

BAB V

ANALISIS DATA

Dalam bab ini akan diuraikan hasil dari penelitian yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia. Penelitian yang akan diuraikan antara lain pengujian kadar air, pengujian berat volume, pengujian berat jenis, pengujian batas-batas *Atterberg*, pengujian proktor standar, pengujian analisis saringan, pengujian *CBR* dan *swelling*.

5.1 Pengujian Sifat Fisik, Mekanik dan Klasifikasi Tanah Asli

5.1.1 Pengujian Sifat Fisik Tanah Asli

1. Kadar Air, Berat Volume dan Berat Jenis

Pengujian kadar air sesuai dengan *ASTM D-2216-98*. Kadar air adalah perbandingan antara berat air pada suatu tanah dengan berat kering tanah tersebut yang dinyatakan dalam bentuk persen. Pengujian Berat Volume sesuai dengan *ASTM D-2049*. Berat volume tanah adalah perbandingan berat tanah tersebut termasuk air yang ada di dalamnya dengan volume tanah tersebut. Pengujian berat jenis tanah sesuai dengan *ASTM D 854-72*. Berat jenis adalah perbandingan berat tanah dengan air dengan volume yang sama pada temperatur tertentu. Temperatur yang ditentukan pada pengujian ini adalah 27,5° C. Pengujian menggunakan 2 sampel, dan hasil yang dipakai adalah hasil rata-rata kedua sampel tersebut. Hasil pengujian kadar air, berat volume dan berat jenis dapat dilihat pada Tabel 5.1 sebagai berikut.

Tabel 5.1 Pengujian Kadar Air, Berat Volume dan Berat Jenis

No	Jenis Pengujian	Hasil	Satuan
1	Pengujian Kadar Air	27,458	%
2	Pengujian Berat Volume	1,855	gr/cm ³
3	Pengujian Berat Jenis	2,489	

Dari hasil pengujian kadar air yang telah dilakukan didapatkan kadar air rata-rata dari dua benda uji adalah 27,458 %. Dari hasil pengujian berat volume yang telah dilakukan didapatkan volume rata-rata dari dua benda uji adalah 1,855 gr/cm³. Dari hasil pengujian berat jenis yang telah dilakukan didapatkan berat jenis rata-rata dari dua benda uji adalah 2,489 gr/cm³.

2. Pengujian Batas-Batas Konsistensi

Pengujian batas-batas konsistensi terdiri dari tiga pengujian, diantaranya pengujian batas cair, batas plastis dan batas susut. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui indeks plastisitas dari suatu tanah. Indeks plastisitas suatu tanah dapat menentukan jenis tanah dan kohesinya.

a. Pengujian Batas Cair

Pengujian batas cair sesuai dengan *ASTM D 423-66*. Batas cair adalah kadar air tanah pada saat kondisi peralihan tanah antara plastis dengan cair. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui batas cair tanah yang diuji. Pengujian batas cair dilakukan dua kali. Hasil pengujian batas cair dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3 berikut.

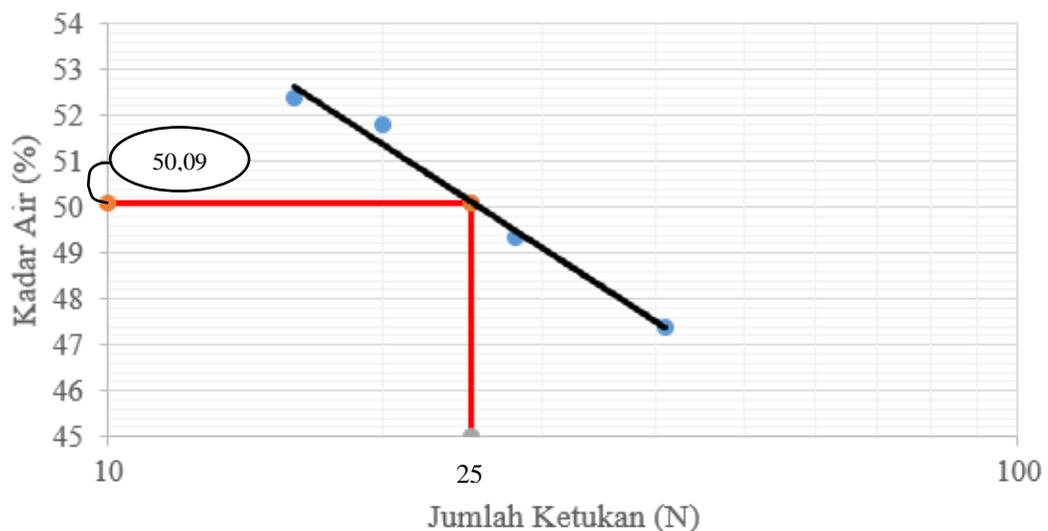
Tabel 5.2 Pengujian Batas Cair Sampel 1

Jumlah Ketukan	12-18		18-25		25-32		32-45		Satuan
No Pengujian	I		II		III		IV		
No Cawan	1	2	1	2	1	2	1	2	
Berat Cawan	6,31	6,32	9,01	8,9	8,76	6,52	9,04	9,33	gr
Berat Cawan + Tanah Basah	23,46	16,45	20,2	20,49	28,48	20,76	21,13	19	gr
Berat Cawan + Tanah Kering	16,24	12,21	15,58	15,73	20,65	15,13	16,41	15,2	gr
Berat Air (3)-(4)	7,22	4,24	4,62	4,76	7,83	5,63	4,72	3,8	gr
Berat Tanah Kering (4)-(2)	9,93	5,89	6,57	6,83	11,89	8,61	7,37	5,87	gr
Kadar Air = (5)/(6) x 100%	72,70 9	71,98 6	70,31 9	69,69 2	65,85 3	65,38 9	64,04 3	64,73 5	%
Kadar Air Rata-Rata	72,347		70,006		65,621		64,389		%
Jumlah Pukulan (N)	16		20		29		33		

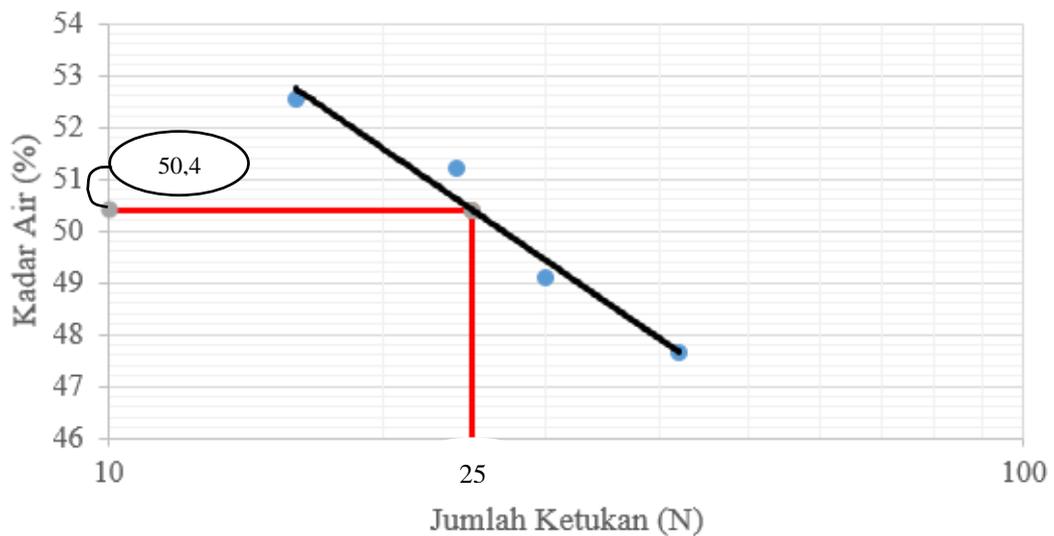
Tabel 5.3 Pengujian Batas Cair Sampel 2

Jumlah Ketukan	12-18		18-25		25-32		32-45		Satuan
No Pengujian	I		II		III		IV		
No Cawan	1	2	1	2	1	2	1	2	
Berat Cawan	6,67	6,52	8,99	9,1	9,04	8,92	9,05	8,75	gr
Berat Cawan + Tanah Basah	17,48	19,63	25,94	19,9	25,26	21,12	20,91	21,48	gr
Berat Cawan + Tanah Kering	13,02	14,18	18,95	15,46	18,8	16,3	16,3	16,65	gr
Berat Air (3)-(4)	4,46	5,45	6,99	4,44	6,46	4,82	4,61	4,83	gr
Berat Tanah Kering (4)-(2)	6,35	7,66	9,96	6,36	9,76	7,38	7,25	7,9	gr
Kadar Air = (5)/(6) x 100%	70,23 6	71,14 8	70,18 0	69,81 1	66,18 5	65,31 1	63,586 2	61,13 9	%
Kadar Air Rata-Rata	70,692		69,996		65,75		62,362		%
Jumlah Pukulan (N)	14		22		27		42		

Batas cair ditentukan pada saat jumlah pukulan 25. Penentuan kadar air pada jumlah ketukan 25 adalah dengan menggunakan grafik skala semi logaritmik. Grafik penentuan batas cair dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 berikut.

**Gambar 5.1 Grafik Batas Cair Sampel 1**

Nilai batas cair yang didapatkan pada ketukan ke 25 berdasarkan grafik di atas adalah 50,09 %.



Gambar 5.2 Grafik Batas Cair Sampel 2

Nilai batas cair yang didapatkan pada ketukan ke 25 berdasarkan grafik di atas adalah 50,4 %. Batas cair didapatkan dari merata rata dua batas cair di atas. Nilai batas cair yang didapatkan dari pengujian adalah 50,245 %.

b. Pengujian Batas Plastis

Pengujian batas plastis sesuai dengan *ASTM D 424-74*. Batas plastis adalah kadar air suatu tanah dalam keadaan peralihan dari semipadat ke plastis. Pengujian batas plastis dilakukan dua kali. Nilai batas plastis sampel 1 adalah 32,126 %. Nilai batas plastis sampel 2 yang didapatkan dari pengujian adalah 31,712 %. Nilai batas plastis hasil pengujian adalah rata-rata batas plastis pengujian 1 dan pengujian 2. Nilai batas plastis yang didapatkan adalah $\frac{32,126 + 31,712}{2} = 31,919\%$.

