

BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan diuraikan hasil dari pengujian-pengujian yang telah dilakukan terhadap tanah yang telah dilakukan dilaboratorium. Hasil penelitian berupa fisik tanah dan sifat-sifat tanah setelah diberi bahan tambah. Berikut adalah data-data yang diperoleh dari hasil pengujian dilaboratorium.

5.1 Pengujian Kadar Air Tanah Asli

Kadar air tanah adalah nilai perbandingan antara berat air dalam satuan tanah dengan berat kering tanah. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar air sampel tanah yang sedang diteliti. Hasil dari pengujian kadar air tanah dapat dilihat pada tabel 5.1.

Tabel 5.1 Pengujian Kadar Air Tanah Asli

1	No. Pengujian		1	2
2	Berat Countainer (W_1)	(gr)	6,41	6,72
3	Berat Countainer + Tanah Basah (W_2)	(gr)	21,54	21,56
4	Berat Countainer + Tanah Kering (W_3)	(gr)	18,56	18,64
5	Berat Air ($W_w = W_2 - W_3$)	(gr)	2,98	2,92
6	Berat Tanah Kering ($W_s = W_3 - W_1$)	(gr)	12,15	11,92
7	Kadar Air ($W_w : W_s$) x 100%	%	24,523 %	24,497 %
8	Kadar Air rata-rata (w)	%	24,512 %	

Contoh perhitungan :

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$$

$$w = \frac{2,98}{12,15} \times 100\%$$

$$w = 24,523 \%$$

Nilai kadar air dari hasil pengujian kadar air tanah sampel kedua sebesar 24,497 %. Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa tanah dari lokasi Desa Ngipak, Kec. Karangmojo, Kab. Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta mengandung kadar air tanah rata-rata 24,512 %.

5.2 Pengujian Berat Volume Tanah Asli

Berat volume tanah adalah nilai perbandingan berat tanah total termasuk air yang terkandung di dalamnya dengan volume tanah total. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berat volume sampel tanah yang sedang diteliti. Hasil dari pengujian berat volume tanah dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Pengujian Berat Volume Tanah Asli

1	No. Pengujian		1	2
2	Diamter ring (d)	(cm)	5,87	5,87
3	Tinggi ring (t)	(cm)	1,956	1,956
4	Volume ring (V)	(cm ³)	52,934	52,934
5	Berat ring (W ₁)	(gr)	49,54	49,54
6	Berat ring + tanah basah (W ₂)	(gr)	152,73	155,34
7	Berat tanah basah	(gr)	103,19	105,8
8	Berat volume tanah	(gr/cm ³)	1,949	1,999
9	Berat volume tanah rata-rata	(gr/cm ³)	1,974	

Contoh perhitungan :

$$\gamma = \frac{W_2 - W_1}{V}$$

$$\gamma = \frac{152,73 - 49,54}{52,934}$$

$$\gamma = 1,949 \text{ gr/cm}^3$$

Nilai berat volume tanah dari hasil pengujian berat volume tanah sampel kedua sebesar 1,999 gr/cm³. Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa berat volume tanah dari lokasi Desa Ngipak, Kec. Karangmojo, Kab. Gunung Kidul, D.I.Yogyakarta adalah 1,974 gr/cm³.

5.3 Pengujian Berat Jenis

Berat jenis tanah adalah nilai perbandingan berat butiran tanah dengan berat air destilasi di udara dengan volume yang sama pada temperature tertentu. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis tanah sampel yang diteliti. Hasil dari pengujian berat jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Pengujian Berat Jenis Tanah

1	No.Pengujian		1	2	
2	Berat Piknometer	(W ₁)	(gr)	39,59	36,64
3	Berat Piknometer + Tanah	(W ₂)	(gr)	65,27	69,87
4	Berat Piknometer + Tanah + Air	(W ₃)	(gr)	154,27	156,25
5	Berat Piknometer + Air	(W ₄)	(gr)	138,78	136,21
6	Temperatur	(°)		25	25
7	Bj air pada temperatur		(gr/cm ³)	0,9971	0,9971
8	BJ air pada suhu 27,5 C		(gr/cm ³)	0,9964	0,9964
9	Berat tanah kering	(W _s)	(gr)	25,68	33,23
10	A = W _s + W ₄		(gr)	164,46	169,44
11	I = A - W _s		(gr)	10,19	13,19
12	Berat Jenis tanah pada suhu (t° C)			2,52	2,519
13	Berat Jenis tanah pada suhu (27,5° C)			2,522	2,521
14	Berat Jenis rata-rata pada suhu 27,5° C			2,521	

Contoh perhitungan :

$$G_s (t^{\circ}\text{C}) = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)}$$

$$G_s (t^{\circ}\text{C}) = \frac{(65,27 - 39,59)}{(138,78 - 39,59) - (154,27 - 69,87)} = 2,520$$

$$G_s (27,5^{\circ}\text{C}) = 2,520 \times \frac{0,9971}{0,9964} = 2,522$$

Nilai berat jenis tanah dari hasil pengujian berat jenis tanah sampel kedua sebesar 2,522 . Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa berat jenis tanah rata-rata dari lokasi Desa Ngipak, Kec. Karangmojo, Kab. Gunung Kidul, D.I.Yogyakarta adalah 2,521.

5.4 Pengujian Analisa Saringan dan Analisa Hidrometer

5.4.1 Pengujian Analisa Saringan

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan persentase ukuran butir tanah pada benda uji yang tertahan saringan no. 200 dan untuk menentukan butiran (gradasi) agregat halus dan agregat kasar. Sampel tanah yang digunakan dalam pengujian analisa saringan sampel 1 dan 2 masing-masing dengan berat 1000 gr. Hasil pengujian analisa saringan dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan Tabel 5.5.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Analisa Saringan Tanah Asli Sampel 1

No. Saringan	Diameter Saringan (mm)	Berat tanah tertahan (gr)	Berat tanah lolos (gr)	% Tertahan	% Lolos
3/4	19	0	1000	0 %	100 %
4	4,75	0,21	999,79	0,021 %	99,979 %
10	2	4,25	995,54	0,425 %	99,554 %
20	0,85	10,52	985,02	1,052 %	98,502 %
40	0,425	11,68	973,34	1,168 %	97,334 %
60	0,25	7,37	965,97	0,737 %	96,597 %
140	0,106	44,28	921,69	4,428 %	92,169 %
200	0,075	2,24	919,45	0,224 %	91,945 %
pan		919,45	0	91,945 %	0 %
Jumlah		1000		100 %	

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Analisa Saringan Tanah Asli Sampel 2

No. Saringan	Diameter Saringan (mm)	Berat tanah tertahan (gr)	Berat tanah lolos (gr)	% Tertahan	% Lolos
3/4	19	0	1000	0 %	100 %
4	4,75	1,18	998,82	0,118 %	99,882 %
10	2	3,94	994,88	0,394 %	99,488 %
20	0,85	7,31	987,57	0,731 %	98,757 %
40	0,425	8,15	979,42	0,815 %	97,942 %
60	0,25	5,91	973,51	0,591 %	97,351 %
140	0,106	44,11	929,4	4,411 %	92,940 %
200	0,075	8,69	920,71	0,869 %	92,071 %
pan		920,71	0	92,071 %	0 %
Jumlah		1000		100 %	

Berikut adalah rekapitulasi hasil persen lolos pengujian analisa saringan yang dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Rekapitulasi Hasil Persen Lolos Pengujian Analisa Saringan

No. Saringan	Diameter Saringan (mm)	Persen lolos (%) Sampel 1	Persen lolos (%) Sampel 2	Persen lolos (%) rata-rata
¾	19	100 %	100 %	100 %
4	4,75	99,979 %	99,882 %	99,931 %
10	2	99,554 %	99,488 %	99,521 %
20	0,85	98,502 %	98,757 %	98,630 %
40	0,425	97,334 %	97,942 %	97,638 %
60	0,25	96,597 %	97,351 %	96,974 %
140	0,106	92,169 %	92,940 %	92,555 %
200	0,075	91,945 %	92,071 %	92,008 %

Setelah melakukan penelitian maka didapat nilai persen lolos untuk kedua sampel pada saringan no. 200 sebesar 91,945 % untuk sampel 1 dan 92,071 % untuk sampel 2, sehingga didapat nilai rata-rata sampel 1 dan sampel 2 adalah 92,008 %.

