

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

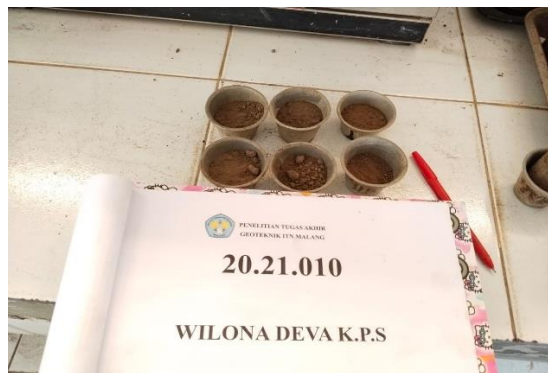
4.1 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan setelah proses pengambilan sampel tanah lempung di wilayah Tasikmadu, Kota Malang, Provinsi Jawa Timur. Sampel tanah diambil menggunakan *disturbed method* pada kedalaman sekitar 2 meter dari permukaan tanah. Sebelum dilakukan pencampuran dengan bahan kimia, terlebih dahulu dilakukan pengujian sifat fisik tanah untuk memastikan bahwa jenis tanah yang digunakan termasuk tanah lempung, yang ditunjukkan oleh nilai Indeks Plastisitas < 20 . Selain itu, dilakukan pula pengujian sifat mekanik tanah guna mengetahui kekuatan geser tanah yang diambil langsung dari lapangan.

4.1.1 Pengujian Sifat Fisik Tanah

A. Pengujian Kadar Air

Sesuai dengan prosedur pengujian yang berlaku, penentuan kadar air tanah asli (*water content*) dilakukan dengan menggunakan tiga buah sampel uji. Hasil pengujian dari ketiga sampel tersebut kemudian dirata-ratakan untuk memperoleh nilai kadar air tanah asli yang representatif.



Gambar 4.1 Pengujian Kadar Air Tanah Asli

Selanjutnya, dari pengujian tersebut menghasilkan data sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data Uji Kadar Air Tanah Asli

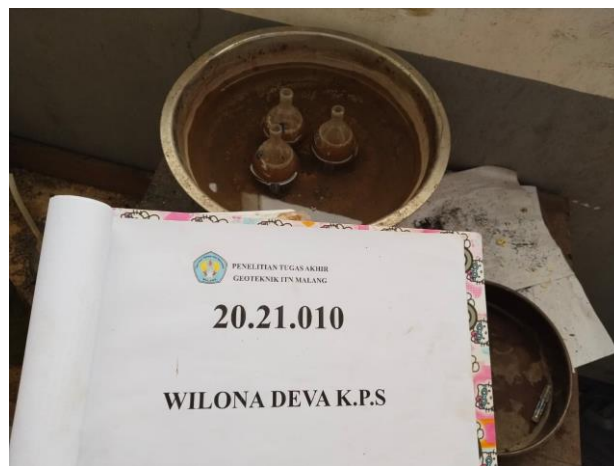
Nomor cawan		D6	D2	A3
Berat cawan + tanah basah	(gr)	33,69	33,70	33,76
Berat cawan + tanah kering	(gr)	25,98	26,00	26,05
Berat cawan	(gr)	5,98	6,00	6,05
Berat air	(gr)	7,71	7,70	7,71
Berat tanah kering	(gr)	20,00	20,00	20,00
Kadar air (w)	(%)	38,55	38,50	38,55
Kadar air rata-rata	(%)	38,53		

Sumber: Data Pribadi

Dari tabel diatas maka didapat kadar air tanah asli dengan 3 benda uji sebesar **38,53%**.

B. Pengujian Berat Jenis Tanah Halus

Setelah diperoleh persentase kadar air dari hasil pengujian, sampel tanah yang telah dikeringkan kemudian disiapkan untuk pengujian berat jenis tanah halus (*Specific Gravity*). Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan tiga sampel uji guna memperoleh nilai rata-rata berat jenis tanah halus.



Gambar 4.2 Pengujian Berat Jenis Tanah Halus

Dari pengujian tersebut didapat data sebagai berikut:

Tabel 4.2 Data Uji berat jenis tanah halus

Nomor Picno		A	B	C
Berat Picno + Tanah (W_2)	gr	60,12	67,49	72,33
Berat Picno (W_1)	gr	29,08	32,52	34,55
Berat Tanah ($W_2 - W_1$)	gr	31,04	34,97	37,78
Suhu (T)	°C	29	29	29
Berat Picno + Air pada T (W_4)	gr	121,72	130,10	133,07
$W_2 - W_1 + W_4$	gr	152,76	165,07	170,85
Berat Picno + Air + Tanah (W_3)	gr	139,76	150,58	155,14
Faktor Koreksi Suhu		0,9986	0,9986	0,9986
Isi Tanah ($W_2 - W_1$) + ($W_4 - W_3$)	cm ³	13,00	14,49	15,71
Berat Jenis Tanah		2,384	2,410	2,401
Rata-rata		2,399		

(Sumber : Data Pribadi)

Dari tabel diatas pada 3 benda uji berat jenis tanah halus didapat rata-rata berat jenis tanah halus 2,399. Dari nilai berat jenis tanah tersebut dapat disimpulkan macam jenis tanah termasuk dalam tanah Lempung organik.

C. Pengujian Ukuran Butiran (Hidrometer)

Untuk menentukan klasifikasi tanah berdasarkan metode USDA (*United States Department of Agriculture*), dilakukan pengujian yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik tanah berbutir halus. Pengujian ini mencakup dua tahapan utama, yaitu penentuan distribusi (kecepatan pengendapan) dan gradasi (ukuran butiran) pada tanah halus.



Gambar 4.3 Pengujian Analisa Hidrometer

Dari pengujian tersebut didapat data sebagai berikut:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Elapsed time (t) (min)	Hydrometer reading		Temperature °C	L	$\sqrt{L/t}$	$\sqrt{\frac{30m}{980(G-G')}} = K$	d 6 x 7	F
	Under decimal only	r' col. 2 + Cm						
1	31	32,00	29	14,91	3,861	0,01395	0,0539	0,0006
2	28	29,00	29	15,25	2,761	0,01395	0,0385	0,0006
3	26	27,00	29	15,48	2,272	0,01395	0,0317	0,0006
15	16	17,00	29	16,62	1,053	0,01395	0,0147	0,0006
30	11	12,00	29	17,19	0,757	0,01395	0,0106	0,0006
60	7	8,00	29	17,65	0,542	0,01395	0,0076	0,0006
240	2	3,00	29	18,22	0,276	0,01395	0,0018	0,0006
1440	0	1,00	29	18,44	0,113	0,01395	0,0016	0,0006
2880	0	1,00	29	18,44	0,080	0,01395	0,0011	0,0006

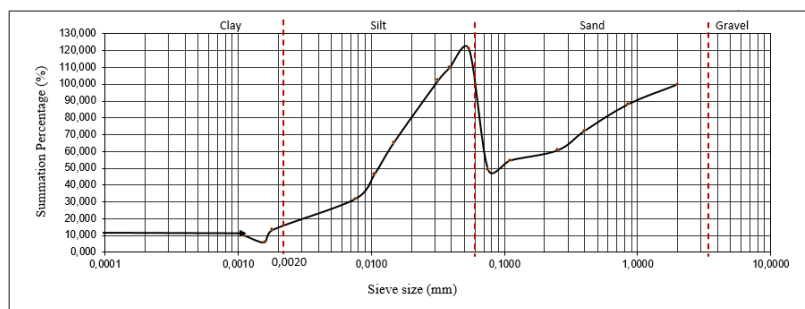
Tabel 4.3 Data Pengujian Distribusi dengan Analisa Hidrometer
Sumber: Data Pribadi

Setelah pengujian dilakukan, sampel tanah disaring menggunakan ayakan no. 200 untuk kemudian dikeringkan dan digunakan dalam pengujian analisis ukuran butiran tanah dengan menggunakan saringan no. 20, 40, 60, 120, dan 200.

Sieve opening in mm	Weight of soil retained in gr.	*Percent retained	*Cummulative Percent retained	*Cummulative Percent finer P
0,85	8,14	11,75%	11,75%	88,25%
0,4	10,98	15,85%	27,60%	72,40%
0,25	8,08	11,67%	39,27%	60,73%
0,11	4,15	5,99%	45,26%	54,74%
0,075	3,84	5,54%	50,80%	49,20%

Tabel 4.4 Pengujian Gradasi dengan Analisa Hidrometer
Sumber: Data Pribadi

Lalu, dari hasil pengujian analisa hidrometer didapat grafik analisa hidrometer dan saringan sebagai berikut:

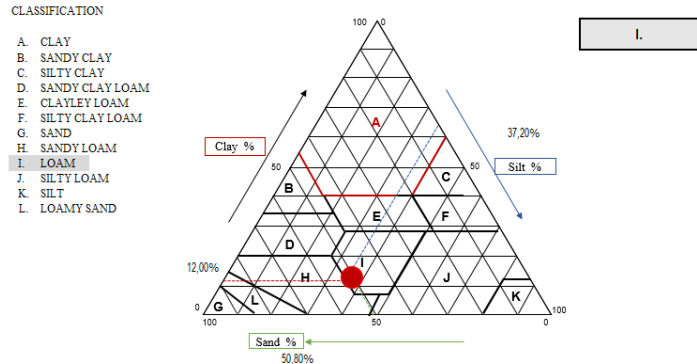


Gambar 4.4 Grafik Analisa Ukuran Butiran (Hidrometer)

- Lempung (*Clay*) = 12,00%
- Lanau (*Silt*) = Persen Lolos Saringan No. 200 – Persen Lempung
= 49,20% - 12,00%
= 37,20%
- Pasir (*Sand*) = Persen Tertahan Saringan No. 200

= 50,80%

Berdasarkan pembagian diatas yang kemudian digunakan pada segitiga klasifikasi USDA untuk penentuan jenis tanah.



Gambar 4.5 Klasifikasi Tanah dengan USDA

D. Pengujian Batas Cair Tanah

Pada pengujian ini digunakan sampel tanah kering yang sebelumnya telah melewati proses pengayakan dengan saringan berukuran 0,25 mm (40), dan selanjutnya akan dilakukan penambahan air sesuai ketentuan prosedur pengujian.



Gambar 4.6 Pengujian Batas Cair Tanah

Tabel 4.5 Data Uji Batas Cair Tanah

1		2		3	
NO. OF BLOWS 11		NO. OF BLOWS 15		NO. OF BLOWS 20	
No. H1		No. I8		No. I1	
WW = 25,83	DW = 18,50	WW = 25,77	DW = 18,47	WW = 32,69	DW = 23,07
DW = 18,50	TW = 6,01	DW = 18,47	TW = 5,88	DW = 23,07	TW = 5,87
Ww = 7,33	Ws = 12,49	Ww = 7,30	Ws = 12,59	Ww = 9,62	Ws = 17,20
w = 58,69 %		w = 57,98 %		w = 55,93 %	
4		5		6	
NO. OF BLOWS 26		NO. OF BLOWS 30		NO. OF BLOWS 40	
No. H10		No. H6		No. I7	
WW = 27,84	DW = 20,12	WW = 27,28	DW = 19,75	WW = 32,08	DW = 23,04
DW = 20,12	TW = 5,88	DW = 19,75	TW = 5,75	DW = 23,04	TW = 5,82
Ww = 7,72	Ws = 14,24	Ww = 7,53	Ws = 14,00	Ww = 9,04	Ws = 17,22
w = 54,21 %		w = 53,79 %		w = 52,50 %	

(Sumber: Data Pribadi)

Untuk memperoleh nilai serta grafik batas cair, pengujian ini dilakukan dengan menggunakan 6 benda uji, dimana setiap pengujian dilakukan dengan interval jumlah ketukan pada casagrande sebesar kelipatan 5. Dari hasil pengujian tersebut, diperoleh nilai batas cair tanah sebesar = 54,77.

E. Pengujian Batas Plastis Tanah

Untuk memperoleh nilai PI (Plasticity Index), dilakukan pengujian batas plastis tanah.



Gambar 4.7 Pengujian Batas Plastis Tanah

Dari pengujian tersebut didapat data sebagai berikut:

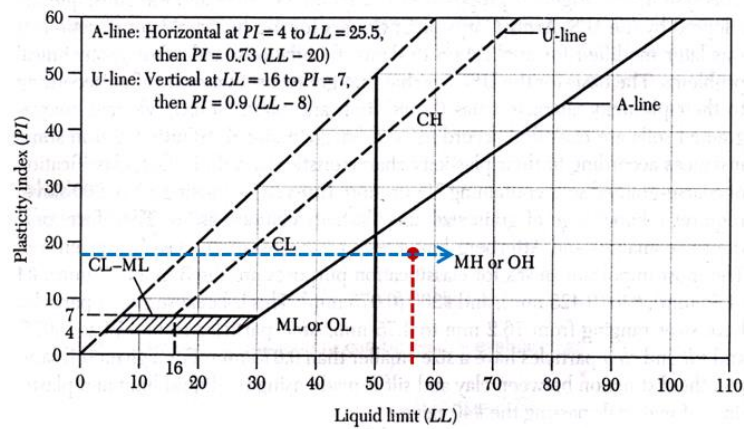
Tabel 4.6 Data Uji Batas Plastis Tanah

1		2		3	
No. F4		No. C4		No. D1	
WW = 22,35	DW = 20,38	WW = 19,68	DW = 18,14	WW = 18,04	DW = 17,19
DW = 20,38	TW = 14,94	DW = 18,14	TW = 13,73	DW = 17,19	TW = 14,80
Ww = 1,97	Ws = 5,44	Ww = 1,54	Ws = 4,41	Ww = 0,85	Ws = 2,39
w = 36,21 %		w = 34,92 %		w = 35,56 %	

Sumber: Data Pribadi

Didapat nilai batas plastis tanah = 35,57%. Selanjutnya dalam penentuan nilai PI (*Plasticity Index*) diperlukan data hasil pengujian Batas Cair dan Batas Plastis guna membantu pembacaan grafik hubungan antara PI dan LL, dengan nilai PI sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 PI &= LL - PL \\
 &= 54,77\% - 35,57\% \\
 &= 19,21\%
 \end{aligned}$$



Gambar 4.8 Grafik Hubungan Nilai LL dan PI

Dari data dan grafik tersebut karena nilai $LL > 50$ dan nilai $PI < 20$ maka klasifikasi ada dibawah garis A, sehingga tanah termasuk dalam klasifikasi **MH**, yaitu **lempung lanau dengan plastisitas tinggi**.

4.1.2 Pengujian Sifat Mekanik Tanah

A. Pengujian *Direct Shear*

Pada pengujian ini, tanah yang telah dicetak dalam ring hasil uji Standar Proctor digunakan sebagai tiga benda uji untuk memperoleh nilai rata-rata kuat geser tanah dari hasil pengujian

tersebut.



Gambar 4.9 Pengujian *Direct Shear*

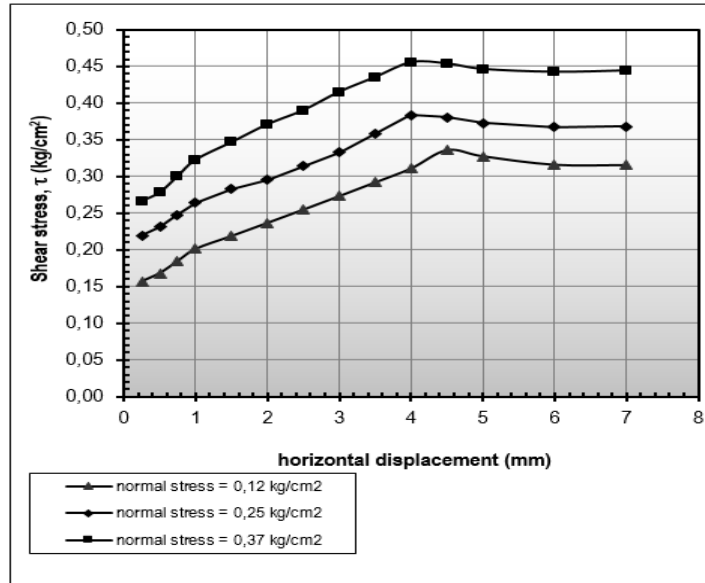
Didapat data sebagai berikut:

Tabel 4.7 Pembacaan uji *Direct Shear*

Pembacaan Pengujian <i>Direct Shear</i>				
Beban		4375 g	8375 g	12375 g
Pembacaan	25	25	35	42
	50	41	55	65
	75	50	76	80
	100	61	80	89
	150	64	90	104
	200	84	95	135
	250	95	110	159
	300	100	122	199
	350	104	135	200
	400	105	150	202
	450	105	155	202
	500	104	157	198
	600	94	160	191
	700	91	154	194

(Sumber : Data Pribadi)

Berikut merupakan hubungan antara tegangan normal dan deformasi horizontal yang diperoleh dari hasil pembacaan pengujian *Direct Shear*:



Gambar 4.10 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal

Setelah diperoleh data hasil pengujian *Direct Shear* dari tiga benda uji, data tersebut kemudian diolah dan diplot ke dalam grafik untuk menentukan nilai sudut geser dalam (ϕ) serta kohesi (c) dari tanah yang diuji.

- Benda Uji 1

$$\text{Beban Normal (N)} = 4375 \text{ gr}$$

$$= 4,37 \text{ kg}$$

$$\text{Diameter benda uji} = 6,43 \text{ cm}$$

$$\text{LRC (Liquid Limit – Residual Curve)} = 0,17 \text{ Kgf}$$

$$\text{Horizontal Disp. } (\delta) = 3,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Penampang (A0)} &= \frac{\pi \times d^2}{4} \\ &= 32,46 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Koreksi (A')} &= \frac{d - \delta}{d \times A0} \\ &= \frac{6,43 - 3,5}{6,43 \times 32,46} \\ &= 30,72 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Gaya geser maks. (F)} = \text{Pembacaan dial} \times \text{LRC}$$

$$= 104 \times 0,169$$

$$= 17,597 \text{ Kgf}$$

$$\text{Tegangan Normal } (\sigma_n) = \frac{N}{A0}$$

$$= \frac{4,37}{32,46}$$

$$= 0,13 \text{ Kg/cm}^2$$

Tegangan Geser (τ)

$$= \frac{F}{A'}$$

$$= \frac{17,597}{30,72}$$

$$= 0,573 \text{ Kgf/cm}^2$$

- Benda Uji 2

Beban Normal (N)

$$= 8375 \text{ gr}$$

$$= 8,37 \text{ kg}$$

Diameter benda uji

$$= 6,43 \text{ cm}$$

LRC (Liquid Limit – Residual Curve) = 0,17 Kgf

Horizontal Disp. (δ)

$$= 4,00 \text{ mm}$$

Luas Penampang (A_0)

$$= \frac{\pi \times d^2}{4}$$

$$= \frac{3,14 \times 6,43^2}{4}$$

$$= 32,46 \text{ cm}^2$$

Luas Koreksi (A')

$$= \frac{d - \delta}{d \times A_0}$$

$$= \frac{6,43 - 4,00}{6,43 \times 32,46}$$

$$= 30,46 \text{ cm}^2$$

Gaya geser maks. (F)

$$= \text{Pembacaan dial} \times \text{LRC}$$

$$= 150 \times 0,17$$

$$= 25,380 \text{ Kgf}$$

Tegangan Normal (σ_n)

$$= \frac{N}{A_0}$$

$$= \frac{8,37}{32,46}$$

$$= 0,26 \text{ Kg/cm}^2$$

Tegangan Geser (τ)

$$= \frac{F}{A'}$$

$$= \frac{25,5}{30,46}$$

$$= 0,833 \text{ Kgf/cm}^2$$

- Benda Uji 3

Beban Normal (N) = 12375 gr

$$= 12,37 \text{ kg}$$

Diameter benda uji = 6,43 cm

LRC (Liquid Limit – Residual Curve) = 0,17 Kgf

Horizontal Disp. (δ) = 4,00 mm

Luas Penampang (A_0)

$$= \frac{\pi \times d^2}{4}$$

$$= \frac{3,14 \times 6,43^2}{4}$$

$$= 32,46 \text{ cm}^2$$

Luas Koreksi (A')

$$= \frac{d - \delta}{d \times A_0}$$

$$= \frac{6,43 - 3,5}{6,43 \times 32,46}$$

$$= 30,46 \text{ cm}^2$$

Gaya geser maks. (F) = Pembacaan dial x LRC

$$= 202 \times 0,17$$

$$= 34,178 \text{ Kgf}$$

Tegangan Normal (σ_n)

$$= \frac{N}{A_0}$$

$$= \frac{12,37}{32,46}$$

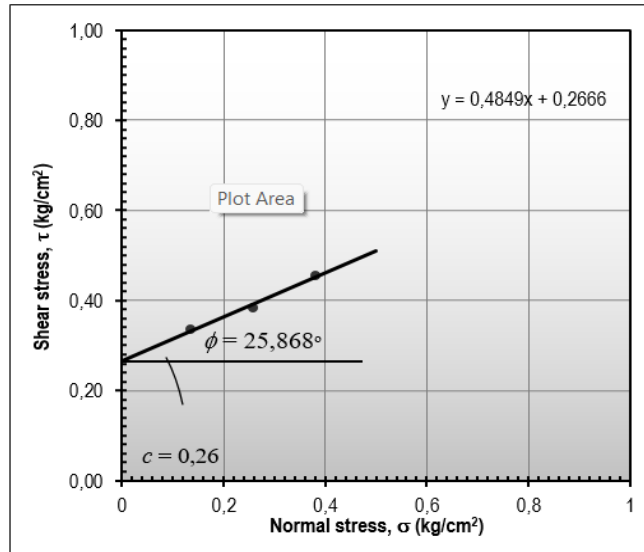
$$= 0,38 \text{ Kg/cm}^2$$

Tegangan Geser (τ)

$$= \frac{F}{A'}$$

$$= \frac{34,178}{30,46}$$

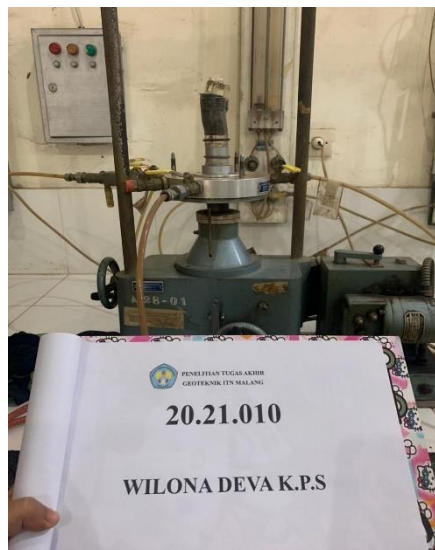
$$= 1,122 \text{ Kgf/cm}^2$$



Gambar 4.11 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam

A. Pengujian *Triaxial Compression*

Secara umum, pengujian ini memiliki beberapa perbedaan mendasar dibandingkan dengan pengujian *Direct Shear*, terutama pada gaya, beban yang digunakan, serta pengaruhnya terhadap jenis sampel tanah. Uji triaxial umumnya diterapkan pada sampel tanah dengan kandungan lempung atau lanau yang dominan. Proses pembuatan sampel dilakukan dengan cara yang sama seperti pada uji *Direct Shear* sebelumnya, yaitu sampel dicetak setelah pelaksanaan uji *Standart*



Proctor.

Gambar 4.12 Pengujian *Triaxial Compression*

Dari pengujian tersebut didapat data sebagai berikut:

Tabel 4.8 Pembacaan Uji *Triaxial Compression*

Pembacaan Pengujian Triaxial Compression				
Beban		1,0 Kg/Cm ²	1,5 Kg/Cm ²	2,0 Kg/Cm ²
Pembacaan	50	11	32	50
	100	6	17	48
	150	6	20	49
	200	20	24	50
	250	22	26	52
	300	24	30	55
	350	26	32	55
	400	28	32	57
	450	30	33	58
	500	33	35	60
	600	35	37	61
	700	37	39	65
	800	38	41	66
	900	40	44	69
	1000	42	45	70
	1100	44	45	74
	1200	45	48	73
1300	47	55	70	
1400	49	59	69	
1500	50	65	68	

(Sumber : Data Pribadi)

Untuk memperoleh grafik lingkaran Mohr yang dapat bersinggungan secara tepat dengan garis keruntuhan Mohr, digunakan tiga sampel benda uji sebagai dasar perhitungan nilai rata-rata. Pada pengujian *Triaxial Compression* ini diterapkan metode Unconsolidated Undrained (UU), karena tanah berada dalam kondisi tidak terdrainase, sehingga kuat geser tanahnya hanya dipengaruhi oleh Cohesi undrained (C_u) tanpa mempertimbangkan sudut geser dalam (ϕ). Berikut disajikan data hasil pengujian dan grafik lingkaran Mohr yang diperoleh.

