

BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

Penelitian dilakukan untuk mencari sifat-sifat fisik tanah asli yang meliputi pengujian kadar air, berat volume, berat jenis, analisa saringan dan hidrometer serta batas konsistensi. Setelah itu dilakukan pengujian pemadatan tanah dan dilanjutkan dengan pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) terhadap tanah asli serta pengaruh bahan tambah Pasir Vulkanik Merapi dan Gypsum pada tanah tersebut. Seluruh pengujian dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Islam Indonesia. Selanjutnya, didalam bab ini akan diuraikan pembahasan serta hasil dari seluruh penelitian yang dilakukan.

5.2 Pengujian Kadar Air

Pengujian kadar air dilakukan pada tanah asli yang bertujuan untuk menentukan kadar air sampel tanah. Kadar air tanah adalah nilai perbandingan antara berat air dalam satuan tanah dengan berat kering tanah tersebut. Hasil pengujian kadar air dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Kadar Air Tanah Asli

No	Keterangan	Satuan	Sampel	
			I	II
1	Berat Countainer (W1)	gr	6,790	7,460
2	Berat Countainer + tanah basah (W2)	gr	20,920	28,470
3	Berat Countainer + tanah kering (W3)	gr	16,580	22,072
4	Berat Air ($W_w = W_2 - W_3$)	gr	4,340	6,398
5	Berat tanah kering ($W_s = W_3 - W_1$)	gr	9,790	14,612
6	Kadar air ($W_w/W_s \times 100\%$)	%	44,331	43,786
7	Kadar air rata-rata (w)	%	44,058	

Hasil dari pengujian ini menunjukkan bahwa tanah dari Desa Gunungcondong, Kecamatan Bruno, Purworejo mengandung kadar air rata-rata sebesar 44,058%.

5.3 Pengujian Berat Volume

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berat volume suatu sampel tanah. Berat volume tanah adalah nilai perbandingan berat tanah total termasuk air yang terkandung didalamnya dengan volume tanah total. Hasil pengujian berat volume tanah dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Berat Volume Tanah Asli

No	Keterangan		Satuan	Sampel	
				1	2
1	Diameter Ring	d	cm	5,985	5,940
2	Tinggi Ring	t	cm	1,964	1,930
3	Volume Ring	V	cm ³	55,253	53,484
4	Berat Ring	W1	gr	49,410	49,190
5	Berat Ring + Tanah Basah	W2	gr	138,400	135,610
6	Berat Tanah Basah	W3 = W2-W1	gr	88,990	86,420
7	Berat Volume Tanah	$\gamma_b = W3/V$	gr/cm ³	1,611	1,616
8	Berat Volume Rata – Rata		gr/cm ³	1,613	

Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa berat volume tanah rata-rata dari Desa Gunungcondong, Kecamatan Bruno, Purworejo adalah 1,613 gr/cm³.

5.4 Pengujian Berat Jenis

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat jenis suatu sampel tanah. Berat jenis tanah (Gs) adalah nilai perbandingan berat butiran tanah dengan berat air destilasi di udara dengan volume yang sama pada temperature tertentu, biasanya diambil pada suhu 27,5°C. Hasil pengujian berat jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Berat Jenis Tanah Asli

No	Keterangan	Satuan	Sampel		
			1	2	
1	Berat Pikhnometer	W1	gr	41,390	41,640
2	Berat Pikhnometer + Tanah Kering	W2	gr	59,490	60,510
3	Berat Pikhnometer + Tanah + Air (penuh)	W3	gr	152,940	153,630
4	Berat Pikhnometer + Air (penuh)	W4	gr	141,850	142,072
5	Suhu air (t°C)		°C	26	26
6	γ_w pada suhu (t°C)		gr/cm ³	0,997	0,997
7	γ_w pada suhu (27,5°C)		gr/cm ³	0,996	0,996
8	Berat Tanah kering	$W_s = W_2 - W_1$	gr	18,100	18,870
9	A	$W_s + W_4$	gr	159,950	160,942
10	I	$A - W_3$	gr	7,010	7,312
11	Berat Jenis Tanah pada suhu (t°C)	$G_s(t^\circ C) = W_s/I$		2,582	2,581
12	Berat Jenis Tanah pada suhu (27,5 °C)	$G_s(t^\circ C) \times (\gamma_w t^\circ C / \gamma_w 27,5^\circ C)$		2,583	2,582
13	Berat Jenis Rata - Rata pada Suhu (27,5 °C)			2.582	

Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa berat jenis rata-rata tanah dari Desa Gunungcondong, Kecamatan Bruno, Purworejo sebesar 2,582. Berdasarkan Tabel 3.5, nilai berat jenis tanah sebesar 2,582 termasuk kategori lempung organik.

5.5 Pengujian Analisa Saringan dan Analisa Hidrometer

5.5.1 Pengujian Analisa Saringan

Pengujian analisa saringan dilakukan untuk menentukan persentase distribusi ukuran butiran-butiran tanah pada benda uji yang tertahan saringan no.200 dan menentukan pembagian butiran (gradasi) agregat halus dan agregat kasar. Dalam penelitian digunakan 2 sampel tanah dengan berat tanah yang sama yaitu 1000 gr. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan Tabel 5.5

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Analisa Saringan Pada Tanah Asli Sampel I

Analisa Saringan					
No saringan	Diameter saringan	Berat tanah tertahan	Berat tanah lolos	%tertahan	%lolos
	mm	gr	gr	%	%
1	25,4	0	1000	0,000	100
¾	19,00	0	1000	0,000	100
½	13,2	0	1000	0,000	100
3/8	9,5	0	1000	0,000	100
¼	6,7	0	1000	0,000	100
4	4,75	0	1000	0,000	100
10	2	0,52	999,48	0,052	99,948
20	0,85	13,72	985,76	1,372	98,576
40	0,425	50,13	935,63	5,013	93,563
60	0,25	41,84	893,79	4,184	89,379
140	0,106	132,02	761,77	13,202	76,177
200	0,075	39,4	722,37	3,940	72,237
pan		722,37	0	72,237	0,000
Jumlah		1000		100,000	

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Analisa Saringan Pada Tanah Asli Sampel II

Analisa Saringan					
No saringan	Diameter saringan	Berat tanah tertahan	Berat tanah lolos	%tertahan	%lolos
	mm	gr	gr	%	%
1	25,4	0	1000	0,000	100
¾	19,00	0	1000	0,000	100
½	13,2	0	1000	0,000	100
3/8	9,5	0	1000	0,000	100
¼	6,7	0	1000	0,000	100
4	4,75	0,16	999,84	0,016	99,984
10	2	3,64	996,2	0,364	99,620
20	0,85	16,42	979,78	1,642	97,978
40	0,425	55,89	923,89	5,589	92,389
60	0,25	55,08	868,81	5,508	86,881
140	0,106	127,8	741,01	12,780	74,101
200	0,075	29,27	711,74	2,927	71,174
pan		711,74	0	71,174	0,000
Jumlah		1000		100,000	

Selanjutnya, hasil persen lolos analisa saringan dari kedua sampel tersebut dapat dilihat dalam rekapitulasi pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Rekapitulasi Hasil Persen Lolos Analisa Saringan

No. Saringan	Diameter Butir Tanah (mm)	Persen Lolos (%)		Persen Lolos (%) Rata-Rata
		Sampel I	Sampel II	
¾"	19	100	100	100
4	4,75	100	99,984	99,992
10	2	99,948	99,620	99,784
20	0,855	98,576	97,978	98,277
40	0,425	93,563	92,389	92,976
60	0,25	89,379	86,881	88,130
140	0,106	76,177	74,101	75,139
200	0,075	72,237	71,174	71,706

5.5.2 Pengujian Analisa Hidrometer

Pengujian analisa hidrometer bertujuan untuk menentukan distribusi ukuran butiran tanah yang tidak mengandung butir tanah dan tertahan oleh saringan no.10. Pengujian ini dilakukan dengan analisa sedimen menggunakan hidrometer. Dalam penelitian digunakan 2 sampel tanah dengan berat tanah yang sama yaitu 600 gram dari lolos saringan no.200. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.7 dan Tabel 5.8.

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Analisa Hidrometer Sampel I

Waktu	T	Ra	Rc	% lolos	R	L	L/t	K	D
menit	°C					cm			(mm)
0	26	41	43	54,358	44	12	0	0,014	0
2	26	34	36	45,509	37	12,45	6,225	0,014	0,034
5	26	32	34	42,981	35	12,6	2,520	0,014	0,022
30	26	23	25	31,604	26	13,3	0,443	0,014	0,009
60	26	17	19	24,019	20	13,7	0,228	0,014	0,006
250	27	10	12	15,170	13	14,3	0,057	0,014	0,003
1440	27	6	8	10,113	9	14,7	0,010	0,014	0,001

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Analisa Hidrometer Sampel II

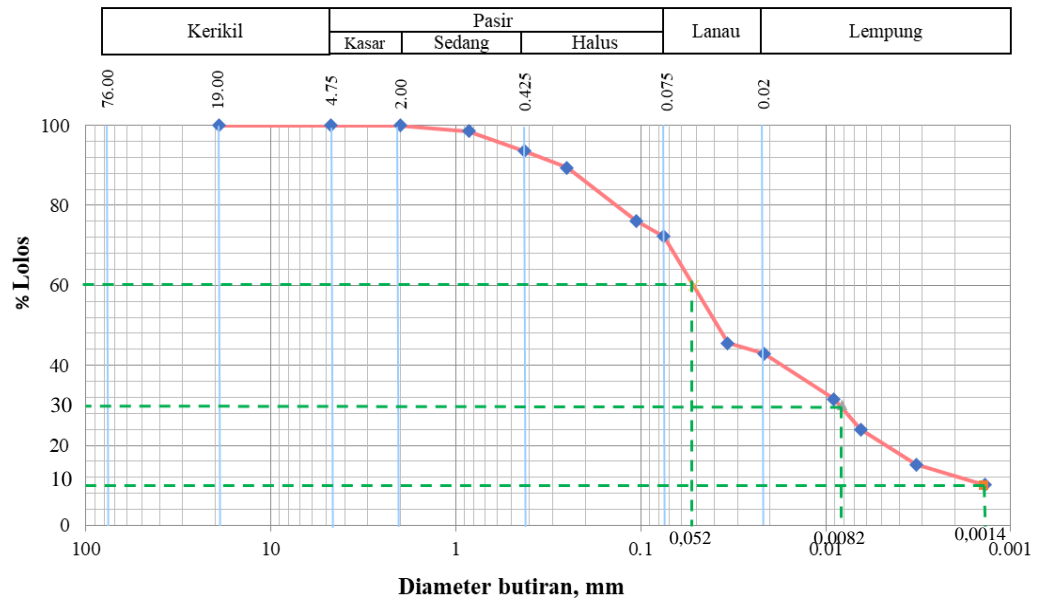
Waktu	T	Ra	Rc	% lolos	R	L	L/t	K	D
menit	°C		(Ra-z)		(Ra+m)	cm			(cm)
0	26	50	52	64,768	53	11,5	0	0,014	0
2	26	44	46	57,295	47	11,85	6,225	0,014	0,034
5	26	35	37	46,085	38	12,5	2,520	0,014	0,022
30	26	25	27	33,630	28	12,9	0,443	0,014	0,009
60	26	20	22	27,402	23	13,4	0,228	0,014	0,006
250	27	10	12	14,947	13	13,8	0,057	0,014	0,003
1440	27	6	8	9,964	9	14,3	0,010	0,014	0,001

Selanjutnya, rekapitulasi dari hasil persen lolos analisa hidrometer kedua sampel dapat dilihat pada Tabel 5.9.

