

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penelitian Pendahuluan

Sebagai bagian dari penelitian pendahuluan, sampel tanah lanau diambil dari Kabupaten Malang, Jawa Timur, menggunakan metode disturb (tanpa menjaga struktur asli tanah). Sebelum dilakukan pencampuran dengan bahan kimia, terlebih dahulu perlu dilaksanakan pengujian sifat fisik tanah untuk mengidentifikasi karakteristik material tersebut. Salah satu kriteria yang harus dipenuhi adalah memastikan bahwa tanah tergolong sebagai tanah lanau, dengan indikator nilai *Plasticity Index* (PI) lebih kecil dari 7. Pengambilan tanah dilakukan pada kedalaman 0,5 – 1,5 meter dari atas permukaan tanah. Selain itu, pengujian sifat mekanik tanah juga diperlukan guna mengevaluasi nilai kekuatan geser sampel yang diambil langsung dari lapangan.

4.1.1 Pengujian Sifat Fisik Tanah

A. Pengujian Kadar Air Tanah

Prosedur standar mengharuskan pengukuran kelembapan alami tanah melalui pengujian kadar air menggunakan tiga contoh uji yang berbeda, kemudian di rata-ratakan untuk mendapatkan nilai kandungan air yang representatif.



Gambar 4. 1 Pengujian kadar air asli

Lalu dari pengujian tersebut terdapat data sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data uji kadar air asli

Nomor cawan		C6	D8	D1
Berat cawan + tanah basah	(gr)	51.48	40.86	50.90
Berat cawan + tanah kering	(gr)	35.18	29.16	35.01
Berat cawan	(gr)	14.65	13.85	14.79
Berat air	(gr)	16.30	11.70	15.89
Berat tanah kering	(gr)	20.53	15.31	20.22
Kadar air (w)	(%)	79.40	76.42	78.59
Kadar air rata-rata	(%)	78.13		

Dari tabel di atas didapat rata-rata kadar air : **78,13%**

B. Pengujian Berat Jenis Tanah

Tahap berikutnya meliputi penyiapan contoh tanah kering guna pengujian berat spesifik material tanah halus, dengan tiga kali pengulangan percobaan untuk menentukan nilai rata-ratanya.



Gambar 4. 2Pengujian berat jenis tanah halus

Dari pengujian di atas didapat data sebagai berikut :

Tabel 4. 2 Data Uji berat jenis tanah halus

Nomor Picno		A	B	C
Berat Picno + Tanah (W_2)	gr	80.15	69.46	74.14
Berat Picno (W_1)	gr	46.36	32.66	34.41
Berat Tanah ($W_2 - W_1$)	gr	33.79	36.80	39.73
Suhu (T)	°C	28.5	28.5	28.5
Berat Picno + Air pada T (W_4)	gr	142.16	128.20	129.65
$W_2 - W_1 + W_4$	gr	175.95	165.00	169.38
Berat Picno + Air + Tanah (W_3)	gr	162.76	149.81	153.69
Faktor Koreksi Suhu		0.9986	0.9986	0.9986
Isi Tanah ($W_2 - W_1$) + ($W_4 - W_3$)	cm ³	13.19	15.19	15.69
Berat Jenis Tanah		2.558	2.419	2.529
Rata-rata		2.502		

Dari tabel diatas maka 3 jenis benda uji berat jenis tanah halus dapat ditemukan rata-ratanya: **2,502**

C. Pengujian Ukuran Butiran (Hidrometer)

Untuk mengklasifikasikan tanah berdasarkan sistem USDA (*United States Department of Agriculture*), diperluka serangkaian pengujian guna mengidentifikasi karakteristik tanah butiran halus. Prosedur pengujian ini cukup dengan, analisis distribusi partikel melalui uji laju endapan dan evaluasi gradasi berdasarkan ukuran butiran.



Gambar 4. 3 Pengujian Analisa Hidrometer

dari pengujian tersebut didapat data sebagai berikut :

Tabel 4. 3 Data Pengujian distribusi dengan analisa hidrometer

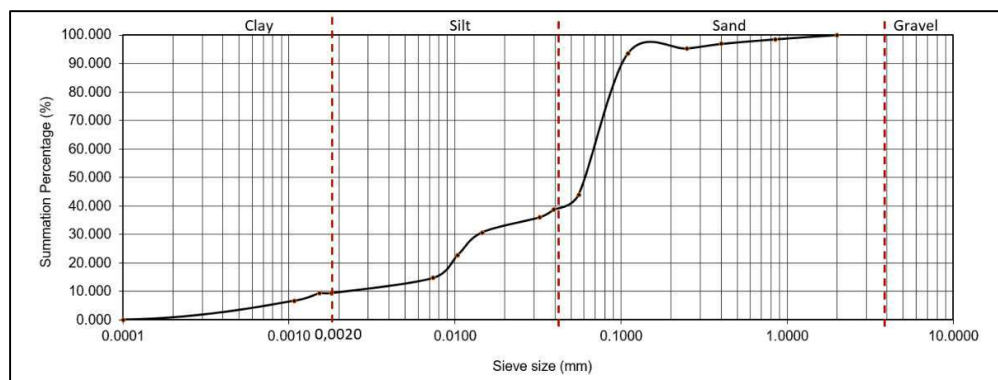
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Elapsed time (t) (min)	Hydrometer reading		Tempera ture °C	L	$\sqrt{L/t}$	$\sqrt{\frac{30 m}{980(G-G')}} = K$	d 6 x 7	F
	Under decimal only	r' col. 2 + Cm						
1	13	14.00	28	16.95	4.117	0.01350	0.0556	0.0025
2	11	12.00	28	17.08	2.922	0.01350	0.0395	0.0025
3	10	11.00	28	17.19	2.394	0.01350	0.0323	0.0025
15	8	9.00	28	17.42	1.078	0.01350	0.0145	0.0025
30	5	6.00	28	17.75	0.769	0.01350	0.0104	0.0025
60	2	3.00	28	17.99	0.548	0.01350	0.0074	0.0025
240	0	1.00	28	18.44	0.277	0.01350	0.0018	0.0025
1440	0	1.00	28	18.44	0.113	0.01350	0.0015	0.0025
2880	0	0.00	28	18.44	0.080	0.01350	0.0011	0.0025

Setelah pengujian di atas sampel tanah disaring dengan saringan No.200 kemudian dikeringkan dan dilanjutkan untuk pengujian ukuran butiran tanah dengan Saringan No.20, 40, 60, 120, dan 200.

Tabel 4. 4 Pengujian gradasi dengan analisa hidrometer

Sieve opening in mm	Weight of soil retained in gr.	*Percent retained	*Cummulative Percent retained	*Cummulative Percent finer P
0.85	2.66	1.49%	1.49%	98.51%
0.4	2.92	1.64%	3.13%	96.87%
0.25	2.80	1.57%	4.70%	95.30%
0.11	3.12	1.75%	6.46%	93.54%
0.075	2.05	1.15%	7.61%	92.39%

Dari pengujian analisa butiran (Hidrometer) didapat grafik analisa hidrometer dan saringan sebagai berikut :

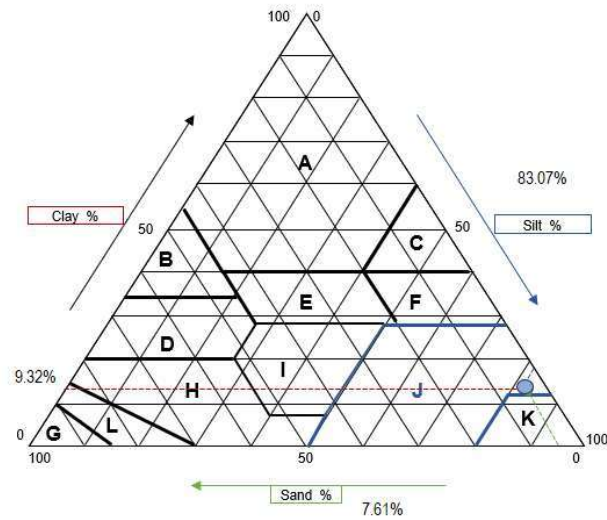


Gambar 4. 4Grafik analisa butiran

- Lempung (Clay) = 9,32%
- Lanau (Silt) = Persen Tertahan Saringan No. 270
= 83,07%
- Pasir (Sand) = Persen Tertahan Saringan No. 200
= 7,61%

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. 5Klasifikasi tanah USDA

D. Pengujian Batas Cair

Pengujian ini menggunakan sampel tanah dalam kondisi kering yang diayak dengan saringan 0,25mm (40) yang akan dilakukan penambahan air sesuai prosedur pengerjaan yang ada.



Gambar 4. 6 Pengujian Batas Cair Tanah

Tabel 4.5 Data Uji batas cair tanah

1				2				3			
NO. OF BLOWS			10	NO. OF BLOWS			14	NO. OF BLOWS			20
		No. D10				No. D6				No. D5	
WW =	32.56	DW =	26.19	WW =	34.62	DW =	27.41	WW =	35.77	DW =	28.01
DW =	26.19	TW =	15.31	DW =	27.41	TW =	14.90	DW =	28.01	TW =	14.31
Ww =	6.37	Ws =	10.88	Ww =	7.21	Ws =	12.51	Ww =	7.76	Ws =	13.70
		w = 58.55 %				w = 57.63 %				w = 56.64 %	
4				5				6			
NO. OF BLOWS			24	NO. OF BLOWS			30	NO. OF BLOWS			34
		No. B6				No. G0				No. G5	
WW =	31.00	DW =	25.09	WW =	31.17	DW =	25.15	WW =	34.97	DW =	28.04
DW =	25.09	TW =	14.21	DW =	25.15	TW =	14.02	DW =	28.04	TW =	14.86
Ww =	5.91	Ws =	10.88	Ww =	6.02	Ws =	11.13	Ww =	6.93	Ws =	13.18
		w = 54.32 %				w = 54.09 %				w = 52.58 %	

Untuk mendapatkan nilai dan grafik batas cair pengujian ini menggunakan 6 benda uji dengan interval ketukan pada *casagrande* sebanyak kelipatan 5, dan didapat nilai batas cair tanah = **54,62%**.

E. Pengujian Batas Plastis

Untuk mendapatkan nilai PI (*Plasticity Index*) maka diperlukan pengujian batas plastis tanah.



Gambar 4. 7 Pengujian Batas Plastis Tanah

dari pengujian tersebut didapat data sebagai berikut :

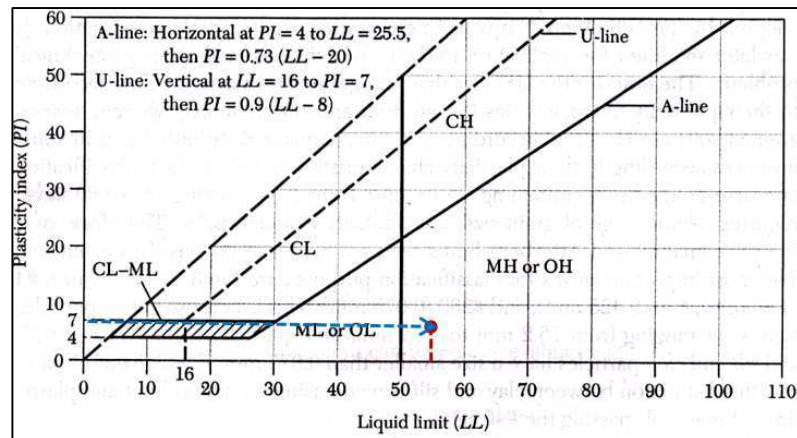
Tabel 4.6 Data Uji Batas Plastis Tanah

1				2				3			
		No. J9				No. G7				No. A2	
WW =	16.23	DW =	15.62	WW =	15.77	DW =	15.53	WW =	14.76	DW =	14.33
DW =	15.62	TW =	14.37	DW =	15.53	TW =	15.02	DW =	14.33	TW =	13.43
Ww =	0.61	Ws =	1.25	Ww =	0.24	Ws =	0.51	Ww =	0.43	Ws =	0.90
w = 48.80 %				w = 47.06 %				w = 47.78 %			

Nilai batas plastis tanah = **47,88%**.

Telah diperoleh nilai batas plastis tanah sebesar 23,09%. Untuk menentukan nilai Plasticity Index (PI), diperlukan data hasil pengujian batas cair (LL) dan batas plastis (PL). Data ini akan digunakan untuk menganalisis hubungan antara PI dan LL melalui grafik yang sesuai, dengan nilai PI dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 PI &= LL - PL \\
 &= 54,62\% - 47,88\% \\
 &= 6,74\%
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 8 Hubungan PI dan LL

Dari data dan grafik tersebut karena nilai PI 4 -7 maka klasifikasi ada di bawah garis A dengan simbol tunggal yaitu **MH** atau **Lanau tak organik / Lanau Elastis**.

Tabel 4. 7Hasil pengujian sifat fisik

Pengujian Kadar Air Tanah				
Kadar air tanah	79.40	76.42	78.59	%
Rata- rata	78.13			
Pengujian Berat Jenis Tanah Halus				
Berat jenis tanah	2.558	2.419	2.529	%
Rata- rata	2.502			
Jenis tanah	Lanau tak organik.			
Pengujian Analisa Hidrometer				
Lempung (<i>Clay</i>)	9.32%			%
Lanau (<i>Silt</i>)	83.07%			
Pasir (<i>Sand</i>)	7.61%			
Klasifikasi USDA	SILTY LOAM			
Pengujian Batas Cair dan Plastis Tanah				
Nilai LL (<i>Liquid Limit</i>)	54.62			%
Nilai PL (<i>Plastic Limit</i>)	47.88			
Nilai PI (<i>Plasticity Index</i>)	6.74			
Klasifikasi Butiran halus USCS	MH (Lanau tak Organik / Lanau Elastis)			

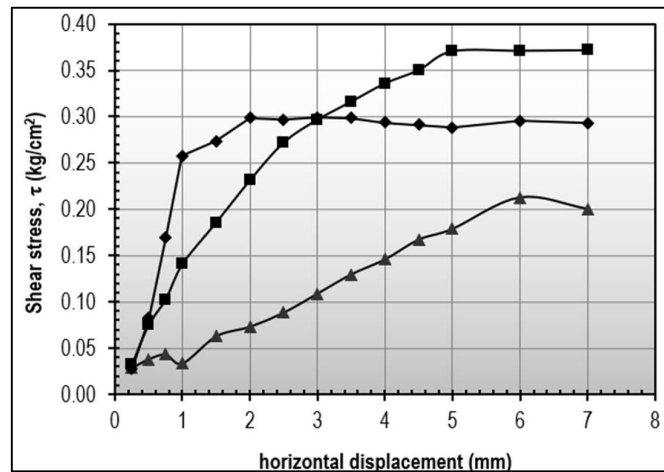
4.1.2 Pengujian Sifat Mekanik Tanah

A. Pengujian Direct Shear

Pada metode pengujian ini, tanah yang telah dipadatkan menggunakan uji Standard Proctor kemudian dicetak ke dalam ring dan digunakan sebagai benda uji sebanyak tiga sampel, sehingga dapat diperoleh nilai rata-rata kuat geser tanah dari hasil pengujian tersebut.