- Benda Uji 1

$$\text{Diameter (D0)} = 3,62 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi (L0)} = 7,47 \text{ cm}$$

$$\text{Perubahan panjang (\Delta L)} = 0,380 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Penampang (A0)} &= \frac{\pi \times d0^2}{4} \\ &= \frac{\pi \times 3,62^2}{4} \\ &= 10,287 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan aksial (\epsilon)} &= \frac{\Delta L}{L0} \\ &= \frac{0,380}{7,47} \end{aligned}$$

$$= 0,051\%$$

$$\begin{aligned}
\text{Luas terkoreksi (A')} &= \frac{A_0}{1 - \varepsilon} \\
&= \frac{10,287}{1 - 0,051} \\
&= 10,838 \text{ cm}^2 \\
\text{LRC (Liquid Limit – Residual Curve)} &= 0,31 \text{ kgf} \\
\text{Tekanan sel } (\sigma_3) &= 1,0 \text{ kgf/cm}^2 \\
\text{Tegangan deviator maks } (\Delta\sigma) &= \frac{\text{Pembacaan dial} \times \text{LRC}}{A'} \\
&= \frac{38 \times 0,31}{10,838} \\
&= 0,5161 \text{ kgf/cm}^2 \\
\text{Tegangan vertikal maks. } (\sigma_1) &= \sigma_3 + \Delta\sigma \\
&= 1,0 + 0,5161 \\
&= 1,5161 \text{ kgf/cm}^2 \\
\text{Koehesi } \textit{Undrained} (c_u) &= \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \\
&= \frac{1,5161 - 1,0}{2} \\
&= 0,5161 \text{ kgf/cm}^2
\end{aligned}$$

- Benda Uji 2
 - Diameter (D0) = 3,67 cm
 - Tinggi (L0) = 7,16 cm
 - Perubahan panjang (ΔL) = 0,650 cm
 - Luas Penampang (A0)
$$\begin{aligned}
&= \frac{\pi \times d_0^2}{4} \\
&= \frac{\pi \times 3,67^2}{4} \\
&= 10,573 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$
 - Regangan aksial (ε)
$$\begin{aligned}
&= \frac{\Delta L}{L_0} \\
&= \frac{0,650}{7,16} \\
&= 0,091\%
\end{aligned}$$
 - Luas terkoreksi (A')
$$\begin{aligned}
&= \frac{A_0}{1 - \varepsilon} \\
&= \frac{10,573}{1 - 0,091} \\
&= 10,482 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{LRC (Liquid Limit – Residual Curve)} &= 0,31 \text{ kgf} \\
\text{Tekanan sel } (\sigma_3) &= 1,0 \text{ kgf/cm}^2 \\
\text{Tegangan deviator maks } (\Delta\sigma) &= \frac{\text{Pembacaan dial } \times \text{LRC}}{A'} \\
&= \frac{65 \times 0,31}{10,482} \\
&= 0,8228 \text{ kgf/cm}^2 \\
\text{Tegangan vertikal maks. } (\sigma_1) &= \sigma_3 + \Delta\sigma \\
&= 1,0 + 0,8228 \\
&= 1,8228 \text{ kgf/cm}^2 \\
\text{Koehesi } \textit{Undrained} (c_u) &= \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \\
&= \frac{1,8228 - 1,0}{2} \\
&= 0,4114 \text{ kgf/cm}^2
\end{aligned}$$

- Benda Uji 3

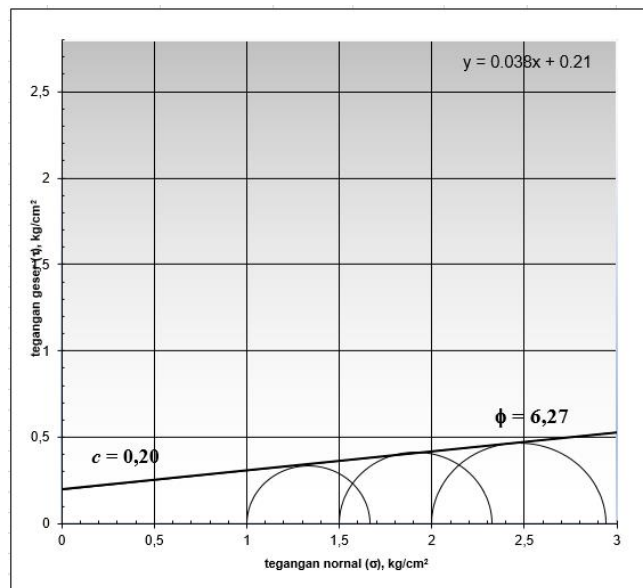
$$\begin{aligned}
\text{Diameter (D0)} &= 3,64 \text{ cm} \\
\text{Tinggi (L0)} &= 7,16 \text{ cm} \\
\text{Perubahan panjang } (\Delta L) &= 0,740 \text{ cm} \\
\text{Luas Penampang (A0)} &= \frac{\pi \times d0^2}{4} \\
&= \frac{\pi \times 3,64^2}{4} \\
&= 10,400 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Regangan aksial } (\varepsilon) &= \frac{\Delta L}{L0} \\
&= \frac{0,740}{7,16} \\
&= 0,103\%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Luas terkoreksi (A')} &= \frac{A0}{1 - \varepsilon} \\
&= \frac{10,400}{1 - 0,103} \\
&= 10,297 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{LRC (Liquid Limit – Residual Curve)} &= 0,31 \text{ kgf} \\
\text{Tekanan sel } (\sigma_3) &= 1,0 \text{ kgf/cm}^2 \\
\text{Tegangan deviator maks } (\Delta\sigma) &= \frac{\text{Pembacaan dial } \times \text{LRC}}{A'} \\
&= \frac{74 \times 0,31}{10,297} \\
&= 0,9391 \text{ kgf/cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tegangan vertikal maks. } (\sigma_1) &= \sigma_3 + \Delta\sigma \\
 &= 1,0 + 0,9391 \\
 &= 1,9391 \text{ kgf/cm}^2 \\
 \\
 \text{Koheesi } \textit{Undrained} (c_u) &= \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \\
 &= \frac{1,9391 - 1,0}{2} \\
 &= 0,469 \text{ kgf/cm}^2
 \end{aligned}$$



Gambar 4.13 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU

Maka nilai (ϕ) = 6,27°, dan koheesi 3 sampel pengujian triaxial UU adalah 0,20 kgf/cm².

B. Pengujian *Unconfined Compressive Strength*

Pengujian ini termasuk metode paling sederhana untuk menentukan kuat geser tanah, dengan asumsi bahwa sudut geser dalam (ϕ) = 0, sehingga nilai kuat tekan bebas (q_u) dapat dijadikan acuan untuk menentukan kuat geser tanah.



Gambar 4.14 Pengujian *Unconfined Compressive Strength*

Dari pengujian tersebut didapat data sebagai berikut:

Tabel 4.9 Pembacaan Uji *Unconfined Compressive Strength*

Pembacaan Uji UCS		
Pembacaan	0,6	0,6
	0,9	0,8
	1,1	1,4
	2,1	1,6
	2,6	2,4
	3,5	2,9
	3,6	3,7
	3,6	4,7
	3,3	5,5
	3,3	6,0
	2,6	6,4
	2,7	6,2
	2,6	5,8
2,5	4,8	

Untuk menentukan nilai kuat tekan bebas (q_u), data tersebut perlu diplot pada grafik berbentuk parabola dengan perhitungan sebagai berikut.

- Benda uji

$$\text{Tinggi (L0)} = 7,09 \text{ cm}$$

$$\text{Diameter (D0)} = 3,64 \text{ cm}$$

$$\text{Perubahan panjang } (\Delta L) = 2,00 \text{ cm}$$

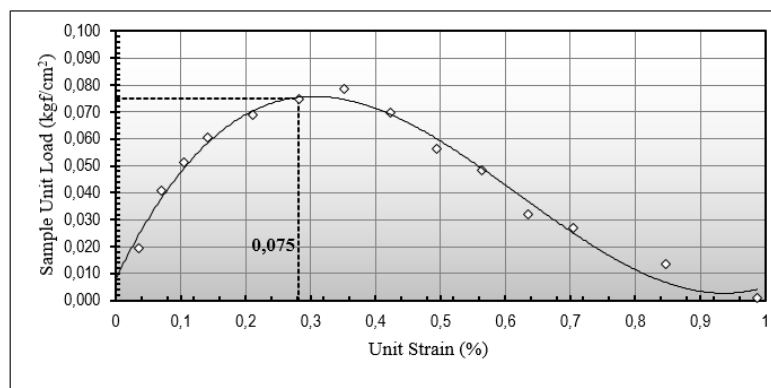
$$\text{LRC} = 0,35 \text{ kgf}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang (A0)} &= \frac{\pi \times d_0^2}{4} \\ &= \frac{3,14 \times 3,64^2}{4} \end{aligned}$$

$$= 10,41 \text{ cm}^2$$

$$\text{Regangan aksial } (\epsilon) = \frac{\Delta L}{L_0}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{2,00}{7,09} \\
&= 0,282 \\
\text{Luas terkoreksi (A')} &= \frac{A_0}{1 - \epsilon} \\
&= \frac{10,41}{1 - 0,82} \\
&= 14,501 \text{ cm}^2 \\
\text{Beban maks. (Pmax)} &= \text{Pembacaan dial} \times \text{LRC} \\
&= 3,5 \times 0,35 \\
&= 1,225 \text{ kgf} \\
\text{Kuat tekan tanah bebas (qu)} &= \frac{P_{\max}}{A'} \\
&= \frac{1,225}{14,501} \\
&= 0,078 \text{ kgf/cm}^2
\end{aligned}$$



Gambar 4.15 Grafik Nilai qu Uji UCS

Didapat nilai **qu = 0,075 kgf/cm²** maka pada konsistensi tanah termasuk pada tanah lempung **sangat lunak (very soft clay)**, selanjutnya nilai qu dapat dikonversi dengan nilai kuat geser tanah (Su) dengan rumus berikut :

$$\begin{aligned}
\text{Kuat geser tanah (S}_u\text{)} &= \frac{qu}{2} \\
&= \frac{0,075}{2} \\
&= \mathbf{0,0375 \text{ kgf/cm}^2}
\end{aligned}$$

C. Pencampuran Sampel Tanah dengan Bakteri

Setelah diperoleh nilai $PI < 20$ dari hasil uji fisik tanah serta diketahui nilai kuat geser tanah melalui uji mekanik sebelum perlakuan, maka penelitian dilanjutkan ke tahap pembuatan larutan sementasi dan pencampuran sampel

tanah dengan bakteri serta abu daun bambu sesuai variasi rencana, yaitu 0%, 6%, dan 9%. Pada proses pencampuran tanah dengan bakteri dan abu daun bambu, dilakukan uji *Standart Proctor* untuk menentukan kadar air optimum, yang kemudian digunakan sebagai acuan dalam penentuan variasi campuran kedua bahan stabilisasi tersebut.

D. Pembuatan Larutan Sementasi

Seperti dijelaskan sebelumnya, pembuatan larutan sementasi melibatkan campuran bakteri *Bacillus subtilis* bersama komponen pendukungnya, yaitu CaCl_2 dan $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$.



Gambar 4.16 Bakteri *bacillus subtilis*, CaCl_2 , Urea

1. Larutan Urea

Langkah awal dalam pembuatan larutan urea yaitu menyiapkan air sebanyak 50 ml, kemudian menambahkan urea sebanyak 47 gram ke dalam wadah yang sama. Campuran tersebut diaduk secara konstan hingga merata, lalu dibiarkan selama 1–2 jam agar urea dapat terlarut sempurna dalam air.

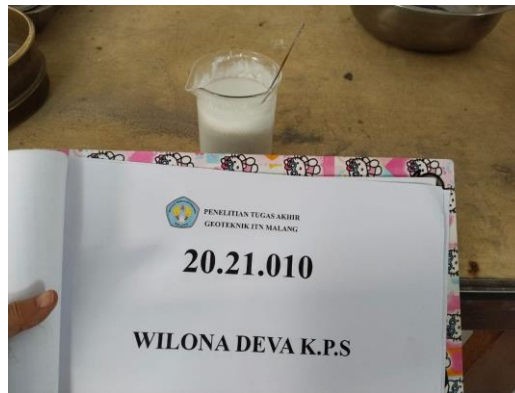
2. Larutan CaCl_2

Serupa dengan proses pembuatan larutan urea, pembuatan larutan CaCl_2 dilakukan dengan mencampurkan air sebanyak 50 ml dan CaCl_2 sebanyak 87 gram ke dalam satu wadah, kemudian diaduk secara konstan dan dibiarkan selama 1–2 jam agar CaCl_2 dapat larut sempurna dalam air.

3. Larutan Bakteri

Pada proses ini sebanyak 50ml larutan bakteri dicampurkan kedalam larutan urea dan CaCl_2 yang telah disiapkan sebelumnya, kemudian diaduk hingga homogen untuk digunakan sebagai larutan

pencampuran.



Gambar 4.17 Larutan sementasi

4.2 Uji Standart Proctor

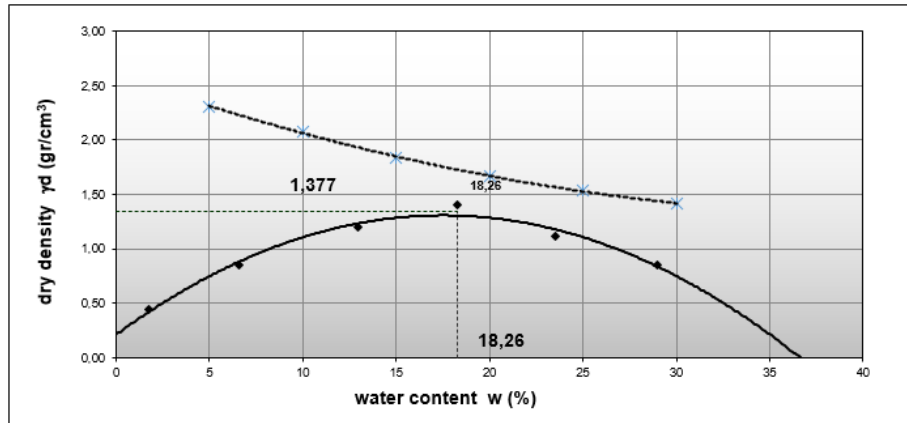
Sesuai dengan prosedur pengujian yang berlaku, pengujian ini dilakukan untuk menentukan jumlah penambahan air saat tanah berada pada kondisi optimum. Berikut disajikan hasil pengujian standar proctor.

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Proctor Standar

Mold	Penambahan Air (ml)	Kadar Air (w) %	Berat Tanah (gr)	Berat Isi Basah (γ_w) gr/cm ³	Berat Isi Kering (γ_d) gr/cm ³
Mold 2	400	4,84	2860	0,90	0,846
Mold 3	700	12,93	3280	1,36	1,202
Mold 4	1000	19,99	3561	1,66	1,406
Mold 5	1400	22,99	3292	1,37	1,110
Mold 6	1600	29,88	3040	1,10	0,850

(Sumber : Data Pribadi)

Berdasarkan tabel di atas, diketahui bahwa γ_w maks dan γ_d maks diperoleh pada Mold 4 dengan penambahan air sebanyak **1000 ml** dan berat isi kering sebesar **1,406 gr/cm³** dengan kadar air optimum **19,99%** untuk setiap 5 kg sampel tanah. Oleh karena itu, jumlah penambahan air tersebut digunakan sebagai acuan dalam proses pencampuran sampel tanah dengan larutan sementasi.



Gambar 4.18 Grafik hubungan berat isi kering dan kadar air optimum

4.2.1 Pencampuran dengan Variasi Rencana

1. Variasi campuran 0%

Dengan penambahan air sebanyak 1000 ml pada tanah kondisi maksimum dan variasi campuran 0%, maka kebutuhan abu daun bambu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 0 \% &= \text{Kebutuhan abu daun bambu} \times \text{Berat tanah kering} \\
 &= 0\% \times 5000 \text{ gr} \\
 &= 0 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

2. Variasi Campuran 6%

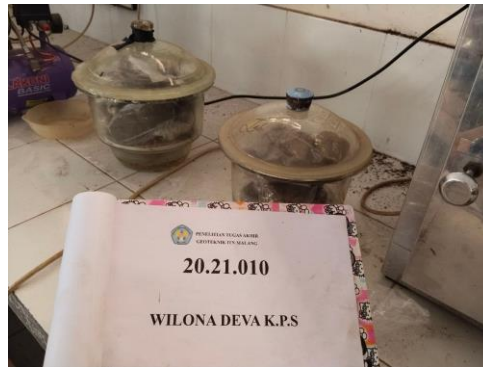
$$\begin{aligned}
 6 \% &= \text{Kebutuhan abu daun bambu} \times \text{Berat tanah kering} \\
 &= 6 \% \times 5000 \text{ gr} \\
 &= 300 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

3. Variasi Campuran 9%

$$\begin{aligned}
 9 \% &= \text{Kebutuhan abu daun bambu} \times \text{Berat tanah kering} \\
 &= 9 \% \times 5000 \text{ gr} \\
 &= 450 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

4.2.2 Masa Pemeraman dengan Variasi Waktu Rencana

Selama masa pemeraman, sampel tanah disimpan dalam *desikator vakum* untuk menjaga kadar air dan kepadatan tanah tetap stabil. Setelah periode pemeraman berakhir, sampel akan diuji kembali untuk mengetahui perubahan sifat fisik dan mekanik tanah setelah perlakuan bakteri.



Gambar 4.19 Masa pemeraman sampel setelah perlakuan bakteri

4.3 Pengujian Fisik dan Mekanik Pada Masa Pemeraman 3 Hari

4.3.1 Variasi Campuran 0%

Pada variasi campuran 0% dengan masa pemeraman selama 3 hari, jumlah larutan sementasi yang digunakan adalah 1000 ml. Berikut disajikan hasil pengujian sifat fisik dan mekanik tanah setelah perlakuan.

A. Pengujian Kadar Air

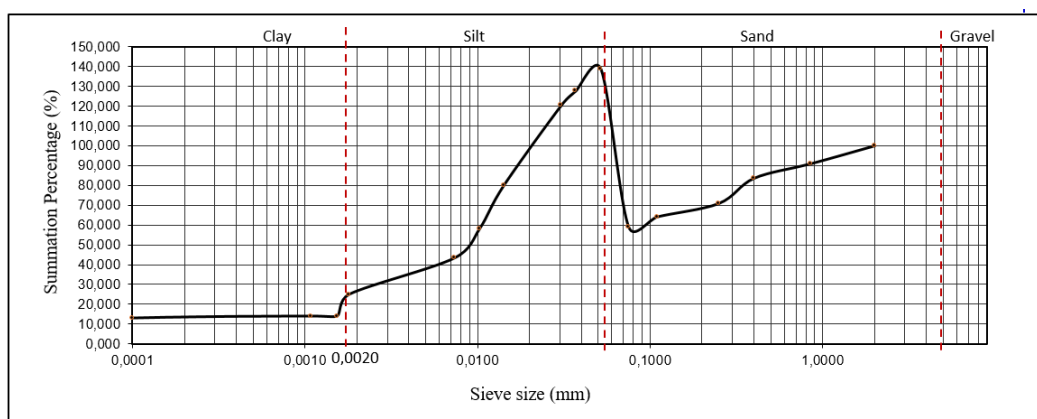
Dari pengujian kadar asli didapat kadar air tanah campuran 3% dan 3 hari dengan 3 benda uji sebesar **35,36%**.

B. Pengujian Berat Jenis Tanah Halus

Dari pengujian berat jenis tanah halus didapat nilai berat jenis tanah 2,406 dapat disimpulkan jenis tanah termasuk dalam tanah **Lempung lanau anorganik**.

C. Pengujian Ukuran Butiran (Hidrometer)

Lalu pada hasil pengujian analisa hidrometer didapat grafik analisa hidrometer dan saringan sebagai berikut:

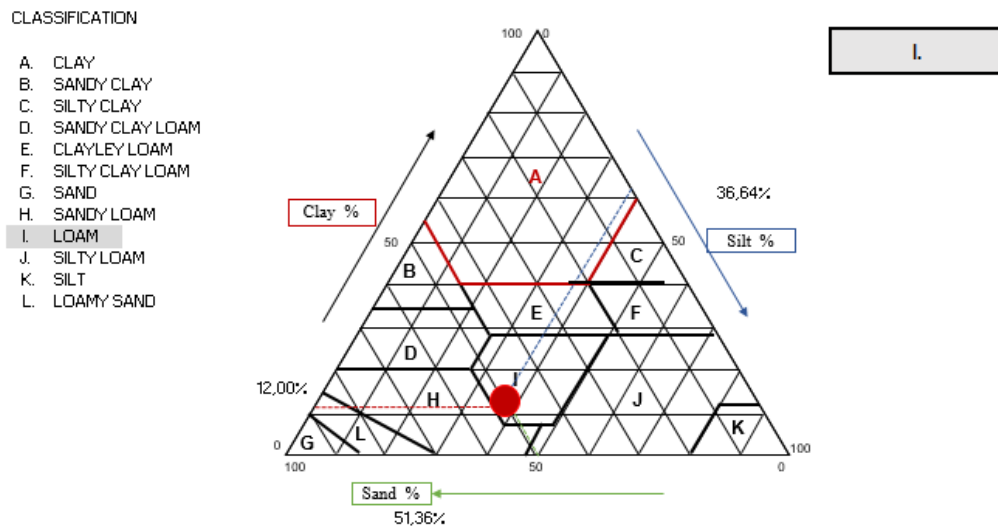


Gambar 4.20 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer)

- Lempung (*Clay*) = 12,00%

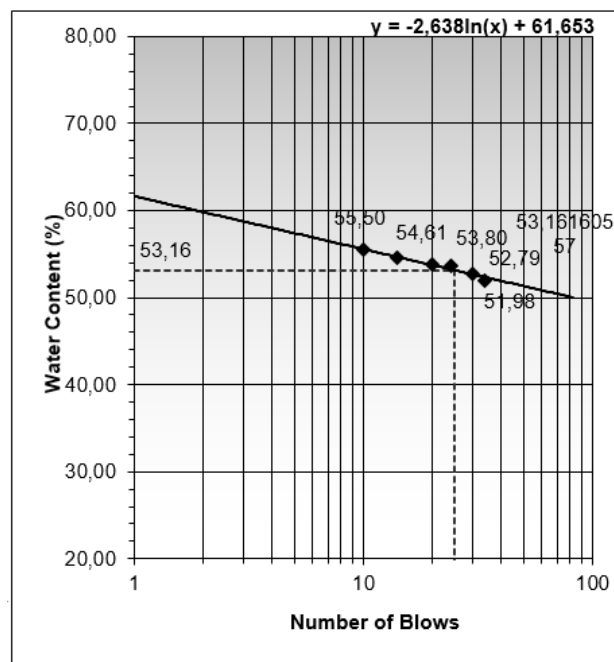
- Lanau (*Silt*) = 36,64%
- Pasir (*Sand*) = 51,36%

Berdasarkan pembagian diatas yang kemudian digunakan pada segitiga klasifikasi USDA untuk penentuan jenis tanah.



Gambar 4.21 Klasifikasi Tanah dengan USDA

D. Pengujian Batas Cair Tanah



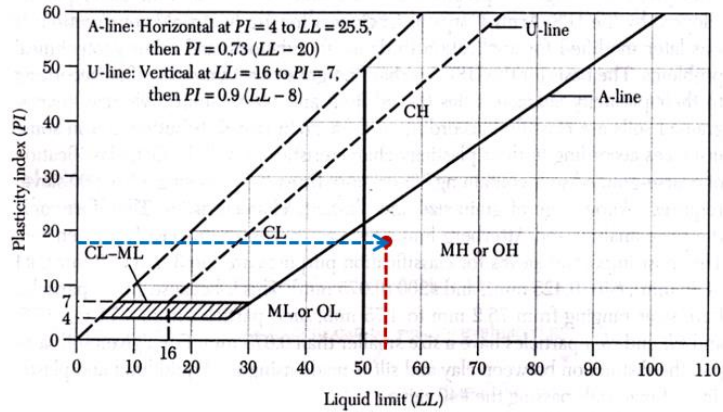
Gambar 4.22 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah

Didapat nilai batas cair tanah = 53,16%.

E. Pengujian Batas Plastis Tanah

Didapat nilai batas plastis tanah = 34,92%.

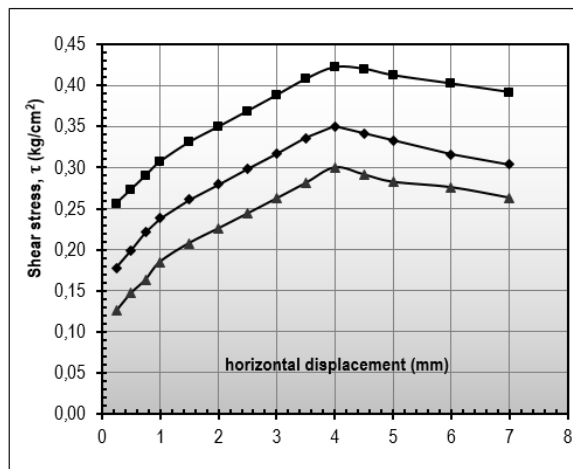
PI = 17,20%



Gambar 4.23 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL

Dari data dan grafik tersebut karena nilai $LL > 50$ dan nilai $PI < 20$ maka klasifikasi ada dibawah garis A, sehingga tanah termasuk dalam klasifikasi MH, yaitu lempung lanau dengan plastisitas tinggi.

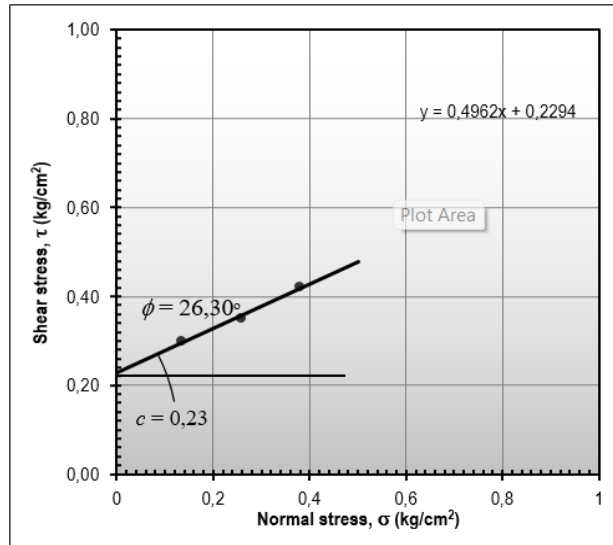
F. Pengujian *Direct Shear*



Gambar 4.24 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal

Tabel 4.11 Hasil Pengujian *Direct Shear*

Hasil Pengujian	Tegangan Normal (kg/cm ²)	Tegangan Geser (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	0,13	0,300
Benda Uji 2	0,26	0,350
Benda Uji 3	0,38	0,422



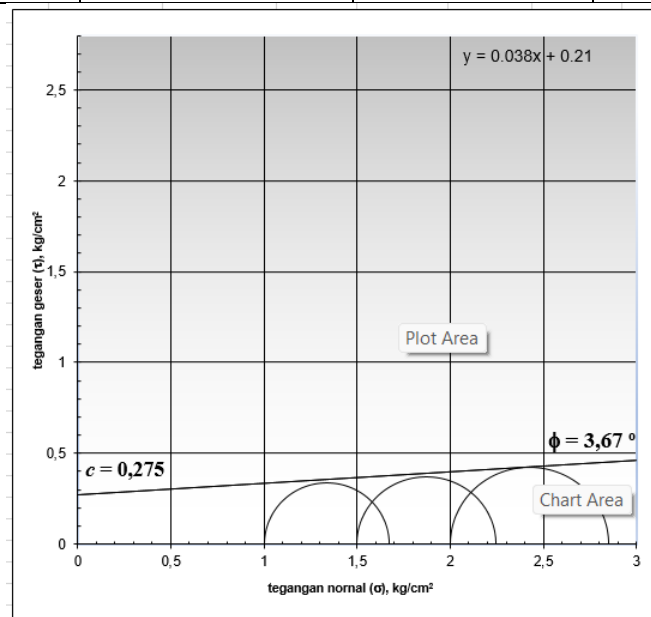
Gambar 4.25 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam

G. Pengujian *Triaxial Compression*

Berikut ini adalah hasil pengujian *Triaxial Compression* UU beserta grafik lingkaran Mohr.

Tabel 4.12 Hasil Pengujian *Triaxial Compression*

Hasil Pengujian	Teg. Deviator maks. (kgf/cm ²)	Teg. Vertikal maks. (kgf/cm ²)	Kohesi <i>Undrained</i> (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	0,674	1,674	0,337
Benda Uji 2	0,746	2,246	0,373
Benda Uji 3	0,848	2,849	0,424

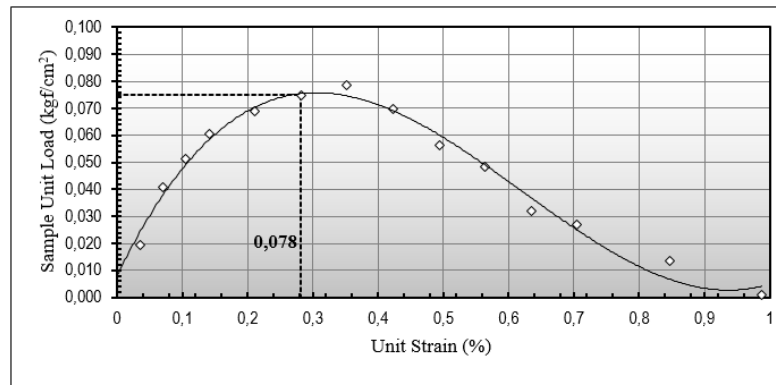


Gambar 4.26 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU

Maka nilai kohesi (c) 3 sampel pengujian triaxial UU adalah 0,275 kgf/cm²,

dengan $\phi = 3,67^\circ$.