Indeks plastisitas adalah selisih antara batas cair dan batas plastis. Indeks plastisitas tanah yang diuji diuraikan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 IP &= LL - PL \\
 &= 50,245 - 31,919 \\
 &= 18,325 \%
 \end{aligned}$$

Indeks plastisitas 18,325% menunjukkan bahwa tanah tersebut adalah lempung berlanau, dengan plastisitas sedang dan bersifat kohesif.

c. Pengujian Batas Susut

Pengujian batas susut sesuai dengan *ASTM D 427-74*. Batas susut adalah kadar air suatu tanah dimana tanah tidak mengalami perubahan volume lagi. Hasil pengujian batas susut didapatkan dari merata-rata batas susut tanah sampel 1 dan sampel 2 sehingga didapatkan nilai batas susut rata-rata yaitu $\frac{20,13+19,462}{2} = 19,796 \%$.

Rekapitulasi hasil pengujian batas-batas konsistensi dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Rekapitulasi Pengujian Batas Konsistensi

No	Pengujian	Nilai (%)
1	Batas Cair	50,245
2	Batas Plastis	31,919
3	Batas Susut	19,796
4	Indeks Plastisitas	18,325

5. Pengujian Analisis Granuler

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan distribusi ukuran butir tanah yang diuji. Pengujian analisis granuler dibagi menjadi dua yaitu analisa saringan dan analisa hidrometer.

a. Pengujian Analisa Saringan

Pengujian analisa saringan bertujuan untuk menentukan persentase ukuran butiran tanah dari benda uji yang tertahan saringan nomor 200. Pengujian analisa saringan dilakukan dua kali.

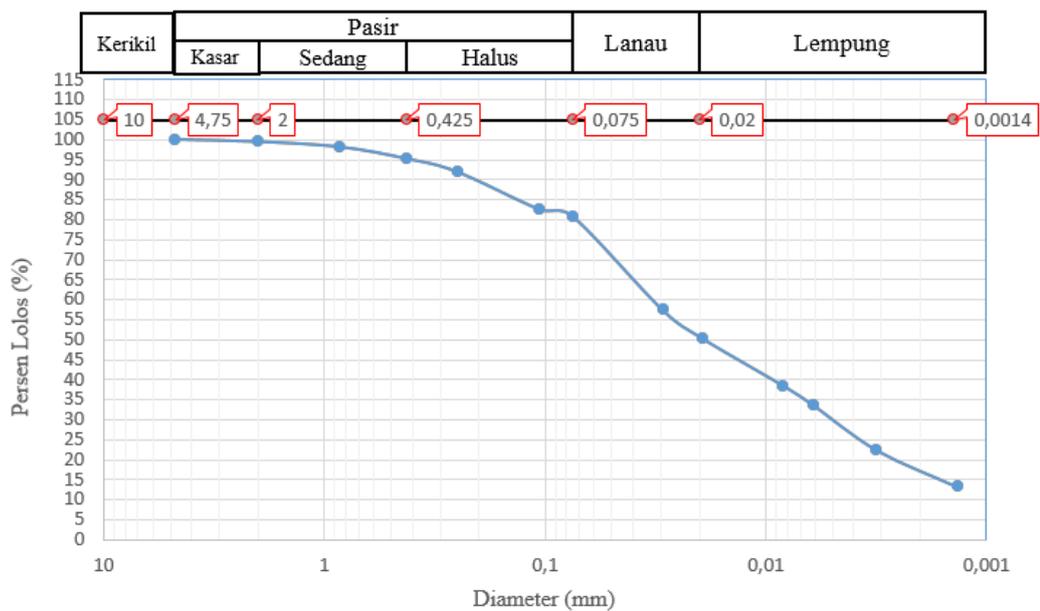
b. Pengujian Analisa Hidrometer

Pengujian analisa hidrometer bertujuan untuk menentukan distribusi ukuran butiran tanah yang lolos saringan 200. Pengujian analisa hidrometer dilakukan dua kali. Gabungan analisis saringan dan analisis hidrometer sampel 1 dan sampel 2 dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5.5 Gabungan Analisis Granuler

Analisis Granuler Sampel 1		Analisis Granuler Sampel 2		Analisis Granuler Gabungan	
Diameter	% Lolos	Diameter	% Lolos	Diameter	% Lolos
4,75	100	4,75	99,92476	4,75	99,9624
2	99,74049	2	99,10667	2	99,4236
0,85	98,41561	0,85	97,8219	0,85	98,1188
0,425	95,06732	0,425	95,34381	0,425	95,2056
0,25	91,34732	0,25	92,45143	0,25	91,8994
0,106	81,46049	0,106	83,59619	0,106	82,5283
0,075	79,70146	0,075	81,92857	0,075	80,815
0,02946	53,79012	0,02901	60,96428	0,02923	57,3772
0,01973	46,89395	0,01909	53,87541	0,01941	50,3847
0,00837	35,86008	0,0082	41,11544	0,00829	38,4878
0,00609	30,34314	0,00602	36,86212	0,00606	33,6026
0,00317	19,30927	0,0031	25,51993	0,00313	22,4146
0,00136	11,03387	0,00134	15,59551	0,00135	13,3147

Berdasarkan gabungan analisis saringan dan analisis hidrometer sampel 1 dan sampel 2 didapatkan gambar *grain size analysis* yang dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut.

**Gambar 5.3 Grafik *Grain Size Analysis* Gabungan**

Berdasarkan dari grafik di atas dapat diketahui persentase ukuran butiran pada tanah asli dan karakteristik pada tanah tersebut. Persentase ukuran butiran dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Persentase Ukuran Butiran Tanah Asli

% Lolos #200 (%)	80,815	D10=	0 mm
Kerikil (%)	0,03762	D30=	0,00503 mm
Pasir (%)	19,1474	D60=	0,03339 mm
Lanau (%)	30,0102	Cu=	0
Lempung (%)	50,8048	Cc=	0

6. Klasifikasi Tanah

Berdasarkan data hasil pengujian analisis ukuran butiran dan batas-batas konsistensi, tanah dapat diklasifikasikan menggunakan sistem klasifikasi *Unified Soil Classification System* dan sistem klasifikasi *American Association of State Highway and Transportation Officials*.

a. USCS

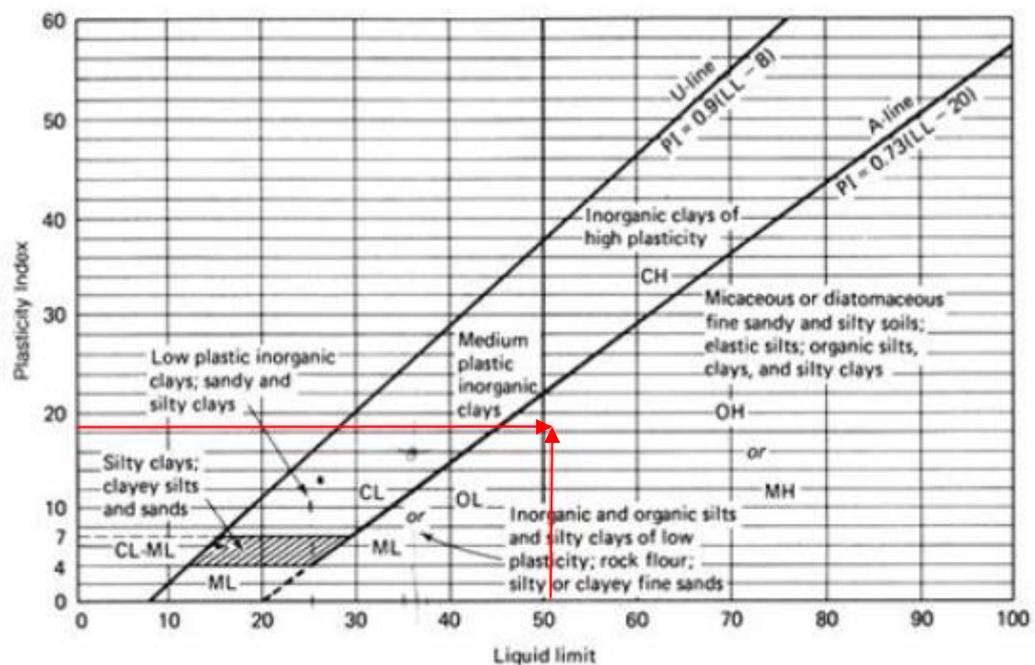
Pengklasifikasian sistem klasifikasi *USCS* berdasarkan persen lolos saringan nomor 200, indeks plastisitas dan batas cair. Uraian klasifikasi tanah menggunakan sistem klasifikasi *USCS* sebagai berikut.

- 1) Persen lolos saringan nomor 200 sebesar 80,815 % sehingga tanah digolongkan tanah berbutir halus karena 50% atau lebih tanah lolos ayakan nomor 200.
- 2) Nilai batas cair tanah sebesar 50,245 % sehingga tanah dikelompokkan dalam lanau dan lempung karena nilai batas cair lebih dari 50%.
- 3) Indeks plastisitas tanah sebesar 18,325 %. Berdasarkan nilai batas cair dan indeks plastisitas tanah, maka tanah digolongkan dalam *OH*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.4 dan Gambar 5.5.