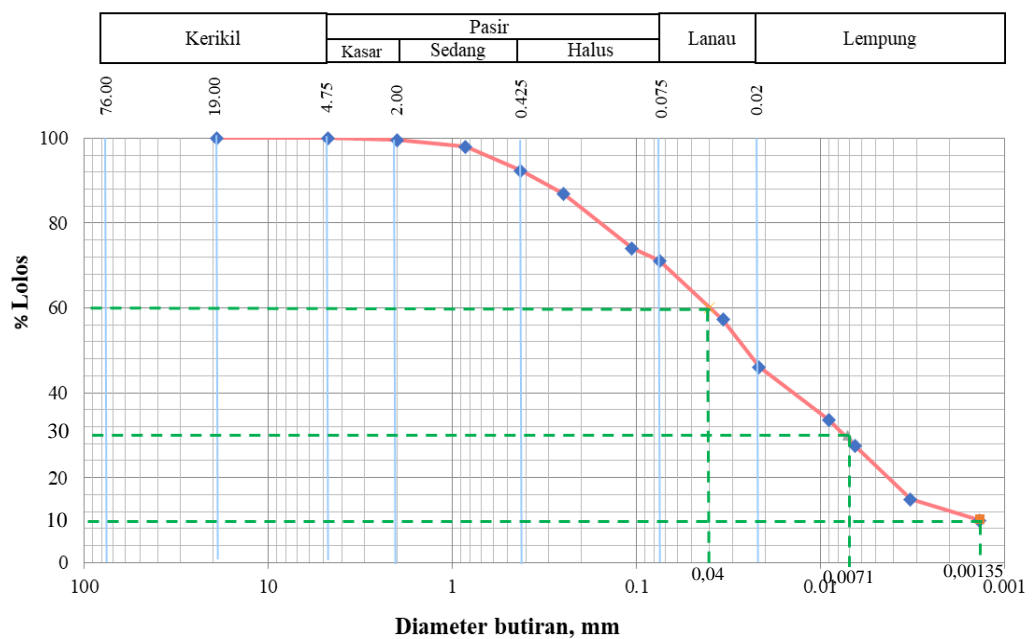
Tabel 5.9 Rekapitulasi Hasil Persen Lolos Analisa Hidrometer

Diameter butir tanah (mm) Sampel I	Diameter butir tanah (mm) Sampel II	Persen Lolos (%) Sampel I	Persen Lolos (%) Sampel II	Persen Lolos (%) Rata-Rata
0,034	0,034	45,509	57,295	51,402
0,022	0,022	42,981	46,085	44,533
0,009	0,009	31,604	33,630	32,617
0,006	0,006	24,019	27,402	25,712
0,003	0,003	15,170	14,947	15,059
0,001	0,001	10,113	9,964	10,039

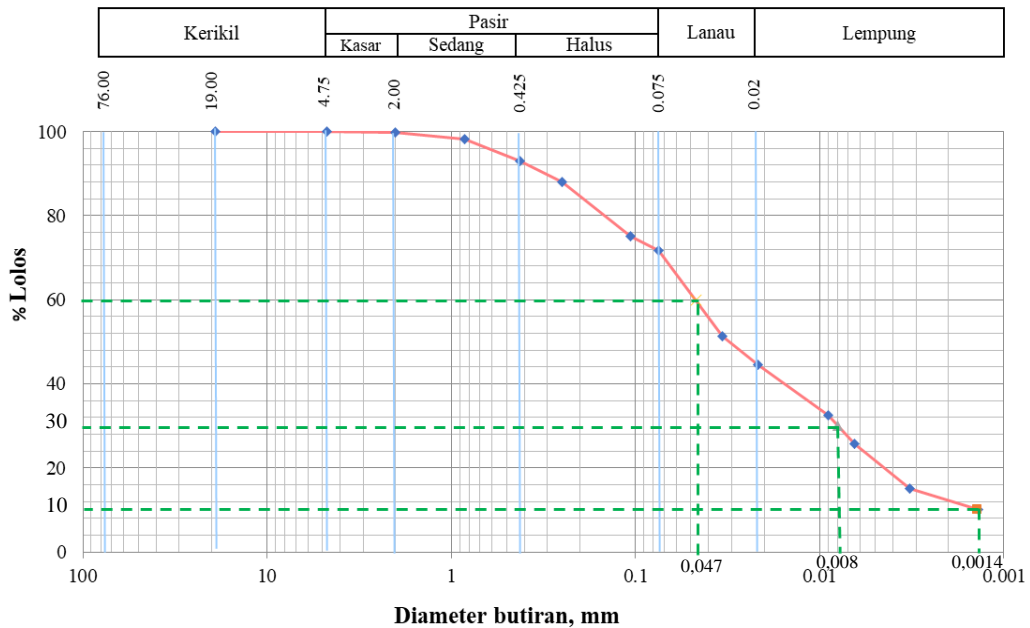
Berdasarkan hasil persen lolos uji analisa saringan dan hasil persen lolos uji hidrometer didapatkan grafik *grain size analysis* dari sampel I dan sampel II serta telah diketahui nilai rata-rata dari keduanya. Adapun grafik dapat dilihat pada Gambar 5.1, Gambar 5.2 dan Gambar 5.3.



Gambar 5.1 Grafik Analisa Saringan Butiran Tanah Asli Sampel I



Gambar 5.2 Grafik Analisa Saringan Butiran Tanah Asli Sampel II



Gambar 5.3 Grafik Analisa Saringan Butiran Tanah Asli Rata-Rata

Setelah melakukan penelitian maka didapat persentase ukuran butiran pada tanah asli dan menunjukkan karakter dan jenis tanah pada kedua sampel yang dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Persentase Ukuran Butiran

Keterangan	Nilai	Satuan	Keterangan	Nilai
Lolos #200	71,706	%	D10 (mm)	0,0014
Kerikil	0	%	D30 (mm)	0,008
Pasir	28,294	%	D60 (mm)	0,047
Lanau	27,173	%	$Cu = D60/D10$	33,571
Lempung	44,533	%	$Cc = D30^2 / (D10 \times D60)$	0,973

Hasil pengujian analisa saringan dan hidrometer menunjukkan bahwa sampel tanah Desa Gunungcondong, Kecamatan Bruno, Purworejo terdiri dari pasir sebanyak 28,294%, lanau sebanyak 27,173% dan lempung sebanyak 44,533%.

5.6 Pengujian Batas-Batas Konsistensi (*Atterberg Limit*)

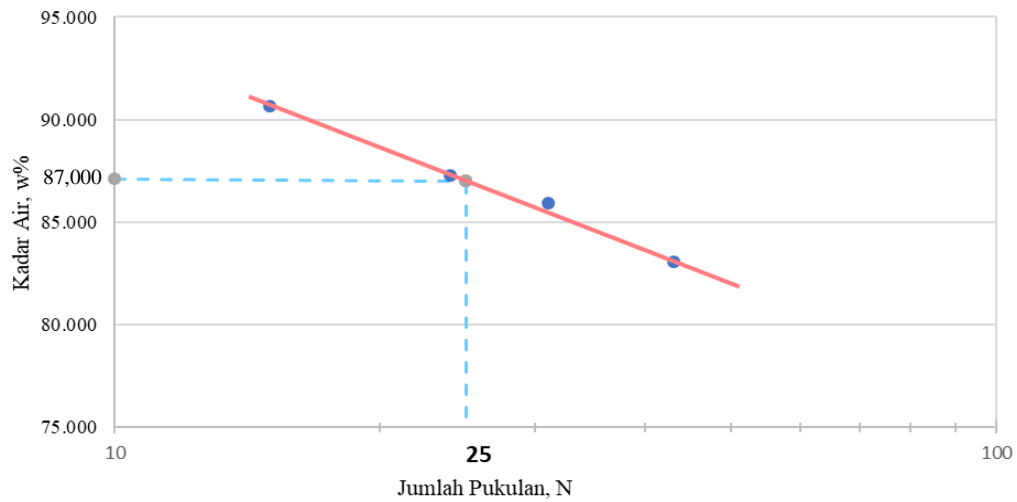
5.6.1 Pengujian Batas Cair (*Liquid Limit*)

Pengujian batas cair bertujuan untuk menentukan batas cair tanah. Batas cair tanah adalah kadar air tanah pada keadaan batas cair dan plastis. Hasil pengujian ini digunakan untuk mengetahui jenis serta sifat-sifat tanah dari bagian tanah yang mempunyai ukuran butir lolos saringan no.40. Hasil pengujian batas cair dapat dilihat pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Hasil Pengujian Batas Cair Sampel I

No	Pengujian	I		II		III		IV	
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	No Cawan								
2	Berat Cawan (gr)	7,630	7,390	7,570	9,360	7,530	7,220	7,250	7,590
3	Berat Cawan + Tanah Basah (gr)	13,620	14,080	12,520	15,780	13,030	13,210	13,590	14,160
4	Berat Cawan + Tanah Kering (gr)	10,780	10,890	10,220	12,780	10,490	10,440	10,620	11,280
5	Berat Air (gr)	2,840	3,190	2,300	3,000	2,540	2,770	2,970	2,880
6	Berat Tanah Kering (gr)	3,150	3,500	2,650	3,420	2,960	3,220	3,370	3,690
7	Kadar Air (%)	90,159	91,143	86,792	87,719	85,811	86,025	88,131	78,049
8	Kadar Air rata – rata (%)	90,651		87,256		85,918		83,090	
9	Jumlah Pukulan (N)	15		24		31		43	

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka diperoleh grafik perbandingan jumlah pukulan terhadap kadar air. Grafik dapat dilihat pada Gambar 5.4.