H. Pengujian *Unconfined Compressive Strength*



Gambar 4.27 Grafik nilai q_u uji UCS

Didapat nilai $q_u = 0,078 \text{ kgf/cm}^2$ maka pada konsistensi tanah termasuk pada tanah **lempung sangat lunak (*very soft clay*)**, selanjutnya nilai q_u dapat dikonversi dengan nilai kuat geser tanah (S_u) **0,039**.

4.3.2 Variasi Campuran 6%

A. Pengujian Kadar Air

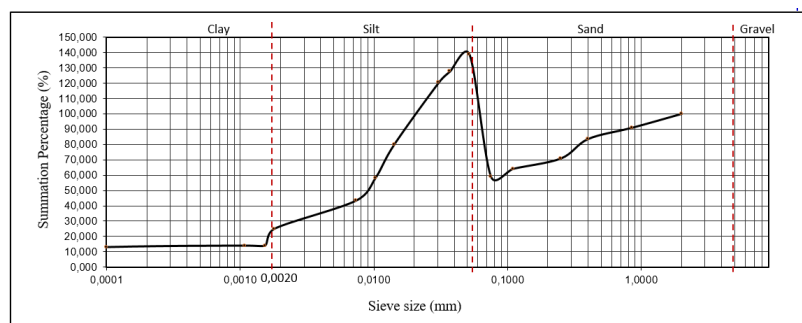
Dari pengujian kadar asli didapat kadar air tanah campuran 3% dan 3 hari dengan 3 benda uji sebesar 32,99%.

B. Pengujian Berat Jenis Tanah Halus

Dari pengujian berat jenis tanah halus didapat nilai berat jenis tanah 2,394 dapat disimpulkan jenis tanah termasuk dalam tanah Lempung lanau anorganik.

C. Pengujian Ukuran Butiran (Hidrometer)

Lalu pada hasil pengujian analisa hidrometer didapat grafik analisa hidrometer dan saringan sebagai berikut:

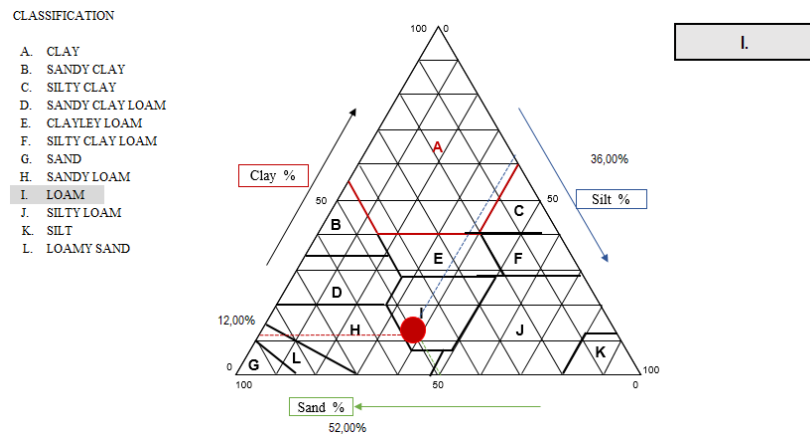


Gambar 4.28 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer)

- Lempung (*Clay*) = 12,00%

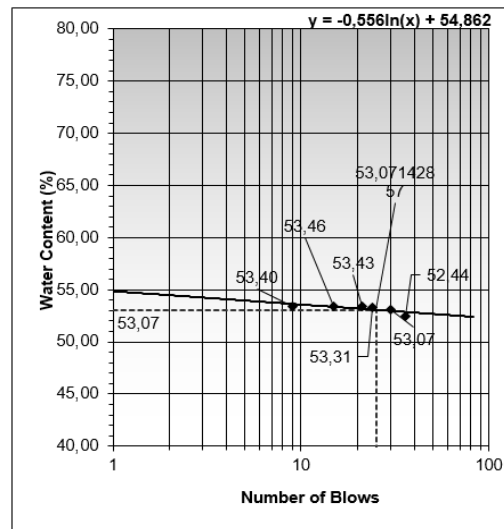
- Lanau (*Silt*) = 36,00%
- Pasir (*Sand*) = 52,00%

Berdasarkan pembagian diatas yang kemudian digunakan pada segitiga klasifikasi USDA untuk penentuan jenis tanah.



Gambar 4.29 Klasifikasi Tanah dengan USDA

D. Pengujian Batas Cair Tanah



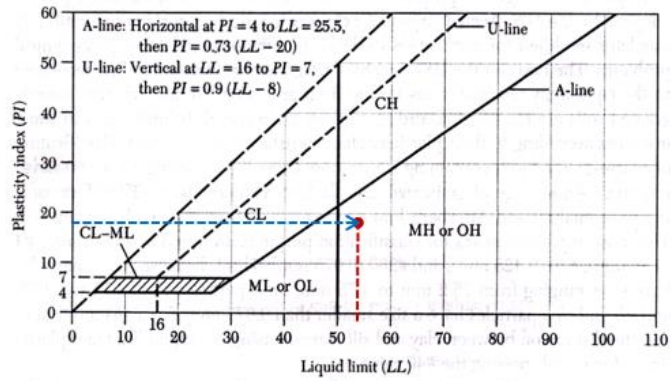
Gambar 4.30 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah

Didapat nilai batas cair tanah = 53,07%.

E. Pengujian Batas Plastis Tanah

Didapat nilai batas plastis tanah = 37,79%.

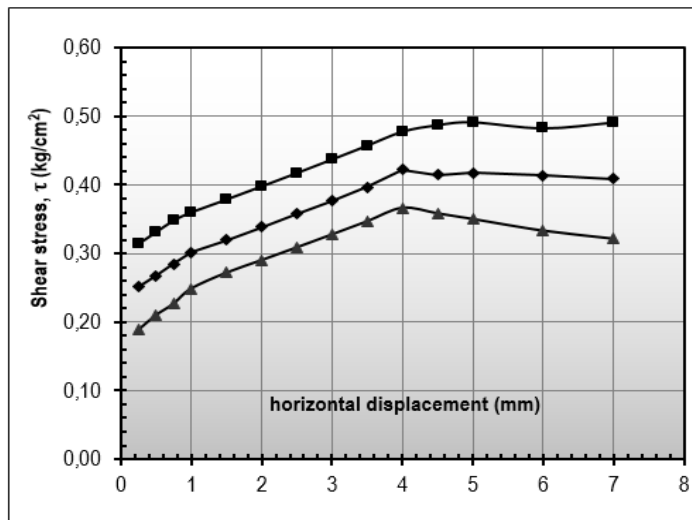
PI = 15,29%



Gambar 4.31 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL

Dari data dan grafik tersebut karena nilai $LL > 50$ dan nilai $PI < 20$ maka klasifikasi ada dibawah garis A, sehingga tanah termasuk dalam klasifikasi MH, yaitu lempung lanau dengan plastisitas tinggi.

F. Pengujian *Direct Shear*

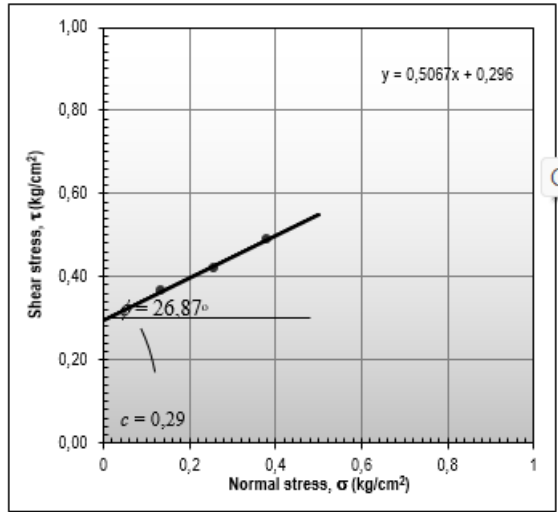


Gambar 4.32 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal

Tabel 4.13 Hasil Pengujian *Direct Shear*

Hasil Pengujian	Tegangan Normal (kg/cm^2)	Tegangan Geser (kgf/cm^2)
Benda Uji 1	0,13	0,367
Benda Uji 2	0,26	0,422
Benda Uji 3	0,38	0,491

Hasil tersebut kemudian diplot dalam bentuk grafik berikut.



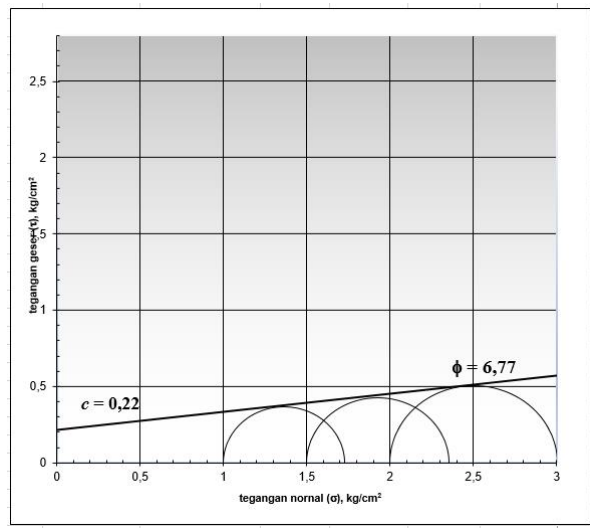
Gambar 4.33 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam

G. Pengujian *Triaxial Compression*

Berikut ini adalah hasil pengujian *Triaxial Compression* UU beserta grafik lingkaran Mohr.

Tabel 4.14 Hasil Pengujian *Triaxial Compression*

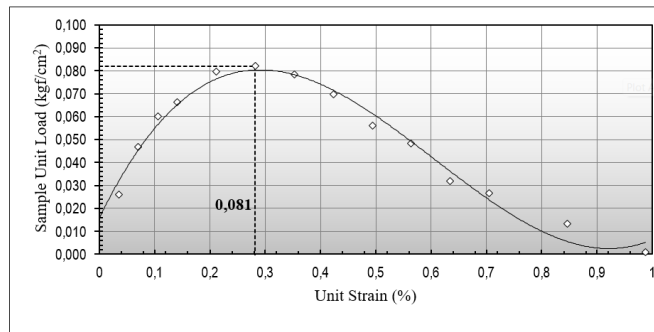
Hasil Pengujian	Teg. Deviator maks. (kgf/cm ²)	Teg. Vertikal maks. (kgf/cm ²)	Kohesi <i>Undrained</i> (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	0,729	1,729	0,364
Benda Uji 2	0,856	2,357	0,428
Benda Uji 3	1,006	3,006	0,503



Gambar 4.34 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU

Maka nilai kohesi (c) 3 sampel pengujian triaxial UU adalah **0,22** kgf/cm² , dengan $\phi = 6,77^\circ$.

H. Pengujian *Unconfined Compressive Strength*



Gambar 4.35 Grafik nilai q_u uji UCS

Didapat nilai $q_u = 0,081 \text{ kgf/cm}^2$ maka pada konsistensi tanah termasuk pada tanah **lempung sangat lunak (*very soft clay*)**, selanjutnya nilai q_u dapat dikonversi dengan nilai kuat geser tanah (S_u) **0,0405**.

4.3.3 Variasi Campuran 9%

A. Pengujian Kadar Air

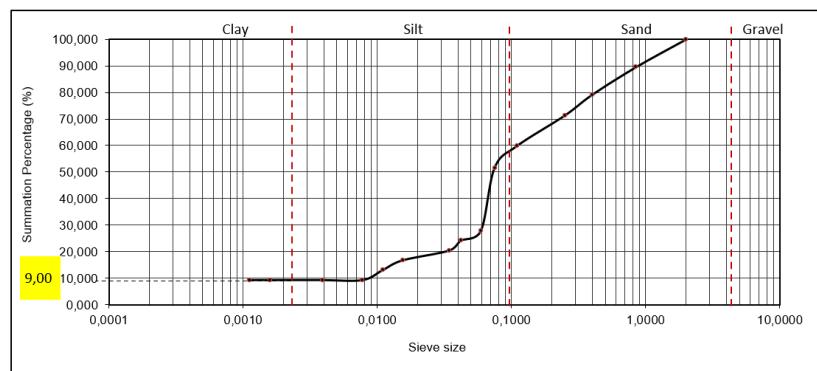
Dari pengujian kadar asli didapat kadar air tanah campuran 9% dan 3 hari dengan 3 benda uji sebesar 34,30%.

B. Pengujian Berat Jenis Tanah Halus

Dari pengujian berat jenis tanah halus didapat nilai berat jenis tanah 2,388 dapat disimpulkan jenis tanah termasuk dalam tanah Lempung lanau anorganik.

C. Pengujian Ukuran Butiran (Hidrometer)

Lalu pada hasil pengujian analisa hidrometer didapat grafik analisa hidrometer dan saringan sebagai berikut:

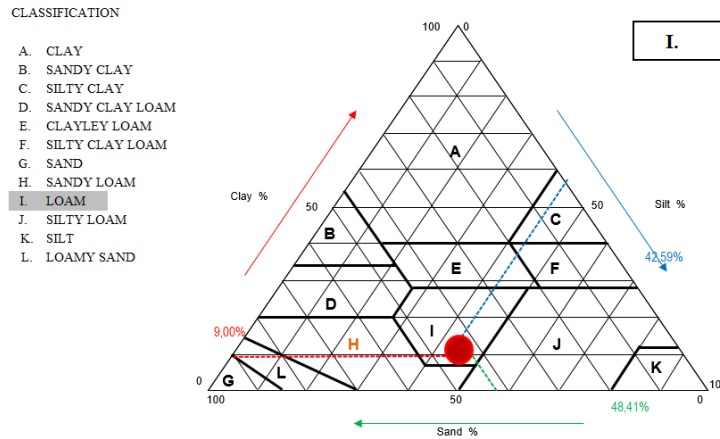


Gambar 4.36 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer)

- Lempung (*Clay*) = 9,00%
- Lanau (*Silt*) = 42,59%

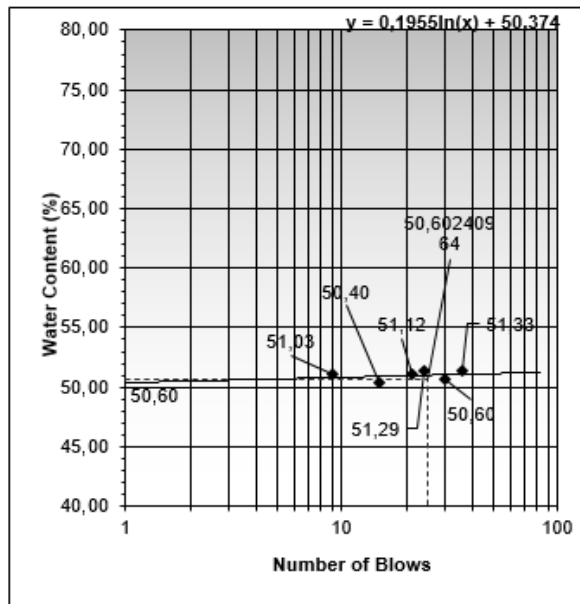
- Pasir (*Sand*) = 48,41%

Berdasarkan pembagian diatas yang kemudian digunakan pada segitiga klasifikasi USDA untuk penentuan jenis tanah.



Gambar 4.37 Klasifikasi Tanah dengan USDA

D. Pengujian Batas Cair Tanah



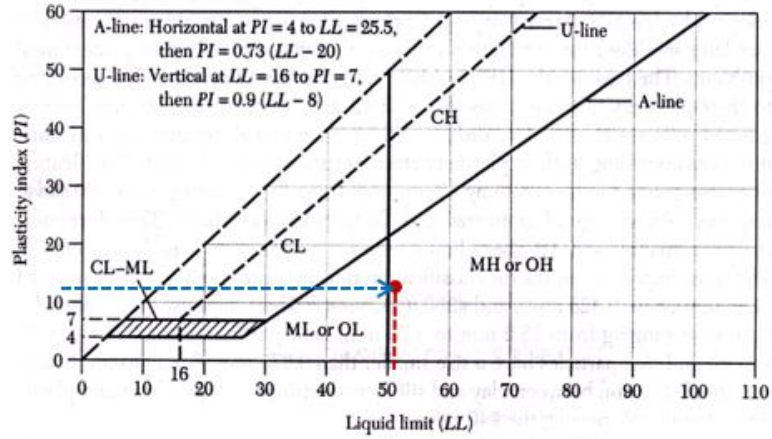
Gambar 4.38 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah

Didapat nilai batas cair tanah = 50,60%.

E. Pengujian Batas Plastis Tanah

Didapat nilai batas plastis tanah = 36,93%.

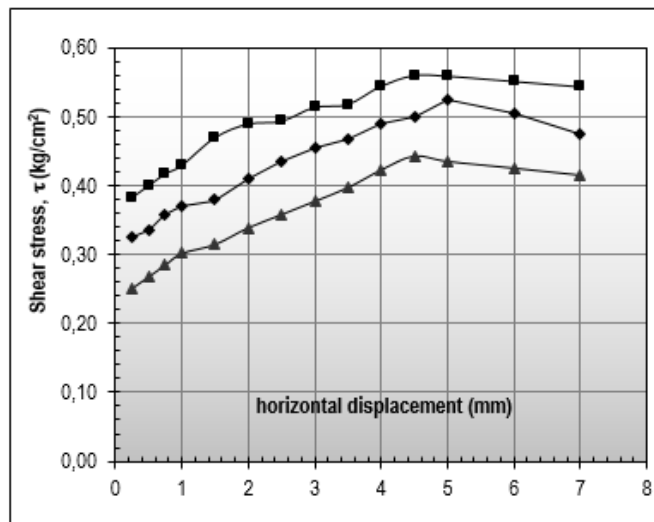
PI = 13,67%



Gambar 4.39 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL

Dari data dan grafik tersebut karena nilai $LL > 50$ dan nilai $PI < 20$ maka klasifikasi ada dibawah garis A, sehingga tanah termasuk dalam klasifikasi **MH**, yaitu lempung lanau dengan plastisitas tinggi.

F. Pengujian Direct Shear

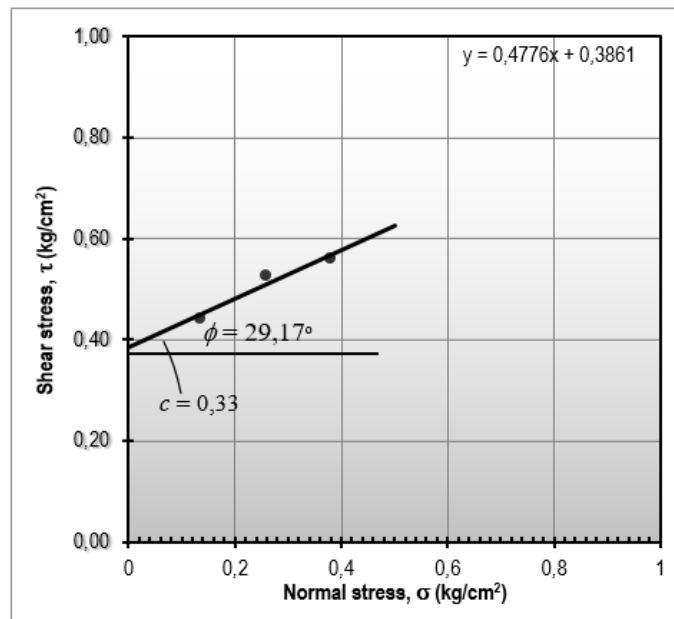


Gambar 4.40 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal

Tabel 4.15 Hasil Pengujian *Direct Shear*

Hasil Pengujian	Tegangan Normal (kg/cm ²)	Tegangan Geser (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	0,13	0,367
Benda Uji 2	0,26	0,433
Benda Uji 3	0,38	0,491

Hasil diatas kemudian diplot pada gambar berikut.



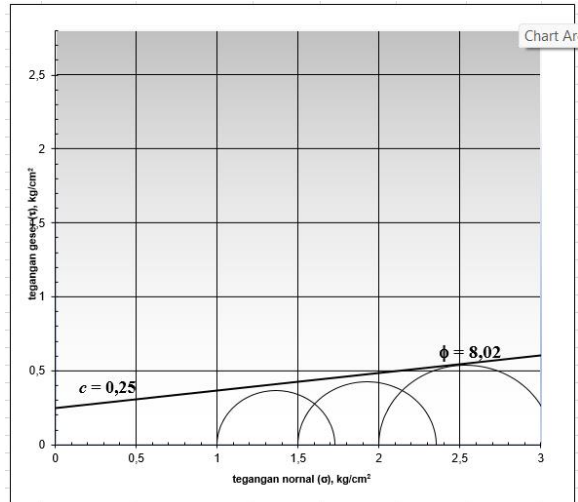
Gambar 4.41 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam

G. Pengujian *Triaxial Compression*

Berikut ini adalah hasil pengujian *Triaxial Compression* UU beserta grafik lingkaran Mohr.

Tabel 4.16 Hasil Pengujian *Triaxial Compression*

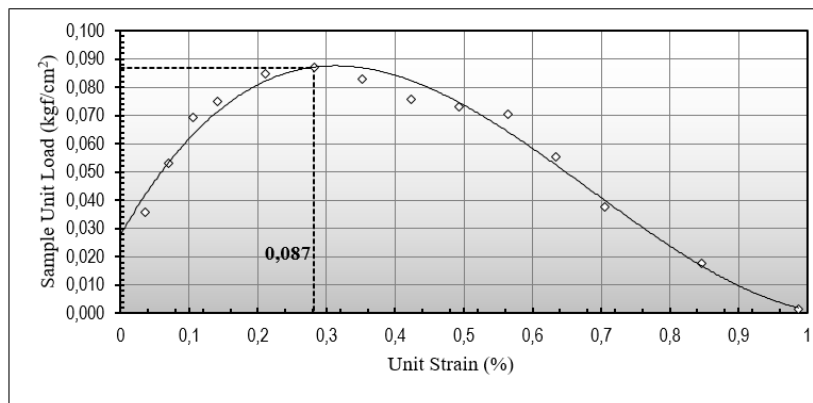
Hasil Pengujian	Teg. Deviator maks. (kgf/cm ²)	Teg. Vertikal maks. (kgf/cm ²)	Kohesi <i>Undrained</i> (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	0,729	1,729	0,364
Benda Uji 2	0,857	2,357	0,428
Benda Uji 3	1,071	3,071	0,535



Gambar 4.42 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU

Maka nilai kohesi (c) 3 sampel pengujian triaxial UU adalah **0,25** kgf/cm^2 , dengan $\phi = 8,02^\circ$.

H. Pengujian *Unconfined Compressive Strength*



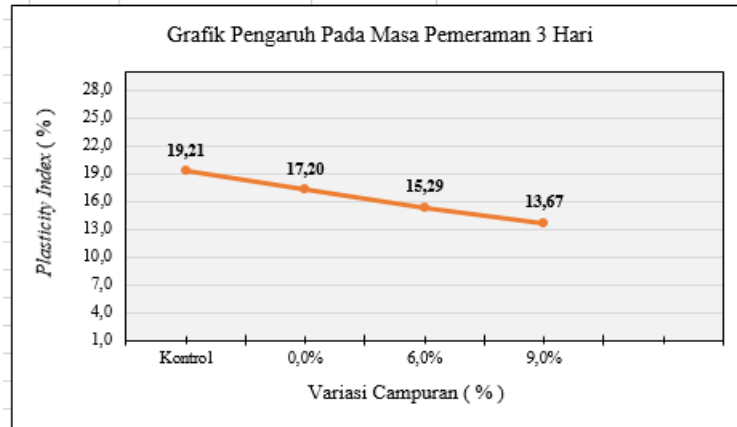
Gambar 4.43 Grafik Nilai q_u Uji UCS

Didapat nilai $q_u = 0,087 \text{ kgf/cm}^2$ maka pada konsistensi tanah termasuk pada tanah **lempung sangat lunak (*very soft clay*)**, selanjutnya nilai q_u dapat dikonversi dengan nilai kuat geser tanah (S_u) **0,0435**.

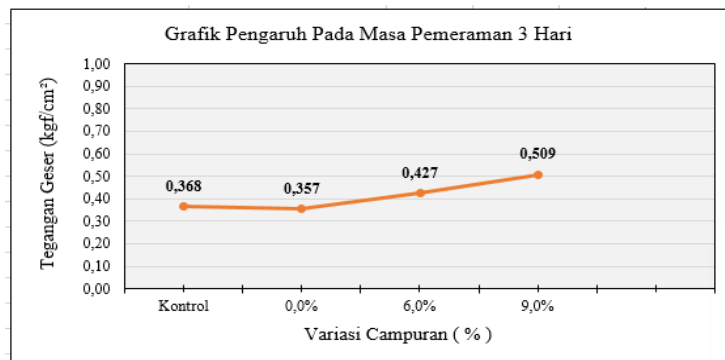
4.3.4 Grafik Pengaruh 3 Hari

Grafik pengaruh merupakan bentuk visualisasi yang digunakan untuk menunjukkan hubungan sebab dan akibat. Dalam penelitian ini, variasi kadar campuran sebesar 0%, 6%, dan 9% berperan sebagai faktor penyebab, sedangkan nilai Plasticity Index (PI) dan kuat geser tanah menjadi parameter akibat yang

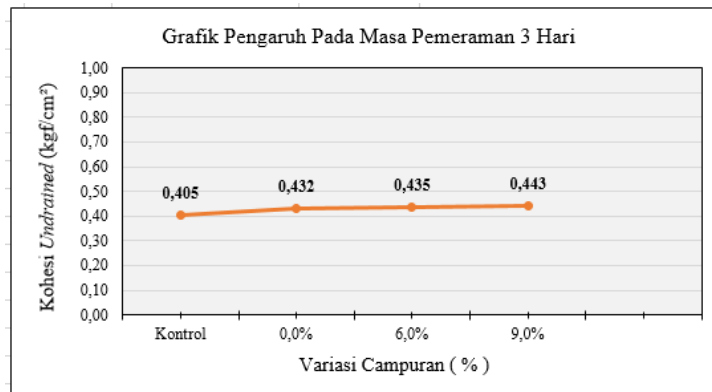
diamati. Grafik ini juga berfungsi untuk memperjelas tingkat efektivitas kinerja bakteri *Bacillus subtilis* terhadap sampel tanah pada masa pemeraman 3 hari, sehingga perubahan karakteristik tanah dapat diamati secara lebih jelas.