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis
Tanah berbutir kasar 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075mm)	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 (" <i>lean clays</i> ")
		OL	Lanau organik dan berlempung berlanau organik dengan plastisitas rendah
	Lanau dan lempung batas cair > 50%	MH	lanau tak organik atau pasir halus diatome, lanau elastis
		CH	lanau tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk (" <i>fat clays</i> ")
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi
Tanah dengan kadar organik tinggi		Pt	Gambut (" <i>peat</i> ") dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi

Gambar 5.4 Sistem Klasifikasi USCS

(Sumber : Hardiyatmo,2002)



Gambar 5.5 Sistem Klasifikasi USCS

(Sumber : Hardiyatmo,2002)

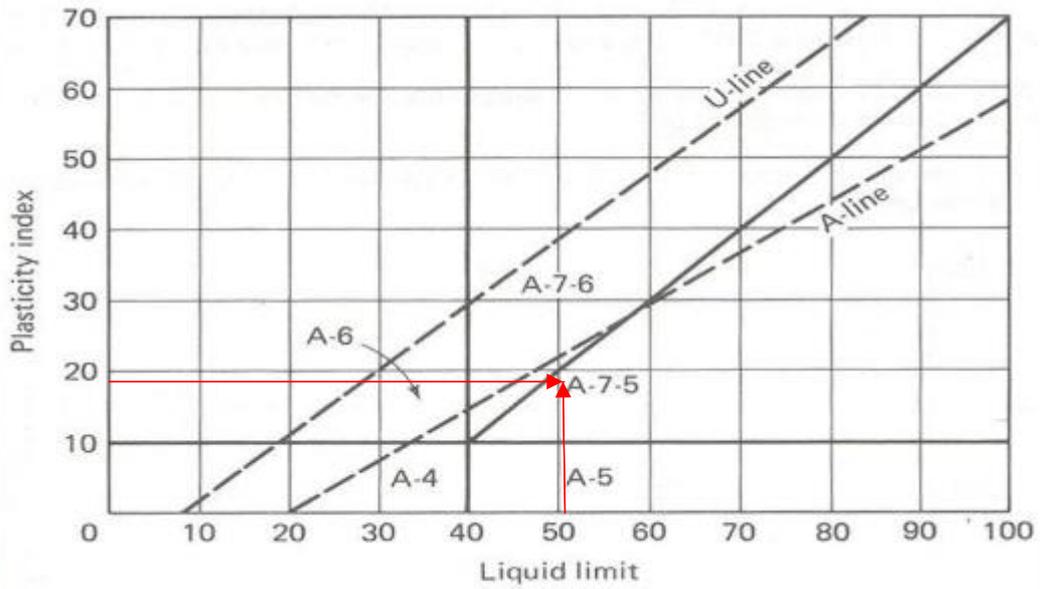
b. *AASHTO*

Pengklasifikasian sistem klasifikasi *AASHTO* berdasarkan persen lolos saringan nomor 200, indeks plastisitas dan batas cair. Uraian klasifikasi tanah menggunakan sistem klasifikasi *AASHTO* sebagai berikut.

- 1) Persen lolos saringan nomor 200 sebesar 80,815 % sehingga tanah digolongkan tanah lanau-lempung karena persen lolos saringan nomor 200 lebih dari 35%. Dengan demikian tanah masuk dalam klasifikasi A4, A5, A6 dan A7.
- 2) Nilai batas cair tanah sebesar 50,245 % sehingga tanah dikelompokkan kedalam A5 dan A7 karena nilai batas cair minimal 41%.
- 3) Indeks plastisitas tanah sebesar 18,325 % sehingga tanah dikelompokkan kedalam A7 karena nilai indeks plastisitas minimal 11%.
- 4) Indeks kelompok (GI) = $(F-35)[0,2+0,005(LL-40)]+0,01(F-15)(PI-10)$
 $(GI) = (80,815-35)[0,2+0,005(50,245-40)]+0,01(80,815-15)(18,325-10)$
 $GI = 16,989$ dibulatkan $GI = 17$.
 Nilai $GI = 17$ dikelompokkan kedalam A7 karena maksimal nilai $GI = 20$.
- 5) Nilai batas plastis sebesar 31,919% maka dikelompokkan kedalam A-7-5 karena nilai batas plastis lebih dari 30%. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 5.6 dan Gambar 5.7 berikut.

Klasifikasi umum	Material granuler ($\leq 35\%$ lolos saringan No.200)						Tanah-tanah lanau-lempung ($\leq 35\%$ lolos saringan No. 200)				
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7	
Klasifikasi kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6				A-2-7	A-7-5/A-7-6
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	
Sifat fraksi lolos saringan no. 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	0			4 maks	8 maks	12 maks	16 maks	20 maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir			Tanah berlanau		Tanah berlempung		
Pemilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik						Sedang sampai buruk				

Gambar 5.6 Sistem Klasifikasi AASHTO
(Sumber : Hardiyatmo,2002)

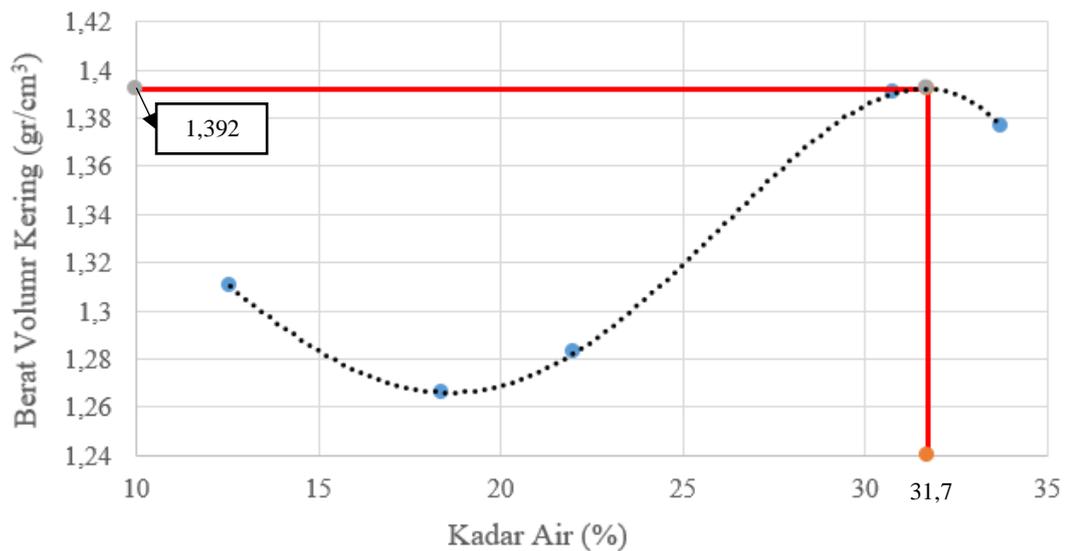


Gambar 5.7 Sistem Klasifikasi AASHTO
(Sumber : Hardiyatmo,2002)

5.1.2 Pengujian Sifat Mekanik Tanah Asli

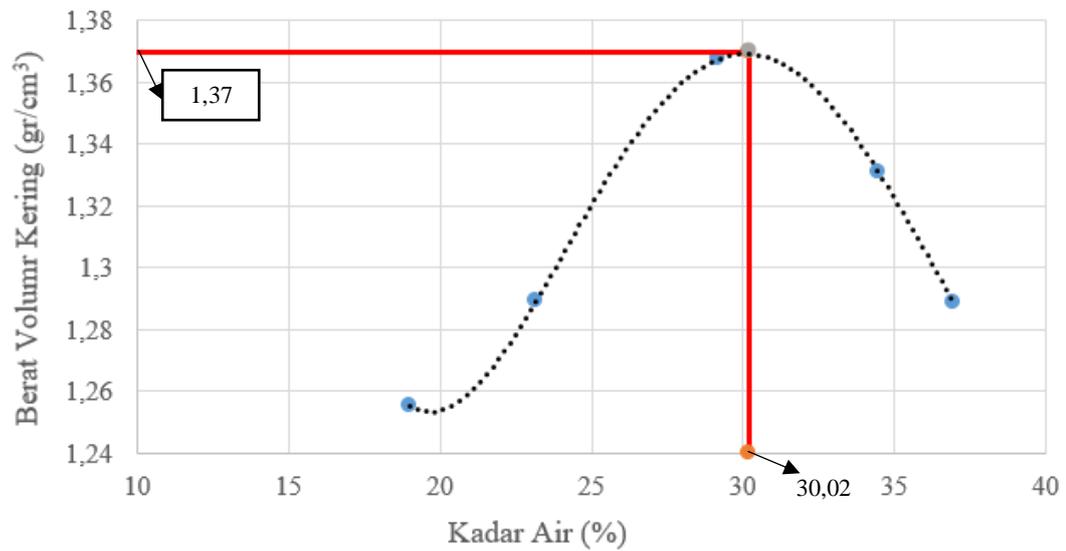
1. Pengujian Proktor Standar

Pengujian proktor standar dimaksudkan untuk mencari nilai kepadatan maksimum dan kadar air optimum tanah. Pengujian ini terdiri dari dua sampel. Berdasarkan nilai kadar air dan berat volume kering, maka dapat digambarkan grafik hubungan antara berat volume kering dan kadar air untuk mendapatkan nilai berat volume maksimum dan kadar air optimum. Gambar grafik hubungan antara berat volume kering dan kadar air sampel 1 dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut.



Gambar 5.8 Grafik Proktor Standar Sampel 1

Berdasarkan gambar grafik di atas, kepadatan maksimum tanah sampel 1 adalah $1,392 \text{ gr/cm}^3$ dan kadar air optimum adalah 31,7%. Gambar grafik hubungan antara berat volume kering dan kadar air sampel 2 dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut.

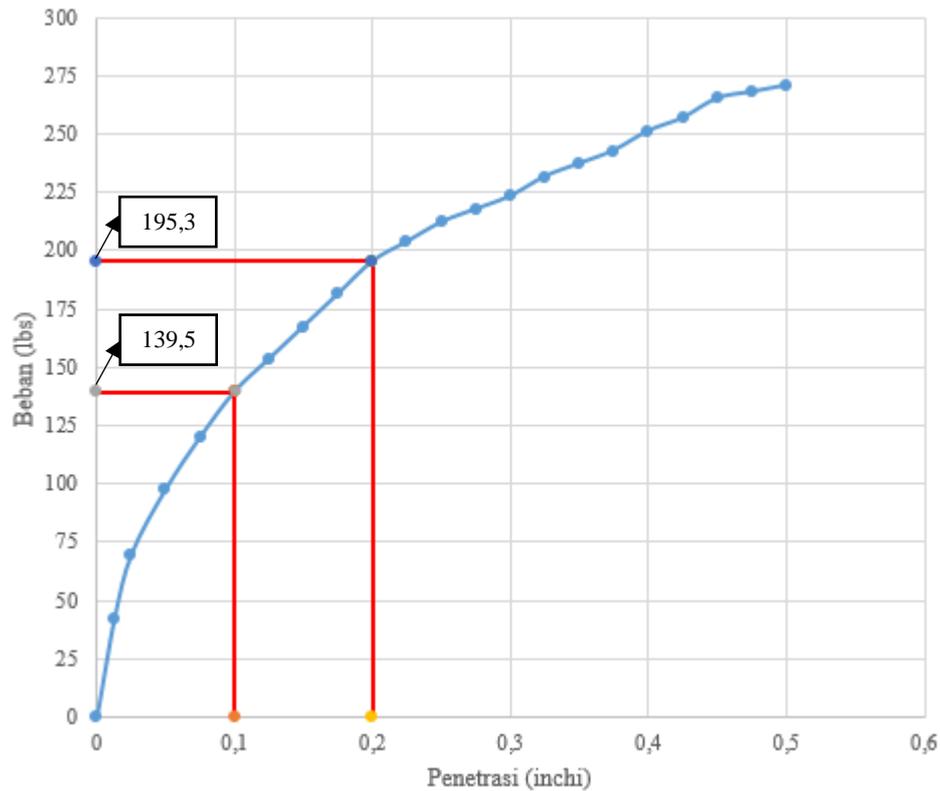


Gambar 5.9 Grafik Proktor Standar Sampel 2

Berdasarkan gambar grafik di atas, kepadatan maksimum tanah sampel 2 adalah $1,37 \text{ gr/cm}^3$ dan kadar air optimum adalah $30,2\%$. Nilai kepadatan maksimum rerata adalah $1,381 \text{ gr/cm}^3$ dan kadar air optimum adalah $30,95\%$.