Tabel 4. 8Hasil data

Pembacaan Pengujian Direct Shear				
Beban		4375 g	8375 g	12375 g
Pembacaan	25	6	10	11
	50	8	18	14
	75	9	37	19
	100	7	56	26
	150	13	59	34
	200	15	64	42
	250	18	63	49
	300	22	63	53
	350	26	62.5	56
	400	29	61	59
	450	33	60	61
	500	35	59	64
	600	41	59.5	63
	700	38	58	62



Gambar 4. 9Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal

Setelah diperoleh hasil pengujian Direct Shear dari tiga sampel tanah, data tersebut akan diolah dan digunakan untuk membuat grafik, yang selanjutnya dimanfaatkan untuk menentukan nilai sudut geser dalam serta kohesi tanah.

- Benda Uji 1

Beban Normal (N) = 4375 gr

= 4,37 kg

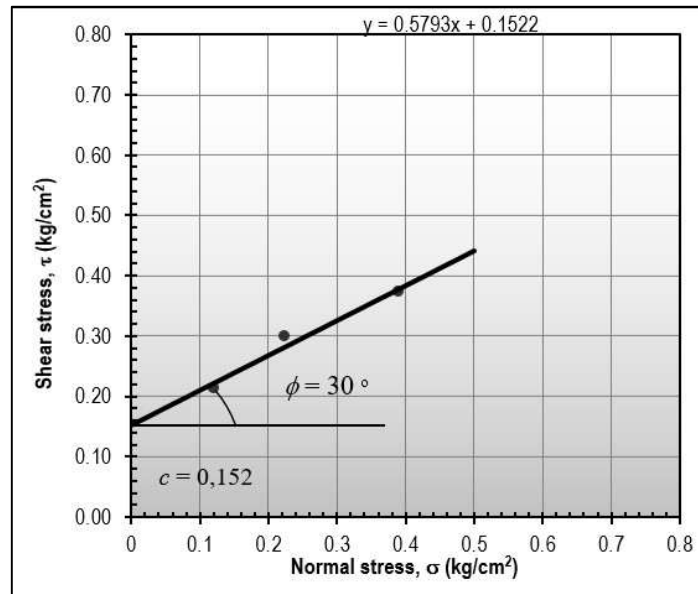
Diameter benda uji = 6,75 cm

LRC = 0,1692 Kgf

$$\begin{aligned}
 \text{Horizontal Disp. } (\delta) &= 6,00 \text{ mm} \\
 \text{Luas Penampang } (A_0) &= \frac{\pi \times d^2}{4} \\
 &= \frac{3,14 \times 6,75^2}{4} \\
 &= 35,80 \text{ cm}^2 \\
 \text{Luas Koreksi } (A') &= \frac{d - \delta}{d \times A_0} \\
 &= \frac{6,75 - 6,00}{6,75 \times 35,80} \\
 &= 32,62 \text{ cm}^2 \\
 \text{Gaya geser maks. (F)} &= \text{Pembacaan dial} \times \text{LRC} \\
 &= 41 \times 0,1692 \\
 &= 6,937 \text{ Kgf} \\
 \text{Tegangan Normal } (\sigma_n) &= \frac{N}{A_0} \\
 &= \frac{4,37}{35,85} \\
 &= 0,14 \text{ Kg/cm}^2 \\
 \text{Tegangan Geser } (\tau) &= \frac{F}{A'} \\
 &= \frac{6,937}{32,62} \\
 &= 0,213 \text{ Kgf/cm}^2
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 9 HASIL PERHITUNGAN DIRECT SHEAR

HASIL PENGUJIAN	TEGANGAN NORMAL	TEGANGAN GESER
BENDA UJI 1	0,14	0,213
BENDA UJI 2	0,22	0,299
BENDA UJI 3	0,39	0,372



Gambar 4. 10 Grafik kohesi dan sudut geser

B. Pengujian Triaxial Compression

Secara umum, pengujian ini memiliki beberapa perbedaan mendasar dibandingkan dengan uji direct shear, terutama terkait gaya, beban yang diberikan, serta pengaruhnya terhadap jenis tanah yang diuji. Uji triaxial umumnya lebih cocok digunakan untuk sampel tanah yang didominasi oleh lempung atau lanau. Proses pencetakan sampel dilakukan dengan cara yang sama seperti pada uji direct shear, yaitu setelah tanah dipadatkan menggunakan uji Standard Proctor.



Gambar 4. 11Pengujian Triaxial

Maka di dapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4. 10Data hasil pengujian

Pembacaan Pengujian Triaxial Compression				
Beban		1,0 Kg/Cm ²	,5 Kg/Cm ²	2,0 Kg/Cm ²
Pembacaan	50	18	22	13
	100	23	26	15
	150	27	31	19
	200	32	33	24
	250	37	36.5	29
	300	41	37	33
	350	43	38	35
	400	46	38	38
	450	48	40	40
	500	52	41.5	44
	600	53	42	54
	700	52	46	51
	800	50	50	54
	900	51.5	56	56
	1000	49	58	54
	1100	50.5	57	55
	1200	48	57.5	59
	1300	50	56	58
	1400	50	52	58
	1500	48	51	60

Untuk memperoleh grafik lingkaran Mohr yang bersinggungan secara optimal 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), di mana tanah berada dalam kondisi tidak terdrainase sehingga kekuatan gesernya hanya dipengaruhi oleh kohesi tak terdrainase (c_u), tanpa melibatkan sudut geser dalam (ϕ). Dengan tiga sampel tersebut, diperoleh data dan grafik lingkaran Mohr yang ditampilkan berikut.

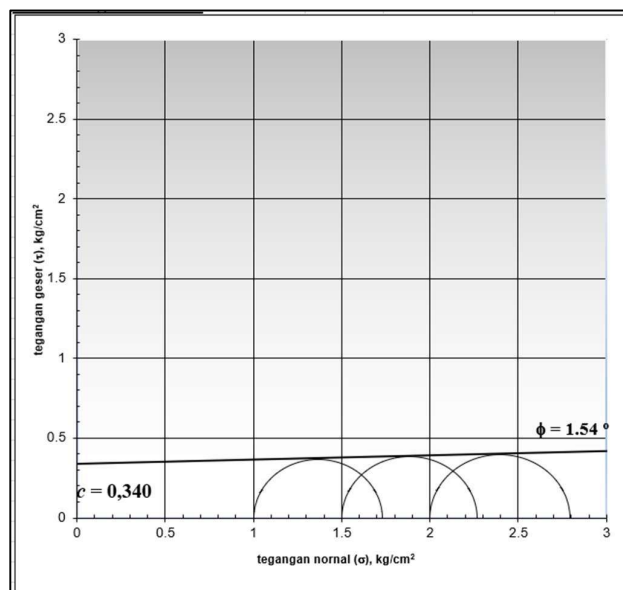
- Benda Uji 1

Diameter (D_0)	= 3,55 cm
Tinggi (L_0)	= 7,25 cm
Perubahan panjang (ΔL)	= 0,530 cm
Luas Penampang (A_0)	$= \frac{\pi \times d_0^2}{4}$ $= \frac{\pi \times 3,55^2}{4}$ $= 9,893 \text{ cm}^2$
Regangan aksial (ε)	$= \frac{\Delta L}{L_0}$ $= \frac{0,530}{7,25}$ $= 0,073\%$
Luas terkoreksi (A')	$= \frac{A_0}{1 - \varepsilon}$ $= \frac{9,893}{1 - 0,073}$ $= 10,673 \text{ cm}^2$
LRC	= 0,1472 kgf
Tekanan sel (σ_3)	= 1,0 kg/cm ²
Tegangan deviator maks ($\Delta\sigma$)	$= \frac{\text{Pembacaan dial} \times \text{LRC}}{A'}$ $= \frac{53 \times 0,1472}{10,673}$ $= 0,7310 \text{ kgf/cm}^2$
Tegangan vertikal maks. (σ_1)	= $\sigma_3 + \Delta\sigma$

$$\begin{aligned}
 &= 1,0 + 0,7310 \\
 &= 1,731 \text{ kgf/cm}^2 \\
 \text{Koheksi Undrained (cu)} &= \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}, \text{ Dengan, } \phi = 0. \\
 &= \frac{1,731 - 1,0}{2} \\
 &= 0,3655 \text{ kgf/cm}^2
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 11 Hasil pengujian

Hasil pengujian	Teg. Deviator max	Teg. Vertikal max	Koheksi undrained
Benda uji 1	0,7310	1,731	0,3655
Benda uji 2	0,766	2,266	0,383
Benda uji 3	0,794	2,794	0,397



Gambar 4. 12 Grafik lingkaran mohr Triaxial

Karena sudut geser dalam (ϕ) = 1,54, maka kekuatan geser tanah sepenuhnya ditentukan oleh nilai koheksi (c). Berdasarkan hasil pengujian triaxial UU terhadap tiga sampel, diperoleh nilai rata-rata koheksi sebesar 0,340 kgf/cm².

C. Pengujian UCS

Pengujian ini merupakan metode paling sederhana untuk menentukan kuat geser tanah. Dengan asumsi bahwa sudut geser dalam bernilai nol ($\phi = 0$), maka nilai kuat tekan bebas tanah (q_u) dapat digunakan langsung untuk menentukan nilai kuat geser tanah tersebut.



Gambar 4. 13Pengujian UCS

Maka di dapat data sebagai berikut:

Tabel 4. 12Pembacaan uji UCS

Pembacaan Uji UCT		
Pembacaan	25	9.7
	50	10.4
	75	11.9
	100	12.4
	150	14.2
	200	15.5
	250	17.7
	300	20.8
	350	22.2
	400	24.1
	450	25.3
	500	28.4
	600	30.5
	700	31.6

Agar dapat menentukan nilai kuat tekan bebas (q_u) data di atas harus diplot pada grafik parabola dengan perhitungan sebagai berikut.

- Benda uji

$$\text{Tinggi (L}_0\text{)} = 7,36 \text{ cm}$$

$$\text{Diameter (D}_0\text{)} = 3,71 \text{ cm}$$

$$\text{Perubahan panjang } (\Delta L) = 3,00 \text{ cm}$$

$$\text{LRC} = 0,3501 \text{ kgf}$$

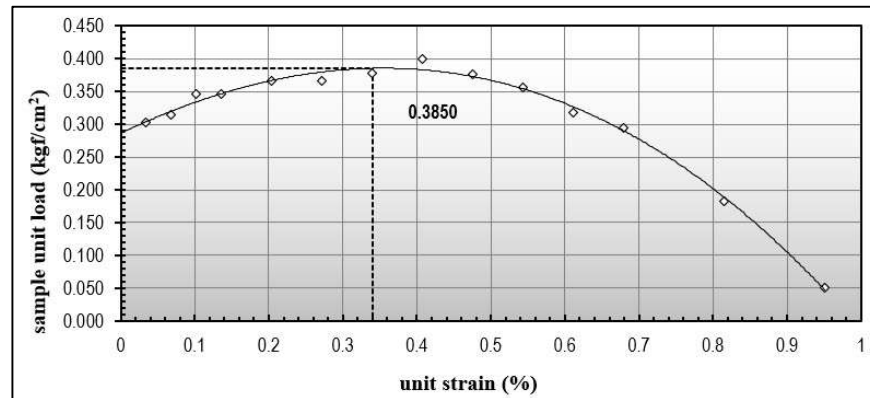
$$\begin{aligned} \text{Luas penampang (A}_0\text{)} &= \frac{\pi \times d_0^2}{4} \\ &= \frac{3,14 \times 3,71^2}{4} \\ &= 10,81 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan aksial } (\epsilon) &= \frac{\Delta L}{L_0} \\ &= \frac{3,00}{7,36} \\ &= 0,592 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas terkoreksi (A')} &= \frac{A_0}{1 - \epsilon} \\ &= \frac{10,81}{1 - 0,592} \\ &= 18,256 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban maks. (P}_{\text{max}}\text{)} &= \text{Pembacaan dial} \times \text{LRC} \\ &= 20,8 \times 0,3501 \\ &= 7,282 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat tekan tanah bebas (q}_u\text{)} &= \frac{P_{\text{max}}}{A'} \\ &= \frac{7,282}{18,256} \\ &= 0,399 \text{ kgf/cm}^2 \end{aligned}$$



Gambar 4. 14Grafik nilai q_u uji UCS

Dengan nilai $q_u = 0,399 \text{ kgf/cm}^2 = 3,792 \text{ kN/m}^2$ maka pada konsistensi tanah termasuk pada tanah **LUNAK**, selanjutnya nilai q_u dapat dikonversi dengan nilai kuat geser tanah tidak terdrainase (S_u) dengan rumus berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat geser tanah } (S_u) &= \frac{q_u}{2} \\
 &= \frac{0,399}{2} \\
 &= 0,192 \text{ kgf/cm}^2
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 13Uji sifat mekanik tanah

Pengujian Direct Shear				
Tegangan normal (σ_n)	0.12	0.22	0.39	kgf/cm2
Rata - rata	0.25			
Tegangan geser (τ)	0.213	0.299	0.372	
Rata - rata	0.295			
Kohesi (c)	0.152			
Sudut geser dalam (ϕ)	30			°
Pengujian Triaxial Compression (UU)				
Tekanan sel (σ_3)	1.0	1.5	2.0	kgf/cm2
Tegangan vertikal maks. (σ_1)	1.731	2.266	2.794	
Kohesi Undrained (c)	0.365	0.383	0.397	
Rata - rata	0.382			
Pengujian Unconfined Compressive Strength				
Kuat Tekan tanah bebas (q_u)	0.385			kgf/cm2
Kuat Geser tanah (S_u)	0.193			

4.2 Pencampuran Tanah Dengan Bakteri

Berdasarkan hasil uji fisik tanah yang menunjukkan nilai $PI < 7$ dan data kuat geser tanah dari uji mekanik sebelum perlakuan bakteri, penelitian ini dapat melanjutkan ke tahap berikutnya. Tahap tersebut meliputi pembuatan larutan sementasi dan pencampuran sampel tanah dengan bakteri menggunakan variasi konsentrasi 2,5%, 4,5%, 6,5%, 8,5%, dan 10,5%. Sebelum pencampuran, dilakukan uji Standard Proctor pada setiap variasi campuran untuk menentukan kadar air optimum. Nilai kadar air optimum yang diperoleh kemudian akan digunakan sebagai acuan dalam variasi perlakuan bakteri pada tanah.