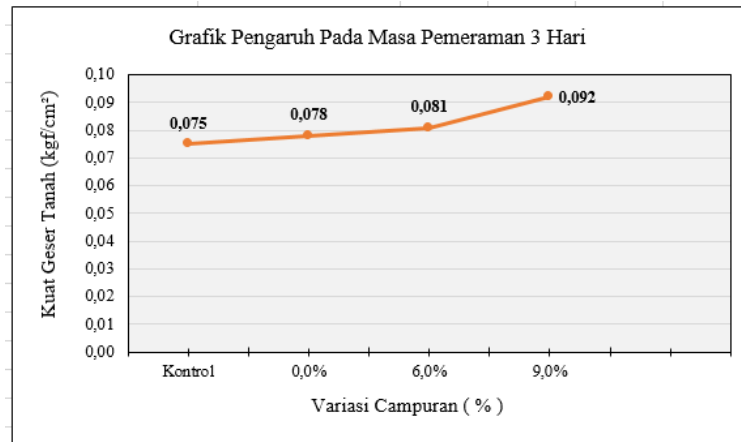
Gambar 4.44 Grafik Pengaruh Pada Uji *LL – PL*



Gambar 4.45 Grafik Pengaruh Pada Uji *Direct Shear*



Gambar 4.46 Grafik Pengaruh Pada Uji *Triaxial Compression*



Gambar 4.47 Grafik Pengaruh Pada Uji *Unconfined Compressive Strength*

4.4 Pengujian Fisik dan Mekanik Pada Masa Pemeraman 7 Hari

4.4.1 Variasi Campuran 0%

A. Pengujian Kadar Air

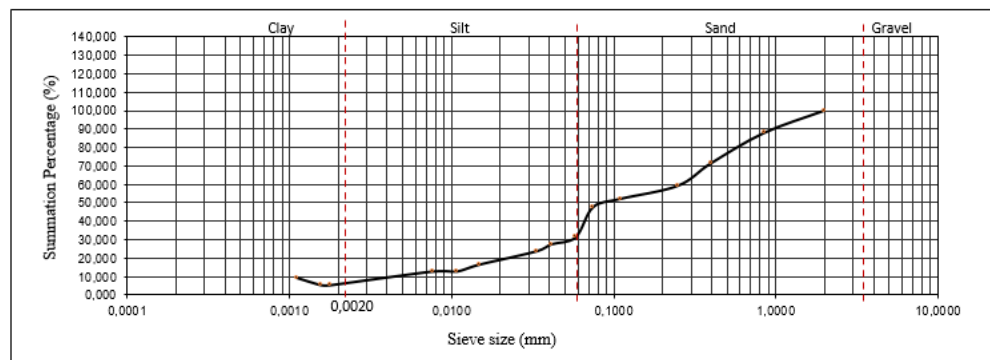
Dari pengujian kadar asli didapat kadar air tanah campuran 3% dan 3 hari dengan 3 benda uji sebesar **34,20%**.

B. Pengujian Berat Jenis Tanah Halus

Dari pengujian berat jenis tanah halus didapat nilai berat jenis tanah 2,413 dapat disimpulkan jenis tanah termasuk dalam tanah **Lempung lanau anorganik**

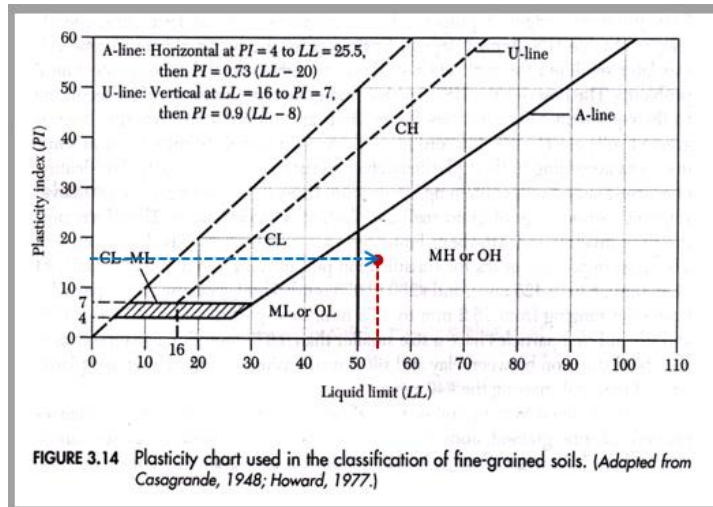
C. Pengujian Ukuran Butiran (Hidrometer)

Lalu pada hasil pengujian analisa hidrometer didapat grafik analisa hidrometer dan saringan sebagai berikut:



Gambar 4.48 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer)

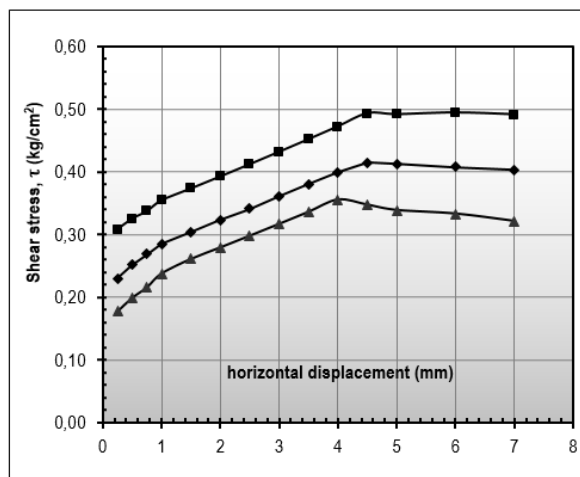
- Lempung (*Clay*) = 10,52%
- Lanau (*Silt*) = 37,57%



Gambar 4.51 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL

Dari data dan grafik tersebut karena nilai LL > 50 dan nilai PI < 20 maka klasifikasi ada dibawah garis A, sehingga tanah termasuk dalam klasifikasi MH, yaitu lempung lanau dengan plastisitas tinggi.

F. Pengujian *Direct Shear*

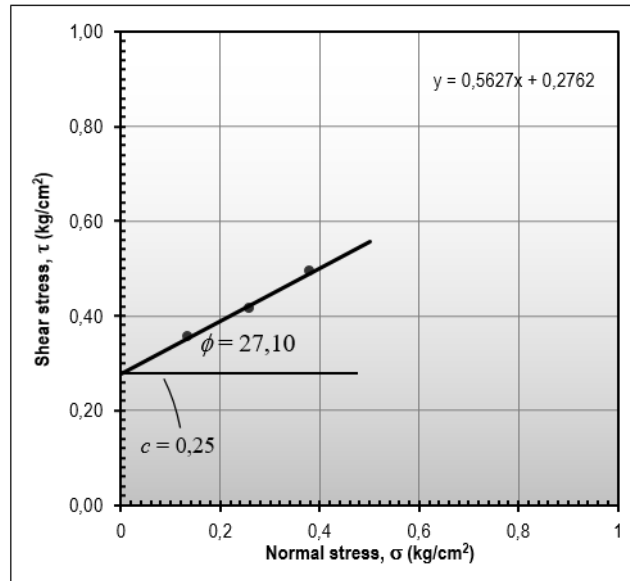


Gambar 4.52 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal

Tabel 4.17 Hasil Pengujian *Direct Shear*

Hasil Pengujian	Tegangan Normal (kg/cm ²)	Tegangan Geser (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	0,13	0,355
Benda Uji 2	0,26	0,414
Benda Uji 3	0,38	0,491

Hasil tersebut kemudian diplot dalam bentuk grafik berikut.



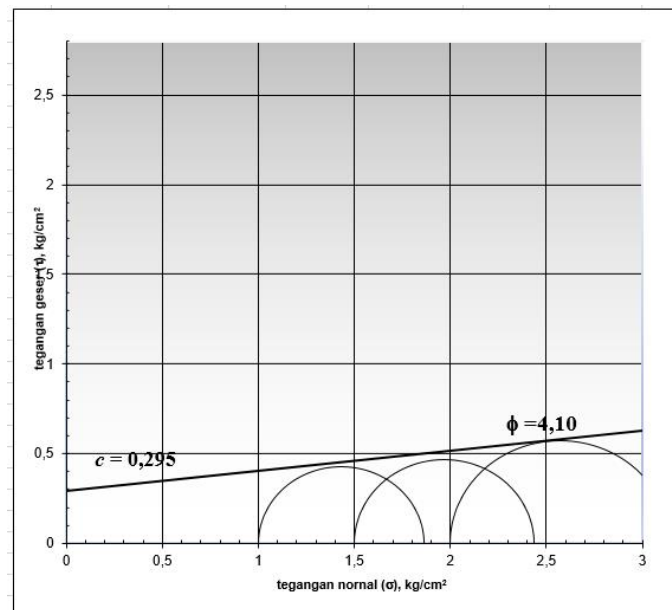
Gambar 4.53 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam

G. Pengujian *Triaxial Compression*

Berikut ini adalah hasil pengujian *Triaxial Compression* UU beserta grafik lingkaran Mohr.

Tabel 4.18 Hasil Pengujian *Triaxial Compression*

Hasil Pengujian	Teg. Deviator maks. (kgf/cm ²)	Teg. Vertikal maks. (kgf/cm ²)	Kohesi <i>Undrained</i> (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	0,861	1,861	0,430
Benda Uji 2	0,968	2,468	0,484
Benda Uji 3	1,145	3,145	0,572

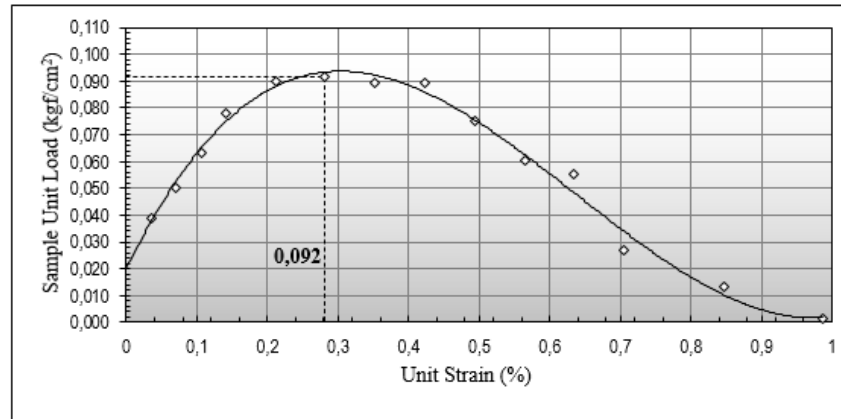


Gambar 4.54 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU

Dengan nilai kohesi (c) 3 sampel pengujian triaxial UU adalah **0,295**

kgf/cm² , dengan $\phi = 4,1^\circ$

H. Pengujian *Unconfined Compressive Strength*



Gambar 4.55 Grafik Nilai q_u Uji UCS

Didapat nilai $q_u = 0,092 \text{ kgf/cm}^2$ maka pada konsistensi tanah termasuk pada tanah **lempung sangat lunak (*very soft clay*)**, selanjutnya nilai q_u dapat dikonversi dengan nilai kuat geser tanah (S_u) **0,046**.

4.4.2 Variasi Campuran 6%

A. Pengujian Kadar Air

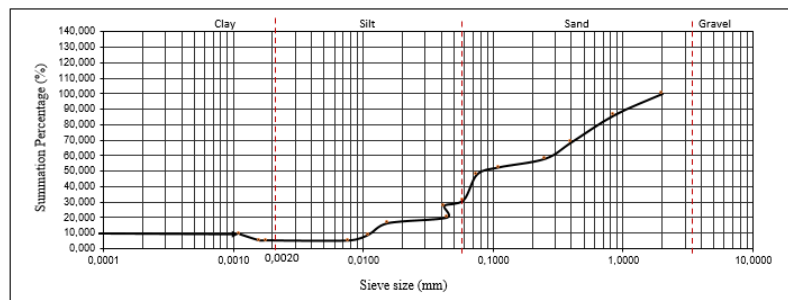
Dari pengujian kadar asli didapat kadar air tanah campuran 3% dan 3 hari dengan 3 benda uji sebesar 33,21%.

B. Pengujian Berat Jenis Tanah Halus

Dari pengujian berat jenis tanah halus didapat nilai berat jenis tanah 2,394 dapat disimpulkan jenis tanah termasuk dalam tanah Lempung lanau anorganik.

C. Pengujian Ukuran Butiran (Hidrometer)

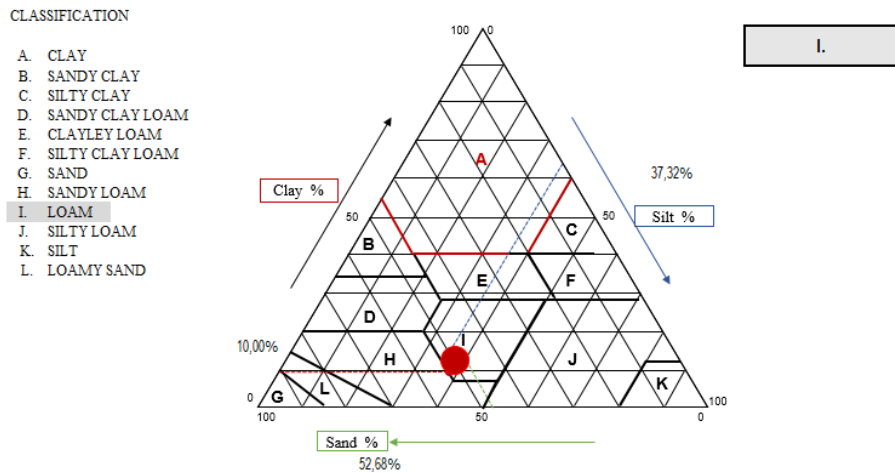
Lalu pada hasil pengujian analisa hidrometer didapat grafik analisa hidrometer dan saringan sebagai berikut:



Gambar 4.56 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer)

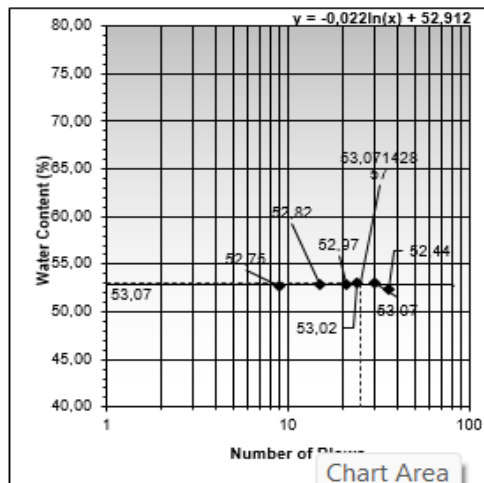
- Lempung (*Clay*) = 10,00%
- Lanau (*Silt*) = 37,31%
- Pasir (*Sand*) = 52,68%

Melalui pembagian tersebut yang kemudian dipakai pada segitiga klasifikasi USDA untuk penentuan jenis tanahnya.



Gambar 4.57 Klasifikasi Tanah dengan USDA

D. Pengujian Batas Cair Tanah



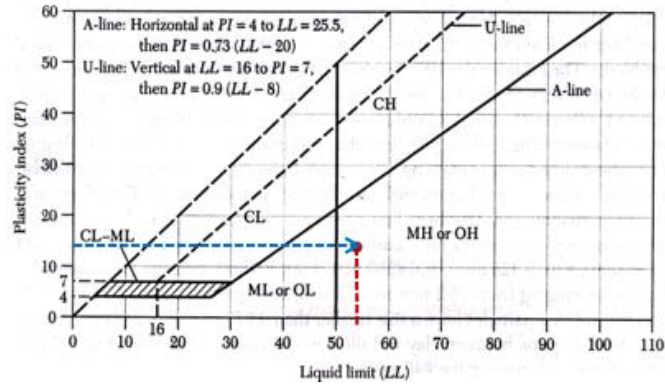
Gambar 4.58 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah

Didapat nilai batas cair tanah = **53,07%**.

E. Pengujian Batas Plastis Tanah

Didapat nilai batas plastis tanah = 38,84%.

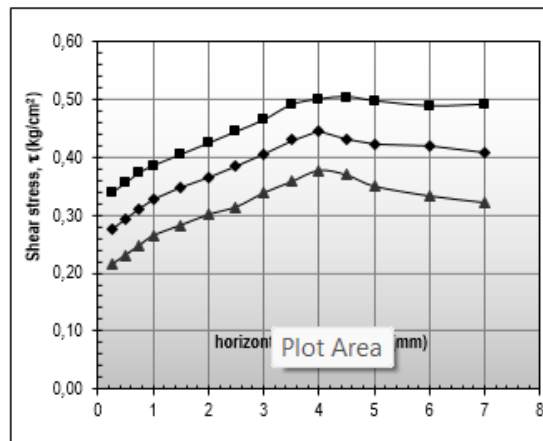
$$PI = 14,23\%$$



Gambar 4.59 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL

Dari data dan grafik tersebut karena nilai $LL > 50$ dan nilai $PI < 20$ maka klasifikasi ada dibawah garis A, sehingga tanah termasuk dalam klasifikasi MH, yaitu **lempung lanau dengan plastisitas tinggi**.

F. Pengujian Direct Shear

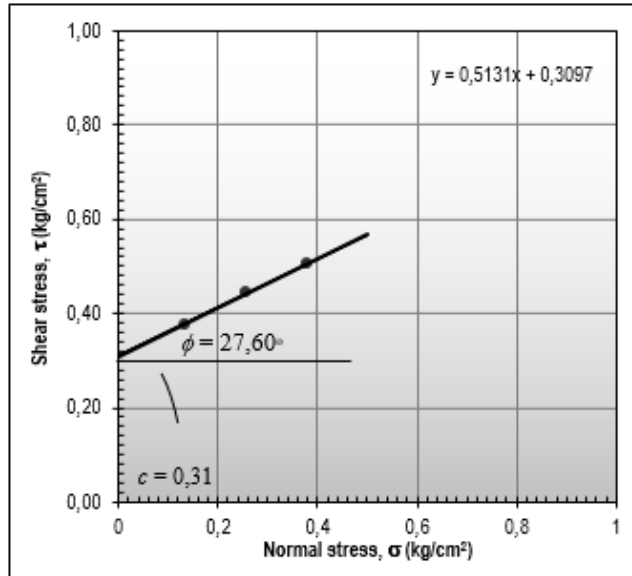


Gambar 4.60 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal

Tabel 4.19 Hasil Pengujian *Direct Shear*

Hasil Pengujian	Tegangan Normal (kg/cm^2)	Tegangan Geser (kgf/cm^2)
Benda Uji 1	0,13	0,378
Benda Uji 2	0,26	0,444
Benda Uji 3	0,38	0,504

Hasil tersebut kemudian diplot dalam bentuk grafik berikut.



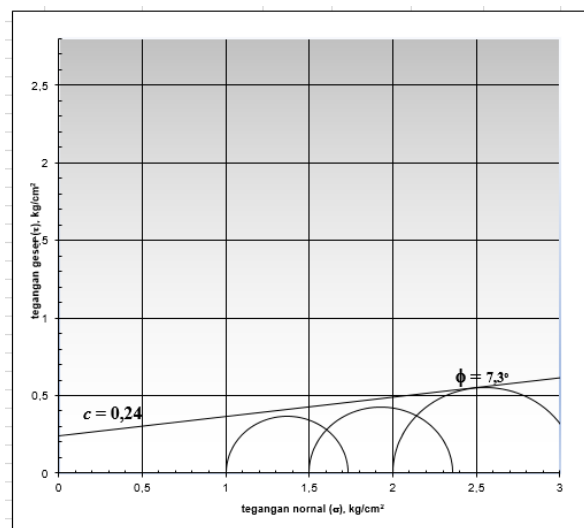
Gambar 4.61 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam

G. Pengujian *Triaxial Compression*

Berikut ini adalah hasil pengujian *Triaxial Compression* UU beserta grafik lingkaran Mohr.

Tabel 4.20 Hasil Pengujian *Triaxial Compression*

Hasil Pengujian	Teg. Deviator maks. (kgf/cm ²)	Teg. Vertikal maks. (kgf/cm ²)	Kohesi <i>Undrained</i> (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	0,729	1,729	0,364
Benda Uji 2	0,857	2,357	0,428
Benda Uji 3	1,103	3,103	0,551

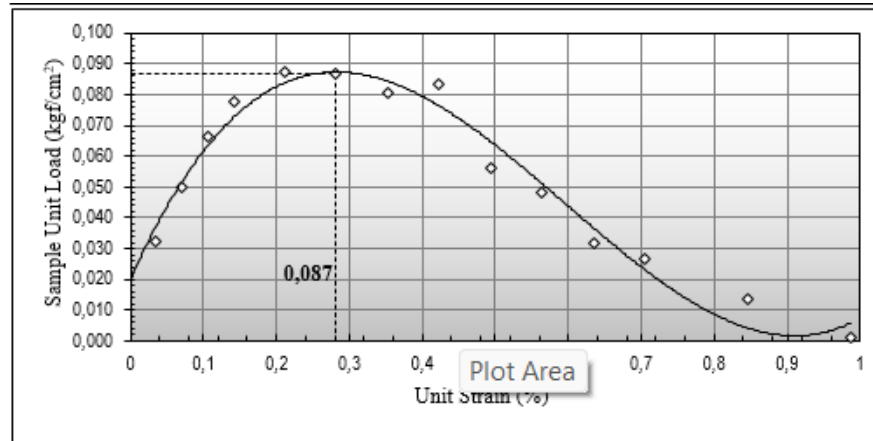


Gambar 4.62 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU

Dengan nilai kohesi (c) 3 sampel pengujian triaxial UU adalah **0,24 kgf/cm²**

, dengan $\phi = 7,3^\circ$

H. Pengujian *Unconfined Compressive Strength*



Gambar 4.43 Grafik Nilai q_u Uji UCS

Didapat nilai $q_u = 0,087 \text{ kgf/cm}^2$ maka pada konsistensi tanah termasuk pada tanah **lempung sangat lunak (*very soft clay*)**, selanjutnya nilai q_u dapat dikonversi dengan nilai kuat geser tanah (S_u) **0,044**.

4.4.3 Variasi Campuran 9%

A. Pengujian Kadar Air

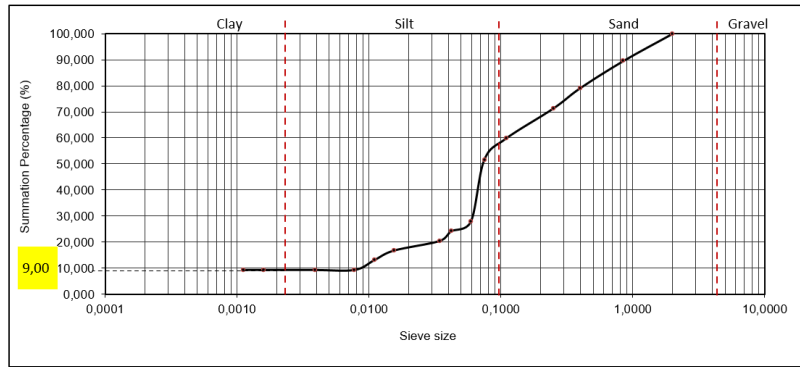
Dari pengujian kadar asli didapat kadar air tanah campuran 3% dan 3 hari dengan 3 benda uji sebesar 32,90%.

B. Pengujian Berat Jenis Tanah Halus

Dari pengujian berat jenis tanah halus didapat nilai berat jenis tanah 2,392 dapat disimpulkan jenis tanah termasuk dalam tanah Lempung lanau anorganik.

C. Pengujian Ukuran Butiran (Hidrometer)

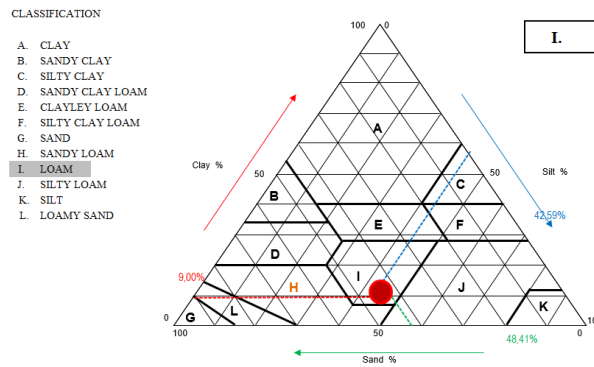
Lalu pada hasil pengujian analisa hidrometer didapat grafik analisa hidrometer dan saringan sebagai berikut:



Gambar 4.44 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer)

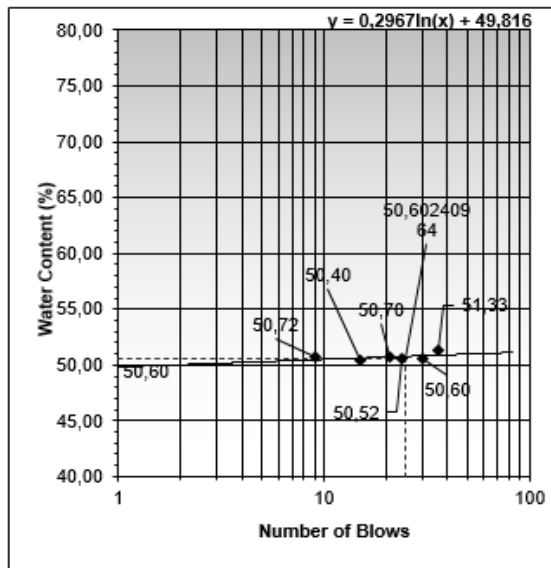
- Lempung (*Clay*) = 9,00%
- Lanau (*Silt*) = 42,59%
- Pasir (*Sand*) = 48,41%

Berdasarkan pembagian diatas yang kemudian digunakan pada segitiga klasifikasi USDA untuk penentuan jenis tanah.



Gambar 4.45 Klasifikasi Tanah dengan USDA

D. Pengujian Batas Cair Tanah



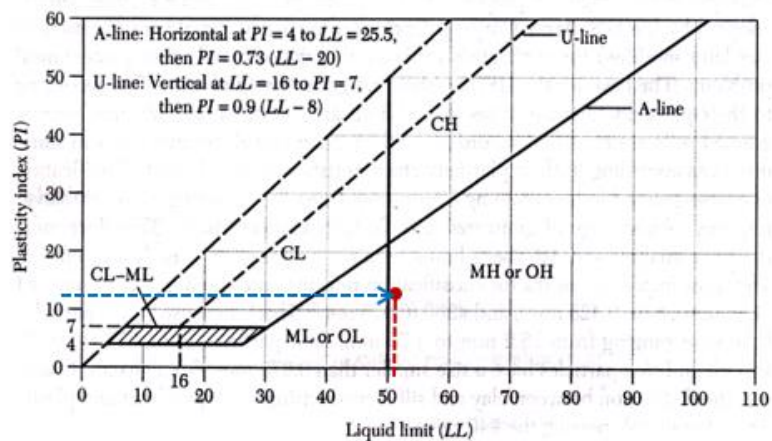
Gambar 4.46 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah

Didapat nilai batas cair tanah = 50,60%.

E. Pengujian Batas Plastis Tanah

Didapat nilai batas plastis tanah = 37,92%.

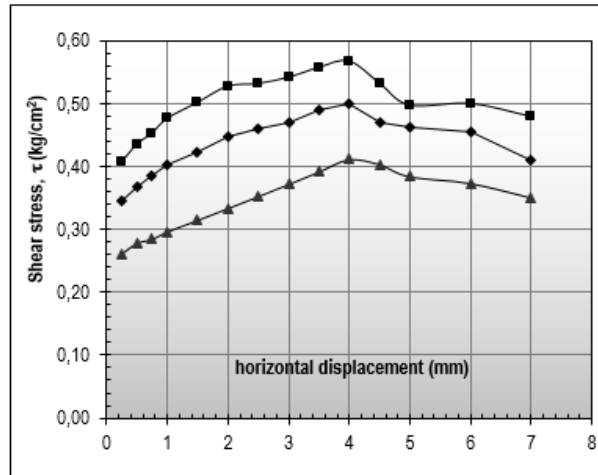
PI = 12,69%



Gambar 4.47 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL

Dari data dan grafik tersebut karena nilai $LL > 50$ dan nilai $PI < 20$ maka klasifikasi ada dibawah garis A, sehingga tanah termasuk dalam klasifikasi MH, yaitu lempung lanau dengan plastisitas tinggi.