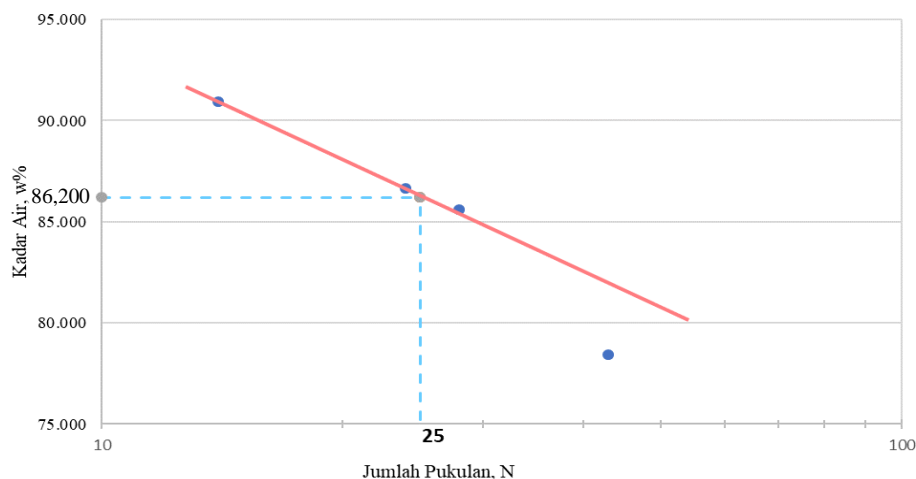
Gambar 5.4 Grafik Pengujian Batas Cair Sampel I

Berdasarkan gambar grafik tersebut, diperoleh kadar air pada pukulan 25 yang merupakan batas cair tanah uji (LL) sebesar 87%. Selanjutnya, dengan cara yang sama dilakukan pada sampel kedua. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Hasil Pengujian Batas Cair Sampel II

No	Pengujian	I		II		III		IV	
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	No Cawan								
2	Berat Cawan (gr)	7,630	7,400	7,270	7,210	7,570	6,450	6,400	6,630
3	Berat Cawan + Tanah Basah (gr)	15,240	14,700	16,520	15,600	15,510	15,680	14,300	18,420
4	Berat Cawan + Tanah Kering (gr)	11,650	11,190	12,220	11,710	11,860	11,410	10,820	13,250
5	Berat Air (gr)	3,590	3,510	4,300	3,890	3,650	4,270	3,480	5,170
6	Berat Tanah Kering (gr)	4,020	3,790	4,950	4,500	4,290	4,960	4,420	6,620
7	Kadar Air (%)	89,303	92,612	86,869	86,444	85,082	86,089	78,733	78,097
8	Kadar Air rata-rata (%)	90,958		86,657		85,585		78,415	
9	Jumlah Pukulan (N)	14		24		28		43	

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka diperoleh grafik perbandingan jumlah pukulan terhadap kadar air untuk sampel 2. Grafik dapat dilihat pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Grafik Pengujian Batas Cair Sampel II

Berdasarkan gambar grafik tersebut, diperoleh kadar air pada pukulan 25 yang merupakan batas cair tanah uji (LL) sebesar 86,2%. Selanjutnya, rekapitulasi hasil pengujian batas cair (LL) dari kedua sampel dapat dilihat pada Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Rekapitulasi Nilai Batas Cair (*Liquid Limit*)

No.	Keterangan	Sampel I	Sampel II	Rata-Rata
1	Batas Cair (LL)	87%	86,2%	86,6%

5.6.2 Pengujian Batas Plastis (*Plasticity Limit*)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar air pada kondisi batas plastis. Batas plastis adalah kadar air minimum suatu sampel tanah dalam keadaan plastis. Hasil pengujian batas plastis dapat dilihat pada Tabel 5.14 dan Tabel 5.15.

Tabel 5.14 Hasil Pengujian Batas Plastis Sampel I

No	Pengujian	Satuan	Sampel	
			1	2
1	No Cawan		1	2
2	Berat Cawan	gr	7,4	7,4
3	Berat Cawan + Tanah Basah	gr	8,25	8,63

Lanjutan Tabel 5.14 Hasil Pengujian Batas Plastis Sampel I

No	Pengujian	Satuan	Sampel	
	No Cawan		1	2
4	Berat Cawan + Tanah Kering	gr	7,953	8,196
5	Berat Air	gr	0,297	0,434
6	Berat Tanah Kering	gr	0,553	0,796
7	Kadar Air	%	53,707	54,523
8	Kadar Air rata – rata	%	54,115	

Tabel 5.15 Hasil Pengujian Batas Plastis Sampel II

No	Pengujian	Satuan	Batas Plastis	
1	No Cawan		1	2
2	Berat Cawan	gr	6,810	6,320
3	Berat Cawan + Tanah Basah	gr	7,120	6,660
4	Berat Cawan + Tanah Kering	gr	7,011	6,540
5	Berat Air	gr	0,109	0,120
6	Berat Tanah Kering	gr	0,201	0,220
7	Kadar Air	%	54,229	54,545
8	Kadar Air rata – rata	%	54,387	

Selanjutnya, rekapitulasi hasil pengujian batas plastis (PL) dari kedua sampel dapat dilihat pada Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Rekapitulasi Nilai Batas Plastis (*Plasticity Limit*)

No.	Keterangan	Sampel I	Sampel II	Rata-Rata
1	Batas Plastis (PL)	54,115%	54,387%	54,251%

Setelah didapatkan nilai batas cair (LL) dan batas plastis (PL), didapatkan nilai Indeks Plastisitas dengan menggunakan rumus $IP = LL - PL$, yaitu sebesar 32,349%. Selanjutnya, dapat ditentukan klasifikasi tanah dengan menggunakan sistem klasifikasi AASHTO pada Tabel 3.1. Terlebih dahulu, tentukan klasifikasi umum dan klasifikasi kelompok jenis tanah berdasarkan persen lolos saringan no.200 dari hasil pengujian analisa saringan dan hidrometer. Dari hasil pengujian, tanah yang lolos dari saringan no.200 adalah sebesar 71,706% dan sesuai nilai batas plastis yang diperoleh yaitu 54,251% maka klasifikasi umum tanah berada pada

kelompok A-7-5. Selanjutnya, mencari nilai indeks kelompok (*Group Index*, GI) dengan menggunakan nilai persen lolos pada saringan no.200, nilai batas cair (LL), nilai batas plastis (PL), dan nilai indeks plastisitas (PI). Dari keempat data tersebut, dapat dicari nilai indeks kelompok (GI) seperti pada Persamaan 3.2.

$$\begin{aligned} \text{GI} &= (F - 35) [0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01 (F - 15) (PI - 10) \\ &= (71,706 - 35) [0,2 + 0,005 (86,6 - 40)] + 0,01 (71,706 - 15) (32,349 - 10) \\ &= 28,567 \text{ (dibulatkan)} \\ &= 29 \end{aligned}$$

Setelah mencari nilai indeks kelompok, dapat diketahui jenis bahan pendukung utama dari sampel tanah adalah tanah berlempung dengan tingkatan umum sebagian tanah dasar adalah sedang sampai buruk. Hasil penentuan klasifikasi tanah berdasarkan sistem AASHTO dapat dilihat pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO

Klasifikasi Umum	Bahan-Bahan (35% atau kurang melalui No.200)							Bahan-Bahan Lanau-Lempung (Lebih dari 35% melalui no. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Klasifikasi Kelompok	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5, A-7-6
Analisis Saringan Persen Melalui											
No.10	50 maks										
No.40	30 maks	50 maks	51 maks								
No.200	15 maks	25 maks	10 maks	35 maks	35 maks	35 maks	35 maks	36 min	36 min	36 min	36 min
Karakteristik fraksi melalui No.40											
Batas Cair				40 maks	41 min	40 maks	41 maks	41 maks	41 maks	41 maks	41 maks
Indeks Plastisitas	6 maks		N.P	10 maks	10 maks	11 min	10 maks	10 maks	10 maks	11 maks	11 maks
Indeks Kelompok	0	0	0	0		4 maks		8 maks	12 maks	16 maks	20 maks
Jenis-jenis bahan pendukung utama	Fragmen batuan, kerikil dan pasir		Pasir Halus	Kerikil dan pasir berlanau atau berlempung				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Tingkatan umum sebagian tanah dasar	Sangat baik sekali sampai baik							Sedang sampai buruk			

Sumber : Hardiyatmo (2012)

Catatan :

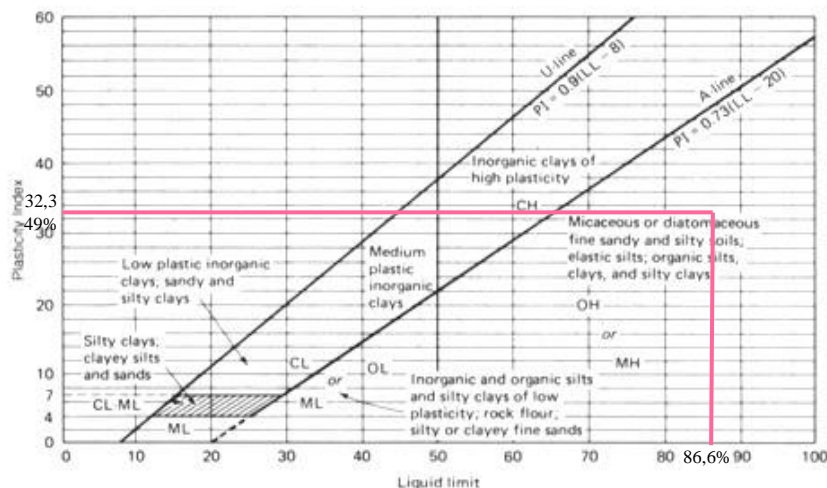
Kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (PL)

Untuk PL > 30, klasifikasinya A-7-5 ;

Untuk PL < 30, klasifikasinya A-7-6 Np = Non plastis

Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui bahwa tanah sampel termasuk kelompok A-7-5(29). Artinya, tanah sampel yang digunakan termasuk jenis tanah berlempung dan kurang baik digunakan untuk tanah dasar (*subgrade*) karena nilai $GI > 20$. Selain menggunakan sistem klasifikasi AASHTO, karakteristik tanah dapat ditentukan dengan menggunakan sistem klasifikasi USCS sesuai dengan Tabel 3.2. Dari hasil pengujian yang dilakukan, telah diperoleh persen lolos saringan no.200, nilai batas plastis sebesar, batas cair dan indeks plastisitas.