4.2.1 Pembuatan Larutan Sementasi

Pembuatan larutan sementasi dalam penelitian ini meliputi proses pencampuran bakteri *Bacillus subtilis* dengan bahan-bahan pendukung, yaitu kalsium klorida ($CaCl_2$) dan urea ($CO(NH_2)_2$).



Gambar 4. 15 Bakteri *Bacillus subtilis*, $CaCl_2$, Urea

A. Larutan Urea

Proses pembuatan larutan urea diawali dengan menyiapkan 50 ml air dan 100 gram urea dalam satu wadah. Kedua bahan tersebut kemudian diaduk secara merata dan terus-menerus hingga homogen. Selanjutnya, larutan didiamkan selama 1-2 jam untuk memastikan urea terlarut sempurna dalam air.

B. Larutan CaCl_2

Pembuatan larutan CaCl_2 dilakukan dengan mencampurkan 50 ml air dan 150 gram CaCl_2 dalam sebuah wadah, kemudian diaduk secara terus-menerus hingga homogen dan didiamkan selama 1-2 jam untuk memastikan CaCl_2 larut sempurna dalam air. Proses ini mirip dengan metode pembuatan larutan urea, hanya berbeda dalam jenis dan jumlah bahan yang digunakan.

C. Larutan Bakteri

Dalam proses ini disediakan air sebanyak 50 ml dan bakteri di siapkan 50 ml, lalu di campur dengan cara di aduk hingga larut.

Proses pembuatan larutan sementasi dilakukan melalui beberapa tahap krusial. Larutan utama (urea, CaCl_2 , dan kultur bakteri) dicampurkan secara bersamaan dalam gelas ukur dan diaduk hingga mencapai homogenitas sempurna. Setelah tercampur merata, larutan komposit ini kemudian mengalami proses penyaringan menggunakan kertas saring khusus untuk memisahkan komponen yang tidak terlarut. Tahap berikutnya melibatkan pengenceran dengan perbandingan tetap 2:1, dimana setiap 50 ml larutan tersaring dicampurkan dengan 100 ml air murni. Campuran akhir inilah yang kemudian didefinisikan sebagai larutan sementasi yang siap digunakan.



Gambar 4. 16 Larutan Simentasi

4.2.2 Uji Compaction (Standart Proctor)

Uji Standard Proctor bertujuan menentukan kadar air optimum tanah untuk mencapai kepadatan maksimum. Berikut hasil pengujiannya yang menunjukkan hubungan antara kadar air dengan berat isi kering tanah. Data ini menjadi acuan dalam penentuan kebutuhan air untuk stabilisasi tanah.



Gambar 4. 17 Uji standart proctor

- Mold 1

Berat Mold (W_1) = 1760 gr

Tinggi Mold (h) = 11,54 cm

Diameter Mold (d) = 10,15 cm

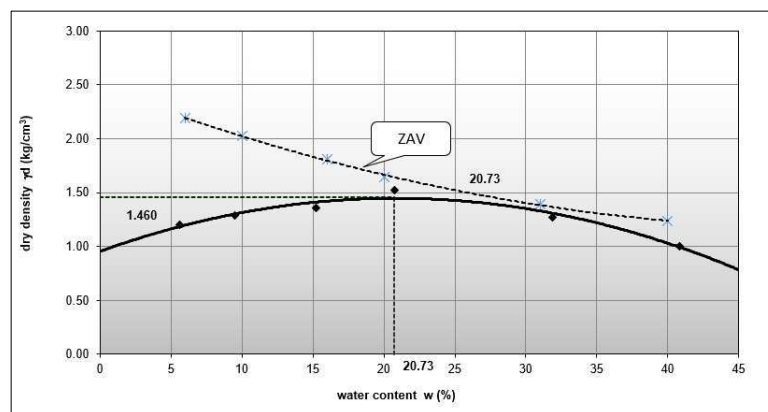
Volume Mold (V) = $\pi \times r^2 \times h$

	$= 3,14 \times 5,07^2 \times 11,54$
	$= 933,27 \text{ cm}^3$
Penambahan Air	$= 0 \text{ ml}$
Kadar Air (w)	$= 5,61\%$
Berat Tanah + Mold (W_2)	$= 2940 \text{ gr}$
Berat Isi Tanah (W_3)	$= (W_2) - (W_1)$
	$= 2940 - 1760$
	$= 1180 \text{ gr}$
Berat Isi Basah (γ_w)	$= \frac{W_3}{V}$
	$= \frac{1180}{933,27}$
	$= 1,26 \text{ gr/cm}^3$
Berat Isi Kering (γ_d)	$= \frac{\gamma_w}{1 + w}$
	$= \frac{1,26}{1 + 5,61}$
	$= 1,19 \text{ gr/cm}^3$

Tabel 4. 14 Hasil pengujian *Standart Proctor*

Uji Standart Proctor			
Mold 2	Penambahan air	350	ml
	Kadar air (w)	9.48	%
	Berat isi basah (γ_w)	1.41	gr/cm ³
	Berat isi kering (γ_d)	1.29	gr/cm ³
Mold 3	Penambahan air	750	ml
	Kadar air (w)	15.23	%
	Berat isi basah (γ_w)	1.56	gr/cm ³
	Berat isi kering (γ_d)	1.36	gr/cm ³
Mold 4	Penambahan air	1050	ml
	Kadar air (w)	20.73	%
	Berat isi basah (γ_w)	1.84	gr/cm ³
	Berat isi kering (γ_d)	1.53	gr/cm ³
Mold 5	Penambahan air	1250	ml
	Kadar air (w)	31.89	%
	Berat isi basah (γ_w)	1.67	gr/cm ³
	Berat isi kering (γ_d)	1.27	gr/cm ³
Mold 6	Penambahan air	1400	ml
	Kadar air (w)	40.86	%
	Berat isi basah (γ_w)	1.41	gr/cm ³
	Berat isi kering (γ_d)	1.00	gr/cm ³

Dari tabel di atas dapat dilihat γ_{wmaks} dan γ_{dmaks} ada pada Mold 4 dengan penambahan air sebanyak **1050ml** serta Berat isi kering **1,53 gr/cm³** dengan begitu penambahan air tersebut akan menjadi acuan dalam pencampuran sampel tanah dengan larutan sementasi.



Gambar 4. 18Grafik *Standart Proctor*

4.2.3 Pencampuran Dengan Variasi Rencana

1. Variasi campuran 2,5

Dengan penambahan air sebanyak 1050 ml pada tanah maksimum dan variasi campuran 2,5 % maka bakteri yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned}2,5 \% &= \text{variasi campuran} \times \text{kebutuhan air} \\&= 2,5\% \times 1050 \\&= 26,3 \text{ ml}\end{aligned}$$

2. Variasi campuran 4,5

Dengan penambahan air sebanyak 1050 ml pada tanah maksimum dan variasi campuran 4,5 % maka bakteri yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned}4,5\% &= \text{variasi campuran} \times \text{kebutuhan air} \\&= 4,5\% \times 1050 \\&= 47,3 \text{ ml}\end{aligned}$$

3. Variasi campuran 6,5

Dengan penambahan air sebanyak 1050 ml pada tanah maksimum dan variasi campuran 6,5% maka bakteri yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned}6,5\% &= \text{variasi campuran} \times \text{kebutuhan air} \\&= 6,5\% \times \text{kebutuhan air} \\&= 6,5\% \times 1050 \\&= 68,3 \text{ ml}\end{aligned}$$

4. Variasi campuran 8,5

Dengan penambahan air sebanyak 1050 ml pada tanah maksimum dan variasi campuran 8,5% maka bakteri yang dibutuhkan :

$$8,5\% = \text{variasi campuran} \times \text{kebutuhan air}$$

$$= 8,5\% \times 1050$$

$$= 89,3$$

Tabel 4. 15Tabel variasi campuran

No	% Campuran	3 Hari		7 Hari			
	Kebutuhan Campuran	Kebutuhan Air (ml)	Larutan Sementasi (ml)	TOTAL (ml)	Kebutuhan Air (ml)	Larutan Sementasi (ml)	TOTAL (ml)
1	2,5%	1050	26,25	1076,25	1050	26,3	1076,3
2	4,5%	1050	47,25	1097,25	1050	47,3	1097,3
3	6,5%	1050	68,25	1118,25	1050	68,3	1118,3
4	8,5%	1050	89,25	1139,25	1050	89,3	1139,3
	Benda Uji	5			5		
	% Campuran	14 Hari			28 Hari		
	Kebutuhan Campuran	Kebutuhan Air (ml)	Larutan Sementasi (ml)	TOTAL (ml)	Kebutuhan Air (ml)	Larutan Sementasi (ml)	TOTAL (ml)
5	2,5%	1050	26,25	1076,25	1050	26,25	1076,25
6	4,5%	1050	47,25	1097,25	1050	47,25	1097,25
7	6,5%	1050	68,25	1118,25	1050	68,25	1118,25
8	8,5%	1050	89,25	1139,25	1050	89,25	1139,25
	Benda Uji	5			5		
	Total Benda Uji (n)	20					

Dengan kebutuhan campuran yang sudah ditentukan, nantinya kebutuhan tersebut akan dibuat sebanyak 4 buah per kebutuhan untuk menyesuaikan masa waktu dimana sampel akan di uji pada 3, 7, 14 dan 28 hari.

4.2.4 Masa Pemeraman dengan Variasi Campuran rencana

Selama masa pemeraman, sampel tanah akan ditempatkan dalam desikator vakum guna mempertahankan stabilitas kadar air dan kepadatan tanah. Setelah periode pemeraman selesai sesuai variasi waktu yang ditentukan, akan dilakukan serangkaian pengujian untuk mengevaluasi sifat fisik dan mekanik tanah pasca-perlakuan bakteri.



Gambar 4. 19 Pemeraman dalam *desikator vacuum*

4.3 Pengujian Fisik dan Mekanik pada masa Pemeraman 3 hari

4.4.3 Variasi campuran 2,5%

Dengan variasi campuran 2,5% dan masa pemeraman 3 hari maka kebutuhan larutan sementasi sebanyak 26,3 ml, berikut adalah pengujian fisik dan mekanik setelah perlakuannya.

A. Pengujian Kadar Air

Dari pengujinan kadar air dalam masa pemeraman 3 hari didapat hasil kadar air tanah asli dengan 3 benda uji sebesar **13.14 %**.

B. Pengujian Berat Jenis Tanah Halus

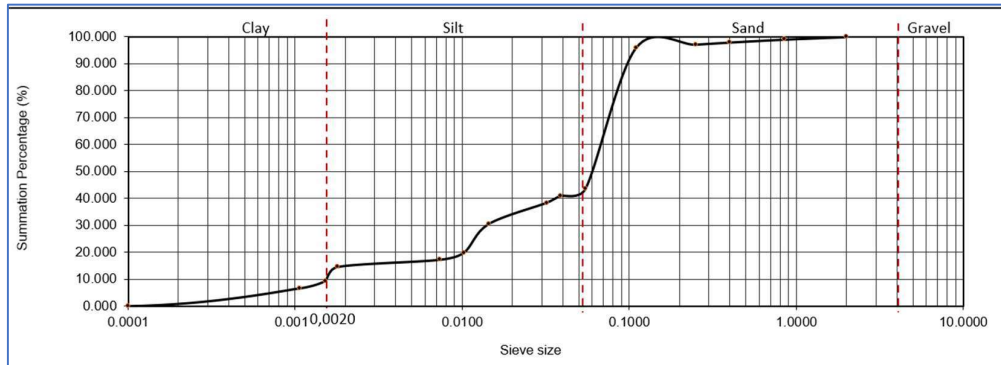
Tabel 4. 16 hasil pengujian berat jenis tanah halus

Macam Tanah	Berat Jenis Gs
Kerikil	2,65 - 2,68
Pasir	2,65 - 2,68
Lanau Tak Organik	2,62 - 2,68
Lempung Organik	2,58 - 2,65
Lempung Tak Organik	2,68 - 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 - 1,80

Dari nilai berat jenis tanah **2,538** dapat disimpulkan macam jenis tanah termasuk dalam tanah **Lanau Tak Organik**.