2. Pengujian CBR

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai *CBR* tanah asli. Pengujian *CBR* tanah asli dilakukan menggunakan dua sampel. Hasil pengujian *CBR* langsung tanah asli sampel 1 dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut.

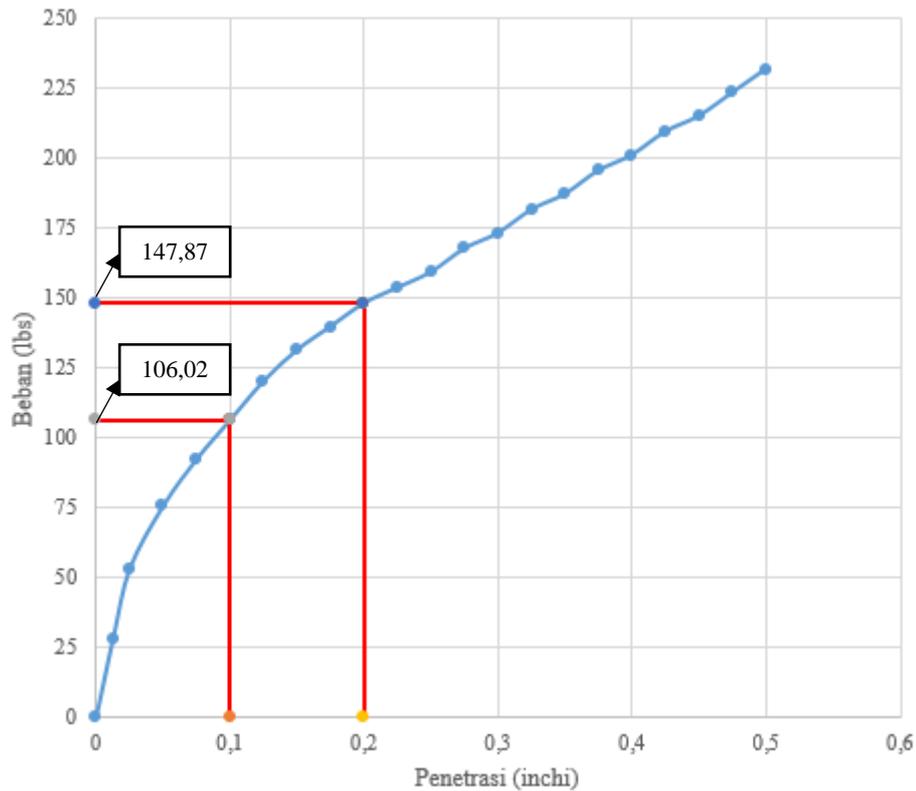


Gambar 5.10 Grafik *CBR* Langsung Tanah Asli Sampel 1

Berdasarkan grafik di atas dapat dihitung nilai *CBR* pada penetrasi 0,1” dan penetrasi 0,2” sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 CBR\ 0,1'' &= \frac{139,5}{3 \times 1000} & CBR\ 0,2'' &= \frac{195,3}{3 \times 1500} \\
 &= 4,65\ \% & &= 4,34\ \%
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas diperoleh nilai *CBR* 0,1” sebesar 4,65 % dan nilai *CBR* 0,2” sebesar 4,34 %. Nilai yang dipakai adalah *CBR* 0,1” yaitu 4,65 %. Hasil pengujian *CBR* langsung tanah asli sampel 2 dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut.



Gambar 5.11 Grafik CBR Langsung Tanah Asli Sampel 2

Berdasarkan grafik di atas dapat dihitung nilai *CBR* pada penetrasi 0,1” dan penetrasi 0,2” sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 CBR_{0,1''} &= \frac{106,02}{3 \times 1000} & CBR_{0,2''} &= \frac{147,87}{3 \times 1500} \\
 &= 3,53 \% & &= 3,286 \%
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas diperoleh nilai *CBR* 0,1” sebesar 3,53 % dan nilai *CBR* 0,2” sebesar 3,286 %. Nilai yang dipakai adalah *CBR* 0,1” yaitu 4,65 %. Nilai *CBR* langsung rerata untuk tanah asli adalah 4,092%. Hasil perhitungan *CBR* langsung dan *CBR* rendaman tanah asli dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.7 Rekapitulasi CBR Tanah Asli

Sampel Pengujian <i>CBR</i>	Nomor Sampel	<i>CBR</i> Langsung		<i>CBR</i> Rendaman 4 hari		Spesifikasi
Tanah Asli	1	4,65	4,09	3,26	3,30	<i>Poor to fair</i>
	2	3,53		3,35		

Berdasarkan tabel di atas nilai *CBR* langsung tanah asli adalah 4,09% dan nilai *CBR* rendaman adalah 3,3%. Nilai *CBR* digolongkan *poor to fair* karena nilai *CBR* diantara 3-7%. Berdasarkan spesifikasi pekerjaan tanah yang dikeluarkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat pada tahun 2016 menyatakan bahwa nilai *CBR* minimum tanah untuk dijadikan tanah dasar (*subgrade*) suatu perkerasan adalah 6%. Hasil nilai *CBR* yang kurang dari 6% menunjukkan bahwa tanah tidak layak untuk dijadikan tanah dasar untuk perkerasan jalan.

3. Pengujian *Swelling*

Pengujian ini untuk mencari nilai pengembangan tanah. Hasil pengujian *swelling* tanah asli dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut dan Tabel 5.9.

Tabel 5.8 Rekapitulasi *Swelling* Tanah Asli Sampel 1

UJI PENGEMBANGAN	Waktu Perendaman (Hari)				
	0	1	2	3	4
Pembacaan Dial, Δh (mm)	0	0,52	1,08	1,6	1,92
Tinggi Sampel, L_0 (cm)	11,91	11,91	11,91	11,91	11,91
Pengembangan (%)	0	0,437	0,907	1,343	1,612

Tabel 5.9 Rekapitulasi *Swelling* Tanah Asli Sampel 2

UJI PENGEMBANGAN	Waktu Perendaman (Hari)				
	0	1	2	3	4
Pembacaan Dial, Δh (mm)	0	0,49	1,14	1,75	2,13
Tinggi Sampel, L_0 (cm)	12,07	12,07	12,07	12,07	12,07
Pengembangan (%)	0	0,405	0,944	1,449	1,764

Berdasarkan tabel di atas didapatkan nilai *swelling* rerata tanah asli sebesar 1,688%. Berdasarkan derajat pengembangannya tanah ini digolongkan sedang (*medium*) karena nilai *swelling* diantara 1,5-5%.

5.2 Pengaruh Penambahan Kapur Terhadap Nilai *CBR Soaked* dan *CBR Unsoaked*

Pengujian *CBR Unsoaked* menggunakan pemeraman 2 dan 4 hari. Pengujian *CBR soaked* menggunakan rendaman selama 4 hari setelah masa waktu pemeraman. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian tanah asli dengan 6% kapur (K). Hasil pengujian *CBR unsoaked* dan *CBR soaked* tanah asli ditambah kapur 6% dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut.

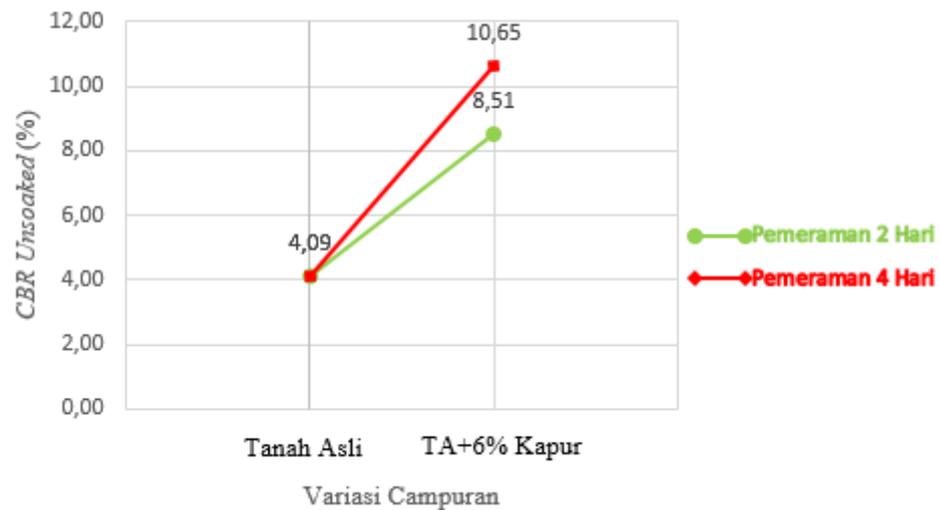
Tabel 5.10 *CBR Unsoaked* dan *CBR Soaked* Tanah+Kapur