Langkah awal dalam menentukan karakteristik tanah dengan Metode USCS adalah menentukan divisi utama berdasarkan persen lolos saringan no.200, yaitu 71,706% dan nilai batas cair sebesar 86,6%. Artinya, sampel tanah termasuk jenis tanah berbutir halus dengan lanau dan lempung. Selanjutnya, dengan menggunakan grafik karakteristik tanah dengan sistem USCS dapat diketahui bahwa tanah sampel termasuk dalam kelompok OH dengan menghubungkan garis yang diperoleh dari nilai indeks plastisitas sebesar 32,349% dan batas cair sebesar 86,6%. Kelompok OH merupakan sampel tanah bersifat lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi dan memiliki potensi pengembangan yang tinggi. Untuk lebih jelasnya dalam penentuan karakteristik tanah tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Grafik Karakteristik Tanah dengan Sistem USCS

5.6.3 Pengujian Batas Susut

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar air tanah pada kondisi batas susut. Hasil perhitungan pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.18 dan Tabel 5.19.

Tabel 5.18 Perhitungan Pengujian Batas Susut

Kadar Air					
No	Pengujian	Keterangan	Satuan	I	II
1	Berat Cawan Susut	W1	gr	40,920	43,320
2	Berat Cawan Susut + Tanah Basah	W2	gr	63,740	65,940
3	Berat Cawan Susut + Tanah Kering	W3	gr	52,970	55,410
4	Berat Tanah Keirng	$W_o = W3 - W1$	gr	12,050	12,090
5	Kadar Air	$w = (W2 - W3) / W_o \times 100\%$	%	89,378	87,097
Volume Cawan Susut					
No	Pengujian			I	II
1	Diameter Ring	d	cm	4,142	4,149
2	Tinggi Ring	t	cm	1,164	1,151
3	Volume Ring	V	cm ³	15,684	15,562
No	Pengujian			I	II
1	Berat Air Raksa Terdesak	W4	gr	174,85	173,58
2	Berat Gelas Ukur	W5	gr	60,64	60,64
3	Berat Air Raksa	W6	gr	114,21	112,94
4	Berat Tanah Kering	W _o	gr	12,050	12,090
5	Volume Tanah Kering	$V_o = W6 / 13,60$	cm ³	8,398	8,304
Batas Susut					
No	Pengujian			I	II
1	Batas Susut Tanah	$SL = w - (V - V_o) / W_o$	%	28,909	27,071
2	Angka Susut	$SR = W_o / V_o$	cm	1,435	1,456
3	Susut Volumetrik	$V_s = (W1 - SL) \times SR$	cm ³	86,766	87,389
4	Susut Linier	$LS = 1 - (100 / (V_s + 100))^{1/3}$	%	18,798	18,888
5	Berat Jenis	$G_s = 1 / (1 / SR - SL / 100)$		2,452	2,403

Tabel 5.19 Hasil Pengujian Batas Susut

No	Pengujian	Satuan	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
1	Batas susut tanah (SL)	%	28.909	27.071	27.990
2	Angka susut (SR)	cm	1.435	1.456	1.446
3	Susut volumetrik (VS)	cm ³	0.868	0.874	0.871
4	Susut linear (LS)	%	18.798	18.888	18.843

Berdasarkan hasil pengujian diatas dapat disimpulkan bahwa nilai batas susut tanah (SL) rata rata adalah 27.990%.

5.7 Pengujian Pemadatan Tanah

Pengujian pemadatan tanah bertujuan untuk menentukan kadar air tanah optimum (*optimum moisture content*) dan kepadatan maksimum (*maximum dry density*) dari sampel tanah lempung Desa Gunungcondong, Kecamatan Bruno, Purworejo. Pengujian dilakukan terhadap 2 sampel dengan penambahan air melalui interval 100 ml sebanyak 5 kali. Hasil perhitungan pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.20.

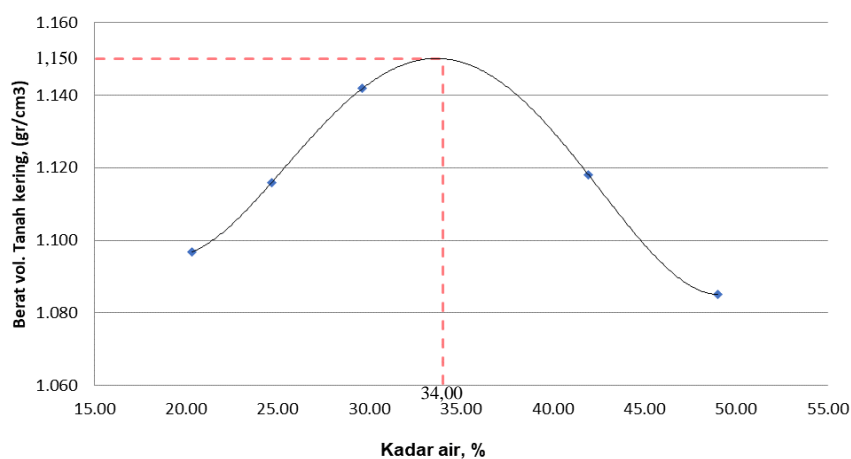
Tabel 5.20 Hasil Perhitungan Pengujian Pemadatan Tanah Sampel I

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	12,80	12,60	12,78	12,81	12,71	12,80	12,85	12,72	12,75	12,97
4	Berat Cawan + tanah basah (gram) W2	24,51	28,52	26,06	21,50	25,97	23,38	21,39	24,49	25,91	21,33
5	Berat cawan + tanah kering (gram) W3	22,64	25,69	23,51	19,73	22,98	20,93	18,86	21,02	21,58	18,58
6	Berat air (gram) Ww= W2-W3	1,87	2,83	2,55	1,77	2,99	2,45	2,53	3,47	4,33	2,75
7	Berat tanah kering (gram) Ws= W3-W1	9,84	13,09	10,73	6,92	10,27	8,13	6,01	8,30	8,83	5,61
8	Kadar air (%) Ww/Ws x 100%	19,004	21,620	23,765	25,578	29,114	30,135	42,097	41,807	49,037	49,020
9	Kadar air rata-rata	20,312		24,672		29,625		41,952		40,029	
10	Berat volume tanah kering (gr/cm ³)	1,097		1,116		1,142		1,118		1,085	

Lanjutan Tabel 5.20 Hasil Perhitungan Pengujian Pemadatan Tanah Sampel I

1	No. Pengujian	1		2		3		4		5	
		a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
11	Berat volume tanah kering, Sr 100% (gr/cm ³)	1,694		1,577		1,463		1,240		1,140	
12	Berat volume tanah kering, Sr 80% (gr/cm ³)	1,560		1,438		1,320		1,097		0,999	
13	Berat volume tanah kering, 60% (gr/cm ³)	1,378		1,253		1,135		0,920		0,830	
14	Angka Pori	1,355		1,314		1,262		1,310		1,380	

Selanjutnya, hasil dari perhitungan dibuat titik-titik hubungan antara kadar air sebagai absis dan berat volume kering sebagai ordinat. Kemudian dibuat kurva yang menghubungkan titik-titik tersebut sehingga didapatkan nilai kadar air optimum dan berat volume tanah kering maksimum seperti pada Gambar 5.7.

**Gambar 5.7 Grafik Pengujian Proktor Standar Sampel I**

Berdasarkan grafik diatas, diperoleh nilai kepadatan maksimum dan kadar optimum yang dapat dilihat pada Tabel 5.21.

Tabel 5.21 Hasil Pengujian Pemadatan Tanah Sampel I

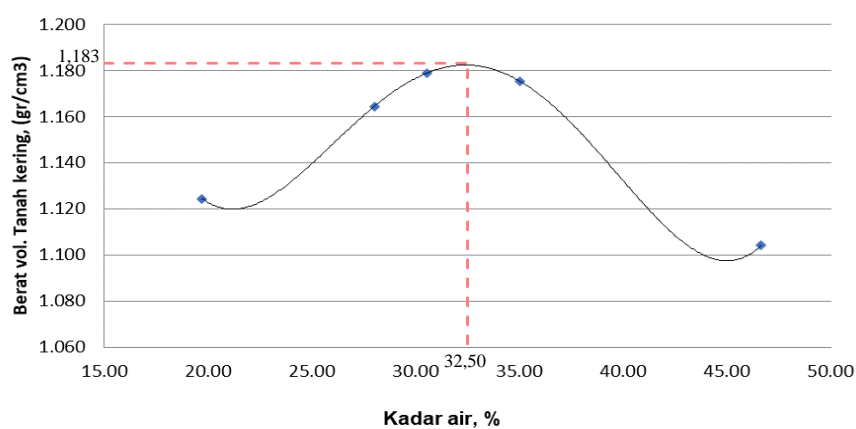
No	Data	Satuan	Hasil
1	Kepadatan maksimum (γ_{dmaks})	gr/cm ³	1,15
2	Kadar air optimum (w_{opt})	(%)	34

Dengan cara yang sama dilakukan pada Sampel II. Hasil perhitungan pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.22.

Tabel 5.22 Hasil Perhitungan Pengujian Pemadatan Tanah Sampel II

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	9,19	9,09	9,20	9,15	9,16	9,09	7,74	7,72	7,61	7,55
4	Berat Cawan + tanah basah (gram) W2	19,25	23,68	22,29	18,14	19,67	17,72	17,35	18,04	18,60	16,49
5	Berat cawan + tanah kering (gram) W3	17,86	20,91	19,37	16,21	17,43	15,53	14,69	15,55	15,20	13,57
6	Berat air (gram) $W_w = W_2 - W_3$	1,39	2,77	2,92	1,93	2,24	2,19	2,66	2,49	3,40	2,92
7	Berat tanah kering (gram) $W_s = W_3 - W_1$	8,67	11,82	10,17	7,06	8,27	6,44	6,95	7,83	7,59	6,02
8	Kadar air (%) $W_w/W_s \times 100\%$	16,032	23,435	28,712	27,337	27,086	34,006	38,273	31,801	44,796	48,505
9	Kadar air rata-rata	19,734		28,025		30,546		35,037		46,650	
10	Berat volume tanah kering (gr/cm ³)	1,124		1,164		1,179		1,175		1,104	
11	Berat volume tanah kering, Sr 100% (gr/cm ³)	1,711		1,498		1,444		1,356		1,171	
12	Berat volume tanah kering, Sr 80% (gr/cm ³)	1,578		1,356		1,301		1,212		1,031	
13	Berat volume tanah kering, 60% (gr/cm ³)	1,396		1,171		1,116		1,030		0,859	
14	Angka Pori	1,297		1,218		1,191		1,197		1,339	

Berdasarkan hasil perhitungan diatas maka diperoleh nilai Kadar air optimum (W_{opt}) dan Kepadatan maksimum (γ_{dmaks}) dari hasil grafik hubungan kadar air (%) dengan nilai kepadatan, untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5.8.

**Gambar 5.8 Grafik Proktor Standar Sampel II**

Berdasarkan grafik diatas, diperoleh nilai kepadatan maksimum dan kadar optimum yang dapat dilihat pada Tabel 5.23.