C. Pengujian Analisa Butiran (Hidrometer)

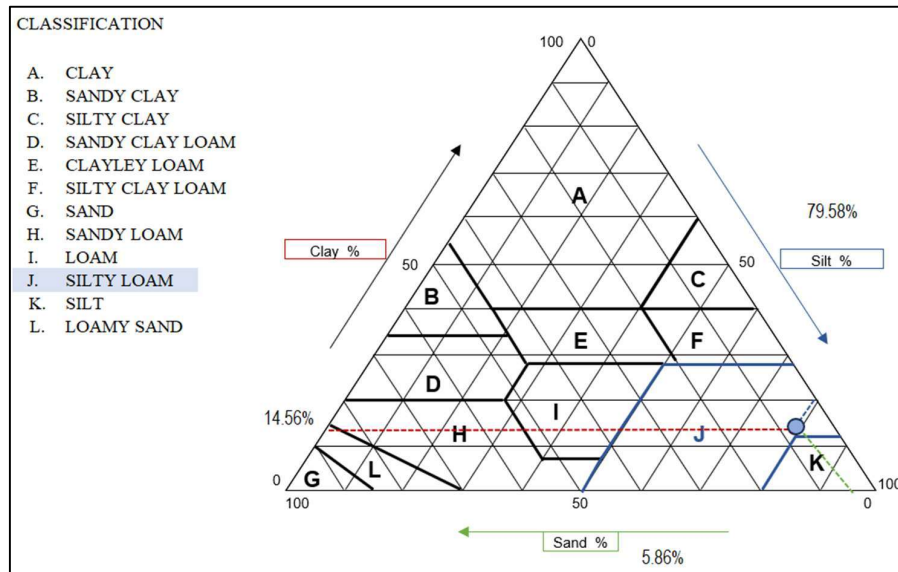
Lalu pada hasil pengujian analisa hidrometer didapat grafik analisa hidrometer dan saringan sebagai berikut :



Gambar 4. 20 Grafik uji ukuran butiran

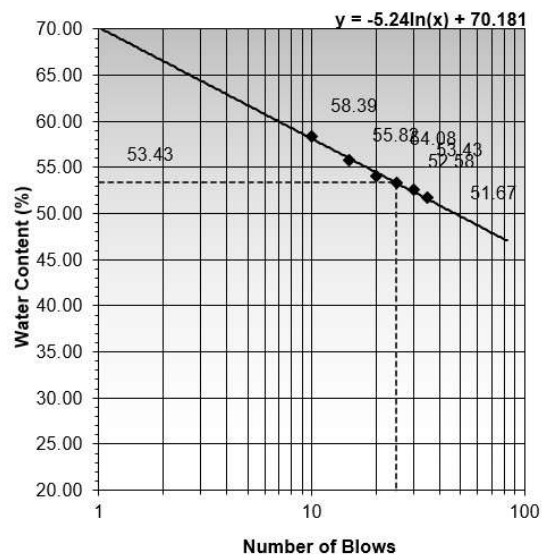
- Lempung (Clay) = 14,56%
- Lanau (Silt) = Persen Lolos Saringan No. 200 – Persen Lempung
= 94,14% - 14,56%
= 79,58%
- Pasir (Sand) = Persen Tertahan Saringan No. 200
= 5,86%

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



Gambar 4. 21 Klasifikasi tanah dengan USDA

D. Pengujian Batas Cair Tanah



Gambar 4. 22Hasil pengujian batas cair tanah

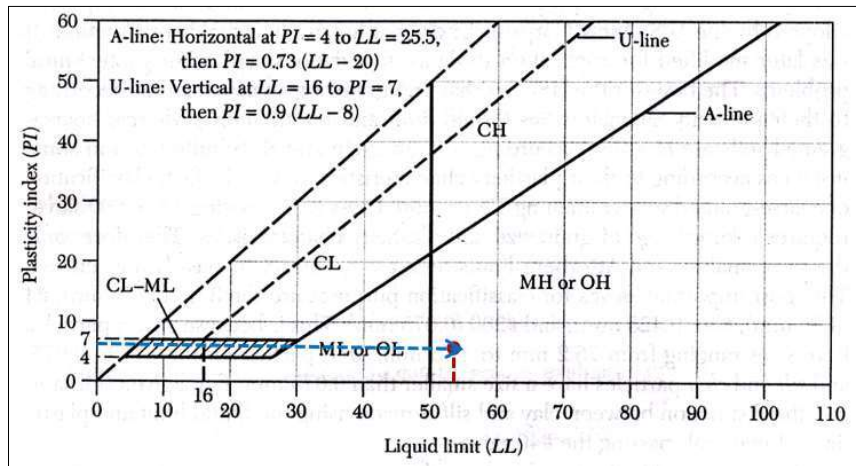
Didapat nilai batas cair tanah = **53,43%**.

E. Pengujian Batas Plastis Tanah

Didapat nilai batas plastis tanah = **47.11%**. 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.

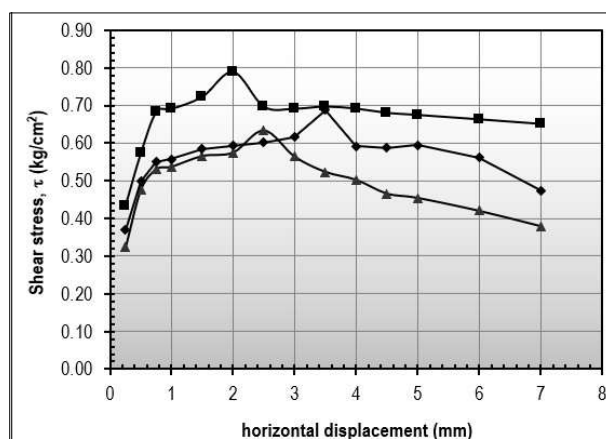
$$\begin{aligned}
 PI &= LL - PL \\
 &= 53,43\% - 47,11\% \\
 &= 6,32\%
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 23 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL

Dari data dan grafik tersebut karena nilai $LL > 50$ dan nilai PI 4 - 7 maka klasifikasi dengan simbol ganda yaitu **MH or OH** atau **Lanau tak organik / Lanau Elastis**.

F. Pengujian *Diract Shear*

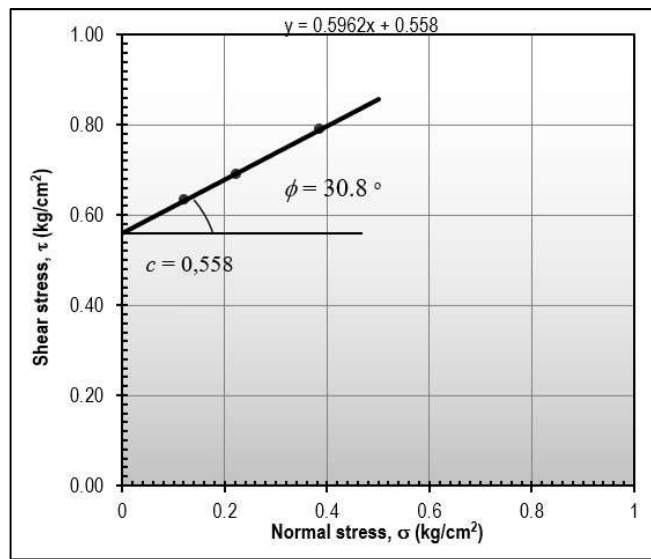


Gambar 4. 24 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal

Tabel 4. 17 Hasil Pengujian *Direct Shear*

Hasil Pengujian	Tegangan Normal (kgf/cm ²)	Tegangan Geser (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	0,14	0,633
Benda Uji 2	0,26	0,688
Benda Uji 3	0,39	0,789

Hasil tersebut kemudian diplot dalam bentuk grafik berikut.

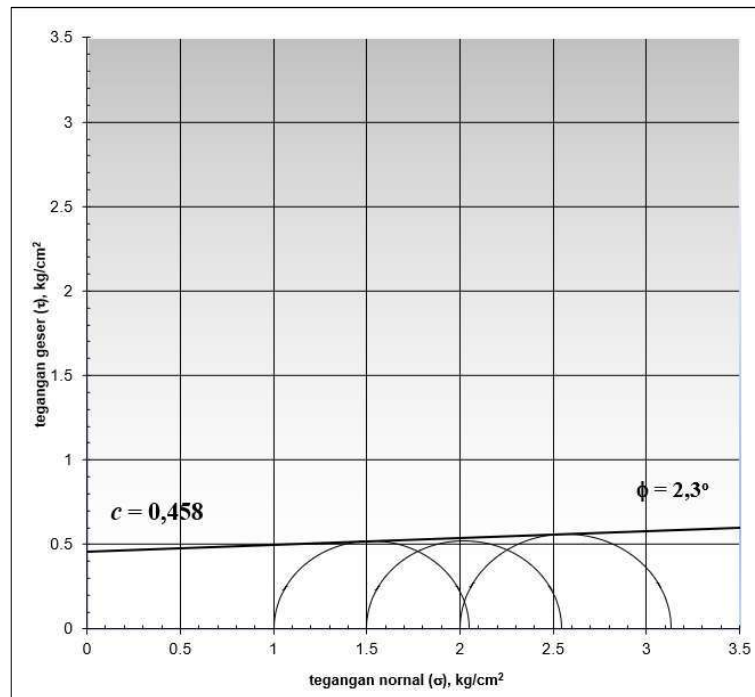


Gambar 4. 25 Garafik Kohesi dan Sudut Dalam

G. Pengujian Triaxsial

Tabel 4. 18 Hasil Pengujian Trixsial

Hasil Pengujian	Teg. Deviator maks. (kgf/cm ²)	Teg. Vertikal maks. (kgf/cm ²)	Kohesi <i>Undrained</i> (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	1.048	2,048	0,524
Benda Uji 2	1.047	2,547	0,524
Benda Uji 3	1.129	3.129	0,565

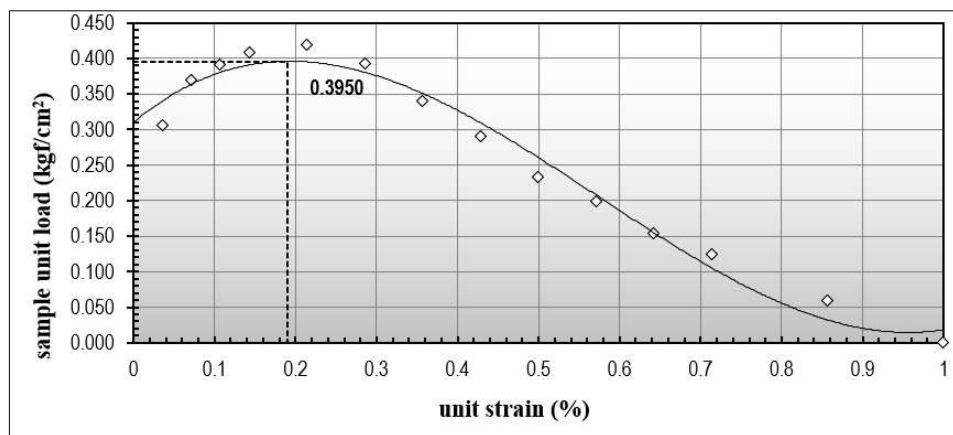


Gambar 4. 26 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU

Rata-rata nilai kohesi (c) 3 sampel pengujian triaxial UU adalah 0.458 kgf/cm^2 , dengan $\phi = 2.3$.

H. Pengujian USC (*Unconfined Compressive Strength*)

Agar dapat menentukan nilai kuat tekan bebas (q_u) data di atas harus diplot pada grafik parabola dengan perhitungan sebagai berikut.



Gambar 4.27 Grafik Nilai q_u UCS

Dengan nilai $q_u = 0,395 \text{ kgf/cm}^2$, selanjutnya nilai q_u dapat dikonversi dengan nilai kuat geser tanah tidak terdrainase (S_u) dengan rumus berikut :

$$\begin{aligned} \text{Kuat geser tanah } (S_u) &= \frac{q_u}{2} \\ &= \frac{0,395}{2} \\ &= 0,197 \text{ kgf/cm}^2 \end{aligned}$$

4.3.2 Variasi campuran 4,5%

Dengan variasi campuran 4,5% dan masa pemeraman 3 hari maka kebutuhan larutan sementasi sebanyak 47,25 ml, berikut adalah pengujian fisik dan mekanik setelah perlakuannya.

A. Pengujian Kadar Air

Dari pengujian kadar air dalam masa pemeraman 3 hari didapat hasil kadar air tanah asli dengan 3 benda uji sebesar **16,30%**.

B. Pengujian Berat Jenis Tanah Halus

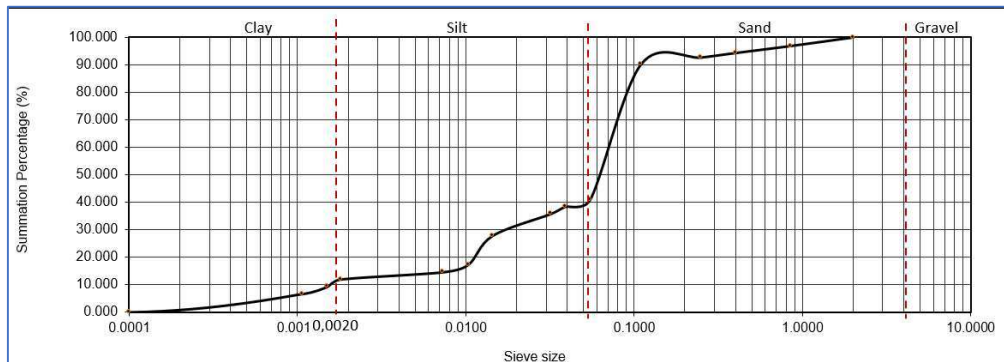
Tabel 4. 19 hasil pengujian berat jenis tanah halus

Macam Tanah	Berat Jenis Gs
Kerikil	2,65 - 2,68
Pasir	2,65 - 2,68
Lanau Tak Organik	2,62 - 2,68
Lempung Organik	2,58 - 2,65
Lempung Tak Organik	2,68 - 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 - 1,80

Dari nilai berat jenis tanah **2,549** dapat disimpulkan macam jenis tanah termasuk dalam tanah **Lanau Tak Organik**.