Sampel Pengujian <i>CBR</i>	Nomor Sampel	<i>CBR Unsoaked</i> Pemeraman 2 Hari		<i>CBR Unsoaked</i> Pemeraman 4 Hari		Spesifikasi
Tanah Asli + Kapur 6%	1	8,65	8,510	10,23	10,65	<i>Fair</i>
	2	8,65		11,07		
Sampel Pengujian <i>CBR</i>	Nomor Sampel	<i>CBR Soaked</i> Pemeraman 2 Hari		<i>CBR Soaked</i> Pemeraman 4 Hari		Spesifikasi
Tanah Asli + Kapur 6%	1	4,19	3,770	5,95	5,72	<i>Poor to fair</i>
	2	3,35		5,49		

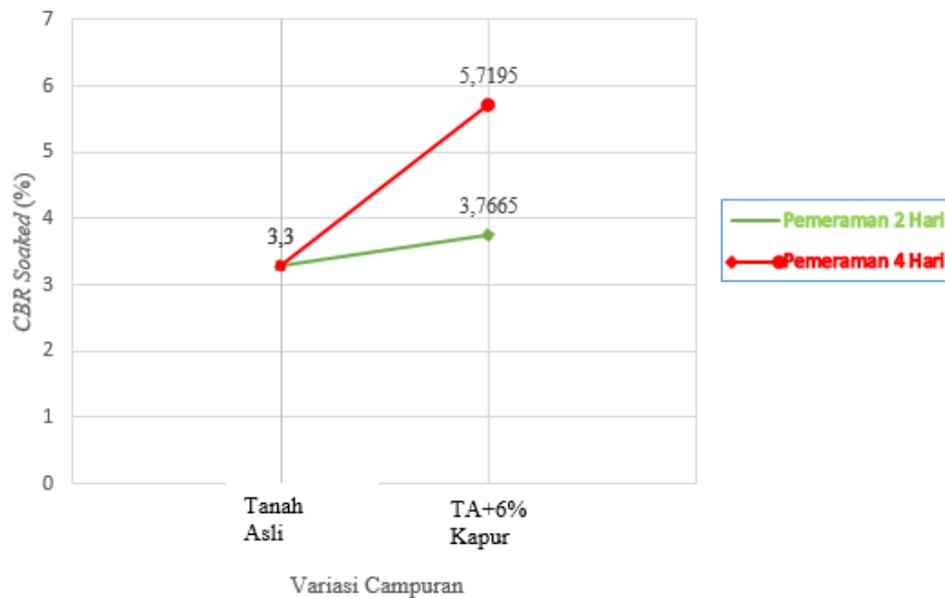
Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui penambahan 6% kapur dapat meningkatkan nilai *CBR* tanah asli. Pada pemeraman 2 hari nilai *CBR unsoaked* yang didapat adalah 8,51% dan pada pemeraman 4 hari nilai *CBR unsoaked* yang didapatkan adalah 10,65%. Pada pemeraman 2 hari nilai *CBR soaked* yang didapat adalah 3,77% dan pada pemeraman 4 hari nilai *CBR soaked* yang didapatkan adalah 5,72%. Penambahan kapur dapat meningkatkan persentase nilai *CBR unsoaked* pemeraman 2 hari sebesar 107,95% dan pada pemeraman 4 hari sebesar 160,23%. Penambahan kapur dapat meningkatkan persentase nilai *CBR soaked* pemeraman 2 hari sebesar 14,24% dan pada pemeraman 4 hari sebesar 73,33%.

Penelitian yang dilakukan oleh Wiqoyah pada tahun 2006 bahwa penambahan kapur 7,5% dapat meningkatkan nilai *CBR unsoaked* sebesar 297,73% dan *CBR soaked* sebesar 158,36%. Penelitian yang dilakukan oleh Ranggaesa pada tahun 2017 bahwa penambahan 8% kapur dapat meningkatkan persentase nilai *CBR unsoaked* sebesar 52,57%.

Grafik pengaruh penambahan kapur terhadap lama waktu pemeraman dapat dilihat pada Gambar 5.12 dan Gambar 5.13 berikut.



Gambar 5.12 Grafik CBR Unsoaked Tanah + Kapur 6%



Gambar 5.13 Grafik CBR Soaked Tanah + Kapur 6%

Penambahan kapur dapat meningkatkan CBR tanah asli. Peningkatan nilai CBR berbanding lurus dengan lamanya waktu pemeraman. Penambahan kapur dapat meningkatkan tanah dari *poor to fair* menjadi *fair* berdasarkan nilai CBR. Hal ini membuktikan bahwa kapur dapat dijadikan bahan stabilisasi tanah lempung.

Berdasarkan spesifikasi pekerjaan tanah yang dikeluarkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat pada tahun 2016 menyatakan bahwa nilai *CBR* minimum tanah untuk dijadikan tanah dasar (*subgrade*) suatu perkerasan adalah 6%. Penambahan kapur meningkatkan nilai *CBR* tanah menjadi lebih dari 6% sehingga tanah dapat dijadikan sebagai tanah dasar (*subgrade*) suatu perkerasan jalan.

Kapur cocok digunakan untuk bahan stabilisasi tanah lempung. Kapur apabila dicampur dengan tanah lempung dan air akan menyebabkan penggumpalan yang menyebabkan tekstur tanah berubah. Perubahannya antara lain yaitu partikel lempung menggumpal secara bersama sehingga terbentuklah partikel tanah yang berukuran lebih besar. Selain itu, reaksi yang disebabkan oleh pencampuran kapur, air dan tanah lempung adalah reaksi pozolanik, hasilnya yaitu peningkatan kekuatan pada campuran yang bergantung waktu dan temperatur.

Peningkatan nilai *CBR* yang besar dengan waktu yang singkat dapat disebabkan oleh reaksi cepat pertukaran kation, penggumpulan dan penggumpalan. Nilai *CBR* dapat terus bertambah seiring dengan bertambahnya waktu karena terjadi reaksi pozolanik.

5.3 Pengaruh Penambahan Variasi Abu Ampas Tebu Dan Kapur Terhadap Nilai *CBR Unsoaked* Dan *CBR Soaked*

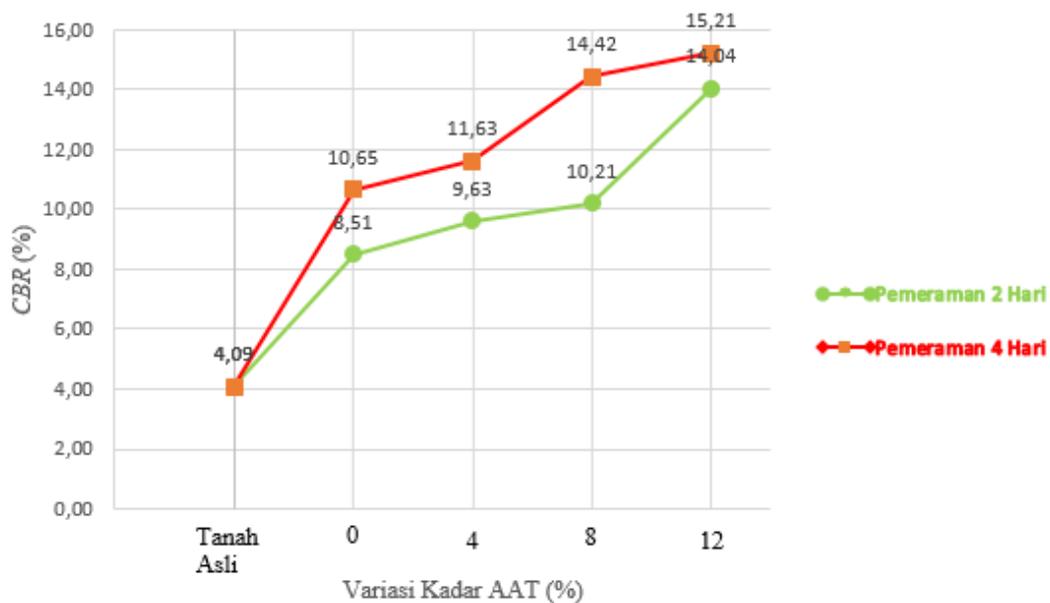
5.3.1 *CBR Unsoaked*

Hasil pengujian *CBR unsoaked* dan *CBR Soaked* tanah asli (TA), tanah asli + 6% kapur (AAT 0%), tanah asli + 6% kapur + 4% abu ampas tebu (4% AAT), tanah asli + 6% kapur + 8% abu ampas tebu (8% AAT), dan tanah asli + 6% kapur + 12% abu ampas tebu (12% AAT) dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut.

Tabel 5.11 Rekapitulasi Nilai *CBR Unsoaked*

Sampel	Nilai <i>CBR Unsoaked</i> (%)			Spesifikasi
	Waktu Pemeraman (Hari)			
	Langsung	2	4	
Tanah Asli	4,09			<i>Poor to fair</i>
AAT 0%		8,51	10,65	<i>Fair</i>
AAT 4%		9,63	11,63	<i>Fair</i>
AAT 8%		10,21	14,42	<i>Fair</i>
AAT 12%		14,04	15,21	<i>Fair</i>

Berdasarkan tabel di atas dapat dibuat grafik pengaruh penambahan abu ampas tebu terhadap nilai *CBR unsoaked* dengan variasi lama waktu pemeraman, grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut.