Tabel 5.23 Hasil Pengujian Pemadatan Tanah Sampel II

No	Data	Satuan	Hasil
1	Kepadatan maksimum (γ_{dmaks})	gr/cm ³	1,183
2	Kadar air optimum (w_{opt})	(%)	32,5

Selanjutnya, rekapitulasi hasil pengujian proktor standar dari kedua sampel dapat dilihat pada Tabel 5.24.

Tabel 5.24 Rekapitulasi Hasil Pengujian Pemadatan Tanah

No	Data	Satuan	Sampel I	Sampel II	Rata-Rata
1	Kepadatan maksimum (γ_{dmaks})	gr/cm ³	1,15	1,183	1,167
2	Kadar air optimum (w_{opt})	(%)	34	32,5	33,25

5.8 Pengujian California Bearing Ratio (CBR)

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai CBR yang berupa perbandingan antara beban penetrasi tanah asli ataupun tanah yang telah dicampur bahan tambah berupa Gypsum dan Pasir Vulkanik Merapi dengan kedalaman dan penetrasi yang sama. Pada pengujian ini, pembebanan dilakukan secara teratur sehingga kecepatan penetrasi mendekati 1,27 mm (0,005 inch). Pembacaan pembebanan dilakukan pada interval penetrasi 0,025 (0,64 mm), sehingga mencapai penetrasi 0,5 inch (12,4 mm). Selanjutnya dengan menggunakan grafik yang telah dibuat, harga CBR dihitung dengan cara membagi setiap beban dengan standar CBR pada penetrasi 0,1 inch dengan beban standar 70,31 kg/cm² (1000 psi), penetrasi 0,2 inch dengan beban standar 105,47 kg/cm² (1500 psi), dan hasil dari pembagian beban standar CBR dinyatakan dalam persen (%).

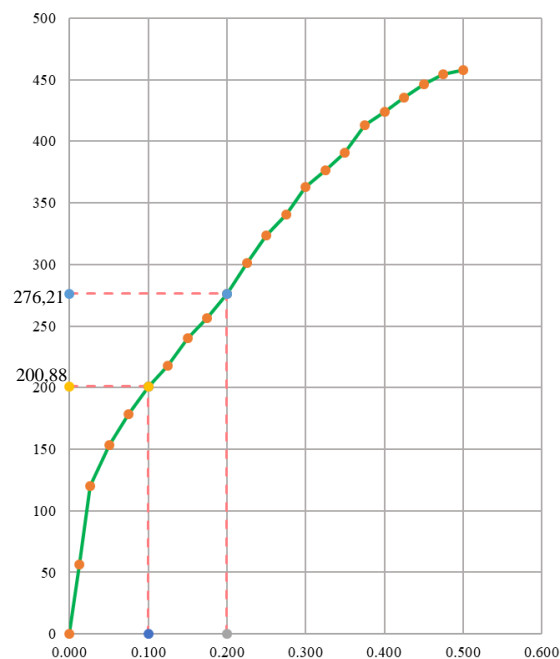
Jika ada koreksi Grafik, maka beban yang dipakai adalah hasil beban koreksi pada 2,54 mm (0,1 inch) dan 5,08 mm (0,2 inch). Bila nilai CBR pada penetrasi 0,1 inch lebih kecil dari penetrasi 0,2 inch maka percobaan pengujian harus diulang.

Apabila pada pengujian yang kedua masih lebih kecil daripada penetrasi 0,1 inch, maka nilai CBR yang digunakan adalah nilai terbesar.

Pengujian ini dibagi menjadi dua yaitu pengujian CBR tanpa rendaman (*Unsoaked*) dengan pemeraman 1 hari, 3 hari dan 7 hari serta pengujian CBR rendaman (*Soaked*) selama 4 hari. Sebelum sampel tanah dilakukan pengujian CBR terlebih dahulu dilakukan pemadatan seperti pengujian proktor standar, hanya berbeda tumbukan yaitu 56 kali per lapis sebanyak 3 lapis. Sedangkan untuk pengujian CBR rendaman (*Soaked*), setelah dilakukan pemadatan kemudian sampel terlebih dahulu diperam selama 3 hari kemudian direndam dalam air selama 4 hari untuk mengetahui nilai pengembangan (*swelling*) yaitu nilai perbandingan antara perubahan nilai tinggi terhadap tinggi semula dinyatakan dalam persen. Setelah direndam, sampel tanah dapat dilakukan pengujian CBR.

5.8.1 CBR Tanah Asli Tanpa Rendaman (*Unsoaked*)

Pengujian CBR tanah asli tanpa rendaman (*Unsoaked*) dilakukan sebanyak 2 sampel, adapun hasil pengujian pada sampel 1 dapat dilihat pada Gambar 5.9.



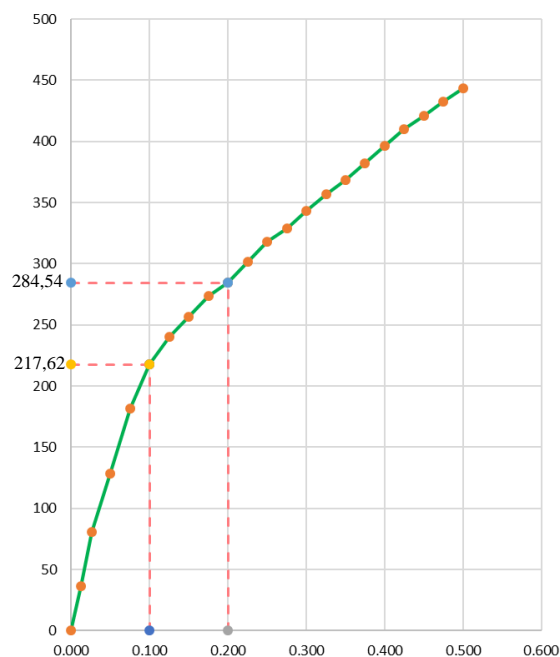
Gambar 5.9 Grafik Hasil Pengujian CBR Tanah Asli Tanpa Rendaman (*Unsoaked*) Sampel I

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

$$\begin{aligned} \text{CBR } 0,1'' &= \frac{200,88}{3 \times 1000} & \text{CBR } 0,2'' &= \frac{276,21}{3 \times 1500} \\ &= 6,696 \% & &= 6,138\% \end{aligned}$$

Maka dari perhitungan didapat nilai CBR 0,1 inch sebesar 6,696% dan nilai CBR 0,2 inch yaitu sebesar 6,138% maka nilai CBR diambil adalah pada penetrasi 0,1 inch atau nilai CBR yang terbesar yaitu 6,696%.

Adapun pada pengujian sampel 2 didapatkan hasil yang dapat dilihat pada Gambar 5.10.



Gambar 5.10 Grafik Hasil Pengujian CBR Tanah Asli Tanpa Rendaman (*Unsoaked*) Sampel II

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

$$\begin{aligned} \text{CBR } 0,1'' &= \frac{217,62}{3 \times 1000} & \text{CBR } 0,2'' &= \frac{284,54}{3 \times 1500} \\ &= 7,254\% & &= 6,324\% \end{aligned}$$

Dari perhitungan didapat nilai CBR 0,1 inch sebesar 7,254% dan nilai CBR 0,2 inch yaitu sebesar 6,324%, maka nilai CBR diambil adalah pada penetrasi 0,1 inch atau nilai CBR yang terbesar yaitu 7,254%. Selanjutnya, rekapitulasi hasil pengujian CBR tanah asli pada kondisi *Unsoaked* untuk kedua sampel dapat dilihat pada Tabel 5.25.

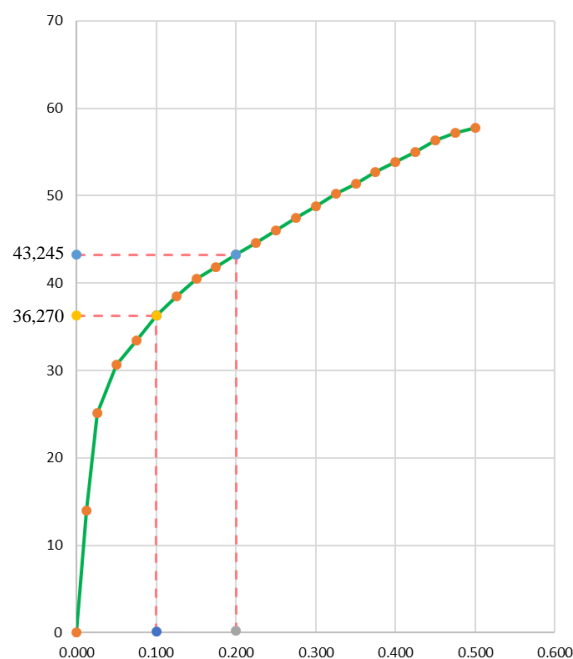
Tabel 5.25 Rekapitulasi Hasil Pengujian CBR Tanah Asli *Unsoaked*

No	Keterangan	Sampel I	Sampel II	Rata-Rata
1	CBR 0,1"	6,696%	7,254%	6,975%
2	CBR 0,2"	6,138%	6,324%	6,231%

Berdasarkan perhitungan tersebut, diperoleh nilai CBR rata-rata untuk tanah asli tanpa rendaman (*Unsoaked*) yaitu sebesar 6,975%.

5.8.2 CBR Tanah Asli Rendaman (*Soaked*)

Pengujian CBR tanah asli rendaman selama 4 hari (*Soaked*) dilakukan sebanyak 2 sampel, adapun hasil pengujian pada sampel 1 dapat dilihat pada Gambar 5.11.



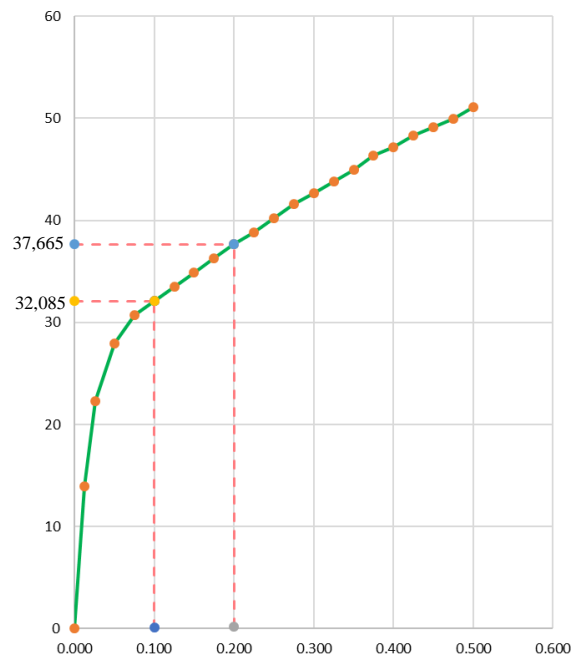
Gambar 5.11 Grafik Hasil Pengujian CBR Tanah Asli Rendaman 4 Hari (*Soaked*) Sampel I

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

$$\begin{aligned} \text{CBR } 0,1'' &= \frac{36,270}{3 \times 1000} & \text{CBR } 0,2'' &= \frac{43,245}{3 \times 1500} \\ &= 1,209 \% & &= 0,961 \% \end{aligned}$$

Maka dari perhitungan didapat nilai CBR 0,1 inch sebesar 1,209% dan nilai CBR 0,2 inch yaitu sebesar 0,961% maka nilai CBR diambil adalah pada penetrasi 0,1 inch atau nilai CBR yang terbesar yaitu 1,209%.