C. Pengujian Analisa Butiran (Hidrometer)

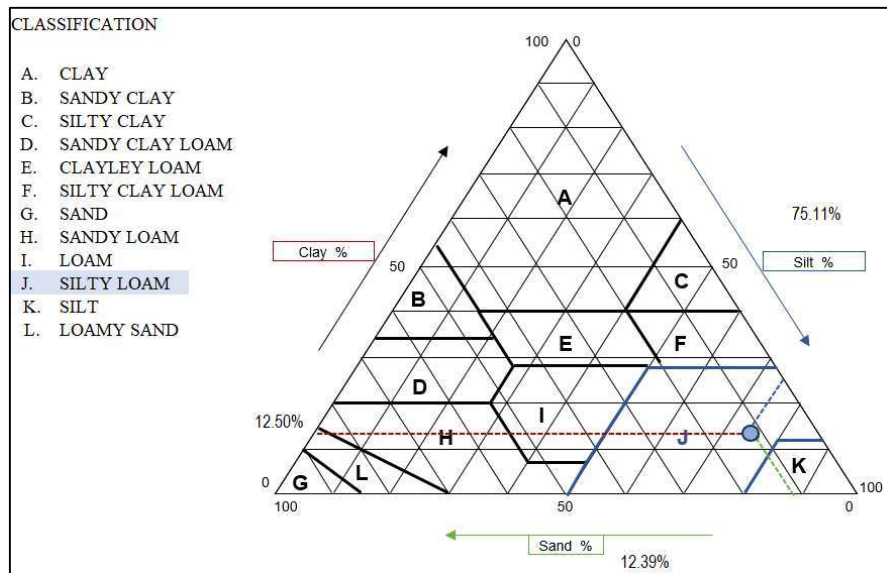
Lalu pada hasil pengujian analisa hidrometer didapat grafik analisa hidrometer dan saringan sebagai berikut :



Gambar 4. 28 Grafik uji ukuran butiran

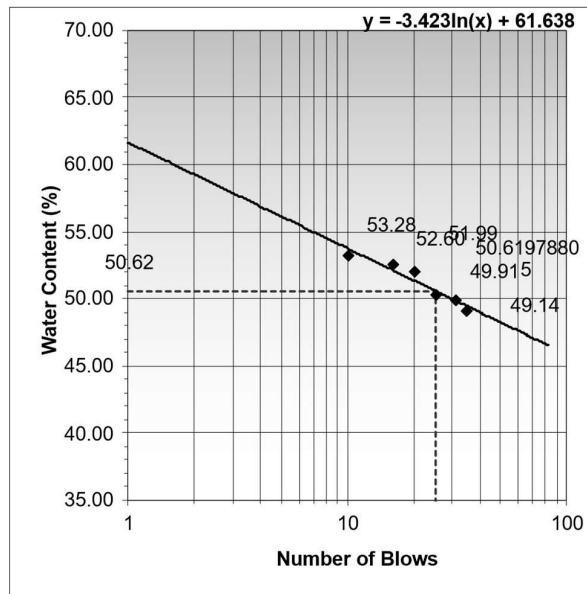
- Lempung (Clay) = 12,50%
- Lanau (Silt) = Persen Lolos Saringan No. 200 – Persen Lempung
= 87,61% - 12,50%
= 75,11%
- Pasir (Sand) = Persen Tertahan Saringan No. 200
= 12,39%

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



Gambar 4. 29 Klasifikasi tanah dengan USDA

D. Pengujian Batas Cair Tanah



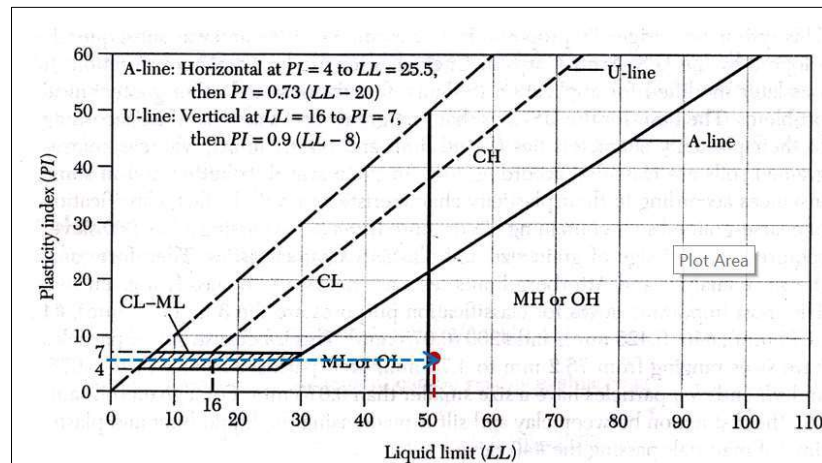
Gambar 4. 30 Hasil pengujian batas cair tanah

Didapat nilai batas cair tanah = **50,62%**.

E. Pengujian Batas Plastis Tanah

Didapat nilai batas plastis tanah = **44,73%**. 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.

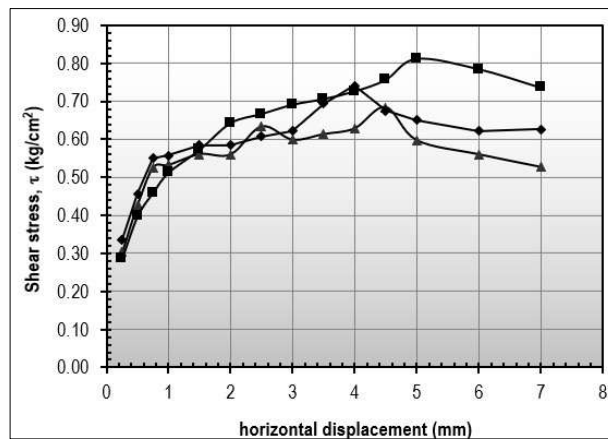
$$\begin{aligned} \text{PI} &= \text{LL} - \text{PL} \\ &= 50,62\% - 44,73\% \\ &= 5,89\% \end{aligned}$$



Gambar 4. 31 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL

Dari data dan grafik tersebut karena nilai $LL > 50$ dan nilai PI 4 - 7 maka klasifikasi dengan simbol ganda yaitu **MH or OH** atau **Lanau tak organik / Lanau Elastis**.

F. Pengujian *Direct Shear*

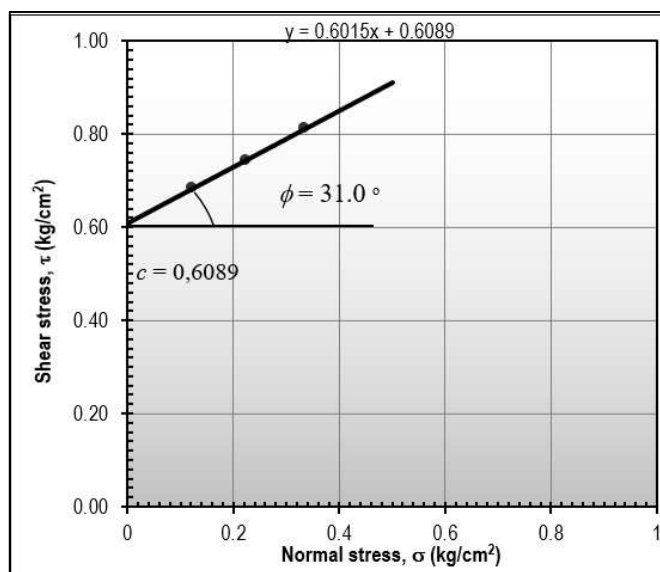


Gambar 4. 32 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal

Tabel 4. 20 Hasil Pengujian *Direct Shear*

Hasil Pengujian	Tegangan Normal (kgf/cm ²)	Tegangan Geser (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	0,14	0,684
Benda Uji 2	0,26	0,742
Benda Uji 3	0,39	0,812

Hasil tersebut kemudian diplot dalam bentuk grafik berikut.

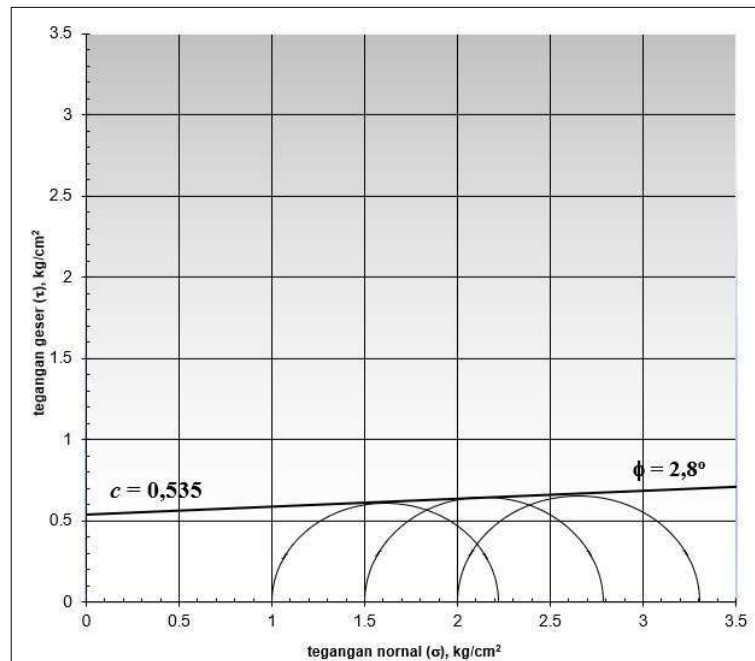


Gambar 4. 33 Garafik Kohesi dan Sudut Dalam

G. Pengujian Triaxial

Tabel 4. 21 Hasil Pengujian Triaxial

Hasil Pengujian	Teg. Deviator maks. (kgf/cm ²)	Teg. Vertikal maks. (kgf/cm ²)	Kohesi <i>Undrained</i> (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	1.218	2,218	0,609
Benda Uji 2	1.289	2,789	0,644
Benda Uji 3	1.307	3.307	0,654

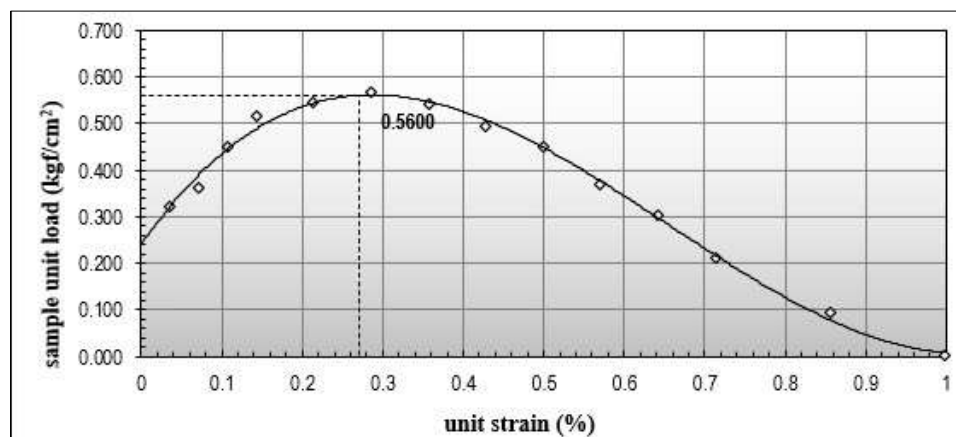


Gambar 4. 34 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU

Rata-rata nilai kohesi (c) 3 sampel pengujian triaxial UU adalah **0,535 kgf/cm²**, dengan $\phi = 2,8$.

H. Pengujian USC (*Unconfined Compressive Strength*)

Agar dapat menentukan nilai kuat tekan bebas (qu) data di atas harus diplot pada grafik parabola dengan perhitungan sebagai berikut.



Gambar 4.35 Grafik Nilai qu UCS

Dengan nilai $q_u = 0.568 \text{ kgf/cm}^2$, selanjutnya nilai q_u dapat dikonversi dengan nilai kuat geser tanah tidak terdrainase (S_u) dengan rumus berikut :

$$\begin{aligned} \text{Kuat geser tanah } (S_u) &= \frac{q_u}{2} \\ &= \frac{0,568}{2} \\ &= 0,2842 \text{ kgf/cm}^2 \end{aligned}$$

4.3.3 Variasi campuran 6,5%

Dengan variasi campuran 6,5% dan masa pemeraman 3 hari maka kebutuhan larutan sementasi sebanyak 68,25 ml, berikut adalah pengujian fisik dan mekanik setelah perlakuannya.

A. Pengujian Kadar Air

Dari pengujian kadar air dalam masa pemeraman 3 hari didapat hasil kadar air tanah asli dengan 3 benda uji sebesar **17.60%**.

B. Pengujian Berat Jenis Tanah Halus

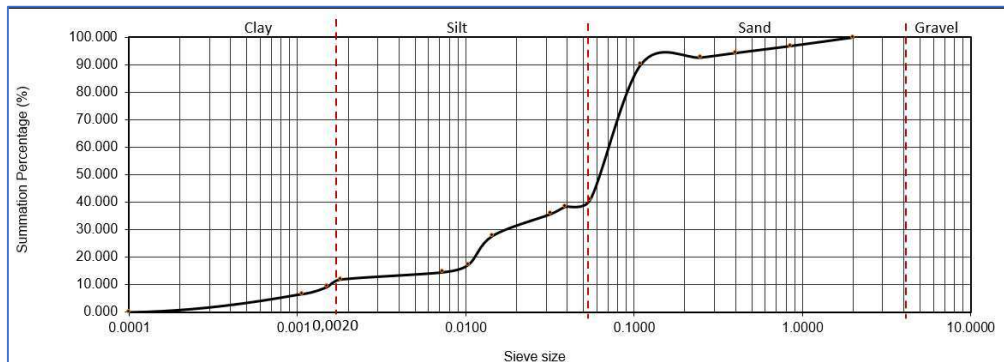
Tabel 4. 22 klasifikasi berat jenis tanah halus

Macam Tanah	Berat Jenis Gs
Kerikil	2,65 - 2,68
Pasir	2,65 - 2,68
Lanau Tak Organik	2,62 - 2,68
Lempung Organik	2,58 - 2,65
Lempung Tak Organik	2,68 - 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 - 1,80

Dari nilai berat jenis tanah **2,577** dapat disimpulkan macam jenis tanah termasuk dalam tanah **Lanau Tak Organik**.