5.4.2 Pengujian Analisa Hidrometer

Tujuan pengujian analisa hidrometer ini adalah untuk menentukan distribusi ukuran butir-butir untuk tanah yang tidak mengandung butir tanah tertahan oleh saringan nomor no. 200. Pengujian ini dilakukan dengan analisa sedimen menggunakan hidrometer. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.7 dan Tabel 5.8 berikut ini.

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Analisa Hidrometer Sampel 1

Waktu (menit)	t °C	Ra	Rc (Ra - z)	% Lolos	R (Ra+m)	L (cm)	L/t	K	D (mm)
0	27	38	40	64,36%	41	12,9	0	0,01334	0
2	27	32	34	54,71%	35	13,2	6,6	0,01334	0,03427
5	27	25	27	43,44%	28	13,3	2,66	0,01334	0,02176
30	27	20	22	35,40%	23	13,7	0,457	0,01334	0,00901
60	27	17	19	30,57%	20	13,8	0,230	0,01334	0,00640
250	27	14	16	25,74%	17	14,7	0,059	0,01334	0,00323
1440	27	7	9	14,48%	10	15	0,010	0,01334	0,00136

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Analisa Hidrometer Sampel 2

Waktu (menit)	t °C	Ra	Rc (Ra - z)	% Lolos	R (Ra+m)	L (cm)	L/t	K	D (mm)
0	27	35	37	59,62%	38	13	0	0,01334	0
2	27	29	31	49,95%	32	13,5	6,8	0,01334	0,03466
5	27	23	25	40,28%	26	14	2,80	0,01334	0,02232
30	27	18	20	32,22%	21	14,5	0,483	0,01334	0,00927
60	27	15	17	27,39%	18	14,7	0,245	0,01334	0,00660
250	27	12	14	22,56%	15	15	0,060	0,01334	0,00327
1440	27	6	8	12,89%	9	15,3	0,011	0,01334	0,00138

Berikut adalah rekapitulasi hasil persen lolos pengujian analisa hidrometer yang dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut ini.

Tabel 5.9 Rekapitulasi Hasil Persen Lolos Pengujian Analisa Hidrometer

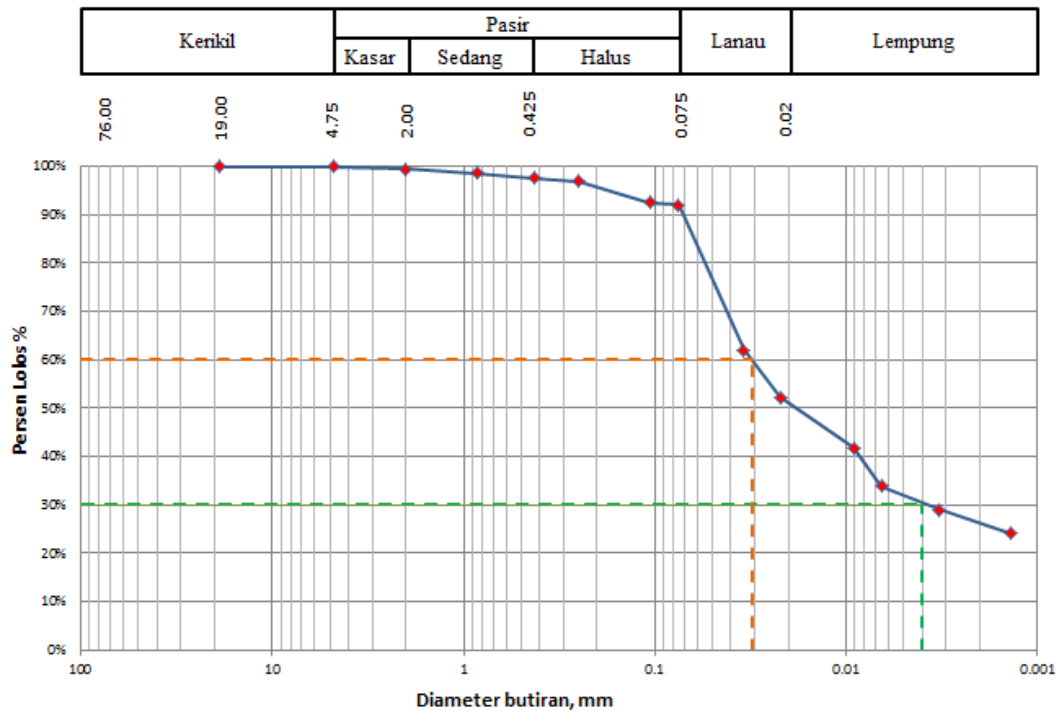
Diameter butiran tanah (mm) Sampel 1	Diameter butiran tanah (mm) Sampel 2	Diameter butiran tanah (mm) rata-rata	Persen lolos (%) Sampel 1	Persen lolos (%) Sampel 2	Persen lolos (%) rata-rata
0,03427	0,03466	0,03446	64,36%	59,62%	61,989%
0,02176	0,02232	0,02204	54,71%	49,95%	52,328%
0,00901	0,00927	0,00914	43,44%	40,28%	41,863%
0,00640	0,00660	0,00650	35,40%	32,22%	33,812%
0,00323	0,00327	0,00325	30,57%	27,39%	28,981%
0,00136	0,00138	0,00137	25,74%	22,56%	24,151%

Berikut adalah hasil persen lolos pengujian analisa saringan dan hasil persen lolos uji hidrometer yang didapatkan dari hasil rata-rata sampel 1 dan sampel 2. Hasil *grain size analysis* dari sampel 1 dan sampel 2 dapat dilihat pada Tabel 5.10 sebagai berikut.

Tabel 5.10 Hasil Pengujian *Grain Size Analysis*

Diameter butiran tanah (mm) rata-rata	Persen lolos (%) rata-rata
19	100 %
4,75	99,931 %
2	99,521 %
0,85	98,630 %
0,425	97,638 %
0,25	96,974 %
0,106	92,555 %
0,075	92,008 %
0,03446	61,989%
0,02204	52,328%
0,00914	41,863%
0,00650	33,812%
0,00325	28,981%
0,00137	24,151%

Berdasarkan hasil pengujian analisa saringan dan uji hidrometer didapatkan grafik *grain size analysis* dimana sampel 1 dan sampel 2 didapatkan rata-rata sebagai berikut.



Gambar 5.1 Grafik *Grain Size Analysis* Rata-rata sampel 1 dan 2

Berdasarkan dari grafik diatas didapat persentase ukuran butiran pada tanah asli dan menunjukkan karakteristik dan jenis tanah. Tabel persentase ukuran butiran dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut ini.

Tabel 5.11 Persentase Ukuran Butiran

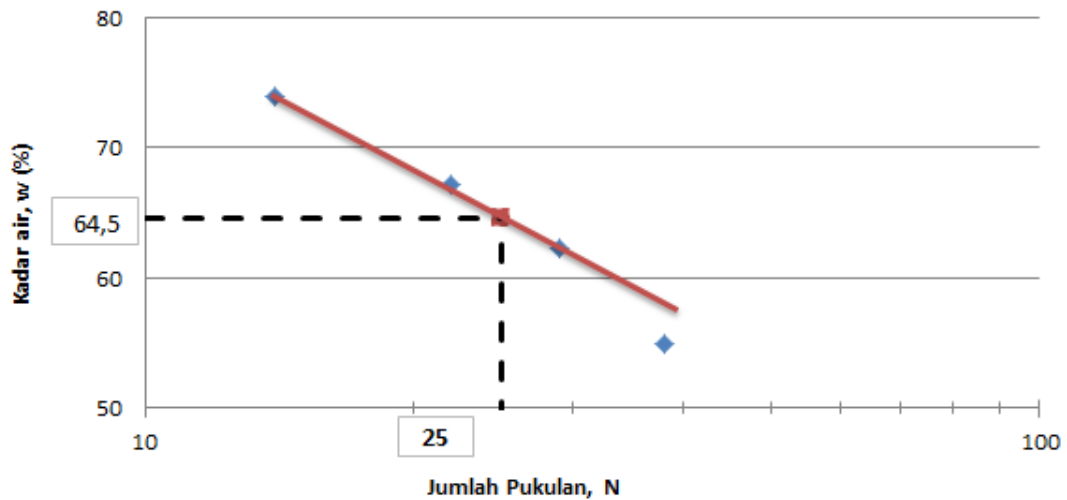
Lolos # 200	92,008 %	%	D10 (mm)	0,000
Kerikil	0,0695 %	%	D30 (mm)	0,004
Pasir	7,9225 %	%	D60 (mm)	0,031
Lanau	39,680 %	%	$C_u = D_{60}/D_{10}$	0,000
Lempung	52,328 %	%	$C_c = D_{30}^2 / (D_{10} \times D_{60})$	0,000

5.5 Pengujian Batas Cair

Tujuan pengujian ini adalah untuk menentukan batas cair tanah. Batas cair tanah adalah kadar air tanah pada keadaan batas cair dan plastis. Batas cair ini untuk mengetahui jenis dan sifat-sifat tanah dari bagian tanah yang mempunyai ukuran butir lolos saringan no. 40. Perhitungan dan grafik batas cair hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.12 dan Gambar 5.2. berikut ini.