F. Pengujian *Direct Shear*

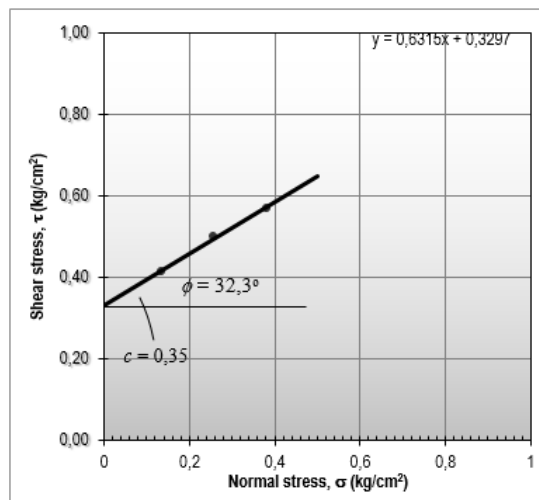


Gambar 4.48 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal

Tabel 4.21 Hasil Pengujian *Direct Shear*

Hasil Pengujian	Tegangan Normal (kg/cm^2)	Tegangan Geser (kgf/cm^2)
Benda Uji 1	0,13	0,411
Benda Uji 2	0,26	0,500
Benda Uji 3	0,38	0,567

Hasil diatas kemudian diplot pada gambar berikut.



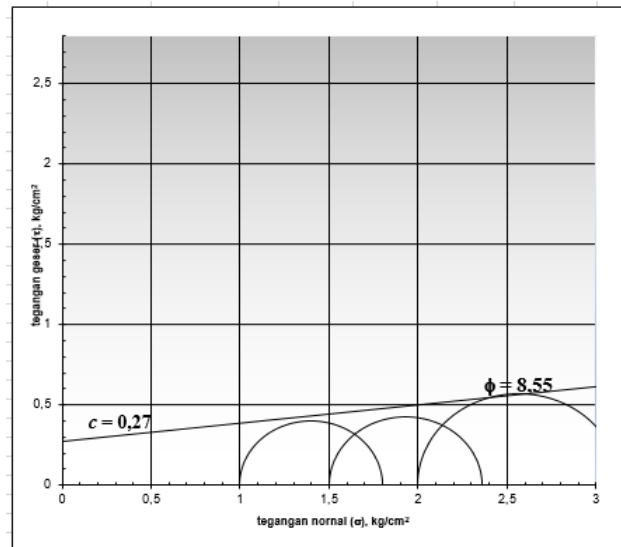
Gambar 4.49 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam

G. Pengujian *Triaxial Compression*

Berikut ini adalah hasil pengujian *Triaxial Compression* UU beserta grafik lingkaran Mohr.

Tabel 4.22 Hasil Pengujian *Triaxial Compression*

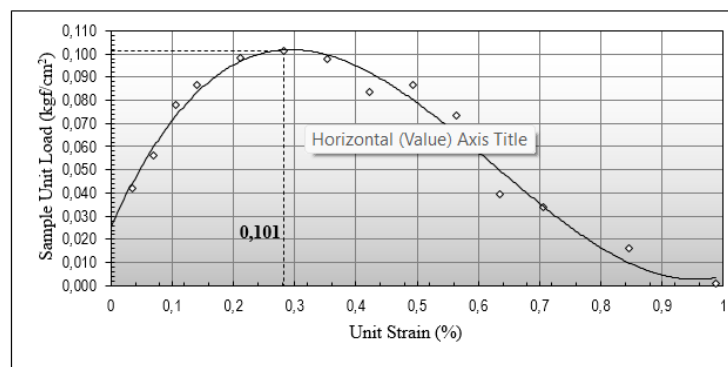
Hasil Pengujian	Teg. Deviator maks. (kgf/cm ²)	Teg. Vertikal maks. (kgf/cm ²)	Kohesi <i>Undrained</i> (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	0,802	1,802	0,401
Benda Uji 2	0,857	2,357	0,428
Benda Uji 3	1,135	3,135	0,567



Gambar 4.50 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU

Dengan nilai kohesi (c) 3 sampel pengujian triaxial UU adalah **0,855 kgf/cm²** , dengan $\phi = 0,27^\circ$

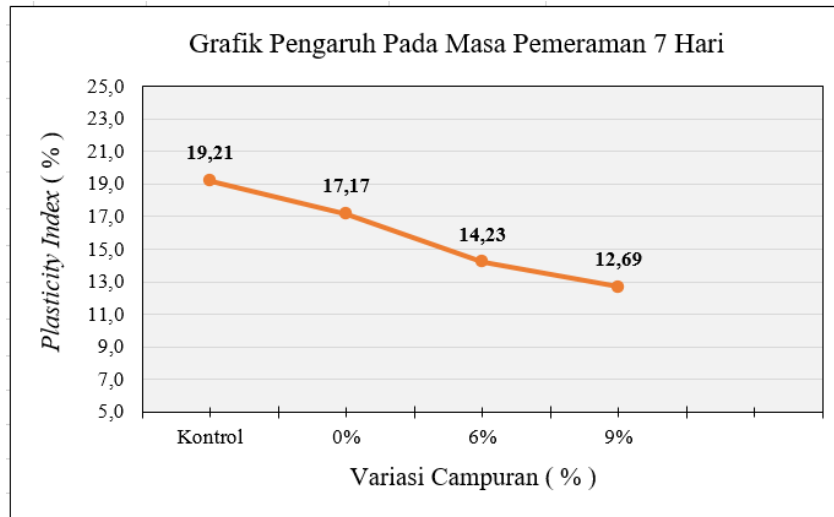
H. Pengujian *Unconfined Compressive Strength*



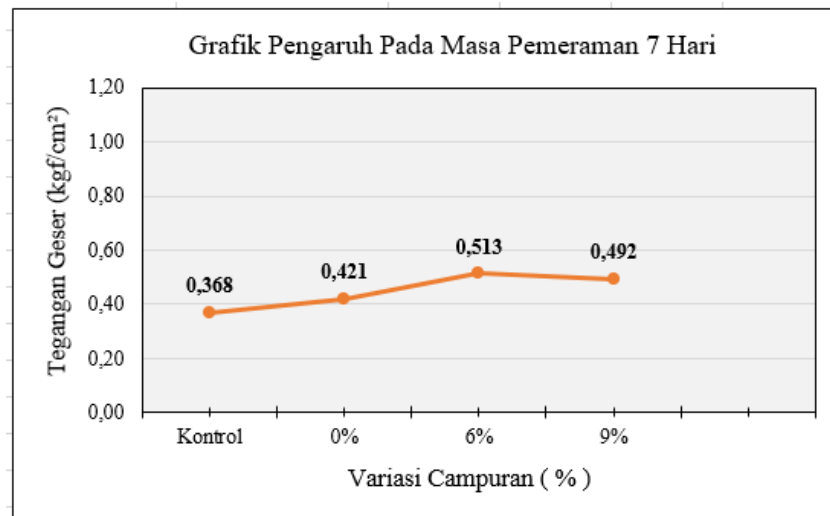
Gambar 4.51 Grafik Nilai q_u Uji UCS

Didapat nilai $q_u = 0,101 \text{ kgf/cm}^2$ maka pada konsistensi tanah termasuk pada tanah **lempung sangat lunak (*very soft clay*)**, selanjutnya nilai q_u dapat dikonversi dengan nilai kuat geser tanah (S_u) **0,051**.

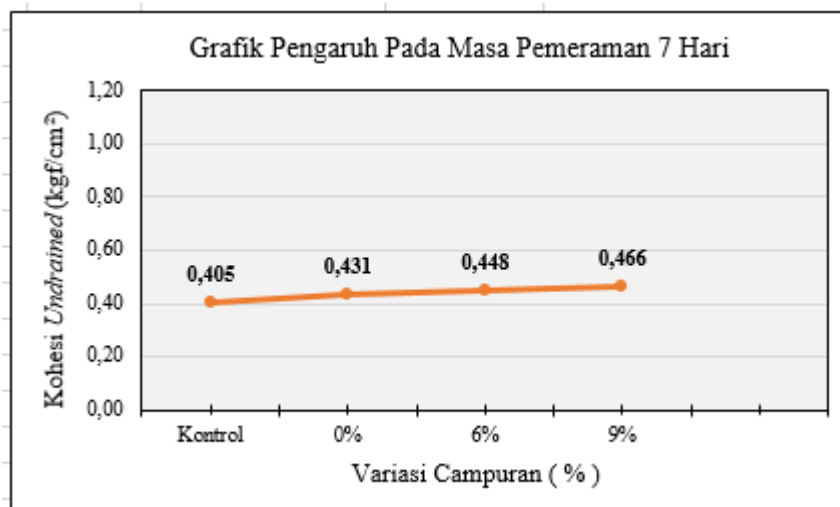
4.4.4 Grafik Pengaruh 7 Hari



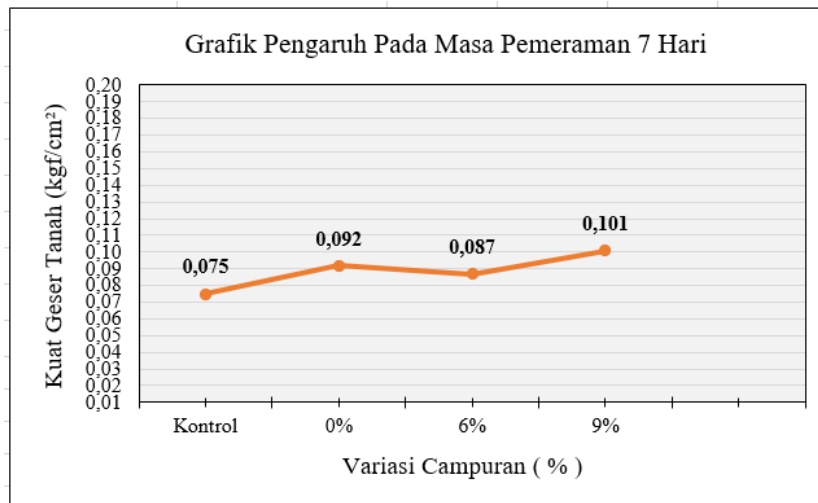
Gambar 4.52 Grafik Pengaruh Pada Uji LL – PL



Gambar 4.53 Grafik Pengaruh Pada Uji *Direct Shear*



Gambar 4.54 Grafik Pengaruh Pada Uji *Triaxial Compression*



Gambar 4.55 Grafik Pengaruh Pada Uji *Unconfined Compressive Strength*

4.5 Pengujian Fisik dan Mekanik Pada Masa Pemeraman 14 Hari

4.5.1 Variasi Campuran 0%

A. Pengujian Kadar Air

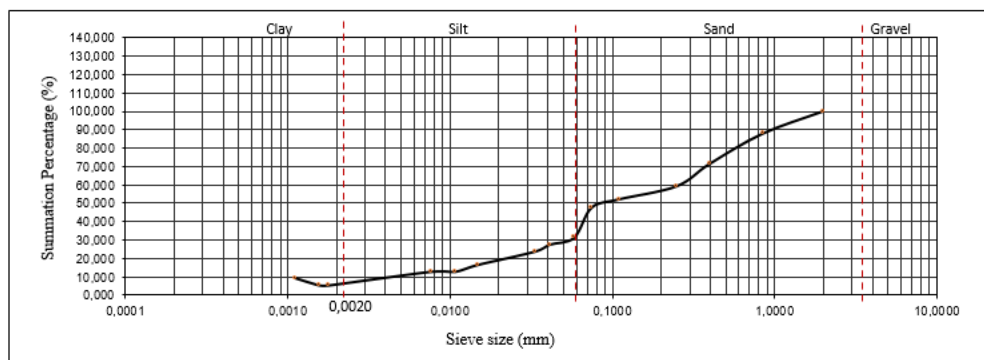
Dari pengujian kadar asli didapat kadar air tanah campuran 3% dan 14 hari dengan 3 benda uji sebesar **33,10 %**.

B. Pengujian Berat Jenis Tanah Halus

Dari pengujian berat jenis tanah halus didapat nilai berat jenis tanah 2,418 dapat disimpulkan macam jenis tanah termasuk dalam tanah Lempung Organik.

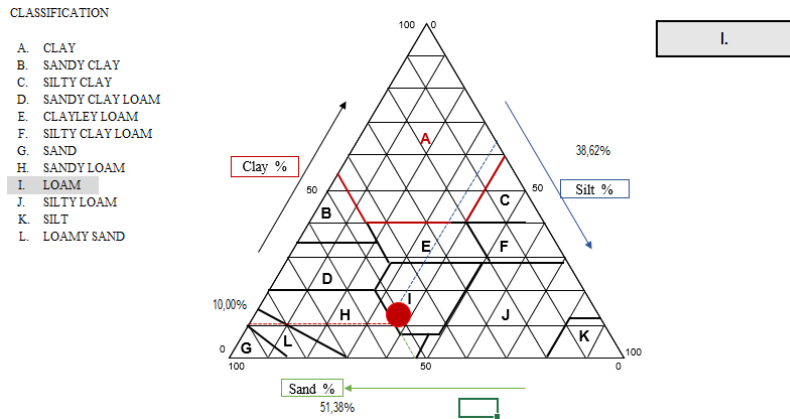
C. Pengujian Ukuran Butiran (Hidrometer)

Lalu pada hasil pengujian analisa hidrometer didapat grafik analisa hidrometer dan saringan sebagai berikut :



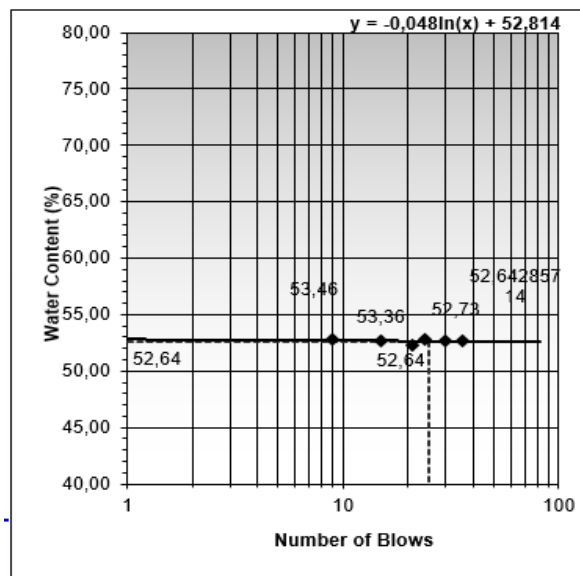
Gambar 4.56 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer)

- Lempung (*Clay*) = 10,52%
- Lanau (*Silt*) = 37,57%
- Pasir (*Sand*) = 52,43%



Gambar 4.57 Klasifikasi Tanah dengan USDA

D. Pengujian Batas Cair Tanah



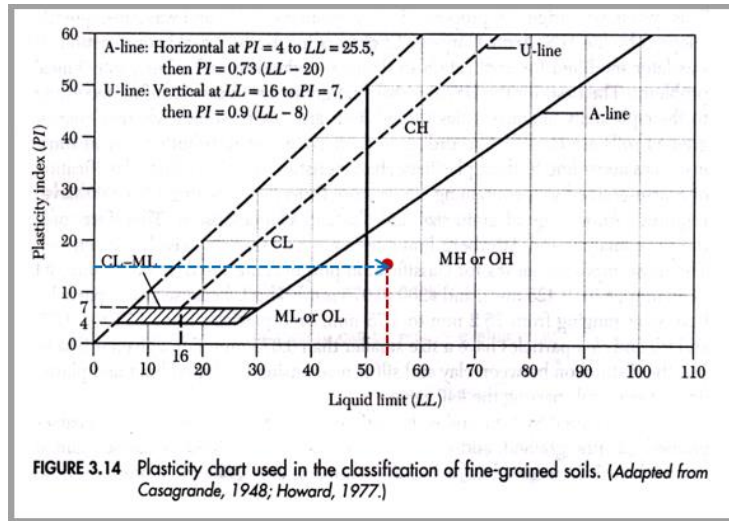
Gambar 4.58 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah

Didapat nilai batas cair tanah = 52,64%.

E. Pengujian Batas Plastis Tanah

Didapat nilai batas plastis tanah = 36,62%.

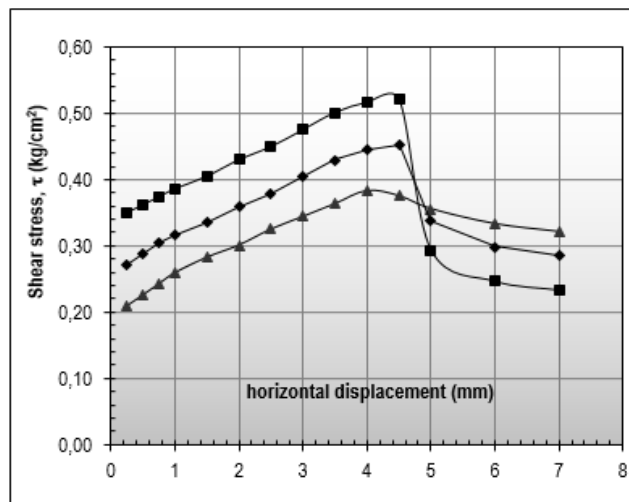
PI = 16,02%



Gambar 4.59 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL

Dari data dan grafik tersebut karena nilai $LL > 50$ dan nilai $PI < 20$ maka klasifikasi ada dibawah garis A, sehingga tanah termasuk dalam klasifikasi **MH**, yaitu **lempung lanau dengan plastisitas tinggi**.

F. Pengujian *Direct Shear*

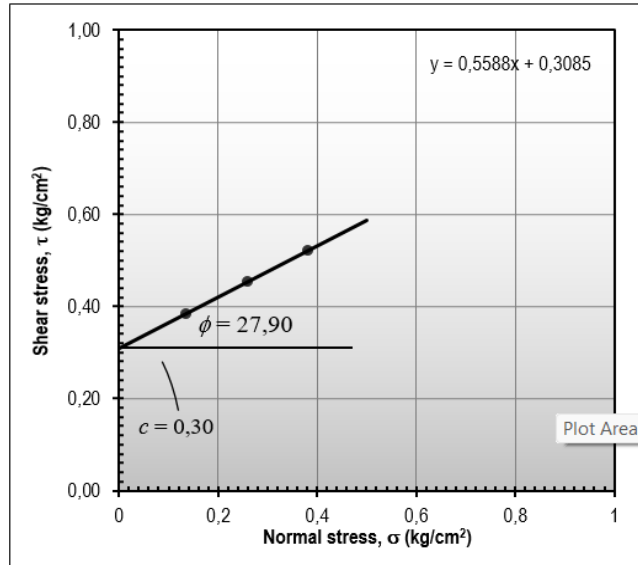


Gambar 4.60 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal

Tabel 4.23 Hasil Pengujian *Direct Shear*

Hasil Pengujian	Tegangan Normal (kg/cm^2)	Tegangan Geser (kgf/cm^2)
Benda Uji 1	0,13	0,383
Benda Uji 2	0,26	0,454
Benda Uji 3	0,38	0,521

Hasil diatas kemudian diplot pada gambar berikut.



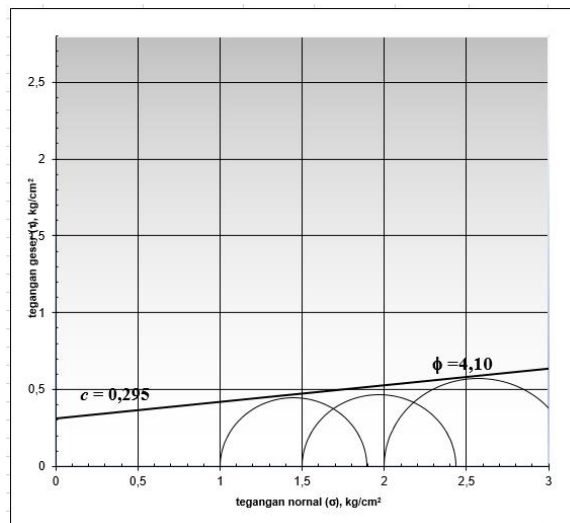
Gambar 4.61 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam

G. Pengujian *Triaxial Compression*

Berikut ini adalah hasil pengujian *Triaxial Compression* UU beserta grafik lingkaran Mohr.

Tabel 4.24 Hasil Pengujian *Triaxial Compression*

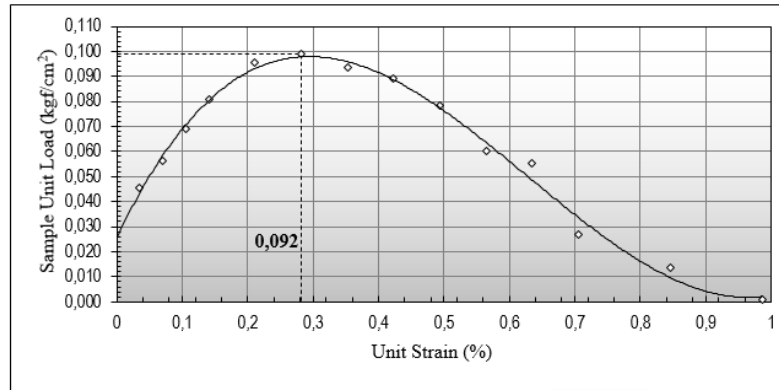
Hasil Pengujian	Teg. Deviator maks. (kgf/cm ²)	Teg. Vertikal maks. (kgf/cm ²)	Kohesi <i>Undrained</i> (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	0,896	1,896	0,401
Benda Uji 2	0,935	2,435	0,428
Benda Uji 3	1,145	3,145	0,567



Gambar 4.62 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU

Dengan nilai kohesi (c) 3 sampel pengujian triaxial UU adalah **0,295 kgf/cm²** , dengan $\phi = 4,1^\circ$

H. Pengujian *Unconfined Compressive Strength*



Gambar 4.63 Grafik Nilai q_u Uji UCS

Didapat nilai $q_u = 0,092 \text{ kgf/cm}^2$ maka pada konsistensi tanah termasuk pada tanah **lempung sangat lunak (*very soft clay*)**, selanjutnya nilai q_u dapat dikonversi dengan nilai kuat geser tanah (S_u) **0,049**.

4.5.2 Variasi Campuran 6%

A. Pengujian Kadar Air

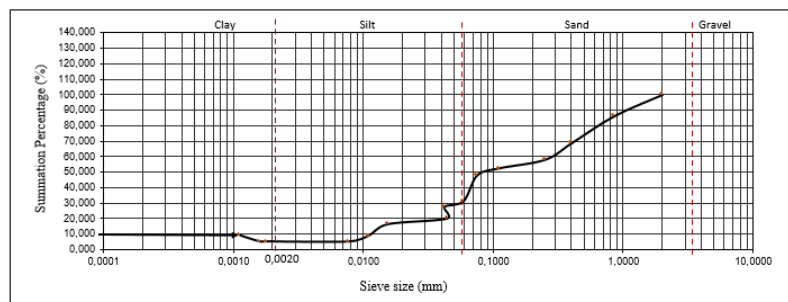
Dari pengujian kadar asli didapat kadar air tanah campuran 3% dan 3 hari dengan 3 benda uji sebesar 31,80%.

B. Pengujian Berat Jenis Tanah Halus

Dari pengujian berat jenis tanah halus didapat nilai berat jenis tanah 2,403 dapat disimpulkan jenis tanah termasuk dalam tanah Lempung lanau anorganik.

C. Pengujian Ukuran Butiran (Hidrometer)

Lalu pada hasil pengujian analisa hidrometer didapat grafik analisa hidrometer dan saringan sebagai berikut:

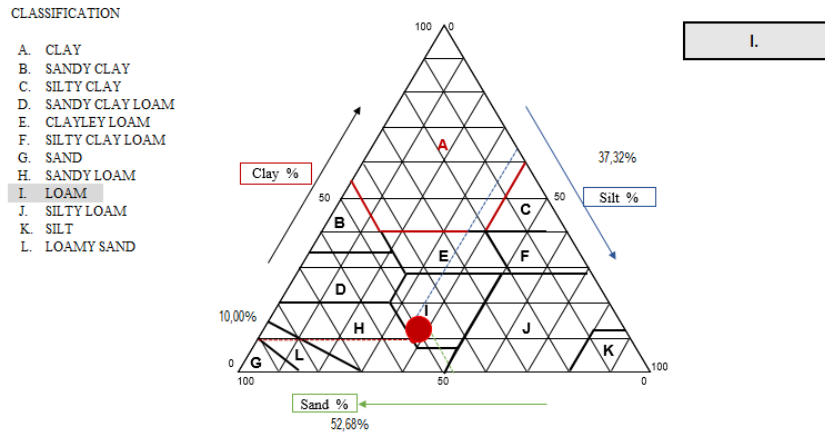


Gambar 4.64 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer)

- Lempung (*Clay*) = 10,00%

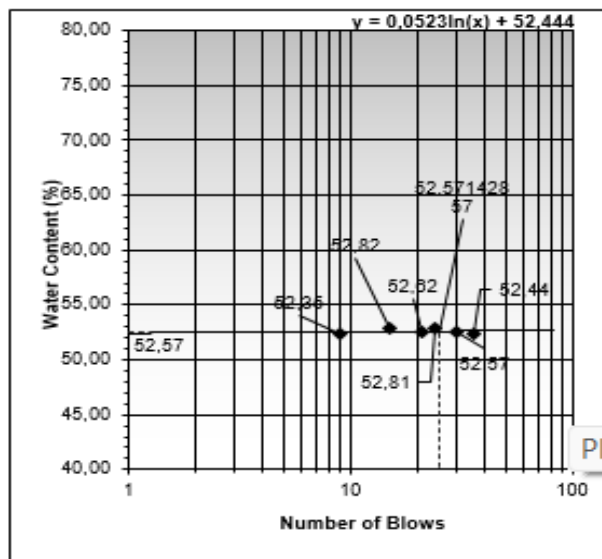
- Lanau (*Silt*) = 37,31%
- Pasir (*Sand*) = 52,68%

Melalui pembagian tersebut yang kemudian dipakai pada segitiga klasifikasi USDA untuk penentuan jenis tanahnya.



Gambar 4.65 Klasifikasi Tanah dengan USDA

D. Pengujian Batas Cair Tanah



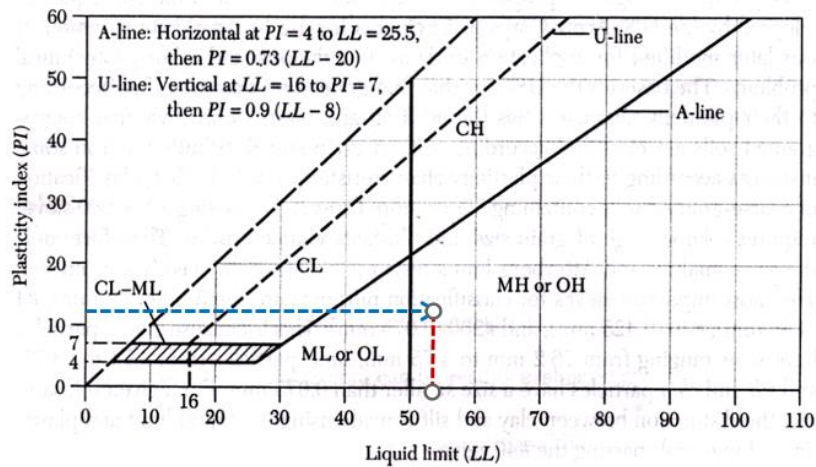
Gambar 4.66 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah

Didapat nilai batas cair tanah = **52,57%**.