Adapun pada pengujian sampel 2 didapatkan hasil yang dapat dilihat pada Gambar 5.12.



Gambar 5.12 Grafik Hasil Pengujian CBR Tanah Asli Rendaman 4 Hari (Soaked) Sampel II

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

$$\begin{aligned} \text{CBR } 0,1'' &= \frac{32,085}{3 \times 1000} & \text{CBR } 0,2'' &= \frac{37,665}{3 \times 1500} \\ &= 1,070 \% & &= 0,837 \% \end{aligned}$$

Maka dari perhitungan didapat nilai CBR 0,1 inch sebesar 1,070% dan nilai CBR 0,2 inch yaitu sebesar 0,837% maka nilai CBR diambil adalah pada penetrasi 0,1 inch atau nilai CBR yang terbesar yaitu 1,070%. Selanjutnya, rekapitulasi hasil pengujian CBR tanah asli pada kondisi *Soaked* untuk kedua sampel dapat dilihat pada Tabel 5.26.

Tabel 5.26 Rekapitulasi Hasil Pengujian CBR Tanah Asli *Soaked*

No	Keterangan	Sampel I	Sampel II	Rata-Rata
1	CBR 0,1"	1,209%	1,070%	1,140%
2	CBR 0,2"	0,961%	0,837%	0,899%

Berdasarkan perhitungan tersebut, diperoleh nilai CBR rata-rata untuk tanah asli dengan rendaman selama 4 hari (*Soaked*) yaitu sebesar 1,140%. Perhitungan pengujian CBR tanah asli dengan campuran bahan tambah untuk kondisi tanpa rendaman (*Unsoaked*) dan rendaman (*Soaked*) dapat dilihat pada lampiran 10.

5.8.3 Rekapitulasi Hasil Pengujian CBR

Hasil rekapitulasi pengujian CBR tanpa rendaman (*Unsoaked*) dan CBR rendaman (*Soaked*) untuk tanah asli, tanah + Gypsum 4%, tanah + Pasir Merapi 10%, tanah + Gypsum 4% + Pasir Merapi 10%, tanah + Gypsum 4% + Pasir Merapi 15% dan tanah + Gypsum 4% + Pasir Merapi 20% dengan CBR pemeraman selama 1, 3 dan 7 hari serta untuk CBR rendaman selama 4 hari dapat dilihat pada Tabel 5.27 dan Tabel 5.28.

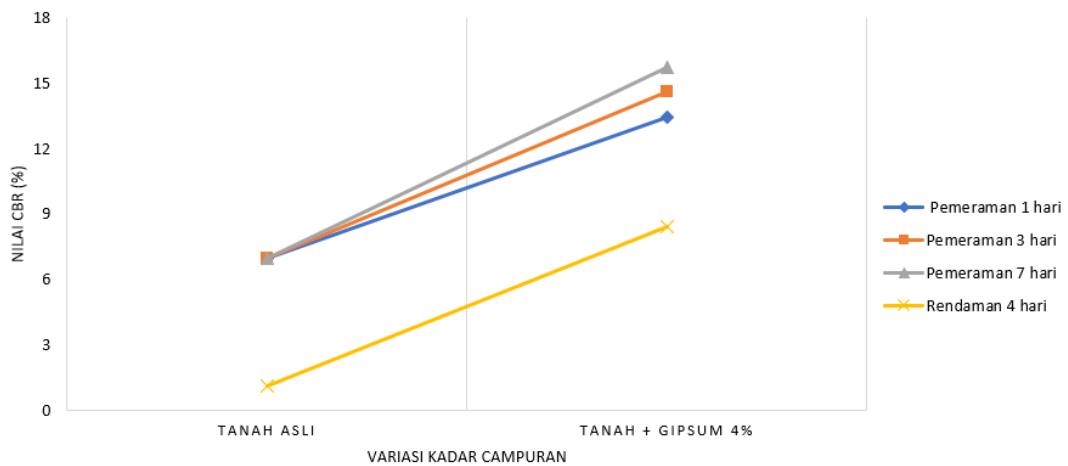
Tabel 5.27 Rekapitulasi Hasil Pengujian CBR Tanah Asli

Sampel Pengujian	Sampel	Tanpa Rendaman	Rendaman 4 hari	
Tanah Asli	I	6,696%	6,975%	1,209%
	II	7,254%		1,070%

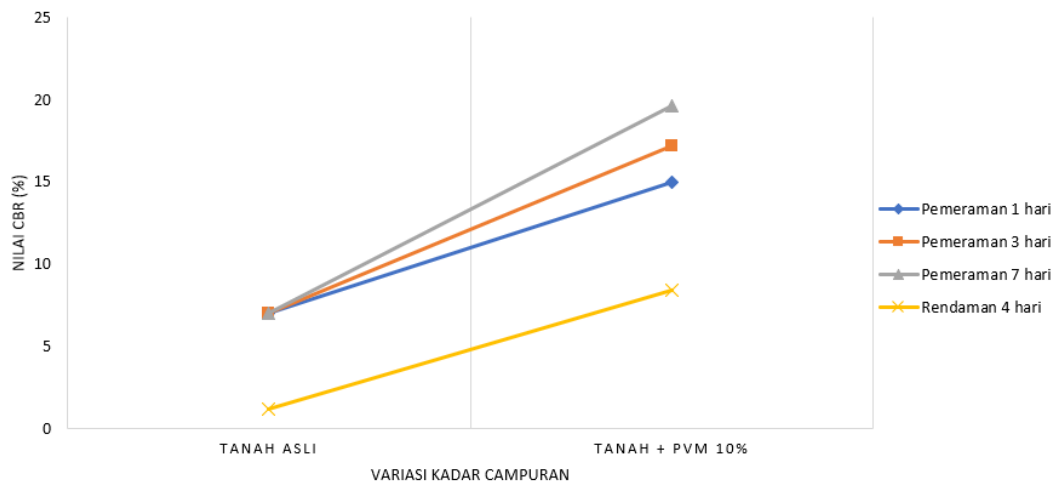
Tabel 5.28 Rekapitulasi Hasil Pengujian CBR Tanah dengan Campuran Bahan Tambah

Sampel Pengujian	Sampel	Pemeraman						Rendaman 4 Hari	
		1 Hari		3 Hari		7 Hari			
CBR Tanah + Gypsum 4%	I	13,206%	13,439%	14,973%	14,601%	16,019%	15,717%	8,556%	8,417%
	II	13,671%		14,229%		15,415%		8,277%	
CBR Tanah + Pasir Vulkanik Merapi 10%	I	15,066%	14,973%	17,019%	17,205%	19,902%	19,577%	8,928%	9,440%
	II	14,880%		17,391%		19,251%		9,951%	
CBR Tanah + Gypsum 4% + Pasir Vulkanik Merapi 10%	I	15,252%	15,624%	17,949%	18,135%	21,018%	21,158%	11,718%	11,393%
	II	15,996%		18,321%		21,297%		11,067%	
CBR Tanah + Gypsum 4% + Pasir Vulkanik Merapi 15%	I	18,414%	18,228%	20,801%	21,483%	23,436%	23,762%	13,020%	13,253%
	II	18,042%		22,165%		24,087%		13,485%	
CBR Tanah + Gypsum 4% + Pasir Vulkanik Merapi 20%	I	20,739%	20,553%	24,366%	24,738%	27,528%	27,342%	15,345%	14,973%
	II	20,367%		25,110%		27,156%		14,601%	

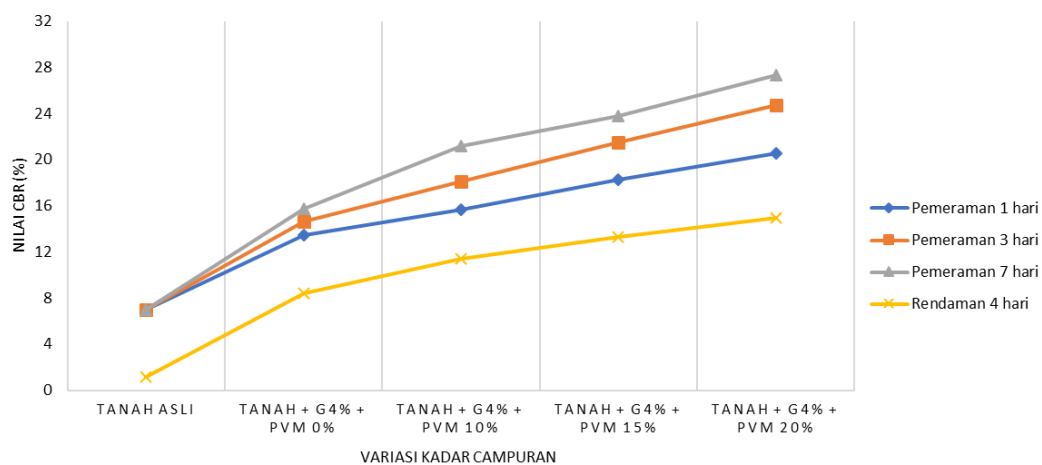
Berdasarkan hasil rekapitulasi pengujian CBR dapat dibuat grafik hubungan antara variasi sampel yang digunakan dengan persentase nilai CBR pada Gambar 5.13, Gambar 5.14 dan Gambar 5.15.



Gambar 5.13 Grafik Hasil Pengujian CBR Tanah Asli dan Tanah + Gypsum 4%



Gambar 5.14 Grafik Hasil Pengujian CBR Tanah Asli dan Tanah + Pasir Vulkanik Merapi 10%



Gambar 5.15 Grafik Hasil Pengujian CBR Tanah Asli dan Tanah + Gypsum + Pasir Vulkanik Merapi

Berdasarkan ketiga grafik diatas, dapat diketahui bahwa nilai CBR tertinggi dengan penambahan Pasir Vulkanik Merapi terjadi pada pemeraman 7 hari yaitu sebesar 19,577% dan nilai CBR tertinggi dengan penambahan Gypsum juga terjadi pada pemeraman 7 hari yaitu sebesar 15,717%. Sehingga dapat diketahui jika Pasir Vulkanik Merapi memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap kenaikan nilai CBR daripada Gypsum. Selain itu, semakin tinggi persentase Gypsum dan Pasir Vulkanik Merapi serta semakin lama pemeraman maka semakin tinggi pula nilai CBR yang diperoleh. Selain itu, hasil CBR rendaman juga semakin meningkat apabila persentase bahan tambah semakin tinggi. Artinya, Gypsum dan Pasir Vulkanik Merapi dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah untuk memperbaiki jenis tanah yang kurang stabil. Selanjutnya, untuk menentukan desain tebal perkerasan jalan dengan metode Bina Marga 2013 digunakan nilai CBR dalam kondisi terendam (cuaca hujan) dilapangan sehingga digunakan nilai CBR tanah campuran yang sudah distabilisasi dengan nilai terbesar, yaitu sebesar 14,973%.