Tabel 5.12 Hasil Pengujian Batas Cair Sampel 1

No	Pengujian	I		II		III		IV	
1	No Cawan	12,79	12,8	8,86	8,89	12,75	9,15	12,8	12,71
2	Berat Cawan	17,22	19,88	14,72	13,47	16,84	13,89	17,51	15,94
3	Berat Cawan + Tanah Basah	15,34	16,87	12,38	11,62	15,29	12,05	15,82	14,81
4	Berat Cawan + Tanah Kering	1,88	3,01	2,34	1,85	1,55	1,84	1,69	1,13
5	Berat Air (3) - (4)	2,55	4,07	3,52	2,73	2,54	2,9	3,02	2,1
6	Berat Tanah Kering (4) - (2)	73,72	73,95	66,47	67,76	61,02	63,44	55,96	53,80
7	Kadar Air = (5)/(6) X 100%	12,79	12,8	8,86	8,89	12,75	9,15	12,8	12,71
8	Berat Kadar Air rata-rata (%)	73,84 %		67,12 %		62,24 %		54,89 %	
9	Jumlah Pukulan, N	14		22		29		38	



Gambar 5.2 Grafik Hubungan Kadar Air dengan Jumlah Pukulan Tanah Sampel 1

Tabel 5.13 Rekapitulasi Hasil Pengujian Batas Cair

Pengujian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Batas Cair (<i>LL</i>) (%)	64,5 %	65 %	64,75 %.

Dari grafik diatas didapatkan nilai batas cair pada tanah sampel 1 sebesar 64,5 % dan dengan cara yang sama didapatkan batas cair pada tanah sampel 2 sebesar 65 %. Dari kedua sampel tanah yang telah diuji tersebut didapatkan nilai batas cair rata – rata dari kedua sampel sebesar 64,75 %.

5.6 Pengujian Batas Plastis

Tujuan pengujian ini untuk menentukan kadar air tanah pada kondisi batas plastis. Batas plastis adalah kadar air minimum suatu ssample tanah dalam keadaan plastis (kadar air peralihan dari kondisi semi solid ke kondisi plastis). Perhitungan batas plastis hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.14 berikut ini.

Tabel 5.14 Hasil Pengujian Batas Plastis Sampel 1

No	No Pengujian		1	2
1	Berat Cawan	gr	9,1	9,08
2	Berat Cawan + Tanah basah	gr	9,64	9,69
3	Berat Cawan + Tanah Kering	gr	9,53	9,57
4	Berat Air (2 - 3)	gr	0,11	0,12
5	Berat Tanah Kering (3 - 1)	gr	0,43	0,49
6	Kadar Air ((4/5) x 100 %)	%	25,582 %	24,49 %
7	Kadar Air Rata - Rata	%	25,036 %	

Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil Pengujian Batas Plastis

Pengujian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Batas Plastis (<i>PL</i>) (%)	25,036 %	26,97 %	26,003 %

Dari data hasil pengujian diatas didapatkan nilai batas plastis pada tanah sampel 1 sebesar 25,036 % dan dengan cara yang sama didapatkan batas cair pada tanah sampel 2 sebesar 26,97 %. Dari kedua sampel tanah yang telah diuji tersebut didapatkan nilai batas cair rata – rata dari kedua sampel sebesar 26,003 %.

5.7 Pengujian Batas Susut

Tujuan pengujian ini adalah untuk menentukan kadar air tanah pada kondisi batas susut. Batas susut tanah adalah kadar air tanah minimum yang masih dalam keadaan semi solid, dan juga merupakan batas antara keadaan semi solid dan solid (kadar air pada tanah diberi penambahan air dan tanah, volumenya berubah). Perhitungan dari batas susut hasil pengujian batas susut dapat dilihat pada Tabel 5.16 berikut ini.

Tabel 5.16 Hasil Pengujian Batas Susut Sampel

Kadar Air Tanah					
No	Pengujian			I	II
1	Berat cawan susut	W1	gr	38,9	44,77
2	Berat cawan susut + tanah basah	W2	gr	63,85	70,03
3	Berat Cawan susut + tanah kering	W3	gr	55,41	61,52
4	Berat tanah kering, $W_0 = W3 - W1$		gr	16,51	16,75
5	Kadar air, $w = (W2 - W3) / (W3 - W1) \times 100 \%$		%	51,12 %	50,81 %
Volume Tanah Basah					
No	Pengujian			I	II
1	Diameter ring	d	cm	4,112	4,138
2	Tinggi ring	t	cm	1,131	1,162
3	Volume ring, $V = 0,25 \times 3,14 \times d^2 \times t$	V_0	cm ³	15,020	15,627
Volume Tanah Kering					
No	Pengujian			I	II
1	Berat air raksa yang terdesak tanah kering + gelas ukur	W4	gr	177,23	180,32
2	Berat gelas ukur	W5	gr	60,64	60,64
3	Berat air raksa ($W6 = W4 - W5$)	W6	gr	116,59	119,68
4	Berat tanah kering	W_0	gr	16,51	16,75
5	Volume tanah kering, $V_0 = (W6 / 13,6)$	V_0	cm ³	8,5728	8,8000
6	Batas susut tanah, $SL = w - ((V - V_0) / W_0)$		%	12,073	10,048
7	Angka susut, $SR = W_0 / V_0$		cm	1,926	1,903
8	Susut Volumetrik, $VS = (W1 - SL) \times SR$		cm ³	0,752	0,776
9	Susut Linier, $LS = 1 - (100 / (VS + 100))^{1/3}$		%	66,92 %	66,93 %

Contoh perhitungan dibawah ini mengambil contoh perhitungan pada sampel 1. Contoh perhitungannya sebagai berikut.

$$w = \left(\frac{W2 - W3}{W_0} \right) \times 100 \%$$

$$w = \left(\frac{63,85 - 55,41}{16,51} \right) \times 100 \% = 51,12 \%$$

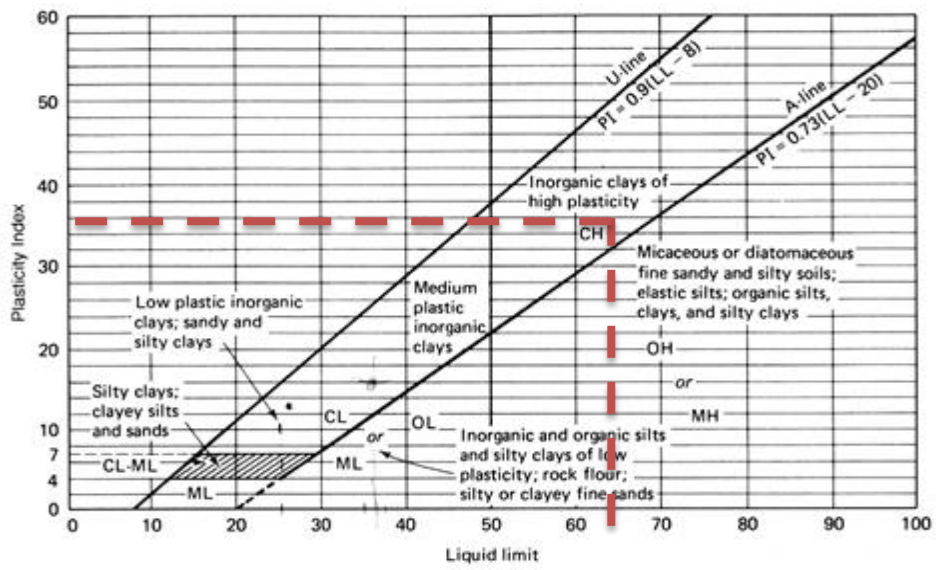
$$SL = w - \left(\frac{V - V_0}{W_0} \right) \times 100$$

$$SL = 51,12 \% - \left(\frac{15,02 - 8,573}{16,51} \right) \times 100 = 12,073 \%$$

Batas susut sampel kedua sebesar 10,048 % , didapatkan dengan cara yang sama seperti sampel 1. Hasil rata – rata dari sampel 1 dan 2 sebesar 11,60 %. Setelah didapatkan nilai batas cair (*LL*) dan batas plastis (*PL*), didapatkan nilai indeks plastisitas (*PI*) dengan menggunakan rumus $IP = LL - PL$, yaitu sebesar 38,977 %.