E. Pengujian Batas Plastis Tanah

Didapat nilai batas plastis tanah = 39,65%.

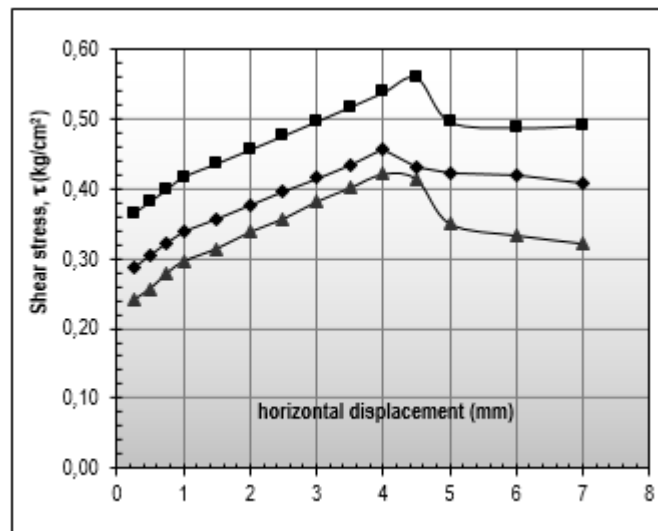
PI = 12,92%



Gambar 4.67 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL

Dari data dan grafik tersebut karena nilai $LL > 50$ dan nilai $PI < 20$ maka klasifikasi ada dibawah garis A, sehingga tanah termasuk dalam klasifikasi **MH**, yaitu **lempung lanau dengan plastisitas tinggi**.

F. Pengujian *Direct Shear*

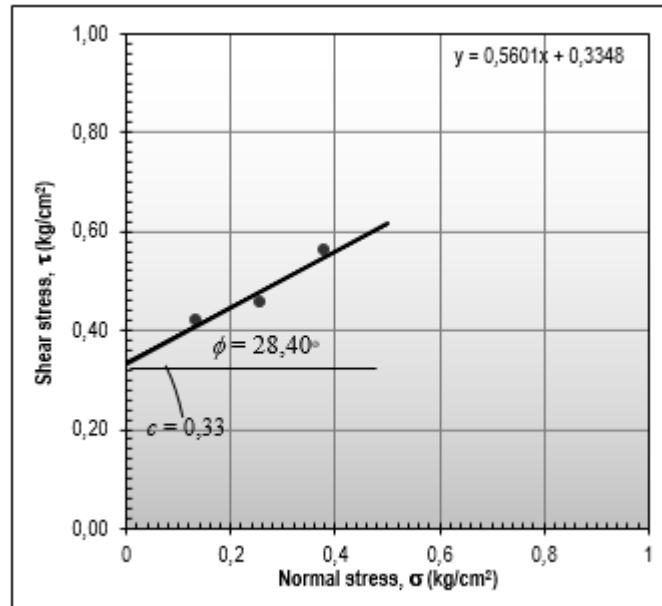


Gambar 4.68 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal

Tabel 4.25 Hasil Pengujian *Direct Shear*

Hasil Pengujian	Tegangan Normal (kg/cm^2)	Tegangan Geser (kgf/cm^2)
Benda Uji 1	0,13	0,350
Benda Uji 2	0,26	0,455
Benda Uji 3	0,38	0,560

Hasil diatas kemudian diplot pada gambar berikut.



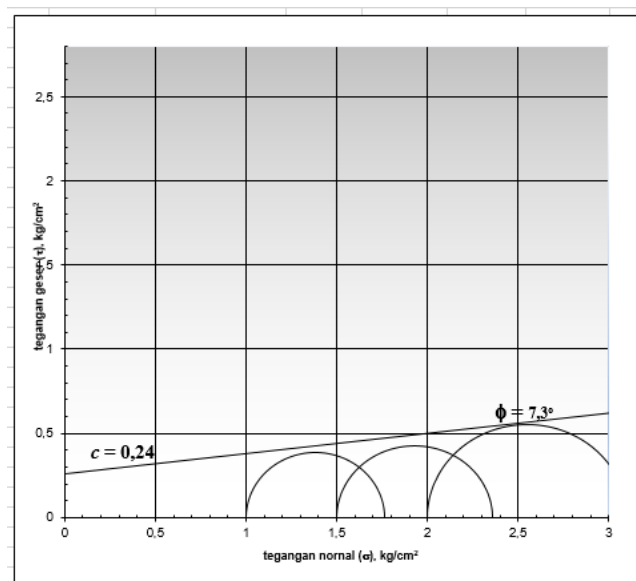
Gambar 4.69 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam

G. Pengujian *Triaxial Compression*

Berikut ini adalah hasil pengujian *Triaxial Compression* UU beserta grafik lingkaran Mohr.

Tabel 4.26 Hasil Pengujian *Triaxial Compression*

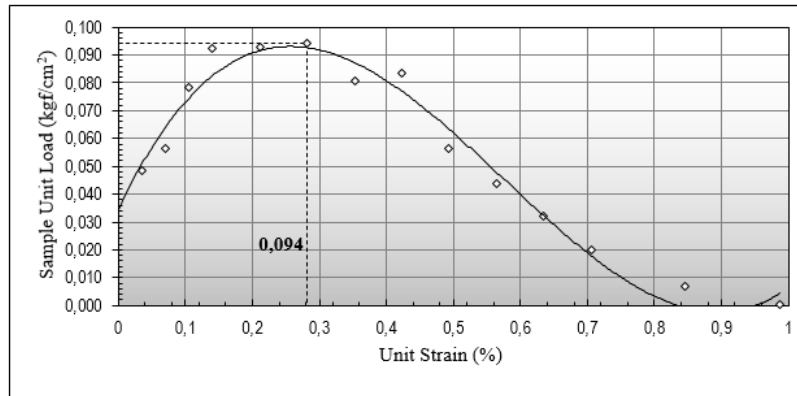
Hasil Pengujian	Teg. Deviator maks. (kgf/cm ²)	Teg. Vertikal maks. (kgf/cm ²)	Kohesi <i>Undrained</i> (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	0,766	1,766	0,383
Benda Uji 2	0,857	2,357	0,423
Benda Uji 3	1,103	3,103	0,551



Gambar 4.70 Grafik Lingkaran Mohr dengan *Triaxial* UU

Dengan nilai kohesi (c) 3 sampel pengujian triaxial UU adalah **0,24 kgf/cm²**, dengan $\phi = 7,3^\circ$

H. Pengujian *Unconfined Compressive Strength*



Gambar 4.71 Grafik Nilai q_u Uji UCS

Didapat nilai $q_u = 0,094 \text{ kgf/cm}^2$ maka pada konsistensi tanah termasuk pada tanah **lempung sangat lunak (*very soft clay*)**, selanjutnya nilai q_u dapat dikonversi dengan nilai kuat geser tanah (S_u) **0,047**.

4.5.3 Variasi Campuran 9%

A. Pengujian Kadar Air

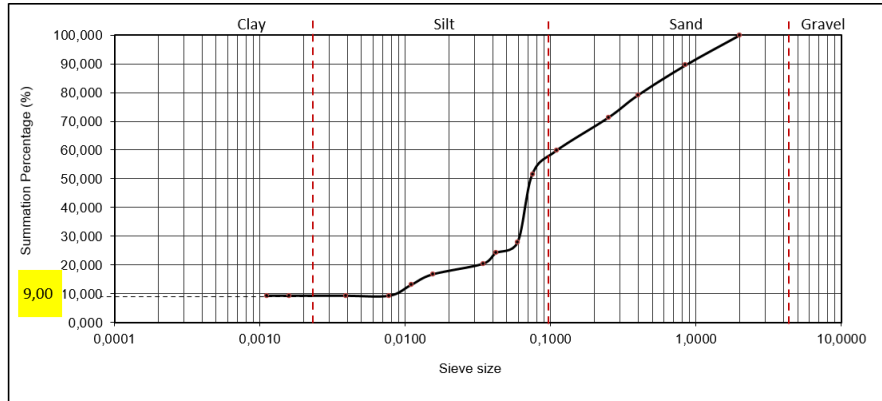
Dari pengujian kadar asli didapat kadar air tanah campuran 3% dan 3 hari dengan 3 benda uji sebesar 31,39%.

B. Pengujian Berat Jenis Tanah Halus

Dari pengujian berat jenis tanah halus didapat nilai berat jenis tanah 2,397 dapat disimpulkan jenis tanah termasuk dalam tanah **Lempung lanau anorganik**.

C. Pengujian Ukuran Butiran (Hidrometer)

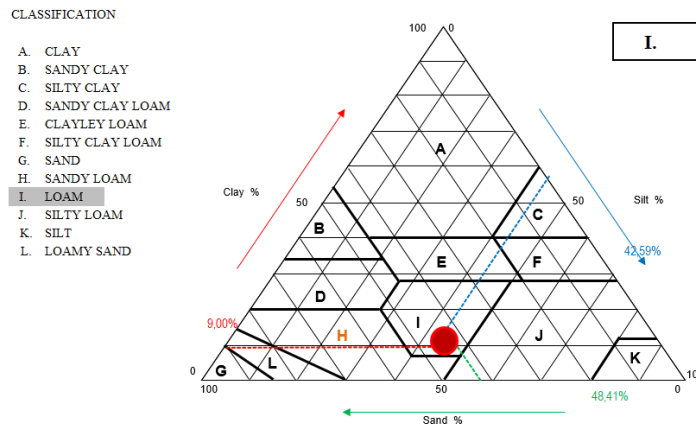
Lalu pada hasil pengujian analisa hidrometer didapat grafik analisa hidrometer dan saringan sebagai berikut:



Gambar 4.72 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer)

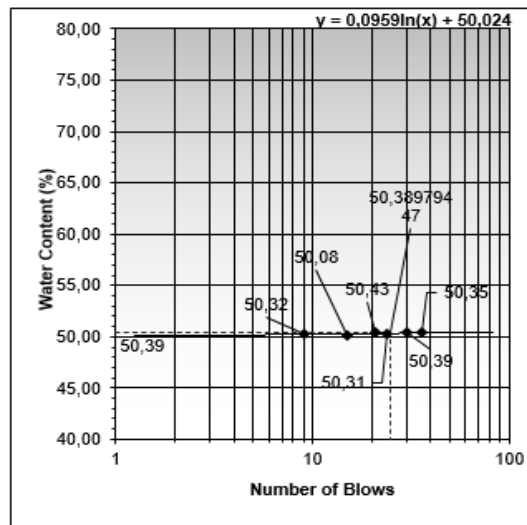
- Lempung (*Clay*) = 9,00%
- Lanau (*Silt*) = 42,59%
- Pasir (*Sand*) = 48,41%

Berdasarkan pembagian diatas yang kemudian digunakan pada segitiga klasifikasi USDA untuk penentuan jenis tanah.



Gambar 4.73 Klasifikasi Tanah dengan USDA

D. Pengujian Batas Cair Tanah



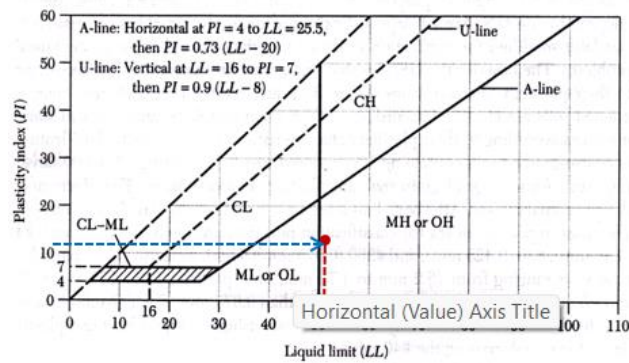
Gambar 4.74 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah

Didapat nilai batas cair tanah = **50,39%**.

E. Pengujian Batas Plastis Tanah

Didapat nilai batas plastis tanah = 38,80%.

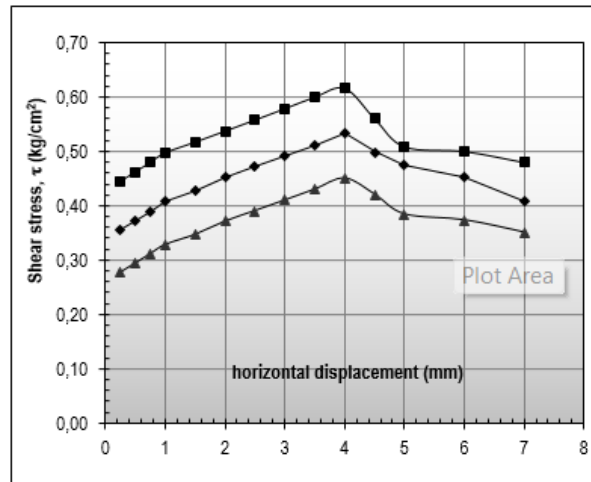
PI = 11,59%



Gambar 4.75 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL

Dari data dan grafik tersebut karena nilai $LL > 50$ dan nilai $PI < 20$ maka klasifikasi ada dibawah garis A, sehingga tanah termasuk dalam klasifikasi **MH**, yaitu **lempung lanau dengan plastisitas tinggi**.

F. Pengujian *Direct Shear*

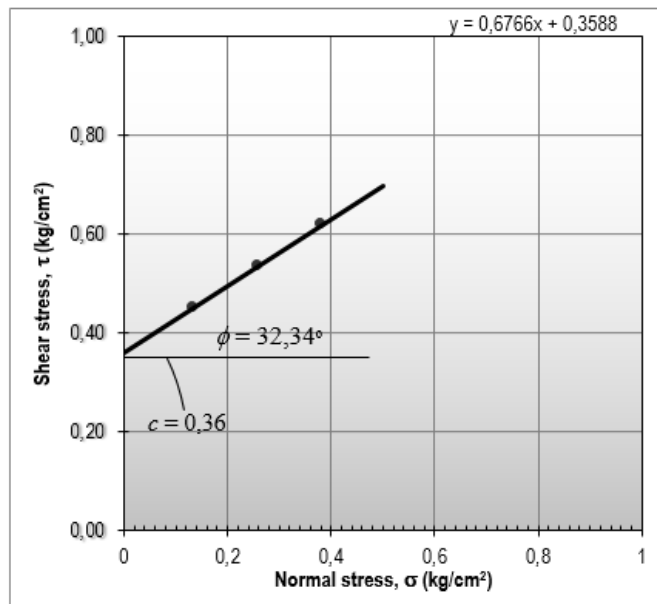


Gambar 4.76 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal

Tabel 4.27 Hasil Pengujian *Direct Shear*

Hasil Pengujian	Tegangan Normal (kg/cm^2)	Tegangan Geser (kgf/cm^2)
Benda Uji 1	0,13	0,450
Benda Uji 2	0,26	0,533
Benda Uji 3	0,38	0,616

Hasil diatas kemudian diplot pada gambar berikut.



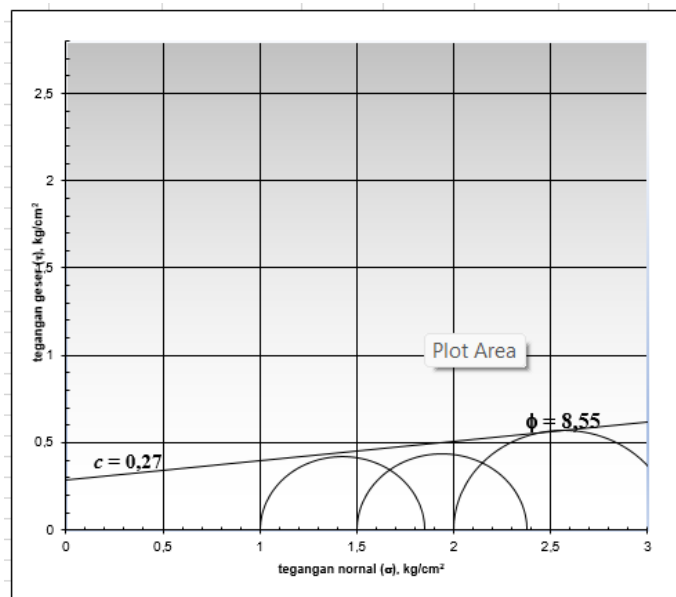
Gambar 4.77 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam

G. Pengujian *Triaxial Compression*

Berikut ini adalah hasil pengujian *Triaxial Compression* UU berserta grafik lingkaran Mohr.

Tabel 4.28 Hasil Pengujian *Triaxial Compression*

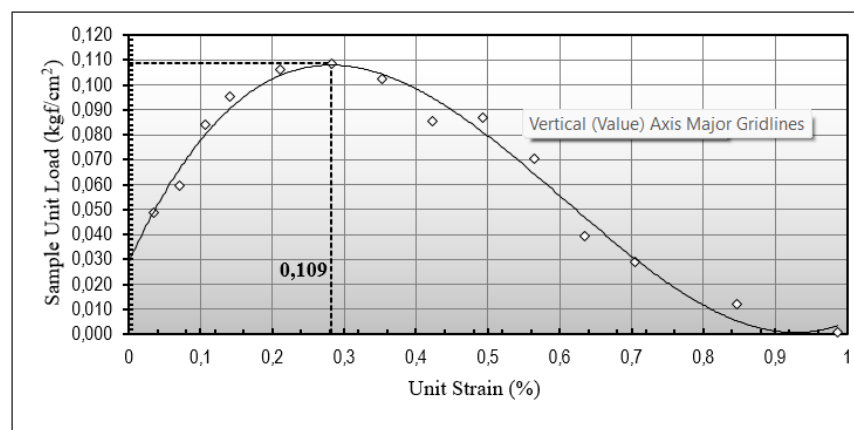
Hasil Pengujian	Teg. Deviator maks. (kgf/cm ²)	Teg. Vertikal maks. (kgf/cm ²)	Kohesi <i>Undrained</i> (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	0,849	1,849	0,425
Benda Uji 2	0,879	2,379	0,440
Benda Uji 3	1,135	3,135	0,568



Gambar 4.78 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU

Dengan nilai kohesi (c) 3 sampel pengujian triaxial UU adalah **0,27 kgf/cm²**, dengan $\phi = 8,55^\circ$

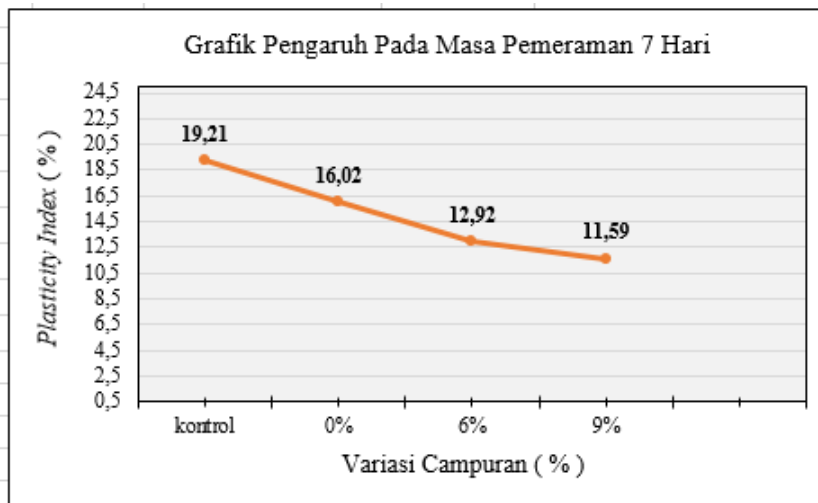
H. Pengujian *Unconfined Compressive Strength*



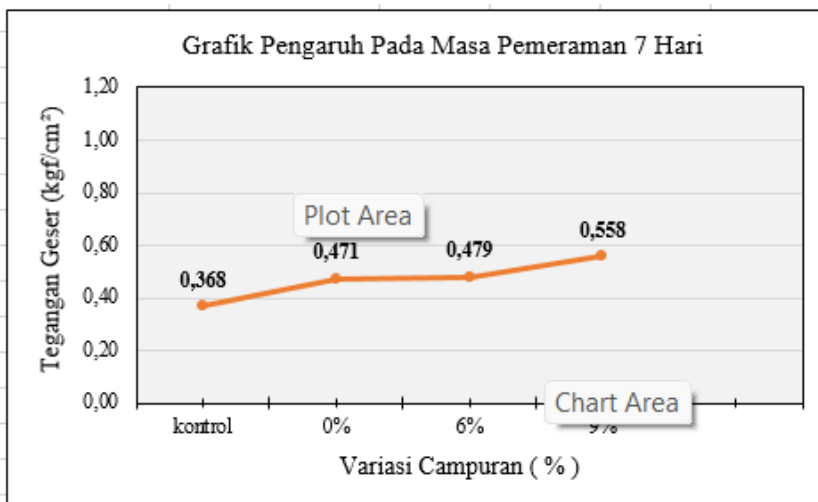
Gambar 4.79 Grafik Nilai q_u Uji *UCS*

Didapat nilai $q_u = 0,109 \text{ kgf/cm}^2$ maka pada konsistensi tanah termasuk pada tanah **lempung sangat lunak (*very soft clay*)**, selanjutnya nilai q_u dapat dikonversi dengan nilai kuat geser tanah (S_u) **0,545**.

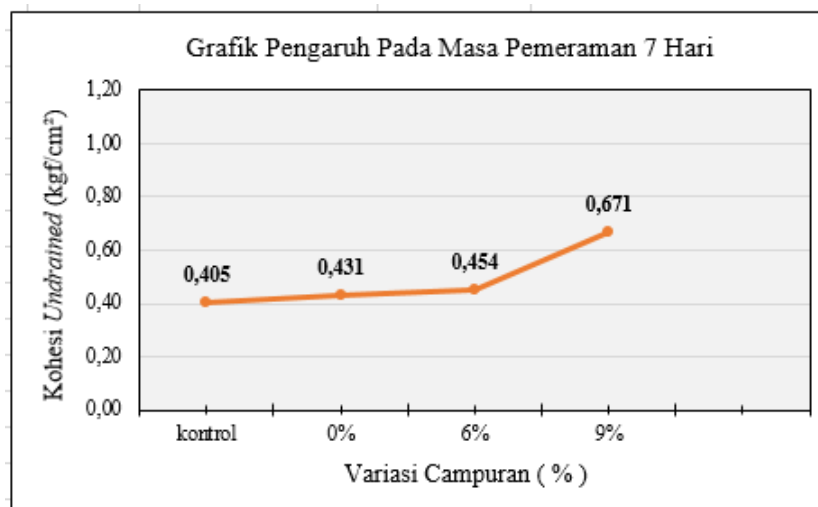
4.5.4 Grafik Pengaruh 14 Hari



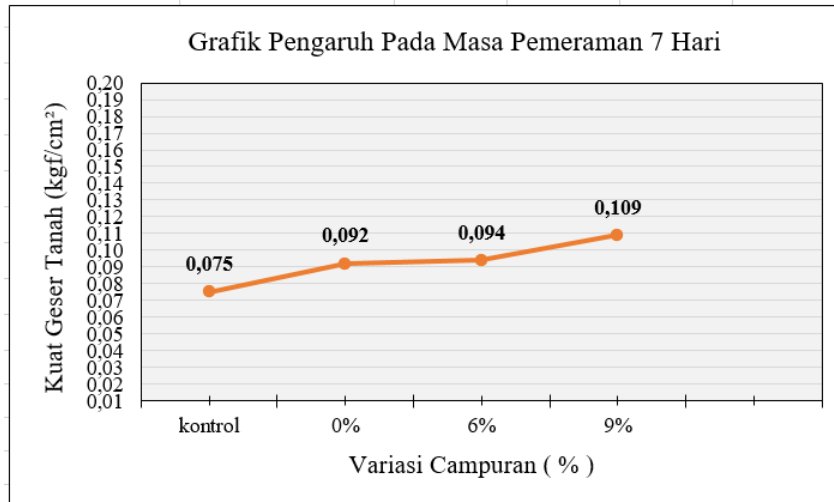
Gambar 4.80 Grafik Pengaruh Pada Uji LL – PL



Gambar 4.81 Grafik Pengaruh Pada Uji *Direct Shear*



Gambar 4.82 Grafik Pengaruh Pada Uji *Triaxial Compression*



Gambar 4.83 Grafik Pengaruh Pada Uji *Unconfined Compressive Strength*

4.6 Pengujian Fisik dan Mekanik Pada Masa Pemeraman 28 Hari

4.6.1 Variasi Campuran 0%

A. Pengujian Kadar Air

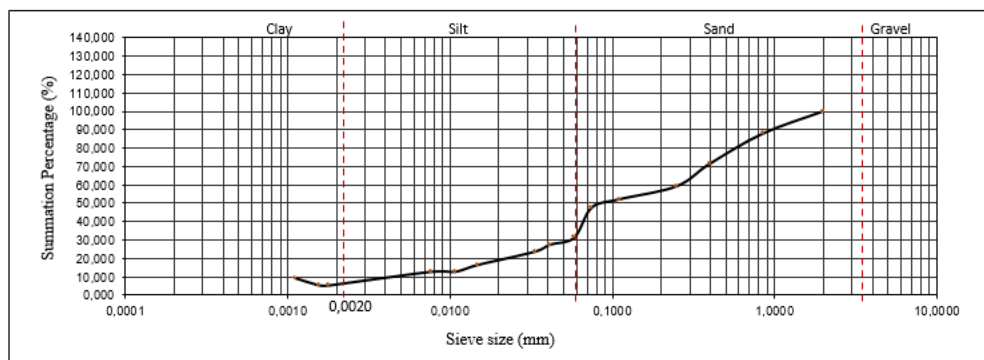
Dari pengujian kadar asli didapat kadar air tanah campuran 3% dan 14 hari dengan 3 benda uji sebesar **31,75 %**.

B. Pengujian Berat Jenis Tanah Halus

Dari pengujian berat jenis tanah halus didapat nilai berat jenis tanah 2,422 dapat disimpulkan macam jenis tanah termasuk dalam tanah Lempung Organik.