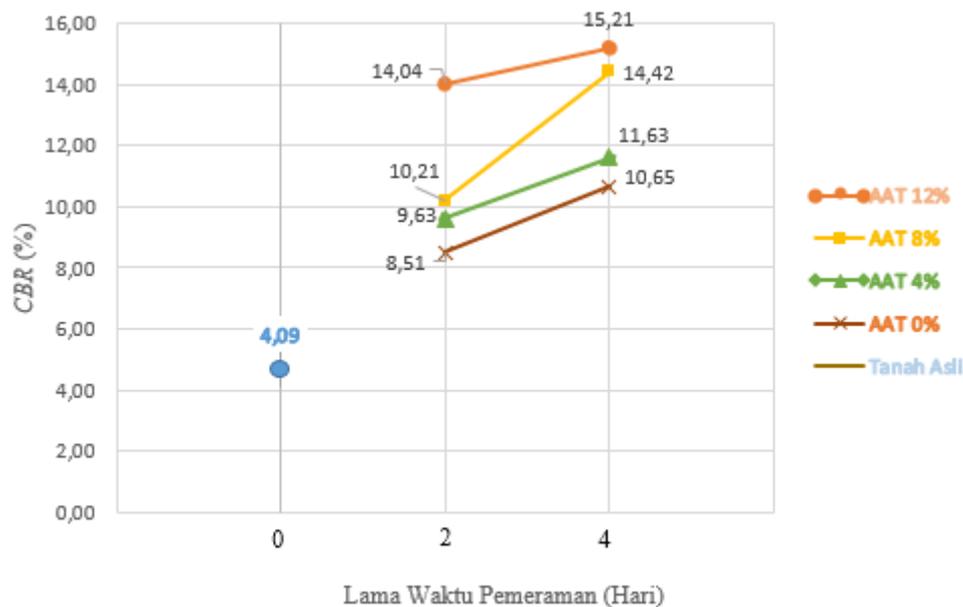


Gambar 5.14 Grafik Pengaruh Penambahan AAT Terhadap Nilai *CBR Unsoaked* Dengan Variasi Waktu Pemeraman

Berdasarkan gambar grafik pengaruh penambahan abu ampas tebu terhadap nilai *CBR* dengan variasi waktu pemeraman, menunjukkan bahwa penambahan kapur dan abu ampas tebu dapat meningkatkan nilai *CBR* suatu tanah. Peningkatan nilai *CBR* terus meningkat seiring penambahan kadar abu ampas tebu (0%, 4%, 8% dan 12%). Nilai *CBR* maksimum yang didapatkan yaitu 15,21% pada penambahan abu ampas tebu 12% dan pada waktu pemeraman 4 hari. Kenaikan nilai *CBR* paling

signifikan terjadi pada penambahan kapur 6% (AAT 0%) dengan lama waktu pemeraman 4 hari. Kenaikan nilai *CBR* paling signifikan yaitu 6,56%.

Berdasarkan hasil pengujian *CBR unsoaked* dapat juga digambarkan pengaruh lama waktu pemeraman terhadap nilai *CBR unsoaked* dengan variasi penambahan abu ampas tebu, grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut.



Gambar 5.15 Grafik Pengaruh Lama Waktu Pemeraman Terhadap Nilai *CBR Unsoaked* Dengan Variasi Penambahan Abu Ampas Tebu

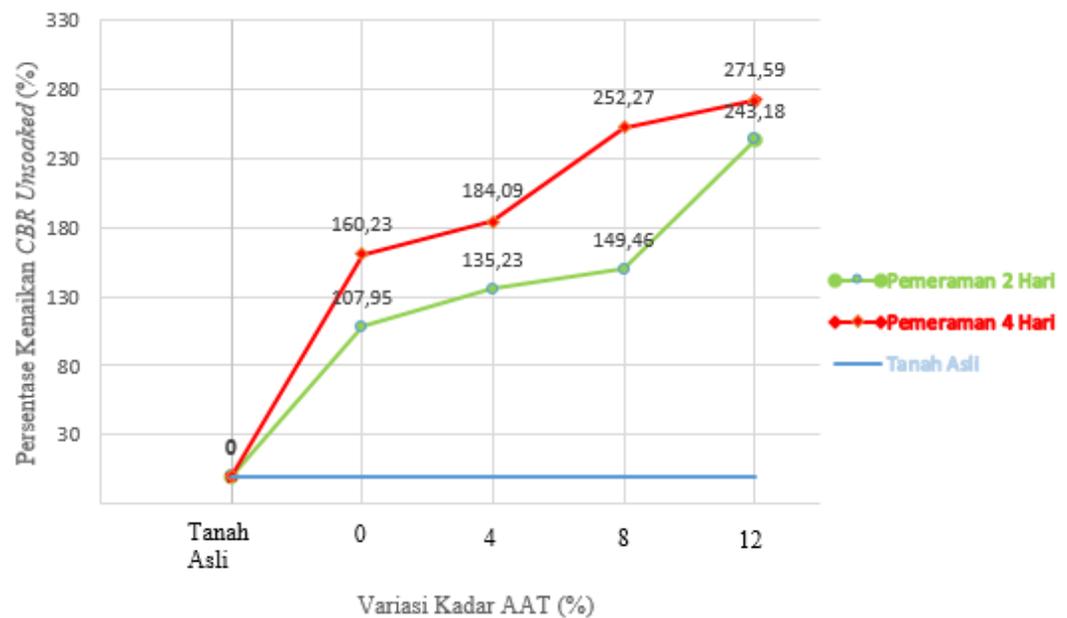
Berdasarkan grafik pengaruh lama waktu pemeraman terhadap nilai *CBR unsoaked* dengan variasi penambahan abu ampas tebu, menunjukkan bahwa terdapat kenaikan nilai *CBR unsoaked* pada pemeraman 2 hari dan 4 hari. Nilai *CBR* terus bertambah seiring bertambahnya lama waktu pemeraman. Nilai *CBR* maksimum yang didapatkan yaitu 15,21% pada pemeraman 4 hari.

Berdasarkan nilai *CBR* tanah asli dan nilai *CBR* tanah yang sudah distabilisasi dengan bahan tambah dapat dinyatakan dalam persentase. Persentase penambahan nilai *CBR unsoaked* dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut.

Tabel 5.12 Persentase Kenaikan Nilai *CBR Unsoaked*

Kadar AAT (%)	Persentase Kenaikan <i>CBR</i> (%)	
	2 Hari	4 Hari
0	107,95	160,23
4	135,23	184,09
8	149,46	252,27
12	243,18	271,59

Berdasarkan tabel di atas, dapat digambarkan nilai persentase kenaikan *CBR* tanah yang sudah distabilisasi. Gambar tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.16 berikut.

**Gambar 5.16 Grafik Persentase Kenaikan Nilai *CBR Unsoaked***

Berdasarkan hasil analisis pengujian *CBR unsoaked* yang telah dilakukan, didapatkan nilai *CBR unsoaked* maksimum pada kadar AAT 12% (kapur 6% + 12% abu ampas tebu) pada lama waktu pemeraman 4 hari yaitu sebesar 15,21%. Nilai *CBR* tersebut digolongkan *fair* karena nilainya antara 7-20 %. Kenaikan Nilai *CBR unsoaked* terus bertambah berbanding lurus dengan penambahan abu ampas tebu dan lama waktu pemeramannya. Persentase kenaikan nilai *CBR unsoaked* maksimum terdapat pada kadar penambahan AAT 12% (kapur 6% + 12% abu ampas tebu) pada lama waktu pemeraman 4 hari yaitu sebesar 271,59%. Kenaikan persentase nilai *CBR* terus bertambah berbanding lurus dengan penambahan abu ampas tebu dan lama waktu pemeramannya. Peningkatan nilai *CBR unsoaked* paling signifikan terjadi pada kadar AAT 0% (kapur 6%) pada pemeraman 2 hari ke pemeraman 4 hari. Peningkatan nilai *CBR unsoaked* sebesar 6,56% dengan persentase kenaikan nilai *CBR unsoaked* sebesar 160,23%.

Penambahan abu ampas tebu 4% dapat meningkatkan persentase kenaikan nilai *CBR* tanah asli+kapur sebesar 13,16% pada pemeraman 2 hari dan 9,20% pada pemeraman 4 hari. Penambahan abu ampas tebu 8% dapat meningkatkan persentase kenaikan nilai *CBR* tanah asli+kapur sebesar 19,97% pada pemeraman 2 hari dan 35,39% pada pemeraman 4 hari. Penambahan abu ampas tebu 12% dapat meningkatkan persentase kenaikan nilai *CBR* tanah asli+kapur sebesar 64,98% pada pemeraman 2 hari dan 42,81% pada pemeraman 4 hari.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Prasetyo dkk (2015) yang menggunakan abu ampas tebu konstan 8% dan kapur 4%, 6% dan 8% didapatkan nilai *CBR unsoaked* maksimum pada kadar abu ampas tebu 8% + kapur 6% yaitu dengan persentase kenaikan *CBR unsoaked* sebesar 135,87%. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Destamara pada tahun 2014 bahwa penambahan 8% abu ampas tebu dapat meningkatkan persentase nilai *CBR unsoaked* sebesar 94,58%. Penambahan 12% abu ampas tebu meningkatkan persentase nilai *CBR unsoaked* sebesar 150,683%. Penelitian yang dilakukan oleh Hartanto dkk pada tahun 2015 bahwa penambahan optimum kadar abu ampas tebu 5% dapat meningkatkan persentase nilai *CBR unsoaked* sebesar 7,428%.

Peningkatan nilai *CBR* dapat disebabkan karena ketika kapur dicampur dengan tanah lempung akan terjadi beberapa reaksi, yaitu absorpsi air dan reaksi pertukaran ion. Absorpsi air adalah penurunan kandungan air didalam tanah yang

disebabkan oleh panas akibat dari reaksi kapur dicampur dengan air. Reaksi pertukaran ion adalah melekatnya ion-ion hasil reaksi larutan kapur ke tanah lempung yang menyebabkan tanah lempung kehilangan kekuatan tolaknya (*repulsion force*) dan meningkatnya kohesi tanah lempung. Peningkatan nilai *CBR* dapat disebabkan juga oleh abu ampas tebu yang mengandung silika sehingga menyebabkan reaksi pozolan.

Berdasarkan spesifikasi pekerjaan tanah yang dikeluarkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat pada tahun 2016 menyatakan bahwa nilai *CBR* minimum tanah untuk dijadikan tanah dasar (*subgrade*) suatu perkerasan adalah 6%. Nilai *CBR* yang diperoleh hasil dari pengaruh penambahan kapur dan abu ampas tebu adalah lebih dari 6%, sehingga tanah dapat digunakan untuk tanah dasar (*subgrade*) suatu perkerasan jalan.