Sehingga dari semua hasil pengujian yang didapatkan diketahui jenis karakteristik tanah yang dijadikan sampel dengan menggunakan tabel dan grafik metode USCS. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan hasil sebagai berikut.

1. Persen lolos saringan no. 200 (0.075 mm) sebesar 92,008 %, maka sampel tanah termasuk kedalam tanah berbutir halus karena persen lolos saringan no. 200 (0,075 mm) lebih besar dari 50%.
2. Nilai batas plastis sebesar 26,003 % dan nilai batas cair sebesar 64,75 % maka diperoleh nilai indeks plastisitas sebesar 38,977 %. Berdasarkan nilai batas cair diatas maka sampel tanah termasuk ke dalam jenis tanah lanau dan lempung dengan batas cair lebih dari 50%.
3. Hasil diatas dapat diketahui bahwa dengan indeks plastisitas (*PI*) sebesar 38,977 % dan batas cair (*LL*) sebesar 64,75 % tanah sampel dari daerah Desa Ngipak, Kec. Karangmojo, Kab. Gunung Kidul, D.I.Yogyakarta termasuk kelompok CH, karena indeks plastisitas (*PI*) berada dalam daerah CH, maka diketahui bahwa tanah daerah Desa Ngipak, Kec. Karangmojo, Kab. Gunung Kidul, D.I.Yogyakarta bersifat lempung inorganik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk (*fat clays*), untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.3 dan Tabel 5.17 berikut ini.



Gambar 5.3 Grafik Karakteristik Tanah Metode USCS

Tabel 5.17 Sistem Kalsifikasi Tanah Metode USCS

tanah berbutir halus \geq 50% lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML	lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ('lean clays')
	Lanau dan lempung batas cair > 50%	OL	lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah
		MH	lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elasis.
		CH	lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ('fatclays')
		OH	lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi
Tanah dengan kadar organik tinggi	Pt	Gambut ('peat') dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	

Klasifikasi tanah dengan menggunakan tabel klasifikasi AASHTO pada Tabel 5.18. Berdasarkan hasil uji analisis saringan dan batas konsistensi didapatkan hasil sebagai berikut.

1. Persen lolos saringan no. 200 (0,075 mm) (F) sebesar 92,008 %, karena nilai F lebih besar dari 35% lolos saringan no. 200, maka klasifikasi umum sampel tanah termasuk jenis tanah lanau atau lempung.
2. Nilai batas cair (*LL*) sebesar 64,75%, maka kemungkinan dapat dikelompokan A-5 (41% minimum), A-7-5 atau A-7-6 (41% minimum).
3. Nilai indeks platisitas (*PI*) sebesar 38,977%, maka dapat dikelompokan A-7-5 atau A-7-6 (11% minimum).
4. Untuk membedakan keduanya, maka dilihat pada nilai PL sebesar 26,003%, karena nilai *PL* < 30% maka tanah diklasifikasikan kelompok A-7-6.

5. Nilai indek kelompok (GI)

$$\begin{aligned}
 GI &= (F - 35) [0.2 + 0.005 (LL - 40)] + 0.01 (F - 15) (PI - 10) \\
 &= (92,008 - 35) [0,2 + 0,005 (64,75 - 40)] + 0,01 (92,008 - 15) (38,977 - 10) \\
 &= 41 \text{ (dibulatkan)}
 \end{aligned}$$

6. Berdasarkan dapat diketahui bahwa tanah sampel dari daerah Desa Ngipak, Kec. Karangmojo, Kab. Gunung Kidul, D.I.Yogyakarta kelompok A-7-6 yang berjenis tanah lempung dengan sifat sedang sampai buruk.

Tabel 5.18 Sistem Klasifikasi Tanah Metode AASHTO

Klasifikasi umum	Material granuler (< 35% lolos saringan No.200)							Tanah-tanah lanau-lempung (< 35% lolos saringan No. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5/A-7-6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Analisis saringan (% lolos)											
2,00 mm (no. 10)	50 maks	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,425 mm (no.40)	30 maks	50 maks	51 min	-	-	-	-	-	-	-	-
0,075 mm (no.200)	15 maks	25 maks	10 maks	35 maks	35 maks	35 maks	35 maks	36 min	36 min	36 min	36 min
Sifat fraksi lolos saringan n.o. 40											
Batas cair (LL)	-	-	-	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min
Indeks plastis (PI)	6 maks		Np	10 maks	10 maks	11 min	11 min	10 maks	10 maks	11 min	11 min
Indeks kelompok (G)	0		0	0		4 maks		8 maks	12 maks	16 maks	20 maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kenkil dan pasir		Pasir halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik							Sedang sampai buruk			

Sumber : Hardiyatmo, 2006

Catatan:

Kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (PL)

Untuk PL > 30, klasifikasinya A-7-5

Untuk PL < 30, klasifikasinya A-7-6

Np = Non plastis

5.8 Pengujian Pemadatan Tanah (Proktor Standar)

Pengujian ini untuk mencari nilai kepadatan maksimum (*maximum Dry Density/MDD*) dan kadar air optimum (*Optimum Moisture Content/OMC*) dari sampel tanah lempung Desa Ngipak, Kec. Karangmojo, Kab. Gunung Kidul, D.I.Yogyakarta. Pengujian dilakukan menggunakan 2 sampel pengujian. Data hasil pengujian kepadatan tanah dapat dilihat pada Tabel 5.19 dan Tabel 5.20 berikut ini.

Tabel 5.19 Penambahan Air dan Berat Volume Sampel 1

No. Sampel		1	2	3	4	5
Penambahan Air	%	0%	5%	10%	15%	20%
Penambahan Air	ml	0	100	200	300	400
Volume Mold	cm ³	936,396	936,396	936,396	936,396	936,396
Berat Mold	gr	1717	1717	1717	1717	1717
Berat Cetakan+ Tanah Basah	gr	2980	3075	3160	3295	3302
Berat Tanah Basah	gr	1263	1358	1443	1578	1585
Berat Volume Tanah Basah	gr/cm ³	1,3488	1,4502	1,5410	1,6852	1,6927

Tabel 5.20 Kadar Air Tanah Sampel 1

1	No. Pengujian	1		2		3		4		5	
2	No. Cawan	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
3	Berat Cawan (gram) W1	5,62	6,4	6,63	6,69	6,97	6,92	7,1	6,09	7,32	6,77
4	Berat Cawan + tanah basah (gram) W2	11,41	12,09	15,75	19,83	19,26	15,78	20,85	20,06	25,42	28,18
5	Berat cawan + tanah kering (gram) W3	10,63	11,35	14,27	17,74	16,85	14,21	17,58	16,82	20,41	22,38
6	Berat air (gram) $W_w = W_2 - W_3$	0,78	0,74	1,48	2,09	2,41	1,57	3,27	3,24	5,01	5,8
7	Berat tanah kering (gram) $W_s = W_3 - W_1$	5,01	4,95	7,64	11,05	9,88	7,29	10,48	10,73	13,09	15,61
8	Kadar air (%) $W_w/W_s \times 100\%$	15,569	14,949	19,372	18,914	24,393	21,536	31,202	30,196	38,273	37,156
9	Kadar air rata-rata	15,2592		19,1429		22,9645		30,6990		37,7146	
10	Berat volume tanah kering (gr/cm ³)	1,1702		1,2172		1,2532		1,2894		1,2291	

Contoh perhitungan :