5.9 Pengujian Pengembangan (*Swelling*)

Pengujian pengembangan bertujuan untuk mencari nilai perbandingan antara perubahan tinggi selama perendaman terhadap tinggi benda uji semula yang dinyatakan dalam persen. Pengujian dilakukan terhadap tanah asli maupun tanah

dengan campuran bahan tambah yang direndam selama 4 hari. Hasil pengujian pengembangan dapat dilihat pada Tabel 5.29 hingga Tabel 5.34.

Tabel 5.29 Hasil Pengembangan (*Swelling*) Pengujian CBR Pada Tanah Asli

Tanah Asli Sampel 1					
Keterangan	Hari 0	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4
Pembacaan Dial (mm)	0	2,385	3,01	4,555	5,385
Tinggi Sampel (cm)	12,65	12,65	12,65	12,65	12,65
<i>Swelling</i> (%)	0	1,885	2,379	3,601	4,257
Tanah Asli Sampel 2					
Keterangan	Hari 0	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4
Pembacaan Dial (mm)	0	2,68	3,514	4,51	5,85
Tinggi Sampel (cm)	12,73	12,73	12,73	12,73	12,73
<i>Swelling</i> (%)	0	2,105	2,760	3,543	4,595

Tabel 5.30 Hasil Pengembangan (*Swelling*) Pengujian CBR Pada Tanah + Gypsum 4%

Tanah + Gypsum 4% Sampel I					
Keterangan	Hari 0	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4
Pembacaan Dial (mm)	0	0,78	0,9	1,455	2,15
Tinggi Sampel (cm)	12,73	12,73	12,73	12,73	12,73
<i>Swelling</i> (%)	0	0,613	0,707	1,143	1,689
Tanah + Gypsum 4% Sampel II					
Keterangan	Hari 0	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4
Pembacaan Dial (mm)	0	0,535	0,82	1,285	1,96
Tinggi Sampel (cm)	12,65	12,65	12,65	12,65	12,65
<i>Swelling</i> (%)	0	0,423	0,648	1,016	1,549

Tabel 5.31 Hasil Pengembangan (*Swelling*) Pengujian CBR Pada Tanah + Pasir Merapi 10%

Tanah + Pasir Merapi 10% Sampel I					
Keterangan	Hari 0	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4
Pembacaan Dial (mm)	0	1,135	1,385	2,28	2,78
Tinggi Sampel (cm)	12,65	12,65	12,65	12,65	12,65
<i>Swelling</i> (%)	0	0,897	1,095	1,802	2,198
Tanah + Pasir Merapi 10% Sampel II					
Keterangan	Hari 0	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4
Pembacaan Dial (mm)	0	1,255	1,68	2,51	2,91
Tinggi Sampel (cm)	12,73	12,73	12,73	12,73	12,73
<i>Swelling</i> (%)	0	0,986	1,320	1,972	2,286

Tabel 5.32 Hasil Pengembangan (*Swelling*) Pengujian CBR Pada Tanah + Gypsum 4% + Pasir Merapi 10%

Tanah + Gypsum 4% + Pasir Merapi 10% Sampel I					
Keterangan	Hari 0	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4
Pembacaan Dial (mm)	0	0,63	0,785	1,28	1,86
Tinggi Sampel (cm)	12,65	12,65	12,65	12,65	12,65
<i>Swelling</i> (%)	0	0,498	0,621	1,012	1,470
Tanah + Gypsum 4% + Pasir Merapi 10% Sampel II					
Keterangan	Hari 0	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4
Pembacaan Dial (mm)	0	0,485	0,78	1,265	1,71
Tinggi Sampel (cm)	12,73	12,73	12,73	12,73	12,73
<i>Swelling</i> (%)	0	0,381	0,613	0,994	1,343

Tabel 5.33 Hasil Pengembangan (*Swelling*) Pengujian CBR Pada Tanah + Gypsum 4% + Pasir Merapi 15%

Tanah + Gypsum 4% + Pasir Merapi 15% Sampel I					
Keterangan	Hari 0	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4
Pembacaan Dial (mm)	0	0,435	0,685	0,82	1,01
Tinggi Sampel (cm)	12,57	12,57	12,57	12,57	12,57
<i>Swelling</i> (%)	0	0,346	0,545	0,652	0,804
Tanah + Gypsum 4% + Pasir Merapi 15% Sampel II					
Keterangan	Hari 0	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4
Pembacaan Dial (mm)	0	0,48	0,76	0,925	1,17
Tinggi Sampel (cm)	12,65	12,65	12,65	12,65	12,65
<i>Swelling</i> (%)	0	0,379	0,601	0,731	0,925

Tabel 5.34 Hasil Pengembangan (*Swelling*) Pengujian CBR Pada Tanah + Gypsum 4% + Pasir Merapi 20%

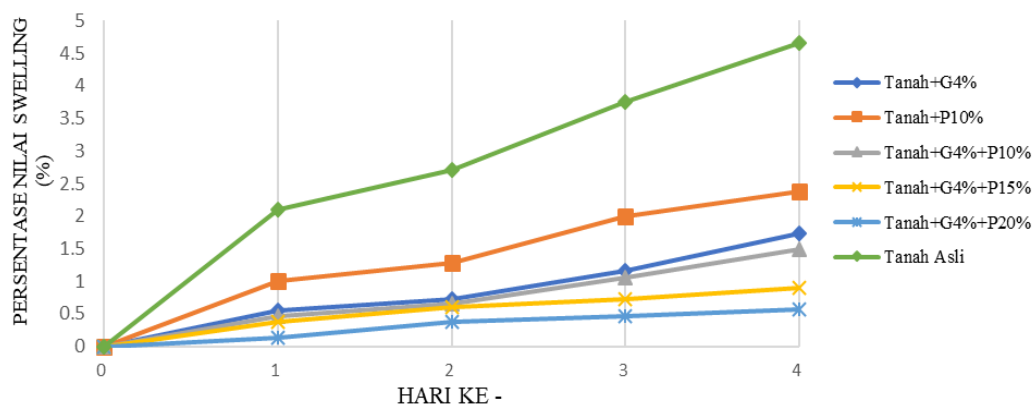
Tanah + Gypsum 4% + Pasir Merapi 20% Sampel I					
Keterangan	Hari 0	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4
Pembacaan Dial (mm)	0	0,2	0,435	0,58	0,645
Tinggi Sampel (cm)	12,57	12,57	12,57	12,57	12,57
<i>Swelling</i> (%)	0	0,159	0,346	0,461	0,513
Tanah + Gypsum 4% + Pasir Merapi 20% Sampel II					
Keterangan	Hari 0	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4
Pembacaan Dial (mm)	0	0,1	0,45	0,525	0,7
Tinggi Sampel (cm)	12,65	12,65	12,65	12,65	12,65
<i>Swelling</i> (%)	0	0,079	0,356	0,415	0,553

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, dapat dilihat rekapitulasi hasil pengujian pengembangan (*swelling*) pada tanah asli maupun tanah yang telah dicampur dengan bahan tambah pada Tabel 5.35.

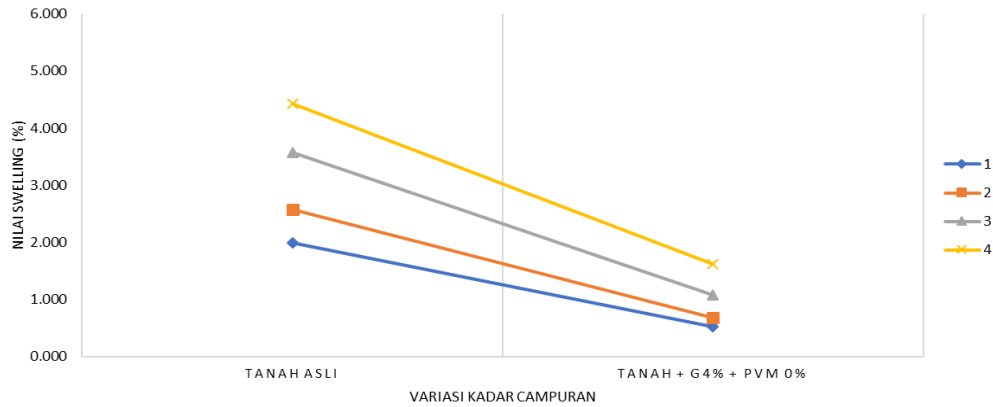
Tabel 5.35 Rekapitulasi Hasil Pengembangan (*Swelling*) dari Pengujian CBR Rendaman (*Soaked*)

Keterangan Nilai Pengembangan (%)	Hari Ke -				
	0	1	2	3	4
Tanah Asli	0	1,995	2,570	3,572	4,426
Tanah + Gypsum 4%	0	0,518	0,678	1,079	1,619
Tanah + Pasir Vulkanik Merapi 10%	0	0,942	1,207	1,887	2,242
Tanah + Gypsum 4% + PVM 10%	0	0,440	0,617	1,003	1,407
Tanah + Gypsum 4% + PVM 15%	0	0,363	0,573	0,692	0,864
Tanah + Gypsum 4% + PVM 20%	0	0,119	0,351	0,438	0,533

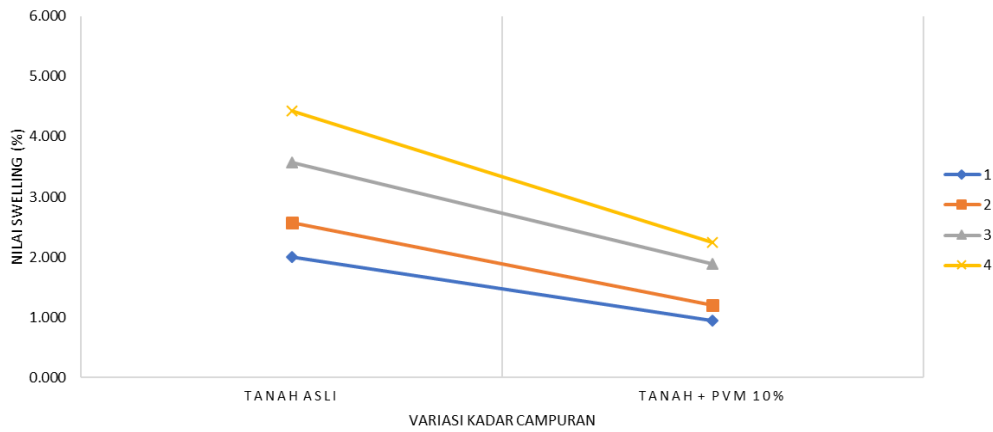
Selanjutnya, dari hasil rekapitulasi pengujian pengembangan (*swelling*) dapat dibuat grafik hubungan antara lamanya perendaman dengan nilai pengembangan (%) tanah asli ataupun tanah yang telah dicampur dengan bahan tambah pada Gambar 5.16 hingga Gambar 5.19.