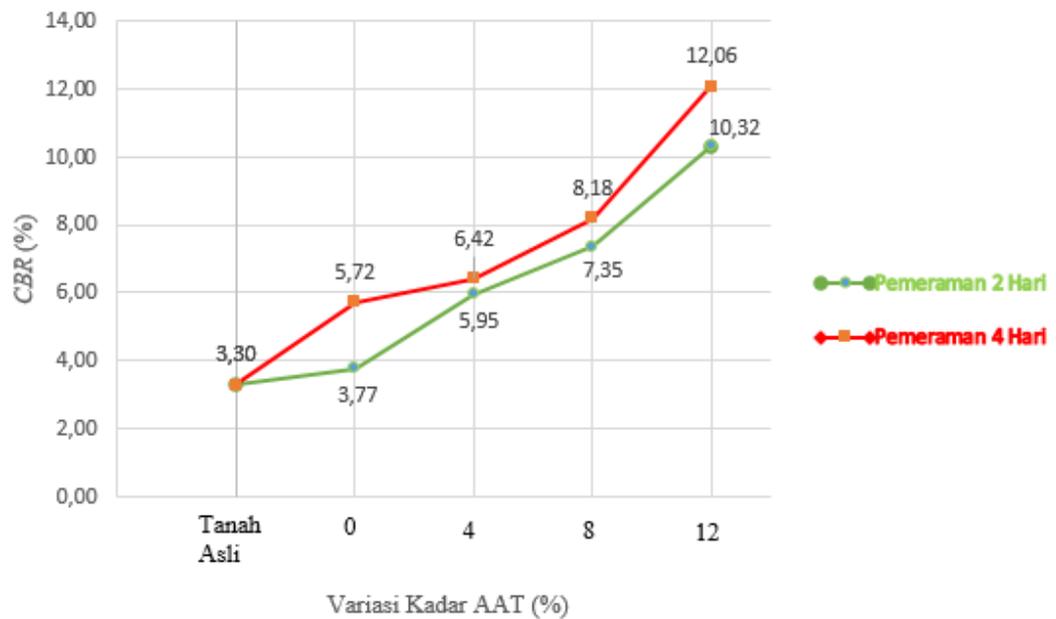
5.3.2 *CBR Soaked*

Pengujian *CBR* rendaman menggunakan rendaman selama 4 hari. Pengujian pertama adalah pengujian tanah asli dengan 6% kapur. Pengujian selanjutnya adalah pengujian tanah asli ditambah 6% kapur dan 4%, 8% dan 12% abu ampas tebu. Hasil pengujian *CBR* rendaman tanah asli ditambah 6% kapur dan 4%, 8% dan 12% abu ampas tebu dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut.

Tabel 5.13 *CBR* Rendaman Tanah+Bahan Tambah

Nilai <i>CBR Soaked</i> (%)			Spesifikasi
Waktu Pemeraman (Hari)			
Langsung	2	4	
3,30			<i>Poor to fair</i>
	3,77	5,72	<i>Poor to fair</i>
	5,95	6,42	<i>Poor to fair</i>
	7,35	8,18	<i>Fair</i>
	10,32	12,06	<i>Fair</i>

Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui penambahan 6% kapur dan variasi kadar abu ampas tebu dapat meningkatkan nilai *CBR* tanah asli. Grafik pengaruh penambahan abu ampas tebu terhadap nilai *CBR* dengan lama waktu pemeraman dapat dilihat pada Gambar 5.17 berikut.



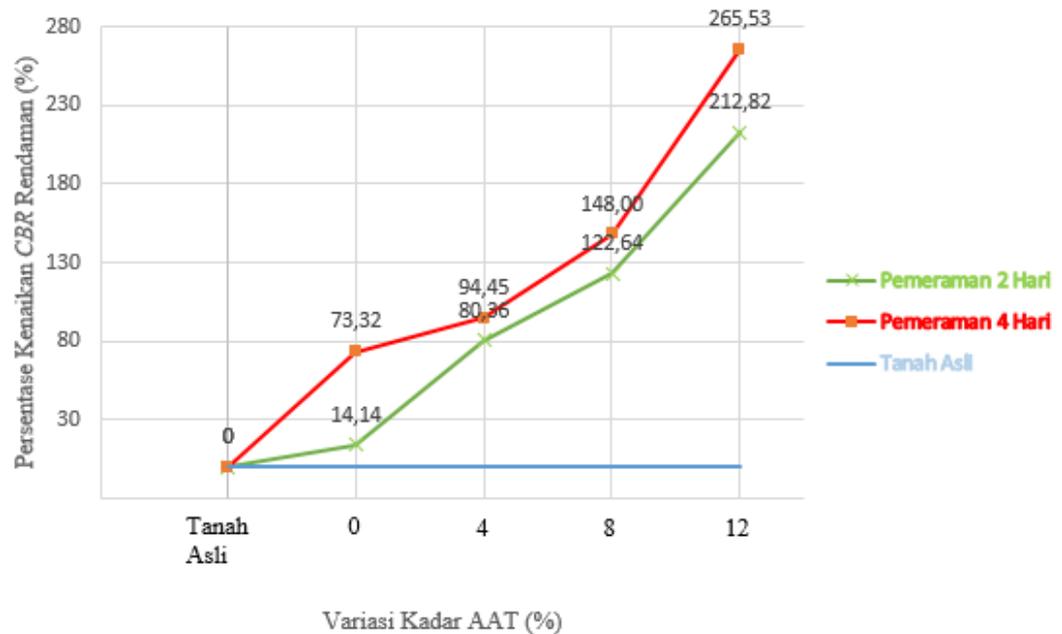
Gambar 5.17 Grafik Pengaruh Penambahan AAT Terhadap Nilai *CBR* Dengan Lama Waktu Pemeraman

Berdasarkan nilai *CBR* tanah asli dan nilai *CBR* tanah yang sudah distabilisasi dengan bahan tambah dapat dinyatakan dalam persentase. Persentase penambahan nilai *CBR* dapat dilihat pada Tabel 5.14 berikut.

Tabel 5.14 Persentase Kenaikan *CBR* Rendaman

Kadar AAT (%)	Persentase Kenaikan <i>CBR</i> (%)	
	2 Hari	4 Hari
0	14,14	73,32
4	80,36	94,45
8	122,64	148,00
12	212,82	265,53

Berdasarkan grafik di atas, dapat digambarkan nilai persentase kenaikan *CBR* tanah yang sudah distabilisasi. Gambar tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.18 berikut.



Gambar 5.18 Grafik Persentase Kenaikan Nilai CBR Rendaman

Berdasarkan hasil analisis pengujian *CBR* rendaman yang telah dilakukan, didapatkan nilai *CBR* rendaman maksimum pada kadar penambahan kapur 6% + 12% abu ampas tebu pada lama waktu pemeraman 4 hari yaitu sebesar 12,06%. Kenaikan Nilai *CBR* rendaman terus bertambah berbanding lurus dengan penambahan persen kapur+abu ampas tebu dan lama waktu pemeramannya. Persentase kenaikan nilai *CBR* rendaman maksimum terdapat pada kadar penambahan kapur 6% + 12% abu ampas tebu pada lama waktu pemeraman 4 hari yaitu sebesar 265,53%. Kenaikan persentase nilai *CBR* terus bertambah berbanding lurus dengan penambahan persen kapur + abu ampas tebu dan lama waktu pemeramannya. Peningkatan nilai *CBR* rendaman paling signifikan terjadi pada kadar kapur 6% pada pemeraman 2 hari ke pemeraman 4 hari. Peningkatan nilai *CBR* rendaman sebesar 1,95% dengan persentase kenaikan nilai *CBR* rendaman sebesar 59,18%.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Prasetyo dkk (2015) yang menggunakan abu ampas tebu konstan 8% dan kapur 4%, 6% dan 8% didapatkan nilai *CBR soaked* maksimum pada kadar abu ampas tebu 8% + kapur 6% yaitu dengan persentase kenaikan *CBR soaked* sebesar 234,55%. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Destamara pada tahun 2014 bahwa penambahan 8% abu ampas tebu dapat meningkatkan persentase nilai *CBR soaked* sebesar 54,78%. Penambahan 12% abu ampas tebu meningkatkan persentase nilai *CBR soaked*

sebesar 95,345%.

5.4 Pengembangan (*Swelling*)

Pengujian pengembangan bertujuan untuk mengetahui perbandingan nilai penambahan panjang sampel sebelum direndam dengan tinggi sampel setelah direndam selama 4 hari. Hasil pengujian *swelling* pada tanah + variasi bahan tambah dapat dilihat pada Tabel 5.15 dan Tabel 5.16 berikut.

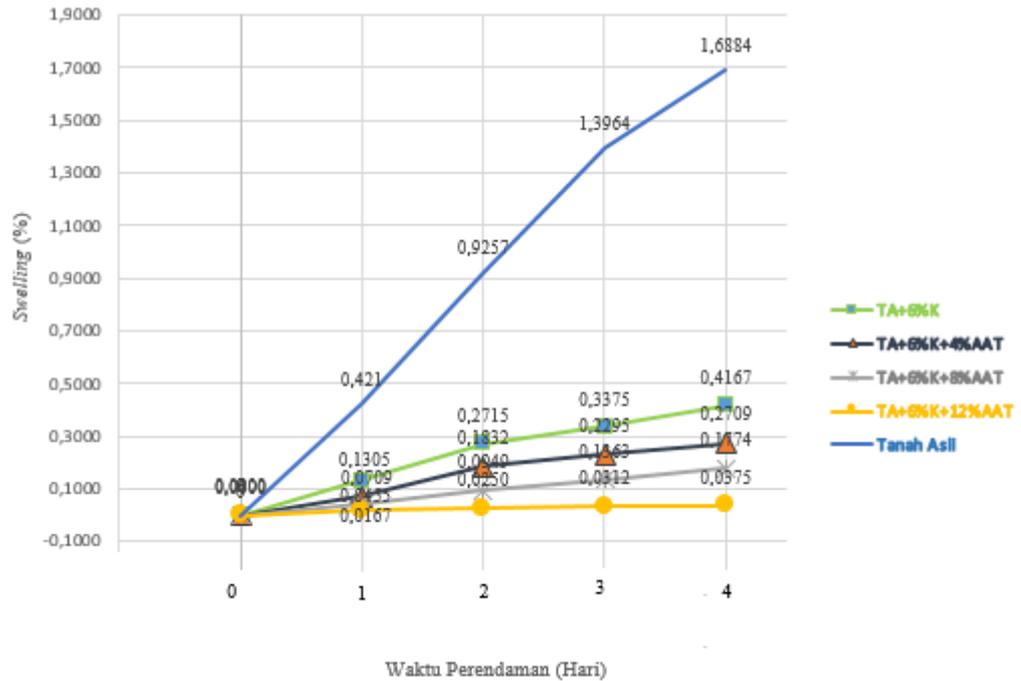
Tabel 5.15 Rekapitulasi *Swelling* Pemeraman 2 Hari