1. Berat volume pada penambahan kadar air 5%

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

$$\gamma = \frac{1263}{936,396} = 1,3488 \text{ gr/cm}^3$$

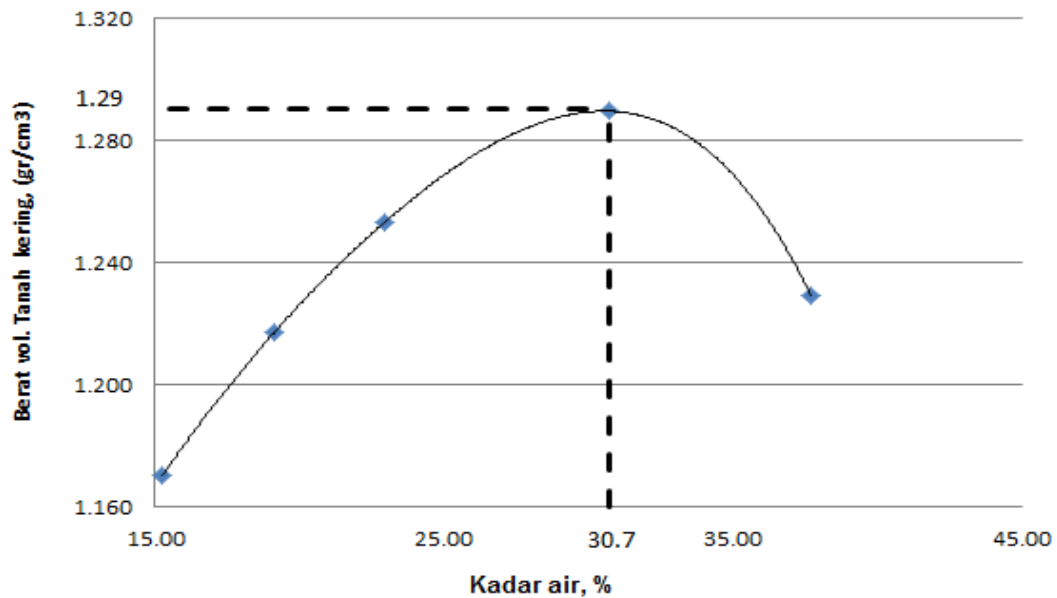
2. Berat volume tanah kering

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{w(\%)}{100}}$$

$$\gamma_d = \frac{1,3488}{1 + \frac{15,26}{100}} = 1,1702 \text{ gr/cm}^3$$

Kadar air yang lain dihitung dengan cara yang sama sehingga mendapatkan berat volume masing – masing, kemudian dibuat grafik dengan kadar air sebagai absis dan berat volume sebagai ordinat. Titik yang ada dihubungkan sehingga didapatkan kadar air optimum dan berat volume tanah kering optimum seperti

pada Gambar 5.4 dan data hasil pengujian kepadatan tanah dapat dilihat pada Tabel 5.21 berikut ini.



Gambar 5.4 Grafik Hubungan Kadar Air dengan Berat Volume Tanah Kering

Tabel 5.21 Hasil Pengujian Kepadatan Tanah

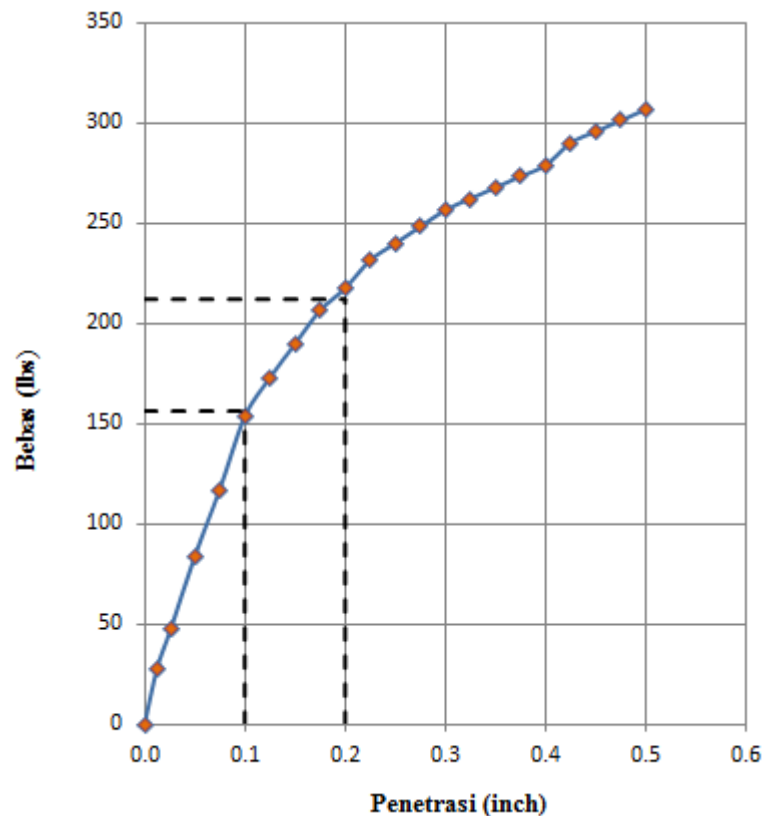
No	Parameter	Satuan	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
1	Kepadatan maksimum (γ_{dmaks})	gr/cm ³	1,29	1,286	1,288
2	Kadar air optimum (W_{opt})	(%)	30,7%	31,8%	31,25%

5.9 Pengujian California Bearing Ratio (CBR)

Pengujian CBR dilakukan dengan 2 kondisi, yaitu tidak direndam (*unsoaked*) dan perendaman (*soaked*). Pengujian CBR dalam kondisi tidak rendam dilakukan dengan pemeraman 1, 3, dan 7 hari, sedangkan dalam kondisi terendam dilakukan perendaman selama 4 hari dengan sebelum dilakukan perendaman, sampel diperam selama 7 hari. Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai CBR, yaitu perbandingan antara beban penetrasi tanah asli

yaitu tanah yang berasal dari Desa Ngipak, Kec. Karangmojo, Kab. Gunung Kidul, D.I.Yogyakarta yang telah dicampur dengan bahan tambah *magnesium carbonate* dan semen.

Hasil pada pengujian CBR tanah asli unsoaked dilakukan dengan 2 sampel. Berikut adalah hasil pengujian untuk sampel 1 yang dapat dilihat pada Gambar 5.5.



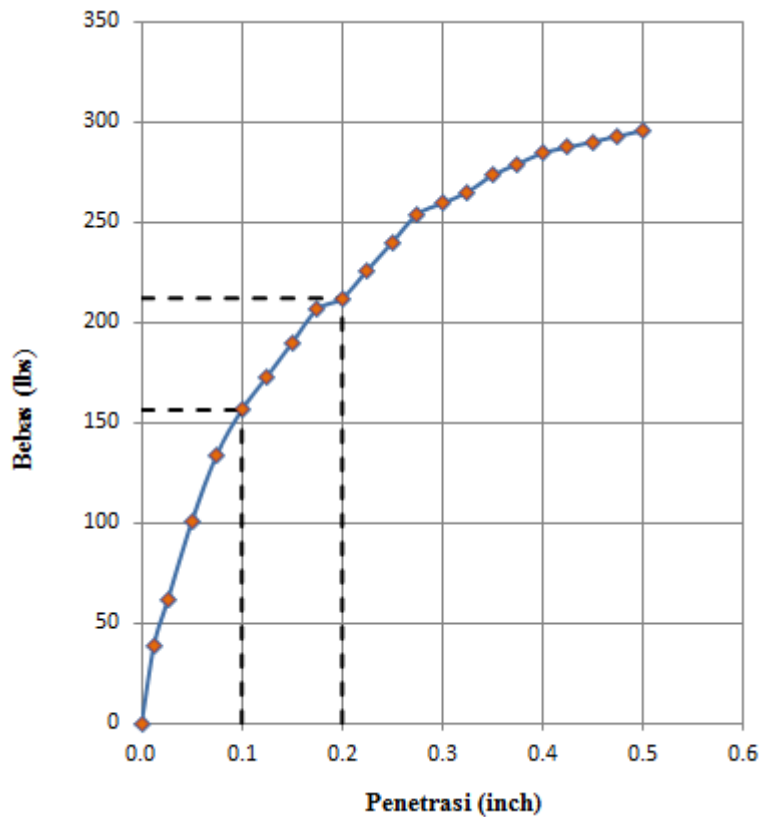
Gambar 5.5 Grafik Pengujian CBR Sampel 1 Tanah Asli *Unsoaked*

Nilai CBR pada penetrasi 0,1” dan penetrasi 0,2” dapat dihitung dengan cara sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{CBR } 0,1'' &= \frac{153,45}{3 \times 1000} & \text{CBR } 0,2'' &= \frac{217,62}{3 \times 1500} \\ &= 5,115\% & &= 4,836\% \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapat nilai CBR 0,1” sebesar 5,115% dan nilai CBR 0,2” sebesar 4,836%, maka nilai CBR yang dipakai adalah pada penetrasi 0,1” sebesar 5,115%.