C. Pengujian Analisa Butiran (Hidrometer)

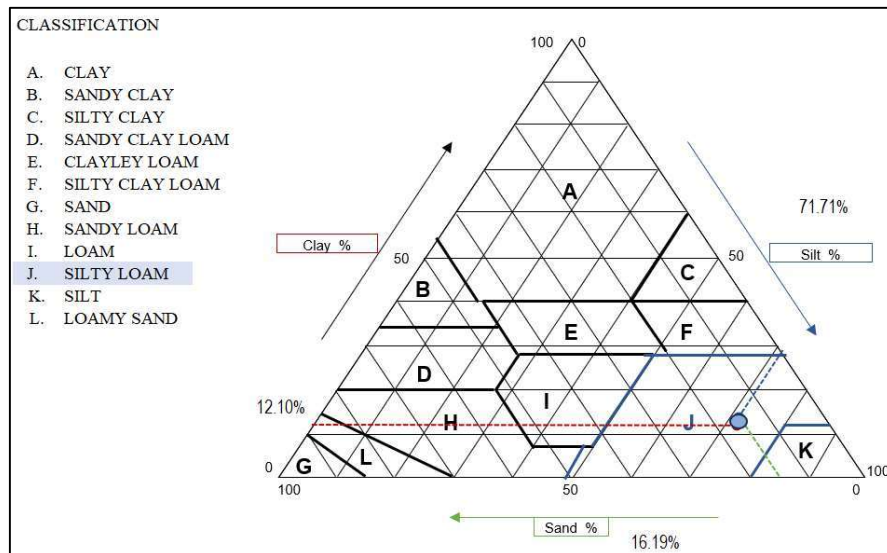
Lalu pada hasil pengujian analisa hidrometer didapat grafik analisa hidrometer dan saringan sebagai berikut :



Gambar 4. 36 Grafik uji ukuran butiran

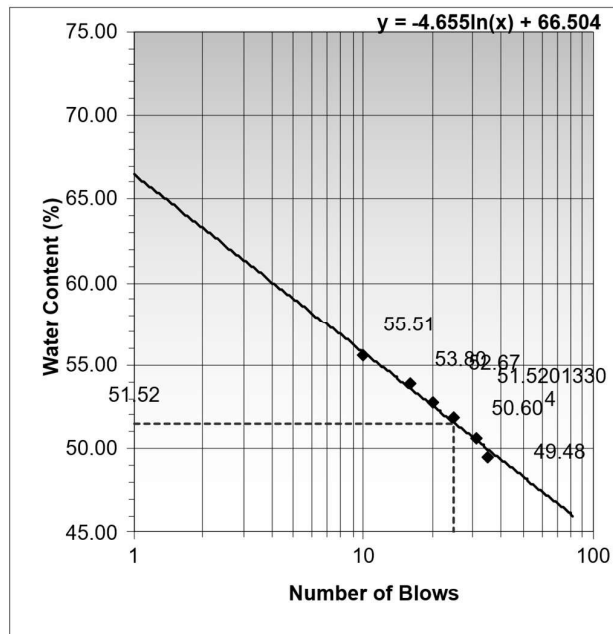
- Lempung (Clay) = 12,10%
- Lanau (Silt) = Persen Lolos Saringan No. 200 – Persen Lempung
= 83,81% - 12,10%
= 71,71%
- Pasir (Sand) = Persen Tertahan Saringan No. 200
= 16,19%

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



Gambar 4. 37 Klasifikasi tanah dengan USDA

D. Pengujian Batas Cair Tanah



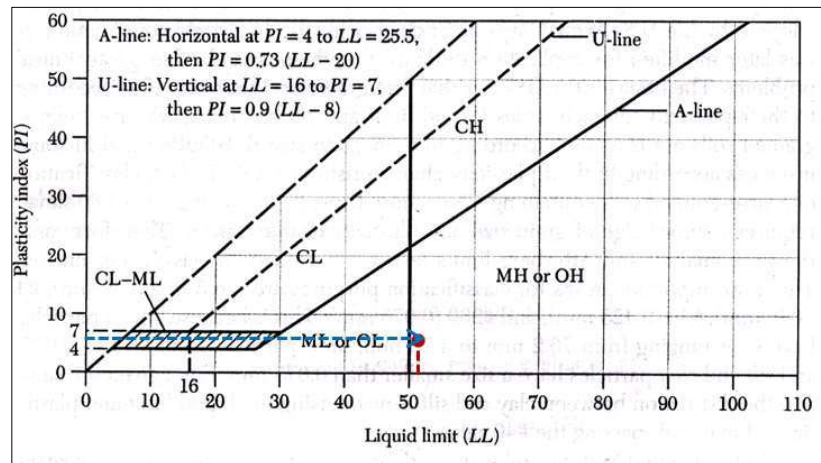
Gambar 4. 38 Hasil pengujian batas cair tanah

Didapat nilai batas cair tanah = **51,52%**.

E. Pengujian Batas Plastis Tanah

Didapat nilai batas plastis tanah = **46,28%**. 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.

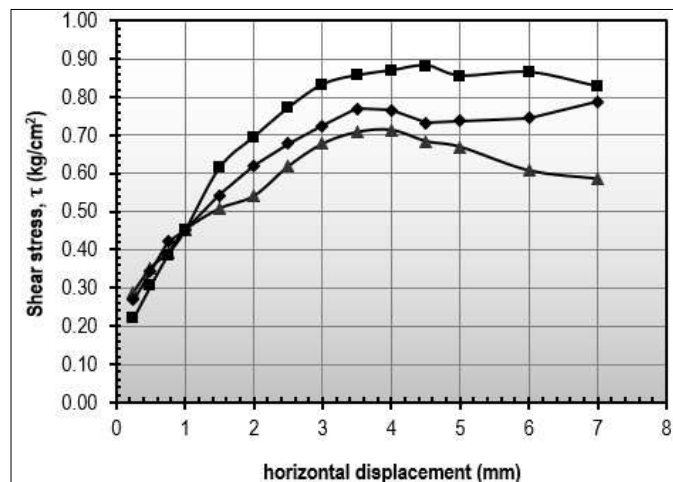
$$\begin{aligned}
 PI &= LL - PL \\
 &= 51,52\% - 46,28\% \\
 &= 5,24\%
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 39 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL

Dari data dan grafik tersebut karena nilai $LL > 50$ dan nilai PI 4 - 7 maka klasifikasi dengan simbol ganda yaitu **MH or OH** atau **Lanau tak organik / Lanau Elastis**.

F. Pengujian *Direct Shear*

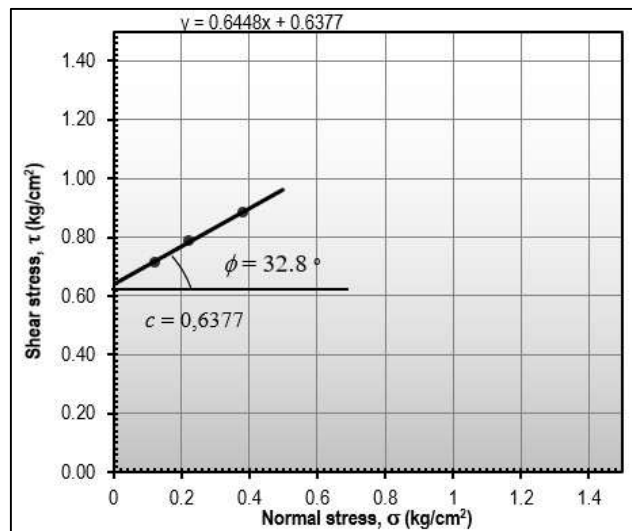


Gambar 4. 40 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal

Tabel 4. 23 Hasil Pengujian *Direct Shear*

Hasil Pengujian	Tegangan Normal (kgf/cm ²)	Tegangan Geser (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	0,14	0,713
Benda Uji 2	0,26	0,788
Benda Uji 3	0,39	0,882

Hasil tersebut kemudian diplot dalam bentuk grafik berikut.

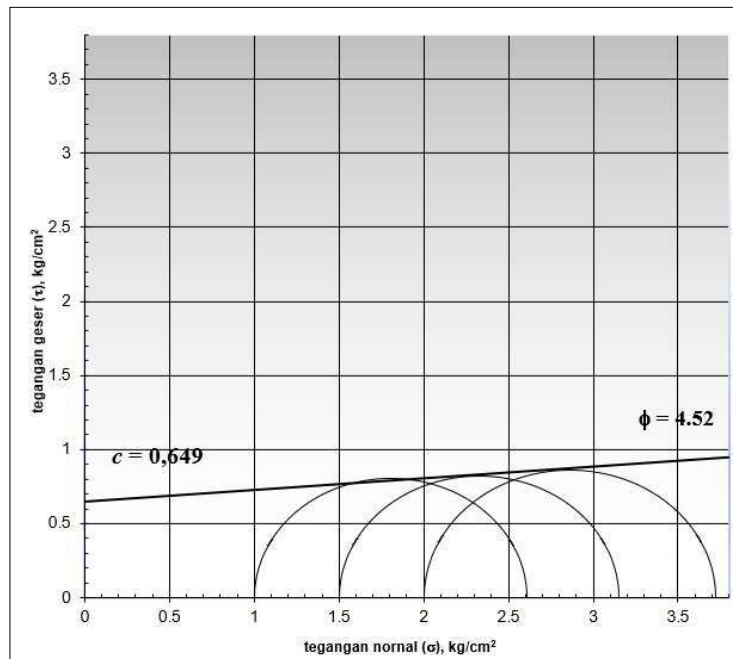


Gambar 4. 41 Garafik Kohesi dan Sudut Dalam

G. Pengujian Triaxsial

Tabel 4. 24 Hasil Pengujian Trixsial

Hasil Pengujian	Teg. Deviator maks. (kgf/cm ²)	Teg. Vertikal maks. (kgf/cm ²)	Kohesi <i>Undrained</i> (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	1.608	2.608	0.804
Benda Uji 2	1.650	3.150	0.825
Benda Uji 3	1.720	3.720	0.860

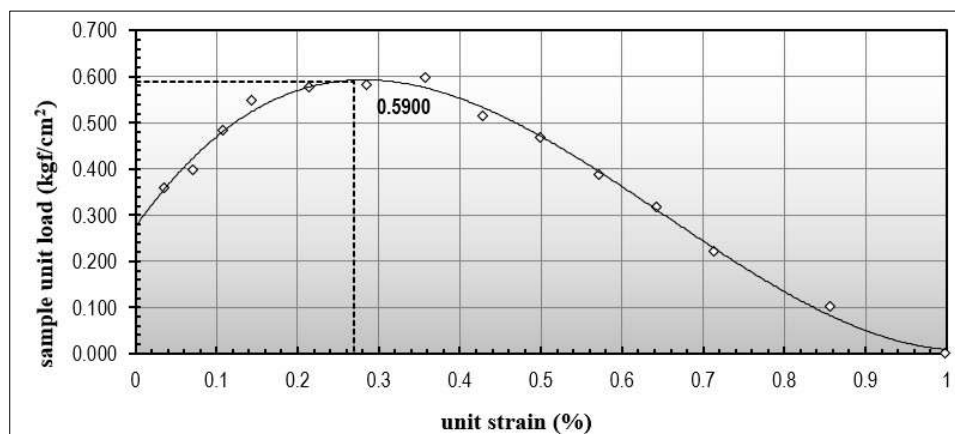


Gambar 4. 42 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU

Rata-rata nilai kohesi (c) 3 sampel pengujian triaxial UU adalah **0,649 kgf/cm^2** , dengan $\phi = 4,52$.

H. Pengujian USC (*Unconfined Compressive Strength*)

Agar dapat menentukan nilai kuat tekan bebas (qu) data di atas harus diplot pada grafik parabola dengan perhitungan sebagai berikut.



Gambar 4.43 Grafik Nilai qu UCS

Dengan nilai $q_u = 0.568 \text{ kgf/cm}^2$, selanjutnya nilai q_u dapat dikonversi dengan nilai kuat geser tanah tidak terdrainase (S_u) dengan rumus berikut :

$$\begin{aligned} \text{Kuat geser tanah } (S_u) &= \frac{q_u}{2} \\ &= \frac{0,598}{2} \\ &= 0,2992 \text{ kgf/cm}^2 \end{aligned}$$

4.3.4 Variasi campuran 8,5%

Dengan variasi campuran 8,5% dan masa pemeraman 3 hari maka kebutuhan larutan sementasi sebanyak 89,25 ml, berikut adalah pengujian fisik dan mekanik setelah perlakuannya.

A. Pengujian Kadar Air

Dari pengujian kadar air dalam masa pemeraman 3 hari didapat hasil kadar air tanah asli dengan 3 benda uji sebesar **24.31%**.

B. Pengujian Berat Jenis Tanah Halus

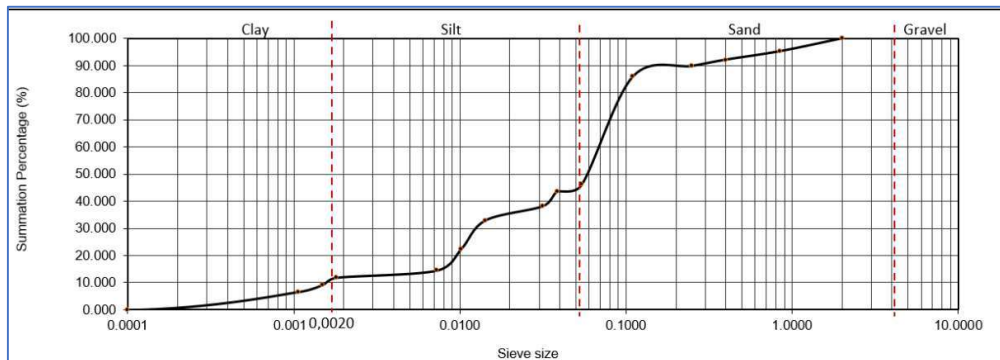
Tabel 4. 25 klasifikasi berat jenis tanah halus

Macam Tanah	Berat Jenis Gs
Kerikil	2,65 - 2,68
Pasir	2,65 - 2,68
Lanau Tak Organik	2,62 - 2,68
Lempung Organik	2,58 - 2,65
Lempung Tak Organik	2,68 - 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 - 1,80

Dari nilai berat jenis tanah **2,563** dapat disimpulkan macam jenis tanah termasuk dalam tanah **Lanau Tak Organik**.

