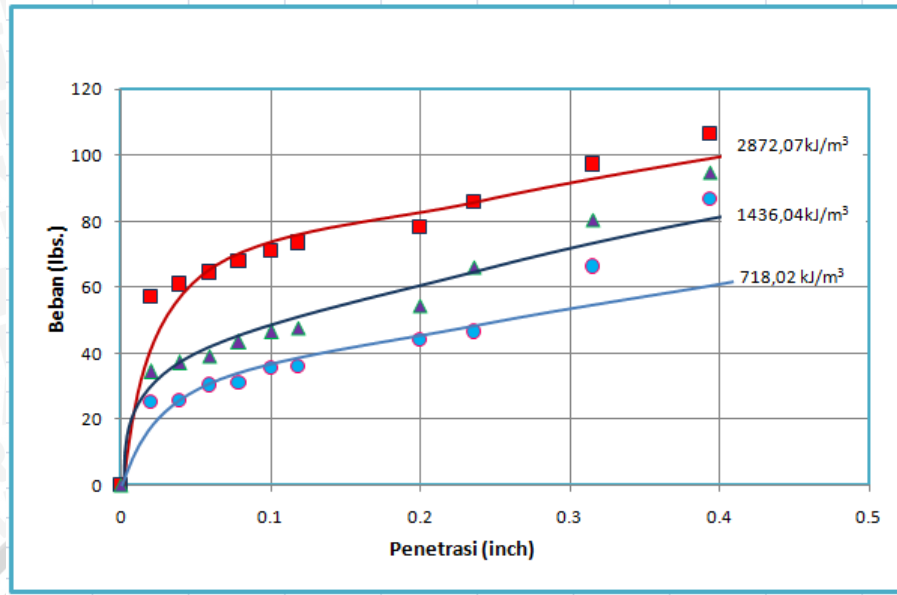
Penyimpangan ini juga bisa disebabkan oleh bergesernya nilai OMC akibat penambahan energi pemadatan yang digunakan sehingga berat volume kering (γ_d) tidak mencapai maksimum. Hal ini menyebabkan pengembangan yang terjadi juga semakin bertambah seiring dengan penambahan energi pemadatan. Oleh karena itu, pada penelitian selanjutnya harus dicari terlebih dari nilai OMC tanah pada masing-masing energi pemadatan yang diberikan.

4.4.3. Hubungan Nilai CBR terhadap Variasi Energi Pemadatan yang Diberikan

Dari hasil pengujian CBR yang telah dilakukan telah didapatkan nilai CBR dari pengujian CBR terendam (*soaked*) dan CBR tidak terendam (*unsoaked*). Hasil pengujian CBR dengan menggunakan variasi energi pemadatan yang diberikan pada pada tanah lempung yang bersifat Ekspansif adalah sebagai berikut :

Tabel 4.13 Hasil Pengujian CBR Rendaman (*Soaked*)

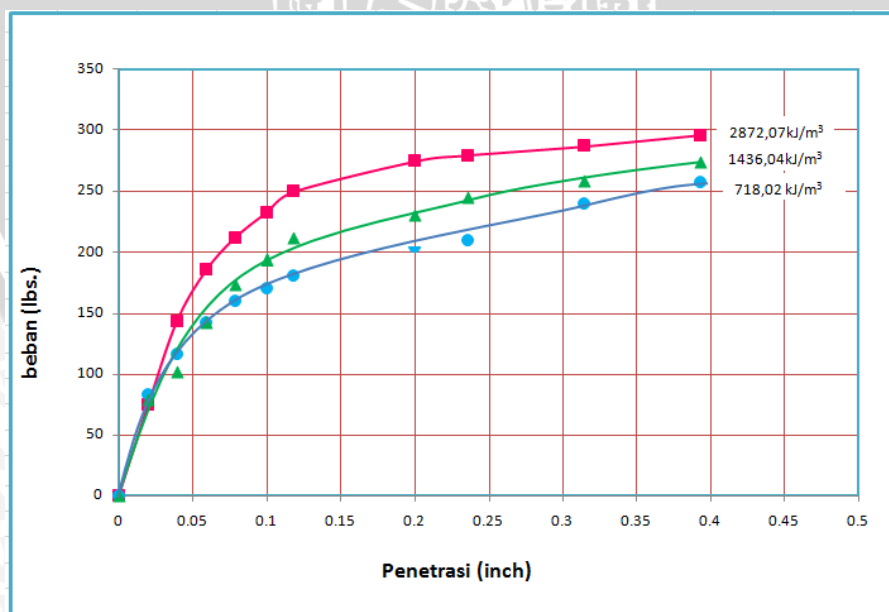
No	Energi Pemadatan (kJ/m ³)	Nilai Rata-Rata CBR Soaked (%)
1	718.02	1.188
2	1436.04	1.680
3	2872.07	2.460