Berikut adalah hasil pengujian untuk sampel 2 yang dapat dilihat pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Grafik Pengujian CBR Sampel 2 Tanah Asli *Unsoaked*

Nilai CBR pada penetrasi 0,1” dan penetrasi 0,2” dapat dihitung dengan cara sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{CBR } 0,1'' &= \frac{156,24}{3 \times 1000} = 5,208\% \\ \text{CBR } 0,2'' &= \frac{212,04}{3 \times 1500} = 4,712\% \end{aligned}$$

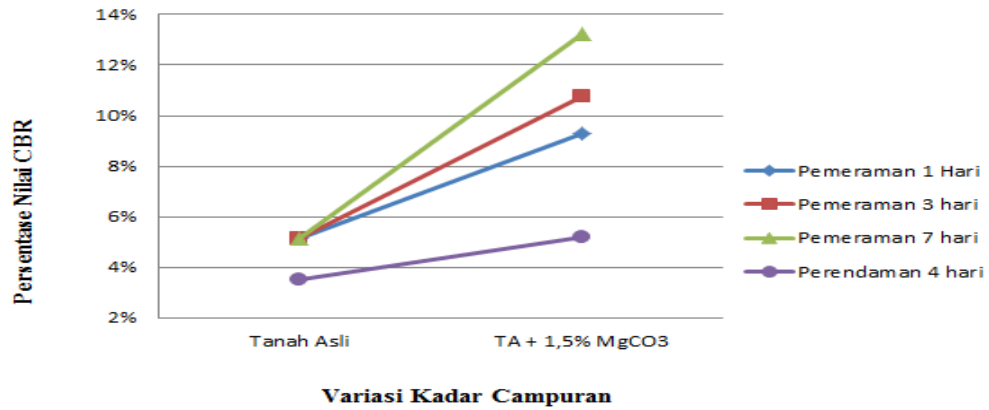
Dari perhitungan diatas didapat nilai CBR 0,1” sebesar 5,208% dan nilai CBR 0,2” sebesar 4,712%, maka nilai CBR yang dipakai adalah pada penetrasi 0,1” sebesar 5,208%. Berdasarkan pengujian 2 sampel tanah asli diatas didapatkan nilai rata-rata CBR tanah asli sebesar 5,1615%. Hasil Pengujian CBR tanah asli dan tanah campuran dapat dilihat pada Tabel 5.22, Tabel 5.23 dan Gambar 5.7 berikut ini.

Tabel 5.22 Hasil Rekapitulasi Pengujian Nilai CBR Tanah Asli

Sampel Pengujian	No. Sampel	CBR Tanpa rendaman		CBR Rendaman 4 hari	
Tanah Asli	1	5,115%	5,162%	3,255%	3,488%
	2	5,208%		3,720%	

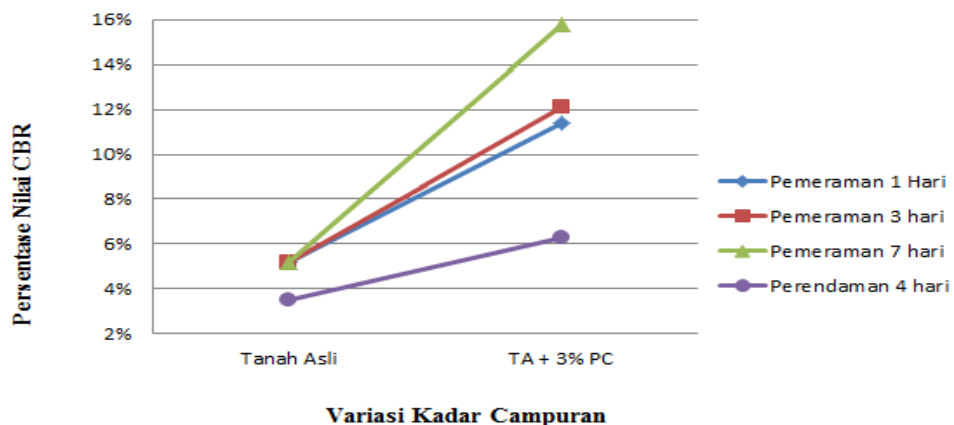
Tabel 5.23 Hasil Rekapitulasi Pengujian Nilai CBR Tanah Campuran

Sampel Pengujian	No. Sampel	Pemeraman 1 Hari		Pemeraman 3 Hari		Pemeraman 7 Hari		Perendaman 4 Hari	
TA + 1.5% MgCO ₃	1	9,486%	9,300%	10,881%	10,742%	12,834%	13,206%	5,022%	5,208%
	2	9,114%		10,602%		13,578%		5,394%	
TA + 3% PC	1	11,160%	11,393%	12,276%	12,090%	16,275%	15,764%	6,045%	6,278%
	2	11,625%		11,904%		15,252%		6,510%	
TA + 1.5% MgCO ₃ + 3% PC	1	14,415%	14,136%	18,879%	18,507%	20,832%	21,344%	7,254%	7,719%
	2	13,857%		18,135%		21,855%		8,184%	
TA + 1.5% MgCO ₃ + 5% PC	1	17,205%	16,647%	21,855%	21,111%	25,854%	26,319%	15,345%	15,810%
	2	16,089%		20,367%		26,784%		16,275%	
TA + 1.5% MgCO ₃ + 7% PC	1	23,250%	24,413%	35,247%	35,666%	49,104%	48,174%	20,181%	21,204%
	2	25,575%		36,084%		47,244%		22,227%	



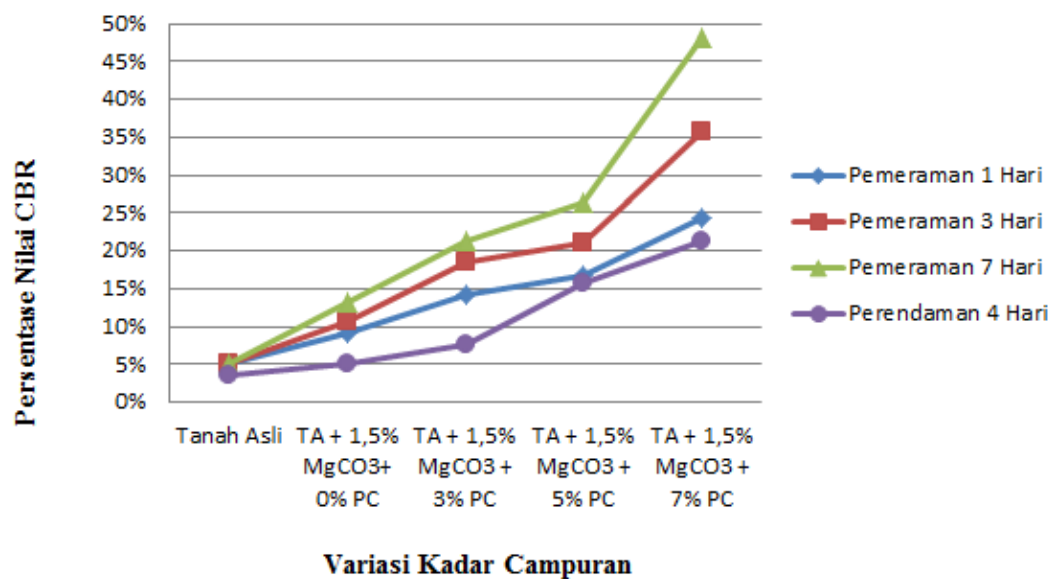
Gambar 5.7 Grafik Hasil Pengujian Nilai CBR Dengan Campuran 1,5% MgCO₃

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.7 didapatkan nilai CBR dengan penambahan 1,5% MgCO₃ mengalami peningkatan dibandingkan dengan nilai CBR tanah asli. Nilai CBR dengan pemeraman 1 hari didapatkan nilai 9,30%, kemudian mengalami peningkatan nilai CBR pada pemeraman 3 hari dengan nilai 10,742%. Nilai CBR tertinggi pada pemeraman 7 hari dengan nilai 13,206%. Nilai CBR pada kondisi soaked dengan perendaman 4 hari didapatkan nilai 5,208%.



Gambar 5.8 Grafik Hasil Pengujian Nilai CBR Dengan Campuran 3% PC

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.8 didapatkan nilai CBR dengan penambahan 3% PC mengalami peningkatan dibandingkan dengan nilai CBR tanah asli. Nilai CBR dengan pemeraman 1 hari didapatkan nilai 11,393%, kemudian mengalami peningkatan nilai CBR pada pemeraman 3 hari dengan nilai 12,09%. Nilai CBR tertinggi pada pemeraman 7 hari dengan nilai 15,764%. Nilai CBR pada kondisi *soaked* dengan perendaman 4 hari didapatkan nilai 6,278%.