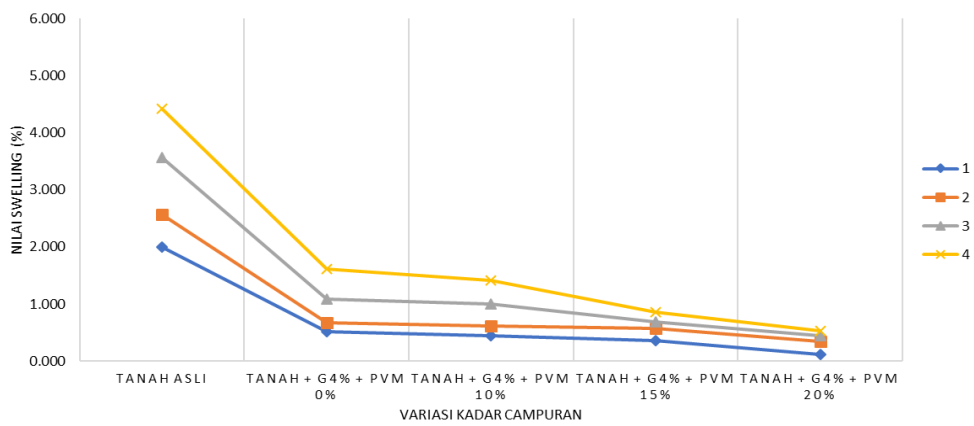
Gambar 5.16 Grafik Hasil Pengembangan Pada CBR Rendaman dengan Tinjauan Waktu Rendaman



Gambar 5.17 Grafik Hasil Pengembangan Pada CBR Rendaman dengan Tinjauan Tanah Asli dan Tanah + Gypsum



Gambar 5.18 Grafik Hasil Pengembangan Pada CBR Rendaman dengan Tinjauan Tanah Asli dan Tanah + Pasir Vulkanik Merapi



Gambar 5.19 Grafik Hasil Pengembangan Pada CBR Rendaman dengan Tinjauan Tanah Asli dan Tanah + Gypsum + Pasir Vulkanik Merapi

Berdasarkan grafik tersebut, dapat diketahui bahwa pada tanah asli nilai pengembangan mencapai angka tertinggi yaitu sebesar 4,426% dan nilai indeks plastisitas (PI) pada pengujian sebelumnya diperoleh nilai sebesar 34,188%. Sesuai Tabel 3.9, dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa sampel tanah Desa Gunungcondong, Kecamatan Bruno, Purworejo merupakan tanah lempung dengan pengembangan yang tinggi karena nilai indeks plastisitas sebesar 20% – 35%. Tetapi, setelah tanah ditambahkan bahan stabilisasi berupa Gypsum dan Pasir Vulkanik Merapi, nilai pengembangan mengalami penurunan dengan waktu rendaman 4 hari. Penurunan pengembangan pada tanah yang ditambahkan Gypsum pada hari keempat menjadi 1,619% dan penurunan pengembangan pada tanah yang ditambahkan Pasir Vulkanik menjadi 2,242%. Sehingga dapat diketahui jika Gypsum memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap penurunan nilai pengembangan daripada Pasir Vulkanik Merapi. Selain itu, penurunan yang terbesar terjadi pada persentase campuran Gypsum 4% + Pasir Vulkanik Merapi 20% menghasilkan nilai pengembangan 0,533% pada rendaman 4 hari. Artinya, Gypsum dan Pasir Merapi dapat menurunkan potensi pengembangan pada tanah lempung.

5.10 Desain Tebal Perkerasan Lentur Jalan dengan Metode Bina Marga 2013

Berdasarkan nilai CBR yang telah diperoleh, diambil CBR rendaman dengan nilai terbesar yaitu 14,973% untuk digunakan dalam perhitungan desain perkerasan jalan. Hal ini dikarenakan kondisi perkerasan jalan dilapangan yang biasanya terendam air maksimal selama 4 hari akibat hujan ataupun banjir. Selain itu, sesuai dengan Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2013 untuk mendesain perkerasan dapat ditentukan melalui 3 cara, salah satunya dari nilai CBR karakteristik dari CBR laboratorium rendaman selama 4 hari. Perhitungan desain tebal perkerasan lentur jalan adalah sebagai berikut ini.

1. Berdasarkan Tabel 3.10 umur rencana dipilih selama 20 tahun karena merupakan perkerasan lentur dengan elemen perkerasan berupa lapisan aspal dan lapisan berbutir.

2. Berdasarkan Tabel 3.11 nilai faktor pertumbuhan lalu lintas (i) sebesar 1% untuk 20 tahun kedepan karena merupakan jalan desa.
3. Berdasarkan Persamaan 3.15 diperoleh nilai faktor pengali pertumbuhan lalu lintas (R) sebesar 22,019.
4. Selanjutnya mencari nilai CESA4 dan CESA5 sesuai dengan Persamaan 3.17 dan Persamaan 3.18. Hasil perhitungan lalu lintas dapat dilihat pada Tabel 5.36.

Tabel 5.36 Rekapitulasi Perhitungan Lalu Lintas

Jenis Kendaraan	LHR	VDF 4	ESA4	CESA 4	CESA 5
Sepeda Motor	1.255	0	0	0	0
Sedan, Jeep	164	0	0	0	0
Mikrolet, Minibus	63	0	0	0	0
Bus Kecil	54	0,3	16,2	130.198,371	234.357,067
Truk 2 Sumbu Ringan	128	0,8	102,4	822.982,293	1.481.368,128
Truk 2 Sumbu Sedang	70	1,6	112	900.136,883	1.620.246,390
Truk 3 as	60	7,6	456	3.664.843,025	6.596.717,445
Jumlah (ESAL)				5.518.160,572	9.932.689,030

Berdasarkan perhitungan lalu lintas diatas, diperoleh nilai CESA4 dan CESA5 yang dapat digunakan untuk desain perkerasan sesuai dengan Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2013. Nilai CESA4 digunakan untuk bagan desain pelaburan tipis (Burda) dan perkerasan tanpa penutup. Sedangkan nilai CESA5 digunakan untuk bagan desain perkerasan lentur. Selanjutnya, sesuai dengan Tabel 3.12 nilai CBR tanah dasar (*subgrade*) yang digunakan dalam perhitungan sebesar 14,973% dan nilai ini dianggap telah mewakili perkiraan nilai CBR tanah dasar. Karena nilai CBR yang diperoleh >6%, maka desain pondasi jalan tidak perlu peningkatan atau perbaikan tanah dasar dan lapis penopang (*capping layer*). Sehingga dari nilai CESA5 sebesar 9.932.689,030 ESAL dapat ditentukan tebal lapis perkerasan yang akan digunakan sesuai Bagan Desain 3A Perkerasan Lentur Aspal dengan Lapis Pondasi Berbutir pada Tabel 5.37.

Tabel 5.37 Bagan Desain 3A: Desain Perkerasan Lentur – Aspal dengan Lapis Pondasi Berbutir

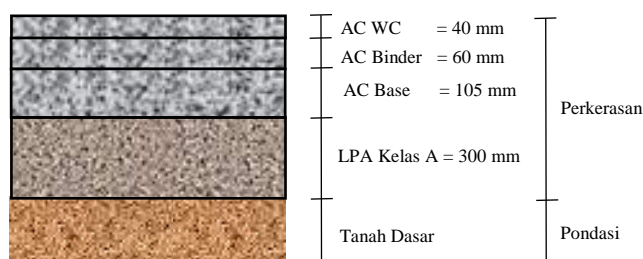
	STRUKTUR PERKERASAN								
	FF1	FF2	FF3	FF4	FF5	FF6	FF7	FF8	FF9
	Solusi yang dipilih				Lihat Catatan 3		Lihat Catatan 3		
Pengulangan beban sumbu desain 20 tahun di lajur rencana (pangkat 5) (10^6 CESA5)	1 - 2	2 - 4	4 - 7	7 - 10	10 - 20	20 - 30	30-50	50-100	100 - 200
	KETEBALAN LAPIS PERKERASAN (mm)								
AC WC	20	40	40	40	40	40	40	40	40
AC Binder	60	60	60	60	60	60	60	60	60
AC Base	0	70	80	105	145	160	180	210	245
LPA	400	300	300	300	300	300	300	300	300
Catatan	1	1	2	2	3	3	3	3	3

Catatan Bagan Desain 3A:

1. FF1 atau FF2 harus lebih diutamakan daripada solusi F1 dan F2 atau dalam situasi jika HRS berpotensi rutting
2. FF3 akan lebih efektif biaya relatif terhadap solusi F4 pada kondisi tertentu
3. CTB dan pilihan perkerasan kaku (Bagan Desain 3) dapat lebih efektif biaya tapi dapat menjadi tidak praktis jika sumber daya yang dibutuhkan tidak tersedia. Solusi dari FF5-FF9 dapat lebih praktis daripada solusi Bagan Desain 3 atau 4 untuk situasi konstruksi tertentu. Contoh jika perkerasan kaku atau CTB bisa menjadi tidak praktis : pelebaran perkerasan lentur eksisting atau diatas tanah yang berpotensi konsolidasi atau pergerakan tidak seragam (pada perkerasan kaku) atau jika sumber daya kontraktor tidak tersedia.
4. Faktor rehabilitas 80% digunakan untuk solusi ini.
5. Bagan Desain 3A digunakan jika HRS atau CTB sulit untuk diimplementasikan. Untuk desain perkerasan lentur, lebih diutamakan menggunakan Bagan Desain 3.

Sumber : Bina Marga (2013)

Berdasarkan tabel diatas struktur perkerasan termasuk dalam ketegori FF4. Setelah diperoleh tebal lapis perkerasan, dapat dibuat gambar potongan melintang lapis perkerasan jalan lentur yang dapat dilihat pada Gambar 5.20.



Gambar 5.20 Potongan Melintang Lapis Perkerasan Lentur