<i>Swelling</i> Pemeraman 2 Hari (%)					
Kadar AAT (%)	Hari ke				
	0	1	2	3	4
0	0	0,1305	0,2715	0,3375	0,4167
4	0	0,0709	0,1832	0,2295	0,2709
8	0	0,0455	0,0949	0,1363	0,1774
12	0	0,0167	0,0250	0,0312	0,0375

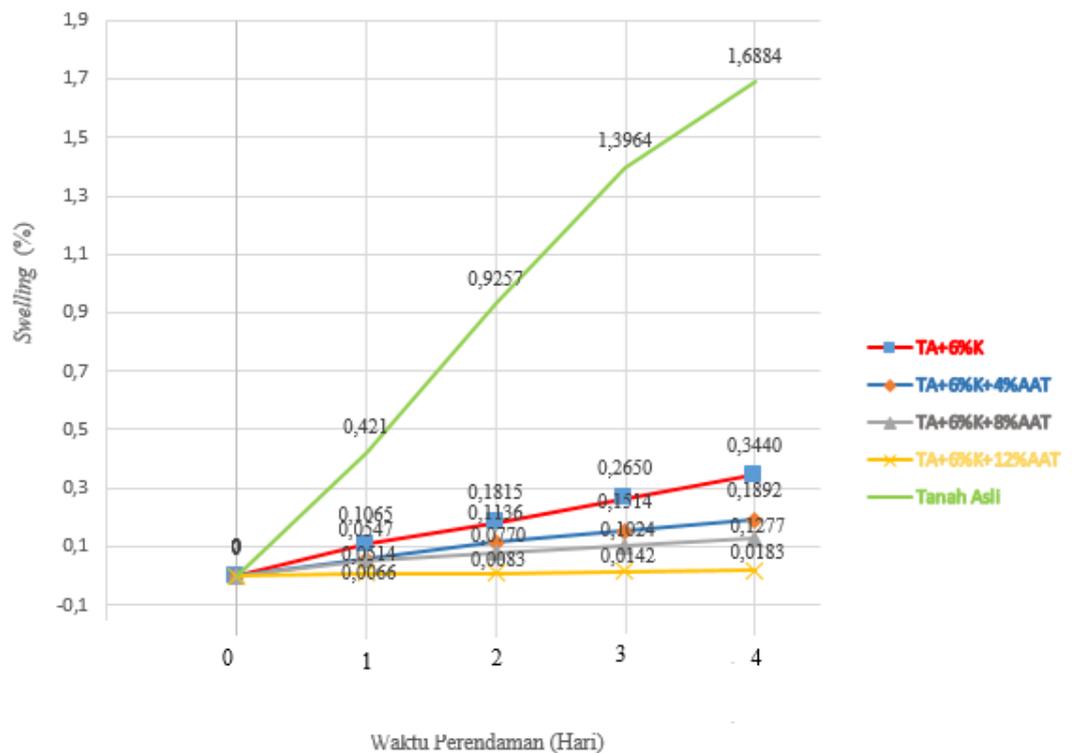
Tabel 5.16 Rekapitulasi *Swelling* Pemeraman 4 Hari

<i>Swelling</i> Pemeraman 4 Hari (%)					
Kadar AAT (%)	Perendaman (Hari)				
	0	1	2	3	4
0	0	0,1065	0,1815	0,2650	0,3440
4	0	0,0547	0,1136	0,1514	0,1892
8	0	0,0514	0,0770	0,1024	0,1277
12	0	0,0066	0,0083	0,0142	0,0183

Berdasarkan tabel di atas nilai *swelling* yang didapatkan dalam pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.19 dan Gambar 5.20 berikut.



Gambar 5.19 Grafik *Swelling* Pemeraman 2 Hari



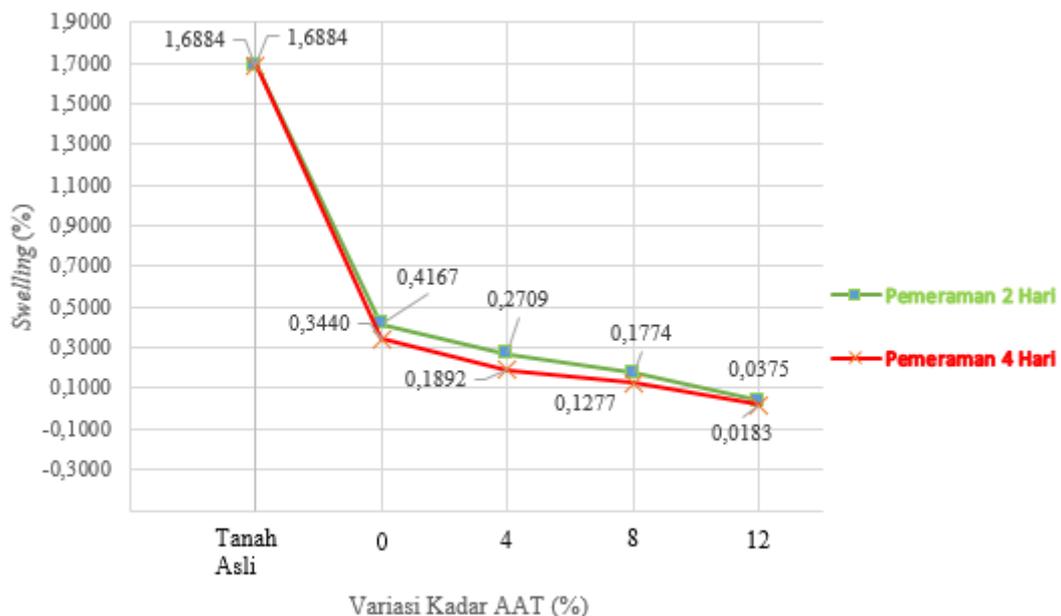
Gambar 5.20 Grafik *Swelling* Pemeraman 4 Hari

Berdasarkan pengujian *swelling* yang telah dilakukan, didapatkan nilai *swelling* pada pemeraman 2 hari dan 4 hari. Nilai *swelling* pemeraman 2 dan 4 hari dapat dilihat pada rekapitulasi Tabel 5.17 berikut.

Tabel 5.17 Rekapitulasi *Swelling* Pemeraman 2 dan 4 Hari

Variasi Penambahan AAT (%)	Swelling Pemeraman 2 Hari		Swelling Pemeraman 4 Hari		Spesifikasi
0	0,4191	0,4167	0,3521	0,3440	<i>Low swelling</i>
	0,4143		0,3359		
4	0,2900	0,2709	0,1931	0,1892	<i>Low swelling</i>
	0,2519		0,1853		
8	0,1823	0,1774	0,1146	0,1277	<i>Low swelling</i>
	0,1726		0,1408		
12	0,0335	0,0375	0,0166	0,0183	<i>Low swelling</i>
	0,0414		0,0200		

Berdasarkan tabel rekapitulasi di atas, nilai *swelling* pada pemeraman 2 dan 4 hari dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut.



Gambar 5.21 Grafik *Swelling* Pemeraman 2 dan 4 Hari

Berdasarkan grafik pengujian yang telah dilakukan, penambahan 6% kapur dapat menurunkan nilai *swelling* yang semula 1,688% menjadi 0,4167% pada pemeraman 2 hari. Penambahan 6% kapur pada pemeraman 4 hari dapat menurunkan nilai *swelling* yang semula 1,688% menjadi 0,3440%. Penambahan 6% kapur dan variasi abu ampas tebu pada tanah dapat menurunkan nilai *swelling* yang semula 1,688% menjadi 0,0375% pada pemeraman 2 hari. Penambahan 6% kapur dan variasi abu ampas tebu dapat menurunkan nilai *swelling* yang semula 1,688% menjadi 0,0183% pada pemeraman 4 hari. Penambahan kapur dan abu ampas tebu dapat menurunkan nilai *swelling* tanah seiring dengan bertambahnya kadar abu ampas tebu dan seiring lamanya waktu pemeraman. Penambahan kapur dan abu ampas tebu dapat menurunkan *swelling* yang mulanya pengembangan sedang (*medium swelling*) menjadi pengembangan rendah (*low swelling*). Hal ini berarti bahwa kapur dan abu ampas tebu dapat menurunkan nilai *swelling* tanah lempung organik.

Penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Ranggaesa dkk pada tahun 2017 bahwa penambahan 6% kapur dapat menurunkan nilai *swelling* tanah yang semula 5,509% menjadi 0,195%. Penelitian yang dilakukan Destamara pada tahun 2014 bahwa penambahan abu ampas tebu dapat menurunkan nilai *swelling* tanah sesuai besarnya penambahan kadar abu ampas tebu. Pada penambahan 8% abu ampas tebu nilai *swelling* turun yang awalnya 6,186% menjadi 0,336%. Pada penambahan 12% abu ampas tebu nilai *swelling* menjadi 0,801%. Penelitian yang dilakukan Prasetyo pada tahun 2015 bahwa penambahan 6% kapur dan 8% abu ampas tebu dapat menurunkan nilai *swelling* yang semula 6,185% menjadi 0,212%.

Penurunan nilai pengembangan (*swelling*) dapat terjadi karena partikel lempung yang bermuatan negatif akan menyerap kation di sekitarnya yang dimiliki oleh abu ampas tebu, yakni unsur Ca^+ , Al^+ , dan Mg^+ . Ion-ion tersebut akan menggantikan ion H^+ di antara lapisan partikel lempung dan mencegah penyerapan air sehingga potensi pengembangan dapat berkurang. Salah satu reaksi yang terjadi ketika tanah lempung dicampur dengan kapur adalah perubahan lapisan film air di sekitar mineral lempung. Kekuatan ikatan antara dua mineral lempung bergantung pada muatan, ukuran, dan hidrasi dari ion-ion yang tertarik. Ion kalsium (kapur)

adalah divalen dan mengikat partikel tanah. Pengaruh dari hal ini adalah mengurangi plastisitas suatu tanah.