C. Pengujian Analisa Butiran (Hidrometer)

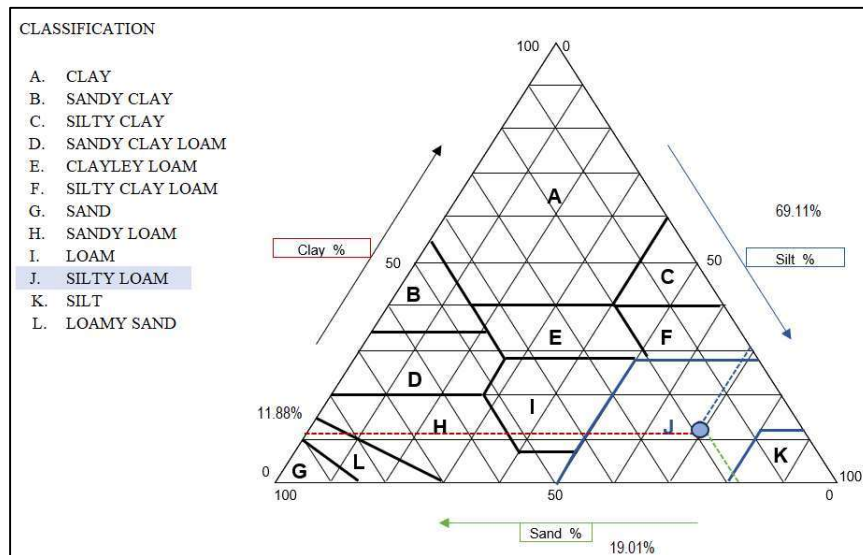
Lalu pada hasil pengujian analisa hidrometer didapat grafik analisa hidrometer dan saringan sebagai berikut :



Gambar 4. 44 Grafik uji ukuran butiran

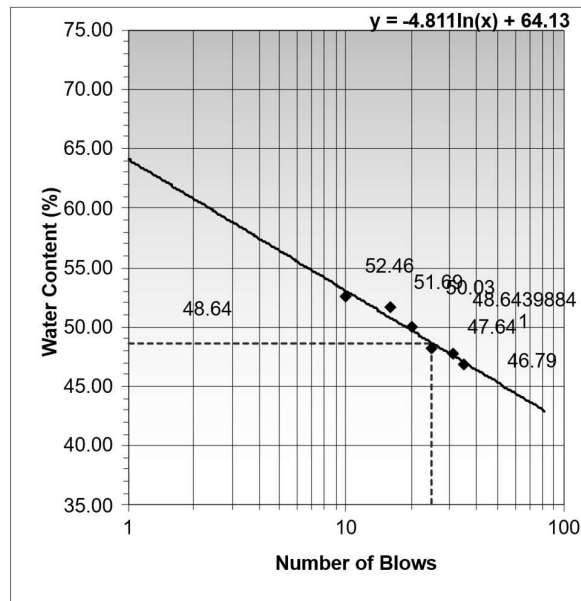
- Lempung (Clay) = 11,88%
- Lanau (Silt) = Persen Lolos Saringan No. 200 – Persen Lempung
= 80,99% - 11,88%
= 69,11%
- Pasir (Sand) = Persen Tertahan Saringan No. 200
= 19,01%

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



Gambar 4. 45 Klasifikasi tanah dengan USDA

D. Pengujian Batas Cair Tanah



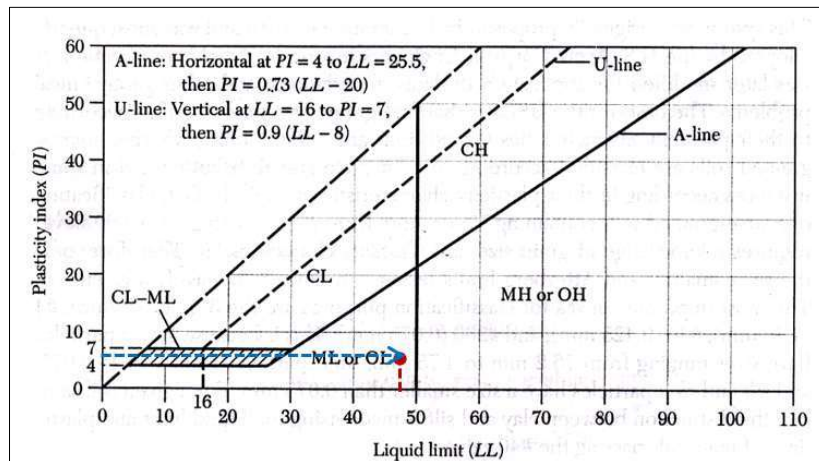
Gambar 4. 46 Hasil pengujian batas cair tanah

Didapat nilai batas cair tanah = **48,64%**.

E. Pengujian Batas Plastis Tanah

Didapat nilai batas plastis tanah = **42,25%**. 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.

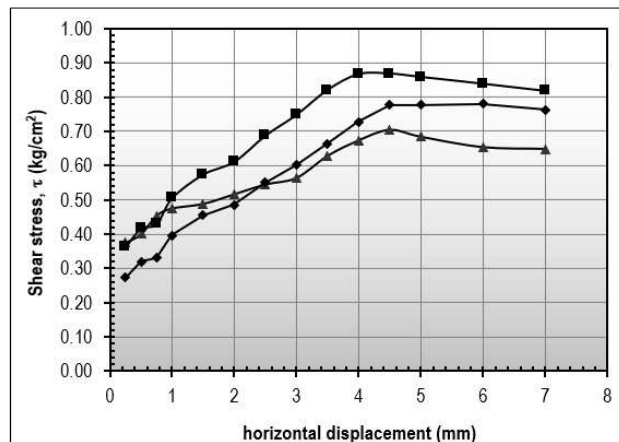
$$\begin{aligned} \text{PI} &= \text{LL} - \text{PL} \\ &= 48,64\% - 42,25\% \\ &= 6,40\% \end{aligned}$$



Gambar 4. 47 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL

Dari data dan grafik tersebut karena nilai $LL > 50$ dan nilai PI 4 - 7 maka klasifikasi dengan simbol ganda yaitu **ML or OL** atau **Lanau tak organik / Pasir Sangat Halus**.

F. Pengujian *Direct Shear*

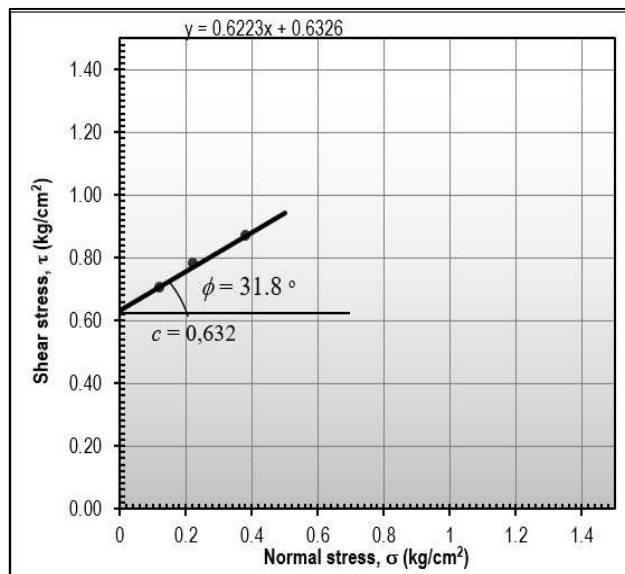


Gambar 4. 48 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal

Tabel 4. 26 Hasil Pengujian *Direct Shear*

Hasil Pengujian	Tegangan Normal (kgf/cm ²)	Tegangan Geser (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	0,14	0,704
Benda Uji 2	0,26	0,780
Benda Uji 3	0,39	0,868

Hasil tersebut kemudian diplot dalam bentuk grafik berikut.

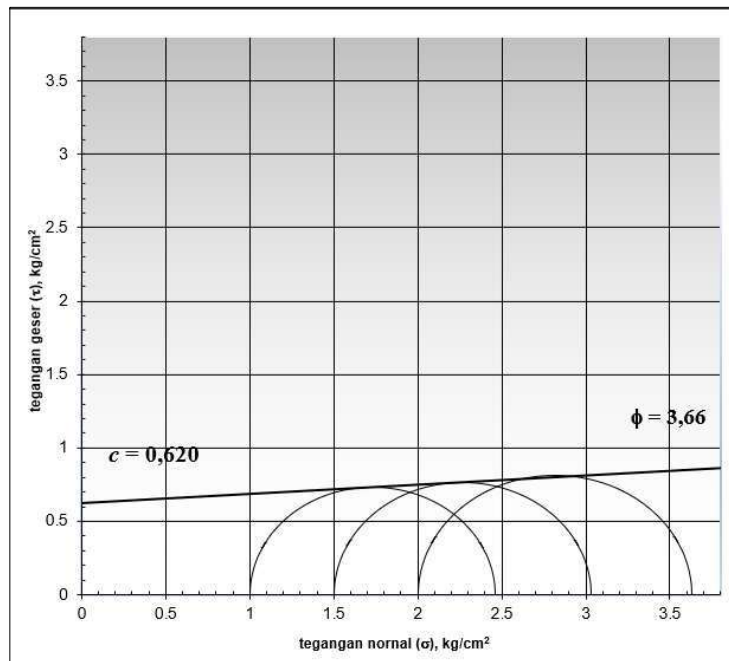


Gambar 4. 49 Garafik Kohesi dan Sudut Dalam

G. Pengujian Triaxsial

Tabel 4. 27 Hasil Pengujian Trixsial

Hasil Pengujian	Teg. Deviator maks. (kgf/cm ²)	Teg. Vertikal maks. (kgf/cm ²)	Kohesi <i>Undrained</i> (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	1.461	2.461	0.731
Benda Uji 2	1.532	3.032	0.766
Benda Uji 3	1.627	3.627	0.814

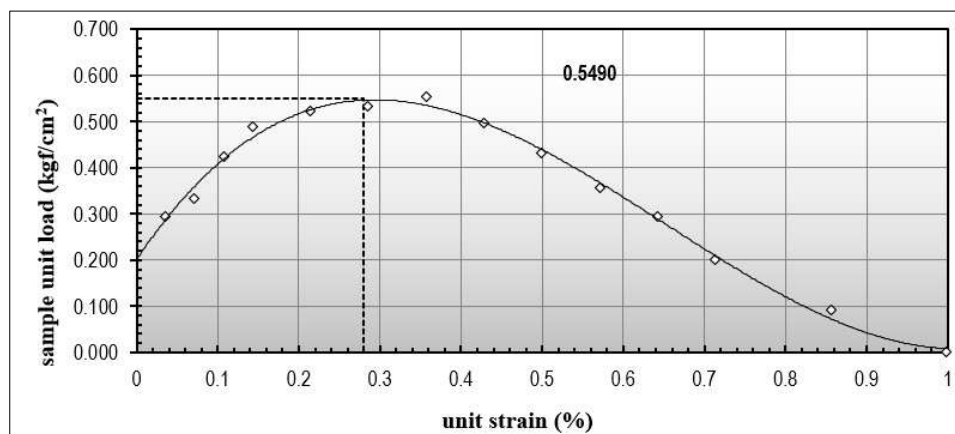


Gambar 4. 50 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU

Rata-rata nilai kohesi (c) 3 sampel pengujian triaxial UU adalah $0,620 \text{ kgf/cm}^2$, dengan $\phi = 3,66$.

H. Pengujian USC (*Unconfined Compressive Strength*)

Agar dapat menentukan nilai kuat tekan bebas (qu) data di atas harus diplot pada grafik parabola dengan perhitungan sebagai berikut.

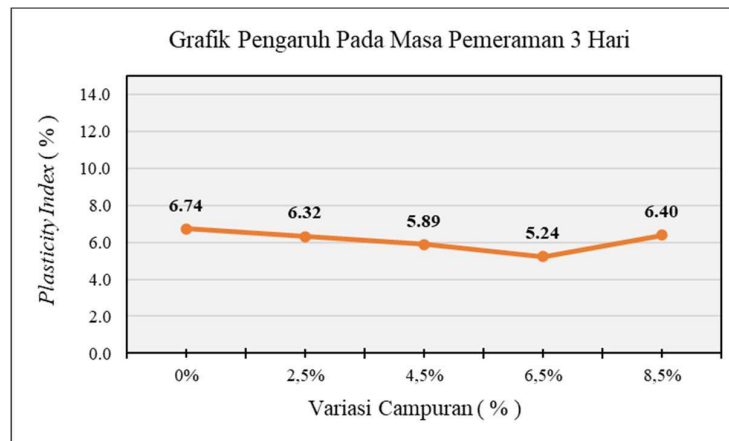


Gambar 4.51 Grafik Nilai qu UCS

Dengan nilai $q_u = 0.554 \text{ kgf/cm}^2$, selanjutnya nilai q_u dapat dikonversi dengan nilai kuat geser tanah tidak terdrainase (S_u) dengan rumus berikut :

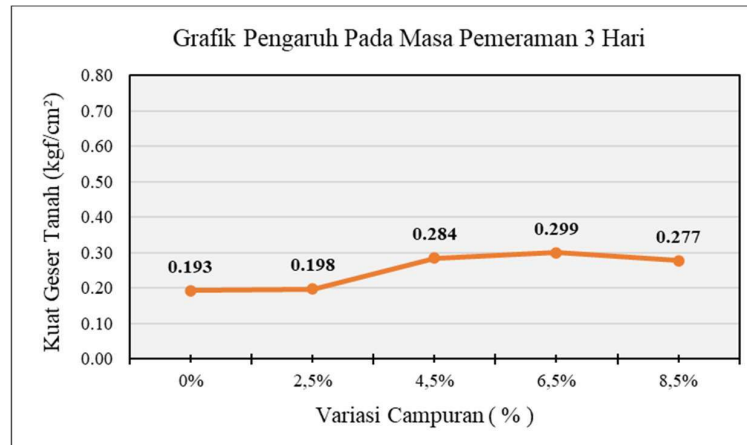
$$\begin{aligned} \text{Kuat geser tanah } (S_u) &= \frac{q_u}{2} \\ &= \frac{0.554}{2} \\ &= 0.2769 \text{ kgf/cm}^2 \end{aligned}$$