Gambar 5.9 Grafik Hasil Pengujian Nilai CBR Dengan Campuran MgCO₃ + PC

Tabel dan grafik di atas menunjukkan bahwa penambahan persentase bahan tambah berupa *magnesium carbonate* dan semen dengan berbagai variasi campuran dan lama waktu pemeraman mengakibatkan kenaikan nilai CBR dibandingkan dengan nilai CBR tanah asli. Nilai CBR mengalami kenaikan sesuai dengan kenaikan besar kadar *magnesium carbonate*, semen dan lama waktu pemeraman. Nilai CBR tertinggi didapatkan pada variasi kadar campuran tanah asli + 1,5% MgCO₃ + 7% PC, pada pemeraman 1 hari didapatkan nilai CBR 24,413%, pemeraman 3 hari 35,666%, sedangkan pemeraman 7 hari 48,174%. Nilai CBR kondisi *soaked* perendaman 4 hari didapatkan nilai CBR 21,204%.

5.10 Pengembangan Tanah (*Swelling*)

Pengujian ini bertujuan untuk mencari nilai pervandungan antara perubahan tinggi selama perendaman terhadap tinggi benda uji semula dinyatakan dalam persen. Pengujian pengembangan (*swelling*) dilakukan dengan perendaman sampel selama 4 hari. Hasil pengujian pengembangan dapat dilihat pada Tabel 5.24, Tabel 5.25, Tabel 5.26, Tabel 5.27, Tabel 5.28, Tabel 5.29 berikut ini.

Tabel 5.24 Hasil Pengembangan (*Swelling*) Pengujian CBR Rendaman Tanah Asli

Uji Pengembangan (<i>Swelling</i>)	Tanah Asli Sampel 1				
	0 Hari	1 Hari	2 Hari	3 Hari	4 Hari
Pembacaan dial, Δh (mm)	0	1,83	2,35	2,47	2,8
Tinggi Sampel, Lo (cm)	11,86	11,86	11,86	11,86	11,86
Pengembangan (%)	0%	1,543%	1,981%	2,083%	2,361%

Uji Pengembangan (<i>Swelling</i>)	Tanah Asli Sampel 2				
	0 Hari	1 Hari	2 Hari	3 Hari	4 Hari
Pembacaan dial, Δh (mm)	0	1,94	2,07	2,54	2,75
Tinggi Sampel, Lo (cm)	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8
Pengembangan (%)	0%	1,644%	1,754%	2,153%	2,331%

Tabel 5.25 Hasil Pengembangan (*Swelling*) Pengujian CBR Rendaman Tanah Asli + 1,5% MgCO₃

Uji Pengembangan (<i>Swelling</i>)	TA + 1,5% MgCO ₃ Sampel 1				
	0 Hari	1 Hari	2 Hari	3 Hari	4 Hari
Pembacaan dial, Δh (mm)	0	0,53	0,87	1,13	1,48
Tinggi Sampel, Lo (cm)	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9
Pengembangan (%)	0%	0,445%	0,731%	0,950%	1,244%

Uji Pengembangan (<i>Swelling</i>)	TA + 1,5% MgCO ₃ Sampel 2				
	0 Hari	1 Hari	2 Hari	3 Hari	4 Hari
Pembacaan dial, Δh (mm)	0	0,43	0,74	1,23	1,64
Tinggi Sampel, Lo (cm)	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9
Pengembangan (%)	0%	0,361%	0,622%	1,034%	1,378%

Tabel 5.26 Hasil Pengembangan (*Swelling*) Pengujian CBR Rendaman Tanah Asli + 3% PC

Uji Pengembangan (<i>Swelling</i>)	TA + 3% PC Sampel 1				
	0 Hari	1 Hari	2 Hari	3 Hari	4 Hari
Pembacaan dial, Δh (mm)	0	0,14	0,45	0,85	1,14
Tinggi Sampel, Lo (cm)	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9
Pengembangan (%)	0%	0,118%	0,378%	0,714%	0,958%

Uji Pengembangan (<i>Swelling</i>)	TA + 3% PC sampel 2				
	0 Hari	1 Hari	2 Hari	3 Hari	4 Hari
Pembacaan dial, Δh (mm)	0	0,24	0,53	0,97	1,06
Tinggi Sampel, Lo (cm)	11,84	11,84	11,84	11,84	11,84
Pengembangan (%)	0%	0,203%	0,448%	0,819%	0,895%

Tabel 5.27 Hasil Pengembangan (*Swelling*) Pengujian CBR Rendaman Tanah Asli + 1,5% MgCO₃+3% PC

Uji Pengembangan (<i>Swelling</i>)	TA + 1,5% MgCO ₃ + 3% PC Sampel 1				
	0 Hari	1 Hari	2 Hari	3 Hari	4 Hari
Pembacaan dial, Δh (mm)	0	0,06	0,13	0,41	0,65
Tinggi Sampel, Lo (cm)	11,97	11,97	11,97	11,97	11,97
Pengembangan (%)	0%	0,050%	0,109%	0,343%	0,543%

Uji Pengembangan (<i>Swelling</i>)	TA + 1,5% MgCO ₃ + 3% PC Sampel 2				
	0 Hari	1 Hari	2 Hari	3 Hari	4 Hari
Pembacaan dial, Δh (mm)	0	0,07	0,18	0,34	0,55
Tinggi Sampel, Lo (cm)	11,84	11,84	11,84	11,84	11,84
Pengembangan (%)	0%	0,059%	0,152%	0,287%	0,465%

Tabel 5.28 Hasil Pengembangan (*Swelling*) Pengujian CBR Rendaman Tanah Asli + 1,5% MgCO₃+5% PC

Uji Pengembangan (<i>Swelling</i>)	TA + 1,5% MgCO ₃ + 5% PC sampel 1				
	0 Hari	1 Hari	2 Hari	3 Hari	4 Hari
Pembacaan dial, Δh (mm)	0	0,05	0,08	0,14	0,27
Tinggi Sampel, Lo (cm)	11,86	11,86	11,86	11,86	11,86
Pengembangan (%)	0%	0,042%	0,067%	0,118%	0,228%

Uji Pengembangan (<i>Swelling</i>)	TA + 1,5% MgCO ₃ + 5% PC Sampel 2				
	0 Hari	1 Hari	2 Hari	3 Hari	4 Hari
Pembacaan dial, Δh (mm)	0	0,07	0,15	0,21	0,32
Tinggi Sampel, Lo (cm)	11,92	11,92	11,92	11,92	11,92
Pengembangan (%)	0%	0,059%	0,126%	0,176%	0,268%

Tabel 5.29 Hasil Pengembangan (*Swelling*) Pengujian CBR Rendaman Tanah Asli + 1,5% MgCO₃+7% PC

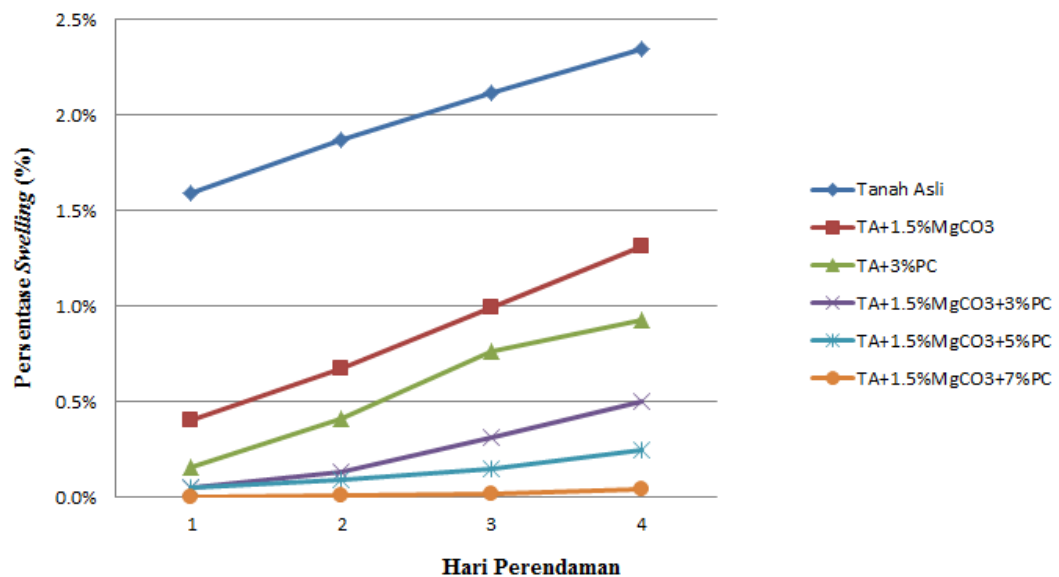
Uji Pengembangan (<i>Swelling</i>)	TA + 1,5% MgCO ₃ + 7% PC Sampel 1				
	0 Hari	1 Hari	2 Hari	3 Hari	4 Hari
Pembacaan dial, Δh (mm)	0	0,006	0,012	0,03	0,07
Tinggi Sampel, Lo (cm)	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9
Pengembangan (%)	0%	0,005%	0,010%	0,025%	0,059%