Gambar 4.18 Grafik Perbandingan Hubungan Antara Beban dan Penetrasi Tanah pada Setiap Variasi Energi Pematatan

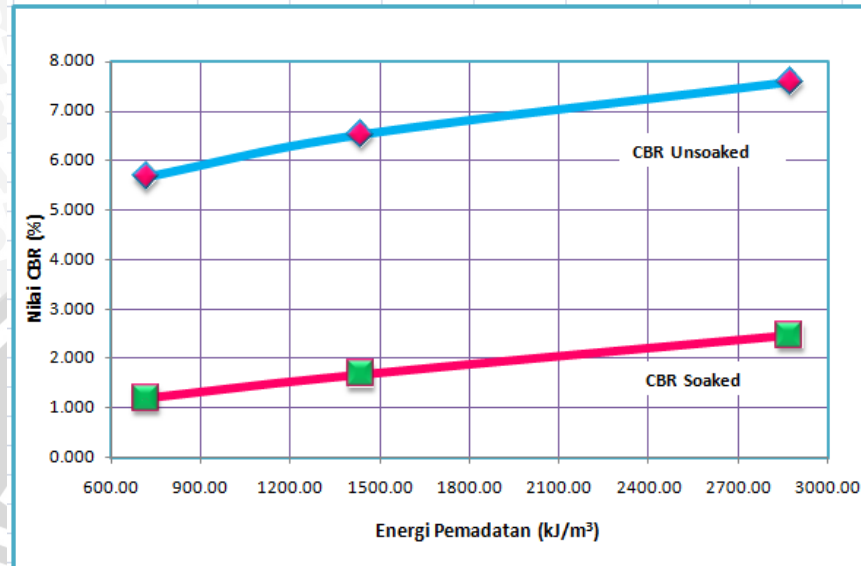
Tabel 4.14 Hasil pengujian CBR Tanpa rendaman (*unsoaked*)

No	Energi Pematatan (kJ/m ³)	Nilai Rata-Rata CBR Soaked (%)
1	718.02	5.663
2	1436.04	6.520
3	2872.07	7.586



Gambar 4.19 Grafik Perbandingan Hubungan Antara Beban dan Penetrasi Tanah pada Setiap Variasi Energi Pematatan

Dari hasil nilai rata-rata pengujian CBR *unsoaked* dan CBR *Soaked* yang telah dilakukan didapatkan grafik hubungan antara besarnya nilai CBR terhadap energi pemadatan dapat dilihat dalam grafik berikut ini :



Gambar 4.20 Grafik Hubungan Antara Nilai CBR terhadap Variasi Energi Pemadatan

Dari hasil kedua pengujian diatas didapatkan kesimpulan bahwa untuk pengujian CBR (*unsoaked*) atau pengujian CBR tanpa rendaman semakin tinggi energi pemadatan yang diberikan maka nilai CBR yang terjadi akan semakin tinggi, Dan dari hasil pengujian CBR (*soaked*) didapatkan kesimpulan bahwa, semakin tinggi energi pemadatan yang diberikan maka nilai CBR akan semakin tinggi.