C. Pengujian Ukuran Butiran (Hidrometer)

Lalu pada hasil pengujian analisa hidrometer didapat grafik analisa hidrometer dan saringan sebagai berikut :



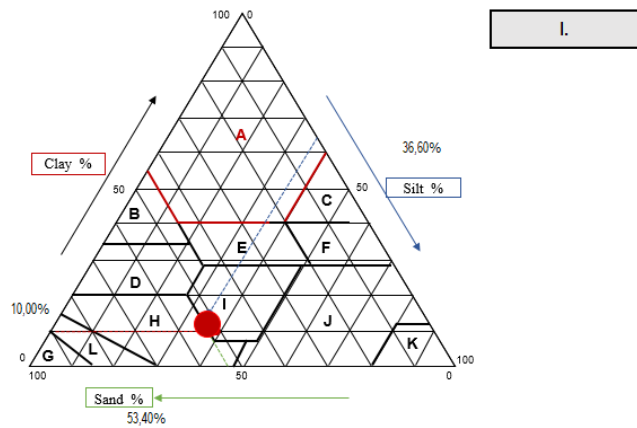
Gambar 4.84 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer)

- Lempung (*Clay*) = 10,52%

- Lanau (*Silt*) = 37,57%
- Pasir (*Sand*) = 52,43%

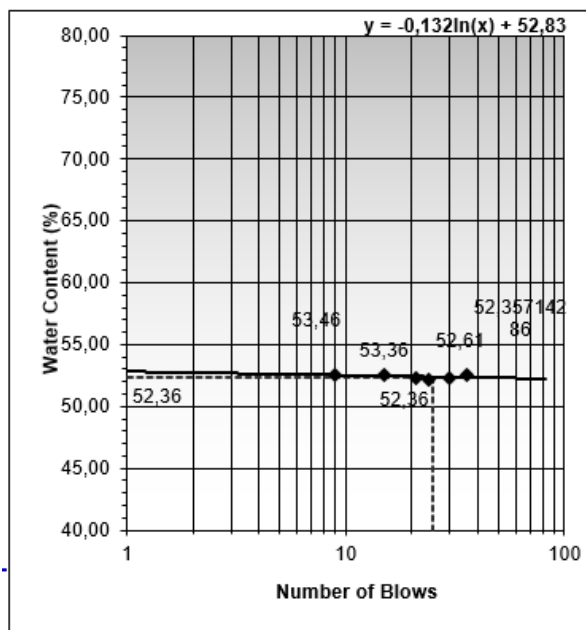
CLASSIFICATION

- A. CLAY
- B. SANDY CLAY
- C. SILTY CLAY
- D. SANDY CLAY LOAM
- E. CLAYEY LOAM
- F. SILTY CLAY LOAM
- G. SAND
- H. SANDY LOAM
- I. LOAM
- J. SILTY LOAM
- K. SILT
- L. LOAMY SAND



Gambar 4.85 Klasifikasi Tanah dengan USDA

D. Pengujian Batas Cair Tanah



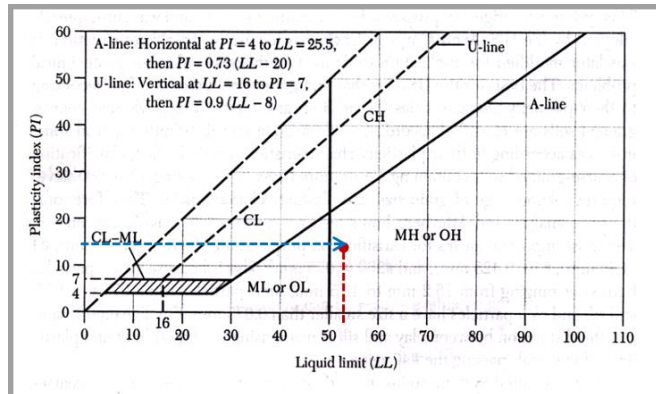
Gambar 4.86 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah

Didapat nilai batas cair tanah = **52,36%**.

E. Pengujian Batas Plastis Tanah

Didapat nilai batas plastis tanah = 37,33%.

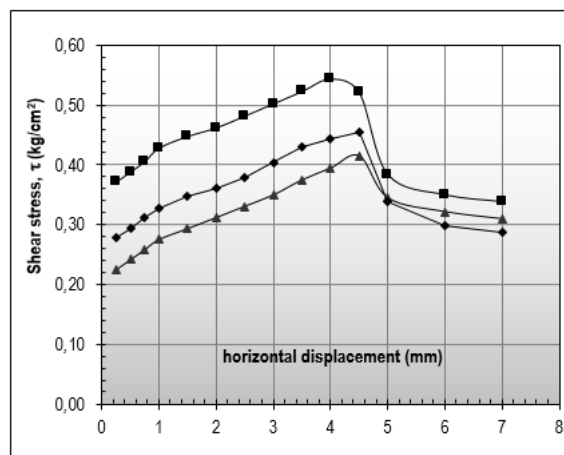
PI = 15,03%



Gambar 4.87 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL

Dari data dan grafik tersebut karena nilai $LL > 50$ dan nilai $PI < 20$ maka klasifikasi ada dibawah garis A, sehingga tanah termasuk dalam klasifikasi MH, yaitu lempung lanau dengan plastisitas tinggi.

F. Pengujian *Direct Shear*

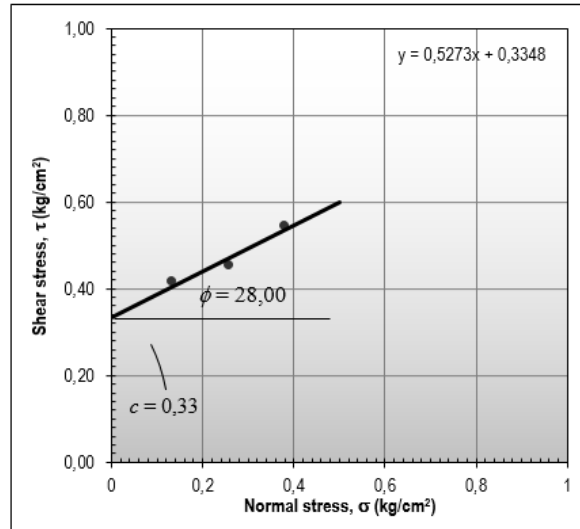


Gambar 4.88 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal

Tabel 4.29 Hasil Pengujian *Direct Shear*

Hasil Pengujian	Tegangan Normal (kg/cm^2)	Tegangan Geser (kgf/cm^2)
Benda Uji 1	0,13	0,414
Benda Uji 2	0,26	0,454
Benda Uji 3	0,38	0,544

Hasil diatas kemudian diplot pada gambar berikut.



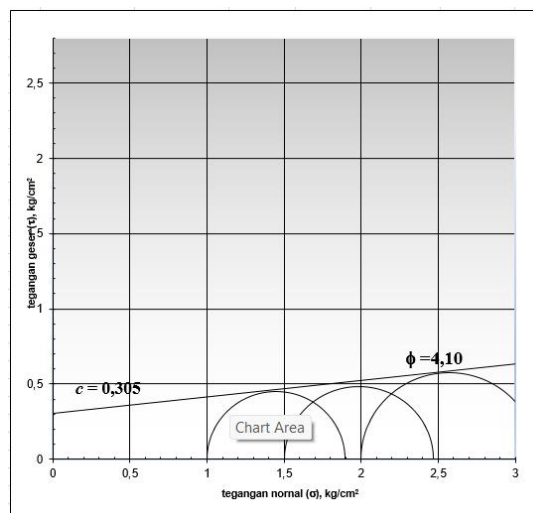
Gambar 4.89 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam

G. Pengujian *Triaxial Compression*

Berikut ini adalah hasil pengujian *Triaxial Compression* UU beserta grafik lingkaran Mohr.

Tabel 4.30 Hasil Pengujian *Triaxial Compression*

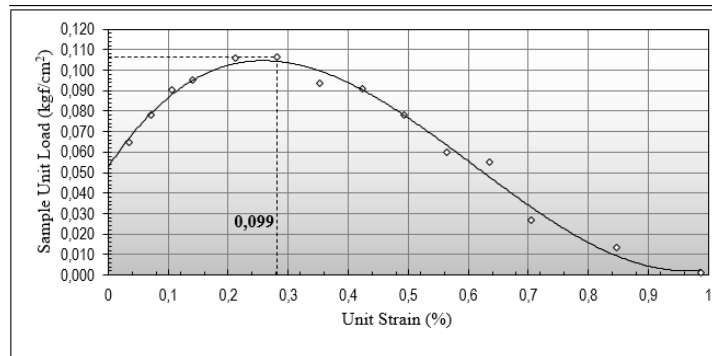
Hasil Pengujian	Teg. Deviator maks. (kgf/cm ²)	Teg. Vertikal maks. (kgf/cm ²)	Kohesi <i>Undrained</i> (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	0,869	1,896	0,434
Benda Uji 2	0,968	2,468	0,484
Benda Uji 3	1,145	3,145	0,572



Gambar 4.90 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU

Dengan nilai kohesi (c) 3 sampel pengujian triaxial UU adalah **0,305 kgf/cm²** , dengan $\phi = 4,10^\circ$

H. Pengujian *Unconfined Compressive Strength*



Gambar 4.91 Grafik Nilai q_u Uji UCS

Didapat nilai $q_u = 0,106 \text{ kgf/cm}^2$ maka pada konsistensi tanah termasuk pada tanah **lempung sangat lunak (*very soft clay*)**, selanjutnya nilai q_u dapat dikonversi dengan nilai kuat geser tanah (S_u) **0,053**.

4.6.2 Variasi Campuran 6%

A. Pengujian Kadar Air

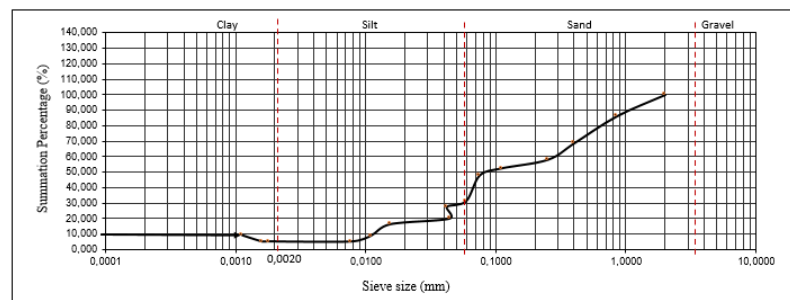
Dari pengujian kadar asli didapat kadar air tanah campuran 3% dan 3 hari dengan 3 benda uji sebesar 30,90%.

B. Pengujian Berat Jenis Tanah Halus

Dari pengujian berat jenis tanah halus didapat nilai berat jenis tanah 2,407 dapat disimpulkan jenis tanah termasuk dalam tanah Lempung lanau anorganik.

C. Pengujian Ukuran Butiran (Hidrometer)

Lalu pada hasil pengujian analisa hidrometer didapat grafik analisa hidrometer dan saringan sebagai berikut:

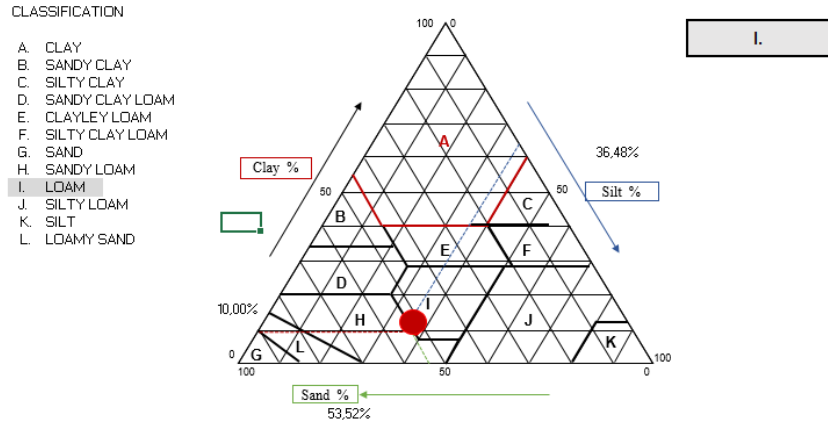


Gambar 4.92 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer)

- Lempung (*Clay*) = 10,00%
- Lanau (*Silt*) = 37,31%

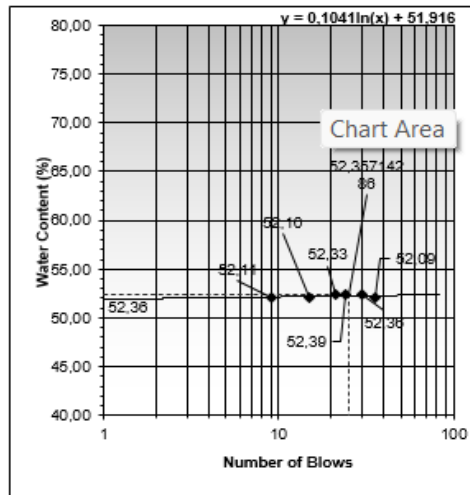
- Pasir (*Sand*) = 52,68%

Melalui pembagian tersebut yang kemudian dipakai pada segitiga klasifikasi USDA untuk penentuan jenis tanahnya.



Gambar 4.93 Klasifikasi Tanah dengan USDA

D. Pengujian Batas Cair Tanah



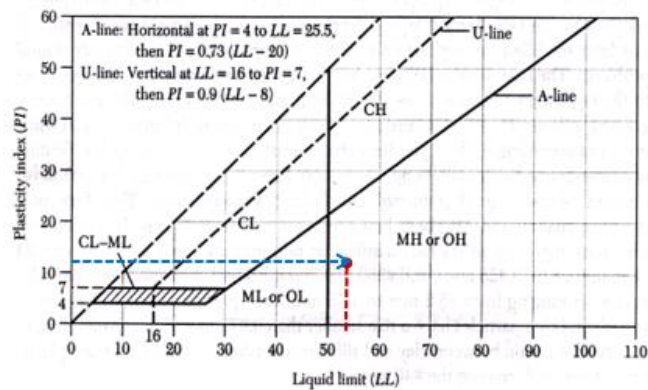
Gambar 4.94 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah

Didapat nilai batas cair tanah = 52,36%.

E. Pengujian Batas Plastis Tanah

Didapat nilai batas plastis tanah = 40,29%.

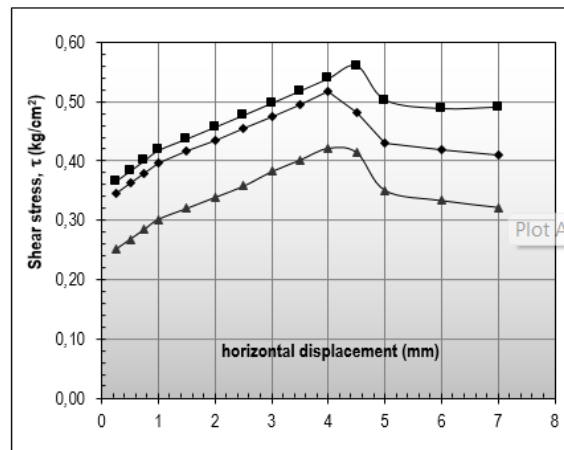
PI = 12,07%



Gambar 4.95 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL

Dari data dan grafik tersebut karena nilai $LL > 50$ dan nilai $PI < 20$ maka klasifikasi ada dibawah garis A, sehingga tanah termasuk dalam klasifikasi MH, yaitu **lempung lanau dengan plastisitas tinggi**.

F. Pengujian *Direct Shear*

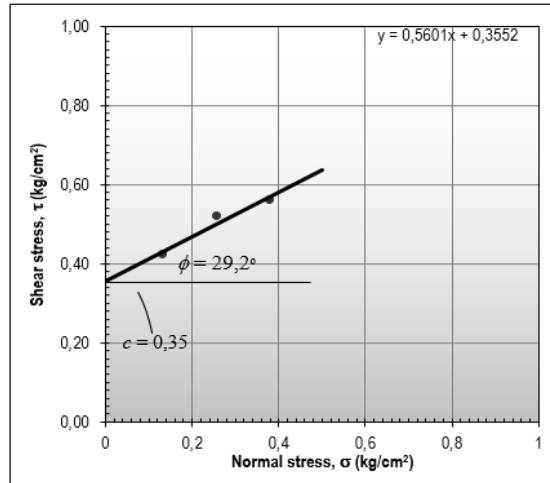


Gambar 4.96 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal

Tabel 4.31 Hasil Pengujian *Direct Shear*

Hasil Pengujian	Tegangan Normal (kg/cm^2)	Tegangan Geser (kgf/cm^2)
Benda Uji 1	0,13	0,414
Benda Uji 2	0,26	0,496
Benda Uji 3	0,38	0,560

Hasil diatas kemudian diplot pada gambar berikut.



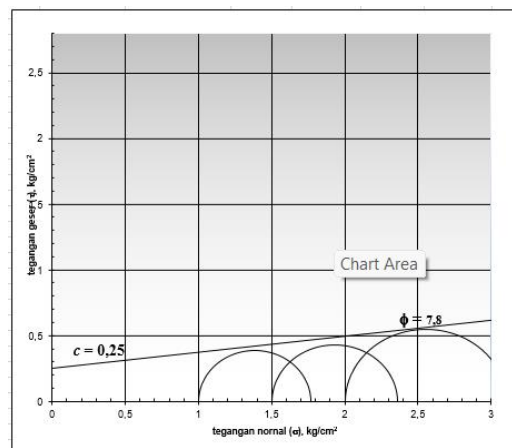
Gambar 4.97 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam

G. Pengujian *Triaxial Compression*

Berikut ini adalah hasil pengujian *Triaxial Compression* UU beserta grafik lingkaran Mohr.

Tabel 4.32 Hasil Pengujian *Triaxial Compression*

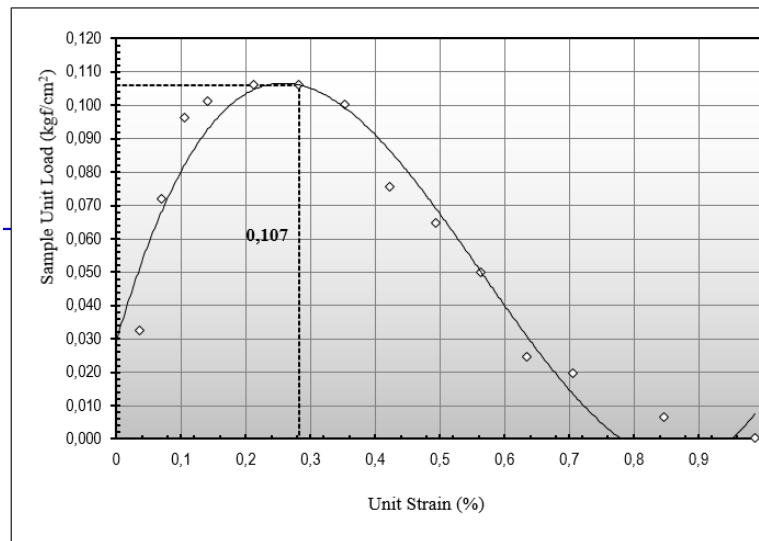
Hasil Pengujian	Teg. Deviator maks. (kgf/cm ²)	Teg. Vertikal maks. (kgf/cm ²)	Kohesi <i>Undrained</i> (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	0,766	1,766	0,434
Benda Uji 2	0,857	2,357	0,484
Benda Uji 3	1,103	3,103	0,572



Gambar 4.98 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU

Dengan nilai kohesi (c) 3 sampel pengujian triaxial UU adalah **0,25 kgf/cm²**, dengan $\phi = 7,8^\circ$.

H. Pengujian *Unconfined Compressive Strength*



Gambar 4.98 Grafik Nilai q_u Uji UCS

Didapat nilai $q_u = 0,107 \text{ kgf/cm}^2$ maka pada konsistensi tanah termasuk pada tanah **lempung sangat lunak (*very soft clay*)**, selanjutnya nilai q_u dapat dikonversi dengan nilai kuat geser tanah (S_u) **0,053**.

4.6.3 Variasi Campuran 9%

A. Pengujian Kadar Air

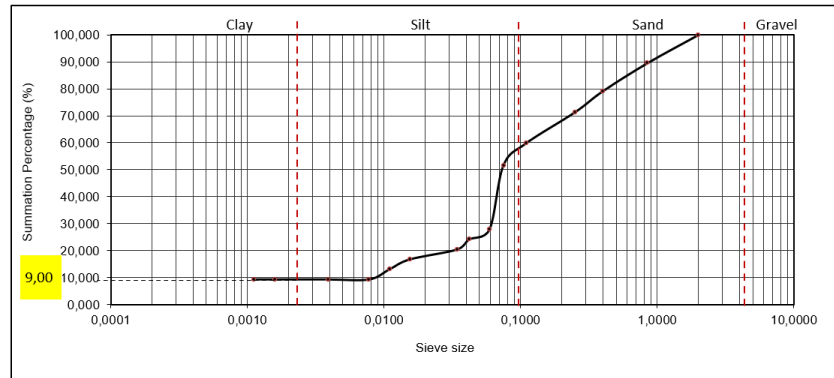
Dari pengujian kadar asli didapat kadar air tanah campuran dengan 3 benda uji sebesar 30,52%.

B. Pengujian Berat Jenis Tanah Halus

Dari pengujian berat jenis tanah halus didapat nilai 2,405, disimpulkan jenis tanah termasuk dalam tanah **Lempung lanau anorganik**.

C. Pengujian Ukuran Butiran (Hidrometer)

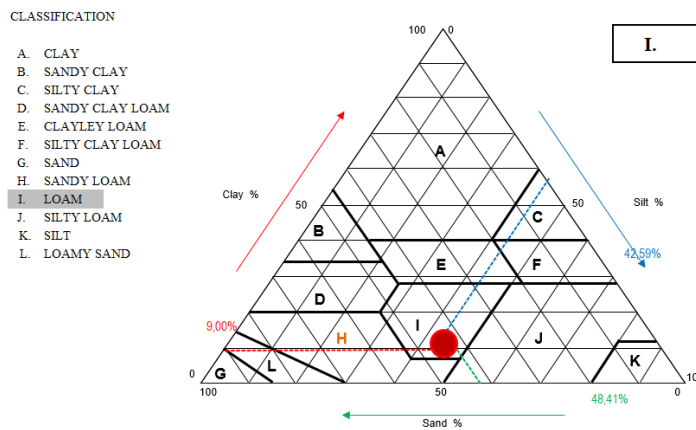
Lalu pada hasil pengujian analisa hidrometer didapat grafik analisa hidrometer dan saringan sebagai berikut:



Gambar 4.99 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer)

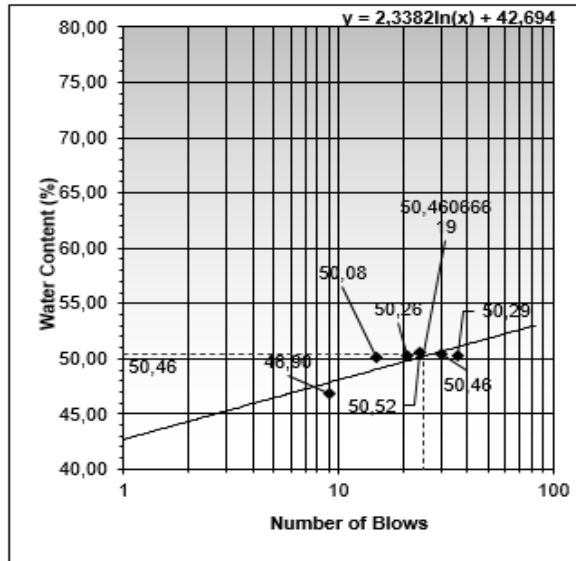
- Lempung (*Clay*) = 9,00%
- Lanau (*Silt*) = 42,59%
- Pasir (*Sand*) = 48,41%

Berdasarkan pembagian diatas yang kemudian digunakan pada segitiga klasifikasi USDA untuk penentuan jenis tanah.



Gambar 4.100 Klasifikasi Tanah dengan USDA

D. Pengujian Batas Cair Tanah



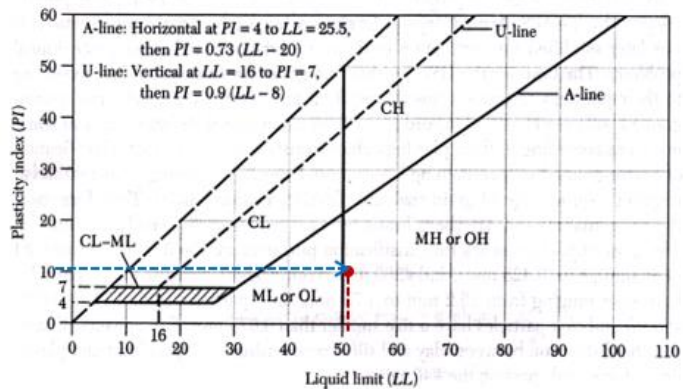
Gambar 4.101 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah

Didapat nilai batas cair tanah = **50,46%**.

E. Pengujian Batas Plastis Tanah

Didapat nilai batas plastis tanah = 39,52%.

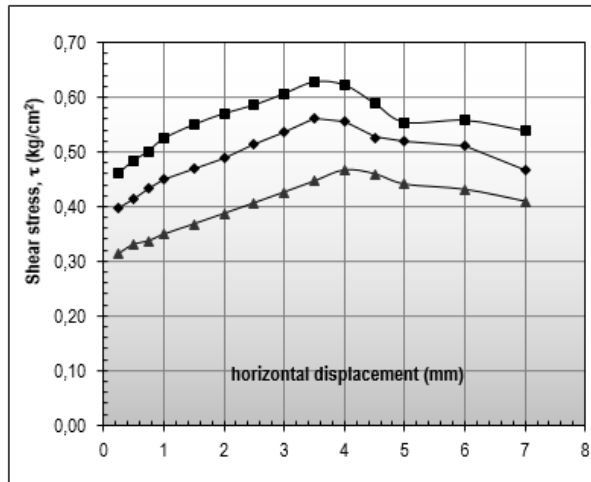
PI = 10,94%



Gambar 4.102 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL

Dari data dan grafik tersebut karena nilai $LL > 50$ dan nilai $PI < 20$ maka klasifikasi ada dibawah garis A, sehingga tanah termasuk dalam klasifikasi **MH**, yaitu **lempung lanau dengan plastisitas tinggi**.

F. Pengujian *Direct Shear*

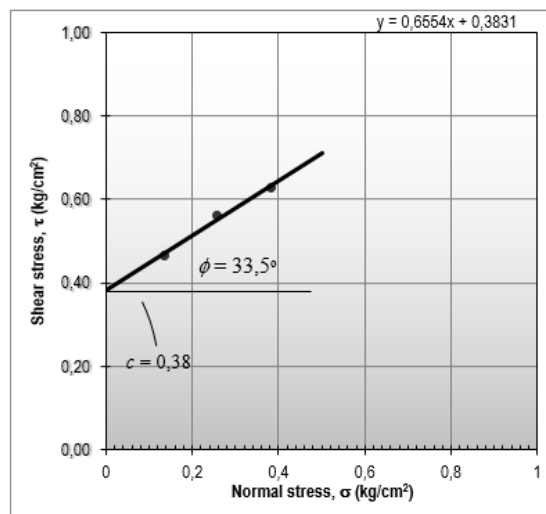


Gambar 4.103 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal

Tabel 4.33 Hasil Pengujian *Direct Shear*

Hasil Pengujian	Tegangan Normal (kg/cm ²)	Tegangan Geser (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	0,13	0,414
Benda Uji 2	0,26	0,496
Benda Uji 3	0,38	0,560

Hasil diatas kemudian diplot pada gambar berikut.



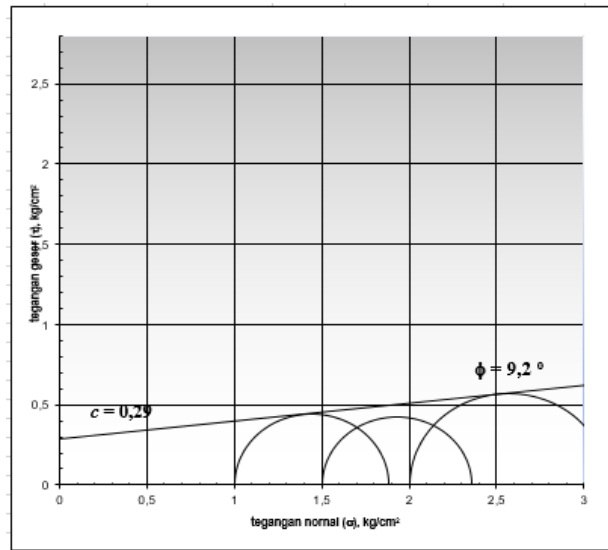
Gambar 4.104 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam

G. Pengujian *Triaxial Compression*

Berikut ini adalah hasil pengujian *Triaxial Compression* UU beserta grafik lingkaran Mohr.