Uji Pengembangan (<i>Swelling</i>)	TA + 1,5% MgCO ₃ + 7% PC Sampel 2				
	0 Hari	1 Hari	2 Hari	3 Hari	4 Hari
Pembacaan dial, Δh (mm)	0	0,007	0,009	0,01	0,04
Tinggi Sampel, Lo (cm)	11,92	11,92	11,92	11,92	11,92
Pengembangan (%)	0%	0,006%	0,008%	0,008%	0,034%

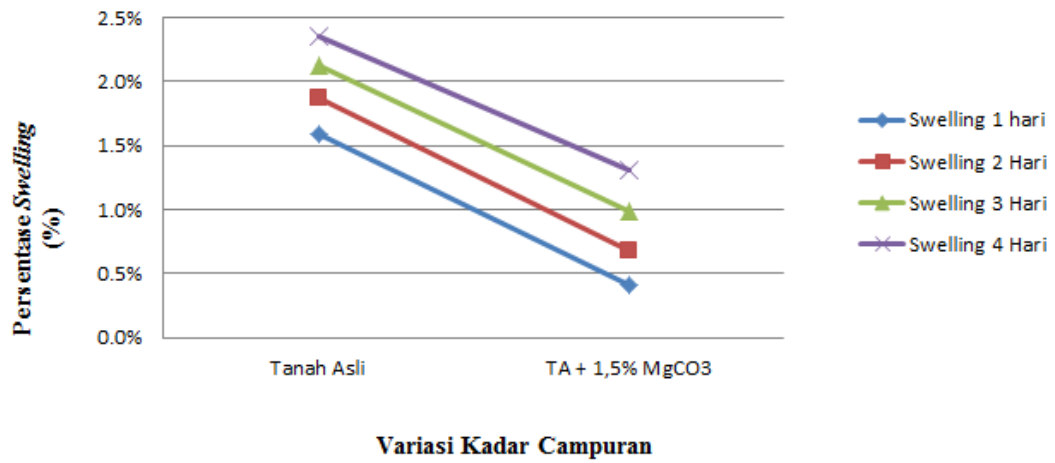
Berdasarkan data hasil pengujian diatas, maka hasil rekapitulasi pengujian pengembangan (*swelling*) dapat dilihat pada Tabel 5.30 dan Gambar 5.9 berikut ini.

Tabel 5.30 Hasil Rekapitulasi Pengembangan (*Swelling*) Pengujian CBR Rendaman

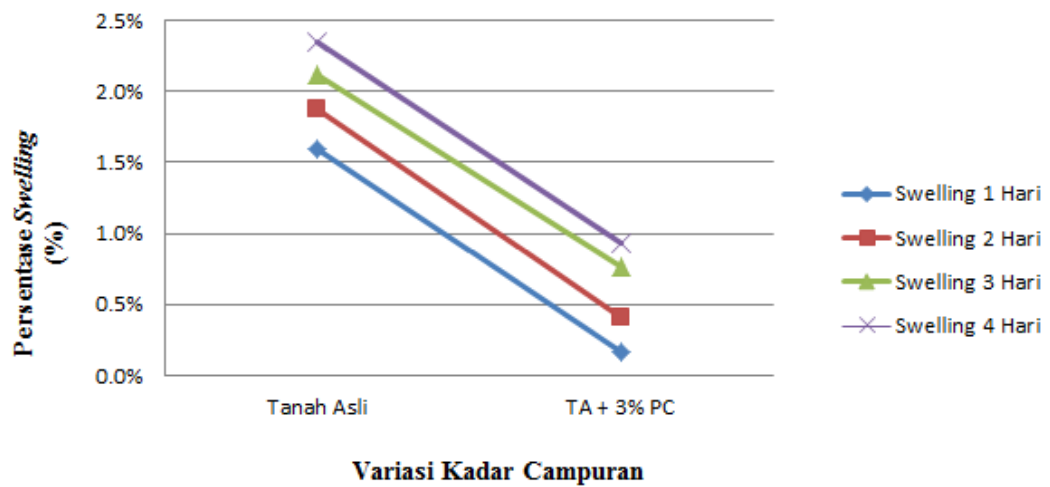
Hari Ke	1	2	3	4
Tanah Asli	1,5935%	1,8678%	2,1176%	2,3457%
TA + 1,5% MgCO ₃	0,4034%	0,6765%	0,9916%	1,3109%
TA + 3% PC	0,1602%	0,4129%	0,7668%	0,9266%
TA + 1,5% MgCO ₃ + 3% PC	0,0546%	0,1303%	0,3148%	0,5038%
TA + 1,5% MgCO ₃ + 5% PC	0,0504%	0,0966%	0,1471%	0,2481%
TA + 1,5% MgCO ₃ + 7% PC	0,0055%	0,0088%	0,0168%	0,0462%



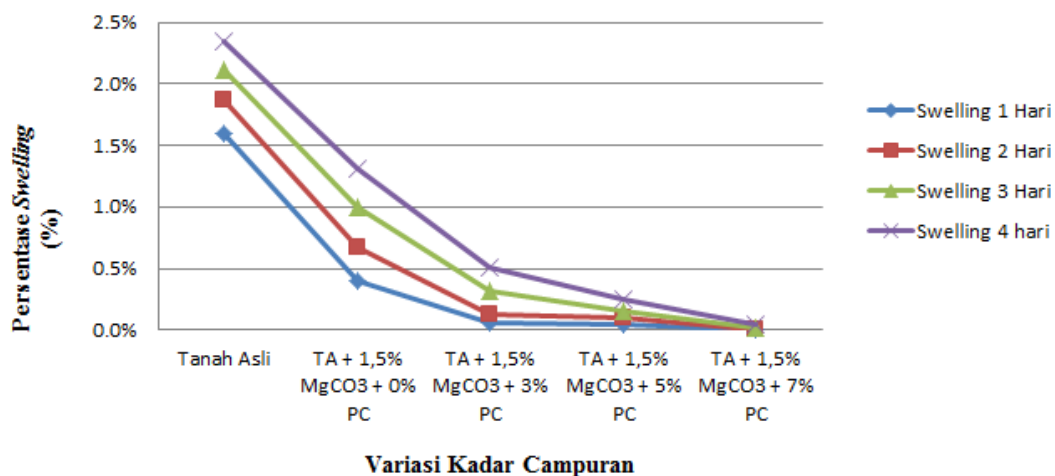
Gambar 5.10 Grafik Hasil Rekapitulasi Pengembangan (*Swelling*) Pegujian CBR Rendaman Dengan Pengaruh Hari



Gambar 5.11 Grafik Hasil Rekapitulasi Pengembangan (*Swelling*) Pegujian CBR Rendaman Dengan Campuran 1,5% MgCO₃



Gambar 5.12 Grafik Hasil Rekapitulasi Pengembangan (*Swelling*) Pegujian CBR Rendaman Dengan Campuran 3% PC



Gambar 5.13 Grafik Hasil Rekapitulasi Pengembangan (*Swelling*) Pegujian CBR Rendaman Dengan Campuran MgCO₃ + PC

Berdasarkan dari hasil grafik pengujian pengembangan dapat dilihat bahwa nilai potensi pengembangan dari yang semula pengembangan tanah asli sebesar 2,346% dan pada pengembangan tanah asli + 1,5% MgCO₃ + 7% PC sebesar 0,0462%. Dari hasil pengujian pengembangan diatas dapat disimpulkan bahwa uji pengembangan menggunakan campuran tanah asli + 1,5% MgCO₃ + 7% PC mengalami penurunan potensi pengembangan sebesar 98,03% dari tanah asli, maka bahan tambah *magnesium carbonate* dan semen dapat menurunkan potensi pengembangan yang terdapat pada jenis tanah lempung inorganik.