Tabel 4.34 Hasil Pengujian *Triaxial Compression*

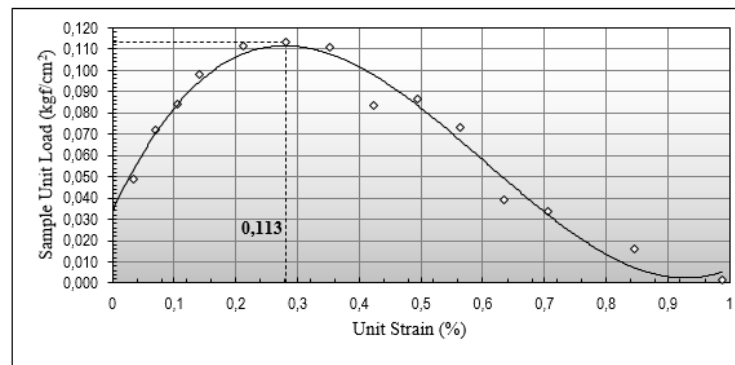
Hasil Pengujian	Teg. Deviator maks. (kgf/cm ²)	Teg. Vertikal maks. (kgf/cm ²)	Kohesi <i>Undrained</i> (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	0,884	1,884	0,442
Benda Uji 2	0,857	2,357	0,423
Benda Uji 3	1,135	3,135	0,568



Gambar 4.105 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU

Dengan nilai kohesi (c) 3 sampel pengujian triaxial UU adalah **0,29 kgf/cm²** , dengan $\phi = 7,8^\circ$

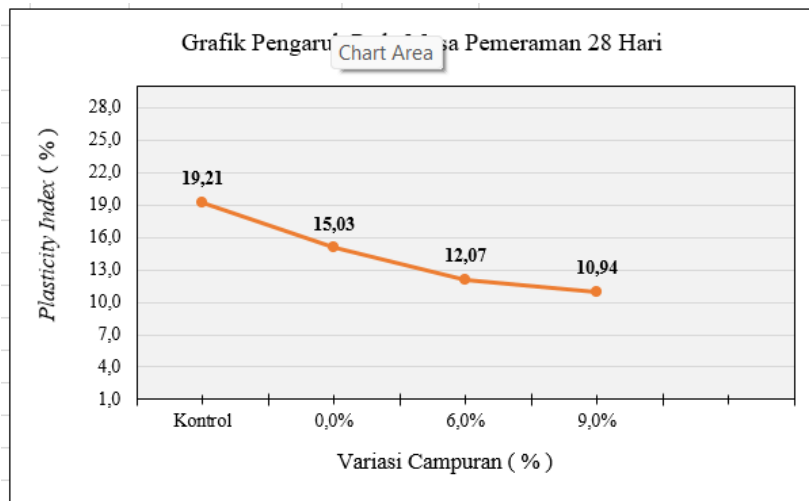
H. Pengujian *Unconfined Compressive Strength*



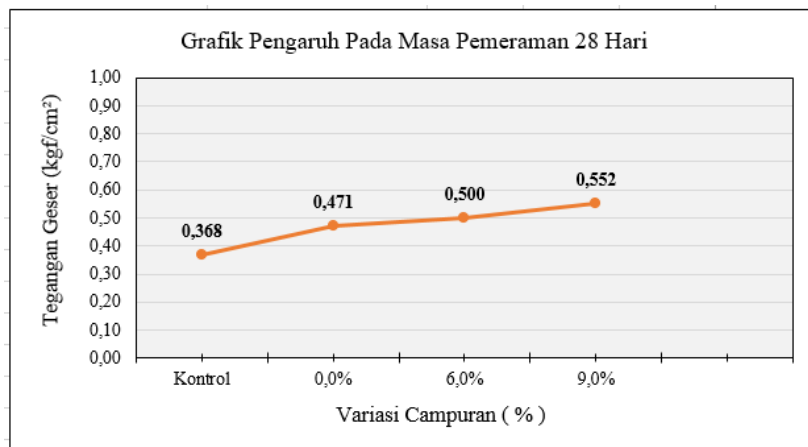
Gambar 4.106 Grafik Nilai q_u Uji UCS

Didapat nilai $q_u = 0,113 \text{ kgf/cm}^2$ maka pada konsistensi tanah termasuk pada tanah **lempung sangat lunak (*very soft clay*)**, selanjutnya nilai q_u dapat dikonversi dengan nilai kuat geser tanah (S_u) **0,057**.

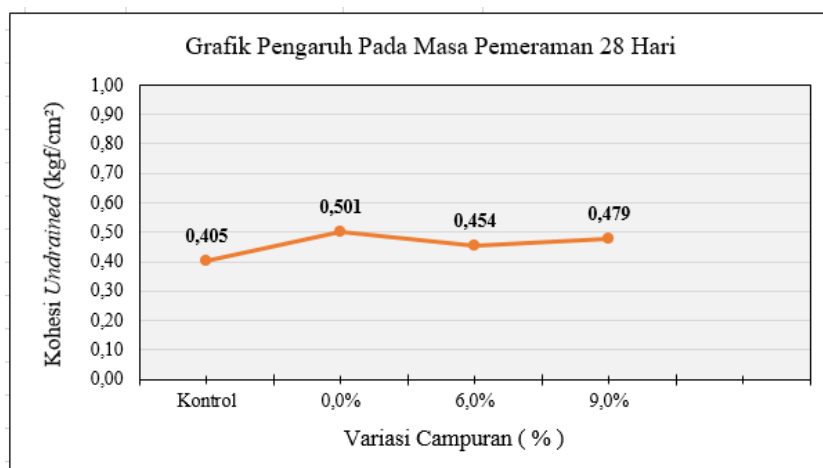
4.6.4 Grafik Pengaruh 28 Hari



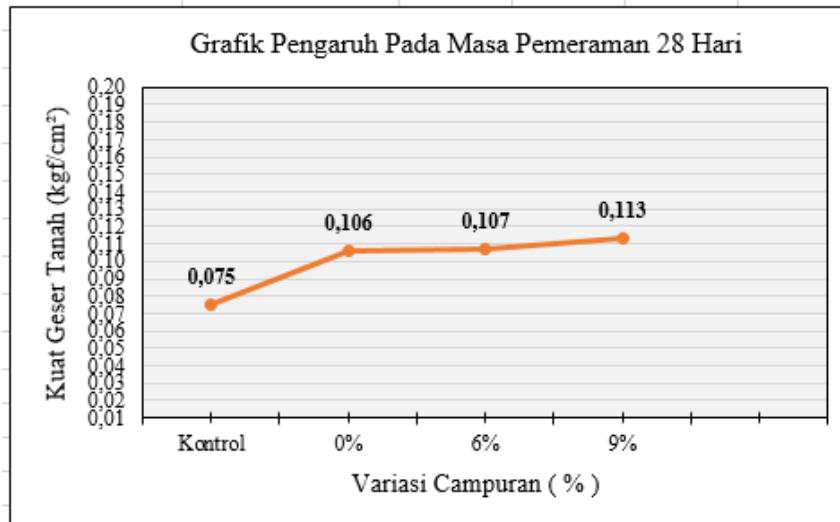
Gambar 4.107 Grafik Pengaruh Pada Uji LL – PL



Gambar 4.108 Grafik Pengaruh Pada Uji *Direct Shear*



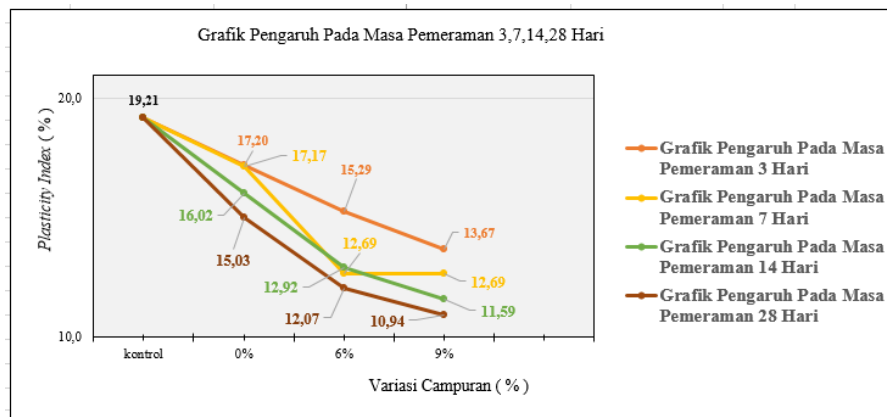
Gambar 4.109 Grafik Pengaruh Pada Uji *Triaxial Compression*



Gambar 4.110 Grafik Pengaruh Pada Uji *Unconfined Compressive Strength*

4.7 Grafik Pengaruh Hasil Pengujian Laboratorium

A. Nilai PI (*Plasticity Index*)

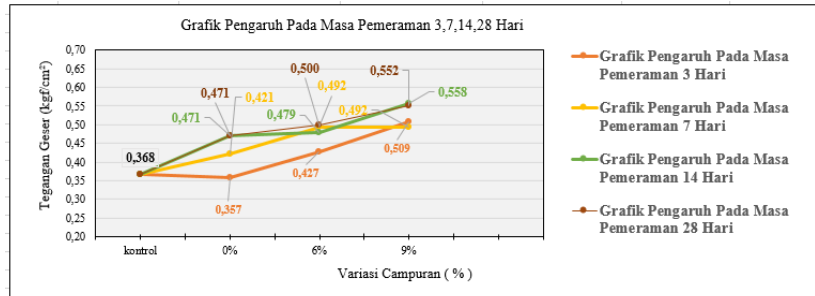


Gambar 4.111 Grafik Pengaruh Pada Nilai PI

Berdasarkan grafik tersebut dapat terlihat bahwa nilai Plasticity Index (PI) tanah kontrol (tanpa campuran) sebesar 19,21%. Secara umum, penambahan variasi campuran menunjukkan kecenderungan penurunan nilai PI pada seluruh masa pemeraman, yaitu 3, 7, 14, dan 28 hari. Penurunan nilai PI paling optimal terjadi pada masa pemeraman **28 hari** dengan **variasi campuran 9%**, dimana nilai PI mencapai **10,94%**. Penurunan ini tergolong signifikan, yaitu sebesar 43,06% terhadap nilai PI tanah kontrol. Penurunan nilai PI tersebut terjadi akibat aktivitas bakteri *Bacillus subtilis* yang memicu proses biosementasi, sehingga terbentuk endapan kalsit (CaCO_3) yang menyebabkan penggumpalan butiran tanah. Proses ini mengubah distribusi

ukuran butir tanah lempung menjadi lebih kasar, sehingga plastisitas tanah berkurang dan karakteristik tanah menjadi lebih stabil.

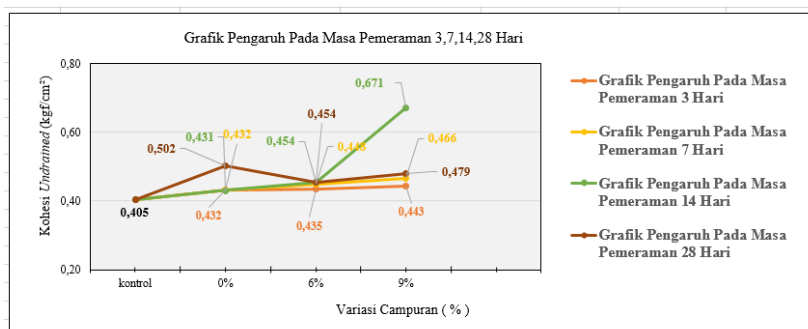
B. Tegangan Geser (*Direct Shear*)



Gambar 4.112 Grafik Pengaruh pada Tegangan Geser (*Direct Shear*)

Berdasarkan grafik, nilai tegangan geser tanah kontrol sebesar 0,368 kg/cm². Penambahan variasi campuran menyebabkan nilai tegangan geser meningkat pada seluruh masa pemeraman. Peningkatan paling optimal terjadi pada masa pemeraman **14 hari dengan variasi campuran 9%**, dimana nilai tegangan geser mencapai **0,558 kg/cm²**. Ketika pemeraman berlanjut hingga **28 hari**, pengendapan kalsit yang semakin banyak justru dapat menyebabkan struktur tanah menjadi lebih kaku dan kurang efektif dalam menahan pergeseran bidang geser. Endapan kalsit yang berlebihan berpotensi membentuk lapisan rapuh pada bidang geser, sehingga kontribusi gesekan antar butiran tidak meningkat secara signifikan dan nilai kuat geser cenderung stabil atau sedikit menurun dibandingkan kondisi optimum pada 14 hari.

C. Kohesi Undrained (*Triaxial UU*)

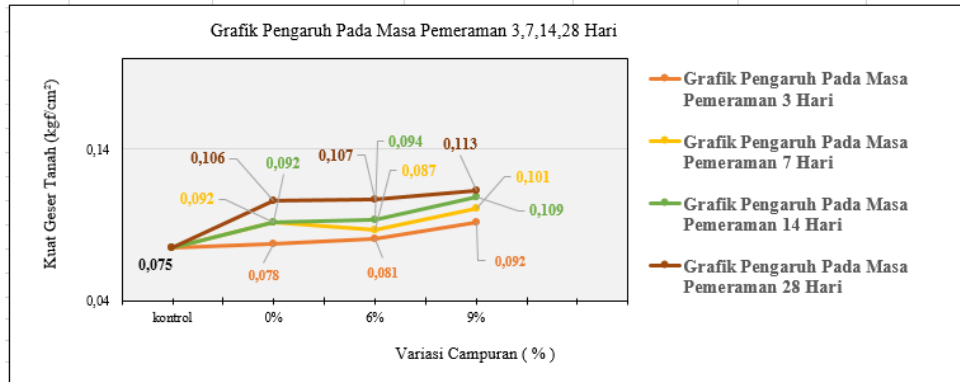


Gambar 4.113 Grafik Pengaruh Kohesi *Undrained* (*Triaxial UU*)

Berdasarkan grafik pengaruh variasi campuran terhadap nilai kohesi

undrained, dapat dilihat bahwa nilai kohesi *undrained* tanah kontrol sebesar 0,405 kg/cm². Secara umum, penambahan variasi campuran menyebabkan nilai kohesi *undrained* cenderung meningkat pada seluruh masa pemeraman. Peningkatan kohesi *undrained* paling optimal terjadi pada masa pemeraman **14 hari** dengan variasi campuran 9%, dimana nilai kohesi mencapai **0,671 kg/cm²**. Pada masa pemeraman 3 dan 7 hari, peningkatan kohesi masih relatif terbatas, yang menunjukkan bahwa proses biosementasi belum berlangsung secara maksimal. Sementara itu, pada masa pemeraman 28 hari, nilai kohesi *undrained* tidak menunjukkan peningkatan yang lebih tinggi dibandingkan 14 hari dan cenderung stabil atau sedikit menurun. Kondisi ini mengindikasikan bahwa proses pengendapan kalsit (CaCO₃) akibat aktivitas bakteri *Bacillus subtilis* telah mencapai kondisi optimum pada umur 14 hari, sehingga penambahan waktu pemeraman selanjutnya tidak memberikan peningkatan kohesi yang signifikan.

D. Kuat Geser Tanah (UCS)



Gambar 4.114 Grafik Pengaruh Kuat Geser Tanah (UCS)

Grafik hasil uji UCS diatas menunjukkan bahwa nilai kuat tekan bebas tanah cenderung meningkat seiring bertambahnya masa pemeraman dan persentase bahan stabilisasi. Pada seluruh variasi campuran, peningkatan nilai UCS terlihat jelas dari umur 3 hari hingga 28 hari, yang mengindikasikan bahwa proses MICP masih berlangsung secara progresif.

Nilai UCS tertinggi sebesar **0,113 kgf/cm²** diperoleh pada campuran MICP 6% dan abu daun bambu 9% dengan masa pemeraman 28 hari. Kondisi ini menunjukkan bahwa kombinasi tersebut merupakan kondisi optimum, di

mana presipitasi kalsit hasil aktivitas bakteri berlangsung lebih sempurna dan diperkuat oleh peran abu daun bambu sebagai material pengisi, sehingga ikatan antar partikel tanah menjadi lebih kuat.

Secara umum, grafik memperlihatkan bahwa penambahan abu daun bambu hingga kadar tertentu mampu meningkatkan efektivitas MICP, namun peningkatan nilai UCS mulai melandai pada umur pemeraman yang lebih lama, menandakan bahwa proses penguatan tanah mendekati kondisi stabil.

4.8 Hipotesis Penelitian (*Two-Way ANOVA*)

Metode ANOVA dua arah digunakan sebagai landasan dalam pengujian hipotesis pada penelitian ini karena melibatkan dua faktor variabel independen. Faktor A berupa variasi persentase bakteri dan Faktor B berupa variasi waktu, yang keduanya dianalisis pengaruhnya terhadap variabel dependen, yaitu kuat geser tanah.

Tabel 4.35 Komponen Variabel Uji *Two-Way ANOVA*

Variable Independen		Variabel Dependen	Variabel Kontrol
Faktor A	Faktor B		
Variasi persentase penambahan abu daun bambu (0%, 6%, 9%)	Variasi waktu (3, 7, 14, 28 hari)	Nilai kuat geser tanah	Persentase optimum MICP (6%)

(Sumber : Data pribadi)

A. Menyusun Hipotesa

- Faktor A (Presentase Bakteri):
 1. **H₀** : Tidak ada Perbedaan kuat geser antar level presentase bakteri (0%, 6%, 9%).
 2. **H₁** : Minimal ada satu presentase yang berpengaruh signifikan.
- Faktor B (Masa Pemeraman) :
 1. **H₀** : Tidak ada Perbedaan kuat geser antar masa pemeraman (3, 7, 14, dan 28 Hari).
 2. **H₁** : Minimal ada satu masa pemeraman yang berpengaruh signifikan.
- Interaksi (A x B) :
 1. **H₀** : Tidak ada interaksi anatara presentase bakteri dan masa pemeraman.

2. H_1 : Ada interaksi antar dua faktor.

Dengan catatan :

- H_0 diterima dan H_1 ditolak jika $F_{\text{Hitung}} < F_{\text{Tabel}}$
- H_1 diterima dan H_0 ditolak jika $F_{\text{Hitung}} > F_{\text{Tabel}}$

B. Menghitung Rata-rata Variabel Dependen

- Faktor A (n_A) = 3 Level (0, 6, dan 9%)
- Faktor B (n_B) = 4 Level (3, 7, 14, dan 28 Hari)
- Replikasi (r) = 3
- Total Observasi (n) = $3 \times 4 \times 3$
= 36 data

Tabel 4. 36 Data hasil pengujian *Triaxial UU*

Variabel independen		Variabel Dependen						Total (T)	Rata-rata (\bar{Y})
Presentase Bakteri (A)	Masa Pemeraman (B)	Kohesi Undrained (Y)			σ^2				
0%	3 Hari	0,443	0,434	0,484	0,196	0,188	0,234	1,361	0,454
0%	7 Hari	0,557	0,563	0,572	0,310	0,317	0,327	1,692	0,564
0%	14 Hari	0,816	0,848	0,864	0,666	0,719	0,746	2,528	0,843
0%	28 Hari	0,896	0,907	0,920	0,803	0,823	0,846	2,723	0,908
6%	3 Hari	0,566	0,587	0,616	0,320	0,345	0,379	1,769	0,590
6%	7 Hari	0,736	0,753	0,765	0,542	0,567	0,585	2,254	0,751
6%	14 Hari	1,120	1,137	1,174	1,254	1,293	1,378	3,431	1,144
6%	28 Hari	1,187	1,213	1,256	1,409	1,471	1,578	3,656	1,219
9%	3 Hari	0,723	0,718	0,786	0,523	0,516	0,618	2,227	0,742
9%	7 Hari	0,920	0,954	0,978	0,846	0,910	0,956	2,852	0,951
9%	14 Hari	1,156	1,173	1,233	1,336	1,376	1,520	3,562	1,187
9%	28 Hari	1,309	1,344	1,378	1,713	1,806	1,899	4,031	1,344

- Total untuk setiap level faktor A
 $0\% (TA1) = 1,361 + 1,692 + 2,528 + 2,723$
 $= 8,304$
 $6\% (TA2) = 1,769 + 2,254 + 3,431 + 3,656$
 $= 11,110$
 $9\% (TA3) = 2,227 + 2,852 + 3,562 + 4,031$
 $= 12,672$
- Total untuk setiap level faktor B
 $3 \text{ Hari (TB1)} = 1,361 + 1,769 + 2,227$
 $= 5,357$
 $7 \text{ Hari (TB2)} = 1,692 + 2,254 + 2,852$
 $= 6,798$

$$14 \text{ Hari (TB3)} = 2,528 + 3,431 + 3,562$$

$$= 9,521$$

$$28 \text{ Hari (TB4)} = 2,723 + 3,431 + 4,031$$

$$= 10,410$$

- Grand Total (G)
- G = 8,304 + 11,110 + 12,672
- = 32,086

C. Menghitung *Degrees of Freedom* (df)

- df A = $a - 1$
= $3 - 1$
= 2
- df B = $b - 1$
= $4 - 1$
= 3
- df AB = $(a - 1) \times (b - 1)$
= $(3 - 1) \times (4 - 1)$
= 6
- df Error = $n - (na \times nb)$
= $36 - (3 \times 4)$
= 24
- df Total = $n - 1$
= $36 - 1$
= 35

D. Menghitung *Mean Squares* (MS)

- $$\begin{aligned} \bullet \text{ MSA} &= \frac{SSA}{df A} \\ &= \frac{7,966}{2} \\ &= 3,983 \end{aligned}$$
- $$\begin{aligned} \bullet \text{ MSB} &= \frac{SSB}{df B} \\ &= \frac{1,379}{3} \\ &= 0,460 \end{aligned}$$
- $$\begin{aligned} \bullet \text{ MSAB} &= \frac{SSAB}{df AB} \\ &= \frac{0,006}{6} \\ &= 0,084 \end{aligned}$$
- $$\begin{aligned} \bullet \text{ MSE} &= \frac{SSE}{df Error} \\ &= \frac{0,019}{24} \\ &= 0,00079 \end{aligned}$$

E. Menghitung Nilai-F

- $$\begin{aligned} \bullet \text{ FA} &= \frac{MSA}{MSE} \\ &= \frac{3,983}{0,001} \\ &= 5062,685 \end{aligned}$$
- $$\begin{aligned} \bullet \text{ FB} &= \frac{MSB}{MSE} \\ &= \frac{0,460}{0,001} \\ &= 584,349 \end{aligned}$$
- $$\begin{aligned} \bullet \text{ FAB} &= \frac{MSAB}{MSE} \\ &= \frac{0,084}{0,001} \\ &= 107,295 \end{aligned}$$

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F tabel
Sample (A)	1,354675	3	0,451558	287,6584	3,23948E-23	2,90112
Columns (B)	1,44372	3	0,48124	306,5668	1,21311E-23	2,90112
Interaction (AxB)	0,118261	9	0,01314	8,370703	2,73855E-06	2,188766
Within (Error)	0,050233	32	0,00157			
Total	2,966888	47				

Gambar 4.115 Hasil Two-Way ANOVA Pada Kohesi *Undrained* (Triaxial UU)

Pada Uji *Triaxial Compression UU*, disimpulkan faktor A $287,6584 > 2,90$, faktor B $306,5668 > 3,29$ serta Interaksi AxB $9 > 2,19$, maka semua **H1** diterima dan **H0** ditolak. Dihasilkan perbedaan yang signifikan pada nilai kohesi *triaxial* terhadap variasi persentase dan variasi hari.

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F tabel
Sample (A)	0,184877153	3	0,06163	8,41359	0,00029	2,90112
Columns (B)	0,210870451	3	0,07029	9,59652	0,00011	2,90112
Interaction (AxB)	0,027916115	9	0,0031	0,42348	0,91267	2,18877
Within (Error)	0,234385422	32	0,00732			
Total	0,65804914	47				

Gambar 4.116 Hasil *Two-Way ANOVA* Pada Tegangan Geser (*Direct Shear*)

Lalu Uji *Direct Shear*, Disimpulkan faktor A $8,41 > 2,90$, faktor B $9,60 > 2,90$ serta Interaksi AxB $9 > 2,19$, maka semua **H1** diterima dan **H0** ditolak. Dihasilkan perbedaan yang signifikan pada nilai tegangan geser *direct shear* terhadap variasi persentase dan variasi hari.

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F tabel
Sample (A)	0,05452	3	0,018174	33,5491	3,24919E-05	3,86255
Columns (B)	0,09025	3	0,0300834	55,5339	3,95536E-06	3,86255
Error	0,00488	9	0,0005417			
Total	0,14965	15				

Gambar 4.117 Hasil *Two-Way ANOVA* Pada Kuat Geser tanah (UCS)

Terakhir, pada Uji *Unconfined Compressive Strength*, Dapat disimpulkan karena faktor A $33,55 > 3,86$, faktor B $55,53 > 3,86$ dan tanpa replikasi, maka semua **H1** diterima dan **H0** ditolak. Dihasilkan perbedaan yang signifikan pada nilai

UCS terhadap variasi persentase dan variasi hari.

Setelah dilakukan pengujian hipotesis, hasil penelitian ini selanjutnya dibandingkan dengan penelitian terdahulu untuk mengetahui kesesuaian dan perbedaan hasil yang diperoleh. Hasil penelitian ini menunjukkan kecenderungan yang sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Aditiya Affandi (2024), di mana penerapan teknologi Microbial Induced Calcite Precipitation (MICP) terbukti mampu meningkatkan kuat geser tanah serta menurunkan indeks plastisitas tanah. Peningkatan sifat mekanik tanah pada kedua penelitian tersebut disebabkan oleh terbentuknya endapan kalsium karbonat (CaCO_3) hasil aktivitas bakteri yang berfungsi sebagai bahan pengikat alami antarpartikel tanah.

Meskipun memiliki kecenderungan hasil yang serupa, terdapat perbedaan pada komposisi material dan tingkat peningkatan yang diperoleh. Pada penelitian ini, penggunaan kombinasi abu daun bambu dan bakteri *Bacillus subtilis* memberikan kontribusi tambahan sebagai bahan pozolan yang mendukung proses sementasi mikroba, sehingga perbaikan sifat fisik dan mekanik tanah dapat dicapai secara lebih optimal pada persentase campuran yang lebih rendah dibandingkan penelitian Aditiya Affandi (2024).

Selain itu, kedua penelitian menunjukkan bahwa variasi masa pemeraman berpengaruh signifikan terhadap hasil perbaikan tanah. Hasil optimal pada penelitian ini diperoleh pada masa pemeraman 28 hari, yang sejalan dengan temuan Aditiya Affandi (2024), sehingga dapat disimpulkan bahwa durasi pemeraman memegang peranan penting dalam keberhasilan proses MICP dalam meningkatkan kualitas tanah lempung.