4.5 Grafik Pengaruh Bakteri



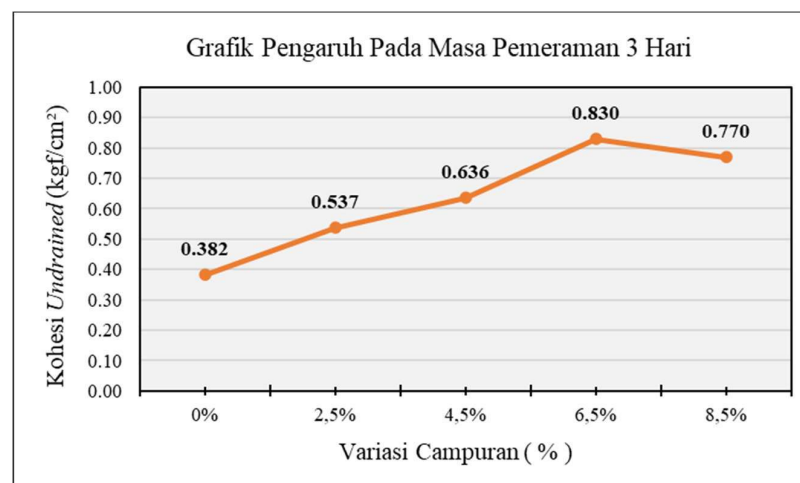
Gambar 4. 52 Grafik Pengaruh Terhadap Nilai PI

Grafik di atas menunjukkan bahwa pada masa pemeraman 3 hari, nilai PI menurun seiring meningkatnya campuran bakteri hingga 6,5%, dengan nilai terendah 5,24. Setelah itu PI kembali meningkat pada campuran 8,5%. Menunjukkan bahwa campuran 6,5% campuran yang paling efektif menurunkan plastisitas tanah.



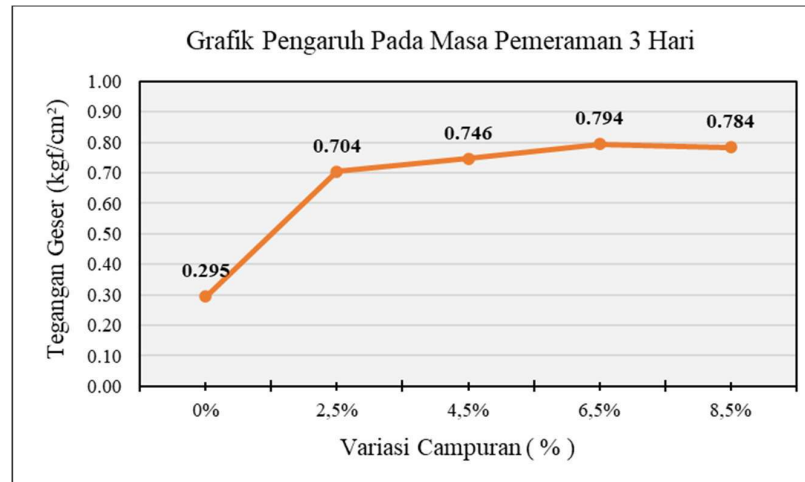
Gambar 4. 53 Grafik Kuat Geser Tanah (UCS)

Grafik menunjukkan bahwa kuat geser tanah meningkat seiring penambahan bakteri hingga campuran 6,5% dengan nilai tertinggi 0,299 kgf/cm². Selain itu nilai menurun sedikit dicampuran 8,5% menjadi 0,277 kgf/cm². Maka campuran efektif untuk meningkatkan kuat geser adalah campuran 6,5% masah pemeraman 3 hari.



Gambar 4. 54 Grafik Kohesi *Undrained* (Triaxial)

Grafik menunjukkan bahwa nilai kohesi undrained meningkat seiring penambahan bakteri hingga mencapai puncak pada campuran 6,5% sebesar 0,830 kgf/cm², lalu sedikit menurun pada campuran 8,5% menjadi 0,770 kgf/cm². Hal ini mengindikasikan bahwa bakteri paling efektif meningkatkan kohesi tanah pada campuran 6,5% setelah 3 hari pemeraman.



Gambar 4. 55 Grafik Tegangan Geser (*Direct shear*)

Grafik menunjukkan bahwa tegangan geser tanah meningkat tajam dari 0,295 kgf/cm² (0%) menjadi 0,794 kgf/cm² pada campuran 6,5%, lalu sedikit menurun pada 8,5%. Hal ini menunjukkan bahwa campuran efektif adalah 6,5% pada pemeraman 3 hari.

4.4 Pengujian Fisik Dan Mekanik Pada Masa Pemaraman 7 hari

4.4.4 Variasi campuran 2,5%

Dengan variasi campuran 2,5% dan masa pemeraman 7 hari maka kebutuhan larutan sementasi sebanyak 26,3 ml, berikut adalah pengujian fisik dan mekanik setelah perlakuannya.

A. Pengujian Kadar Air

Dari pengujian kadar air dalam masa pemeraman 7 hari didapat hasil kadar air tanah asli dengan 3 benda uji sebesar **6.28%**.

B. Pengujian Berat Jenis Tanah Halus

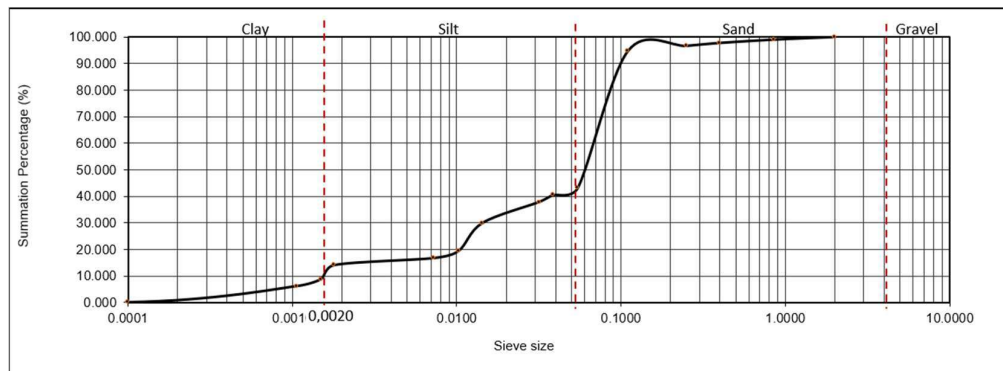
Tabel 4. 28 klasifikasi berat jenis tanah halus

Macam Tanah	Berat Jenis Gs
Kerikil	2,65 - 2,68
Pasir	2,65 - 2,68
Lanau Tak Organik	2,62 - 2,68
Lempung Organik	2,58 - 2,65
Lempung Tak Organik	2,68 - 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 - 1,80

Dari nilai berat jenis tanah **2,551** dapat di simpulkan jenis tanah termasuk dalam tanah **Lanau Tak Organik**.

C. Pengujian Analisa Butiran (Hidrometer)

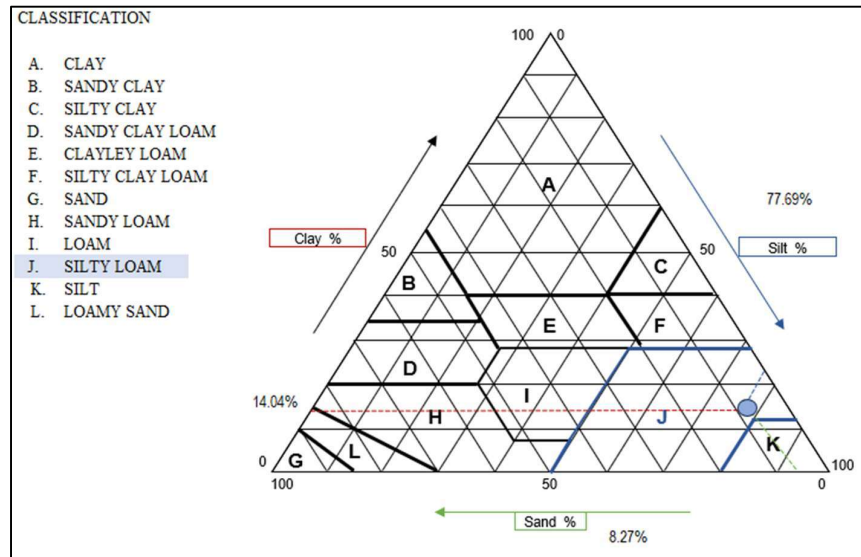
Lalu pada hasil pengujian analisa hidrometer didapat grafik analisa hidrometer dan saringan sebagai berikut :



Gambar 4. 56 Grafik uji ukuran butiran

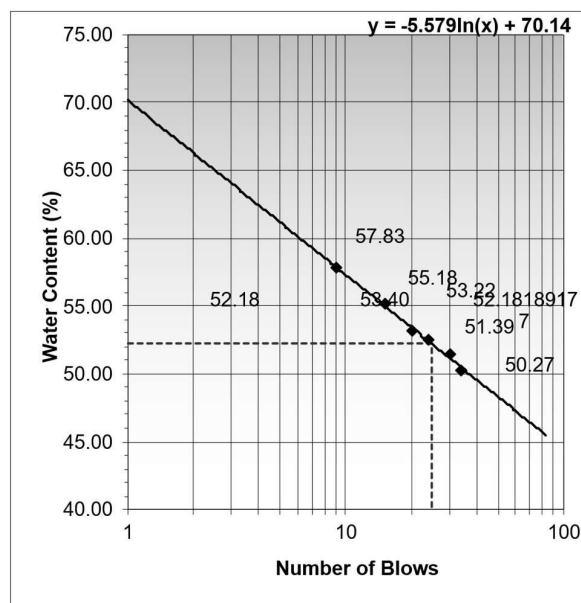
- Lempung (Clay) = 14,04%
- Lanau (Silt) = Persen Lolos Saringan No. 200 – Persen Lempung
= 94,14% - 14,04%
= 77,69%
- Pasir (Sand) = Persen Tertahan Saringan No. 200
= 8,27%

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



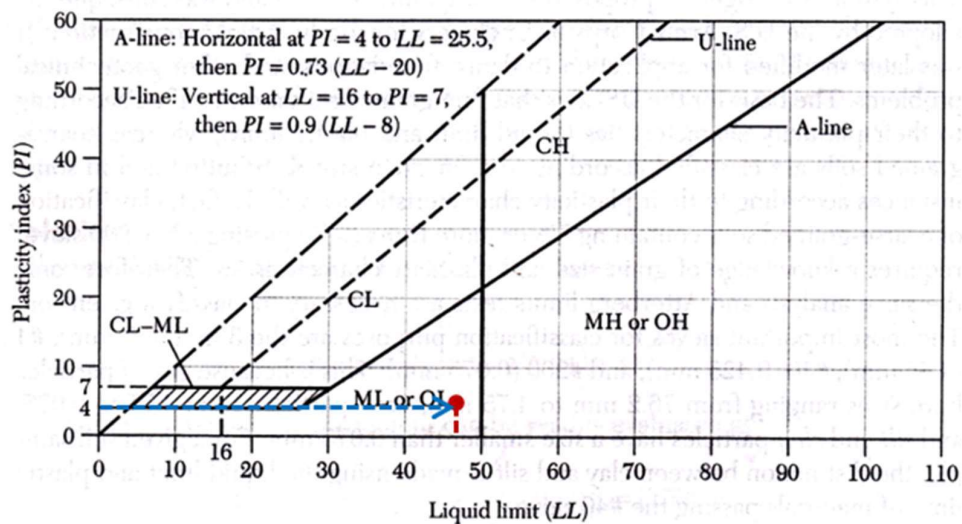
Gambar 4. 58 Hasil pengujian batas cair tanah

Didapat nilai batas cair tanah = **52.18%**.

E. Pengujian Batas Plastis Tanah

Didapat nilai batas plastis tanah = **46.48%**. Selanjutnya dalam penentuan nilai PI (*Plasticity Index*) diperlukan data hasil pengujian Batas Cair dan Batas Plastis untuk membantu pembacaan grafik antara PI dan LL, dengan nilai PI sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{PI} &= \text{LL} - \text{PL} \\ &= 52.18\% - 46.48\% \\ &= 5,70\% \end{aligned}$$

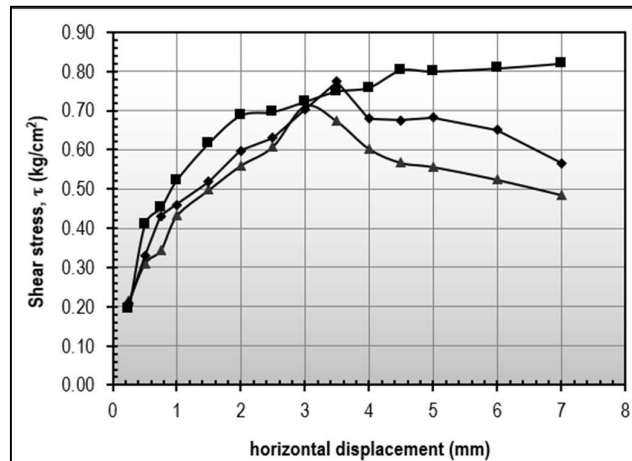


Gambar 4. 59 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL

Dilihat dari data di atas maka $LL > 50$ dan nilai PI 4 - 7 maka klasifikasi dengan simbol ganda yaitu **MH or OH** atau **Lanau tak organik / Lanau Elastis**.

F. Pengujian *Direct Shear*

Berikut adalah hubungan tegangan normal dan deformasi horizontal yang dihasilkan dari pembacaan uji *direct shear* :

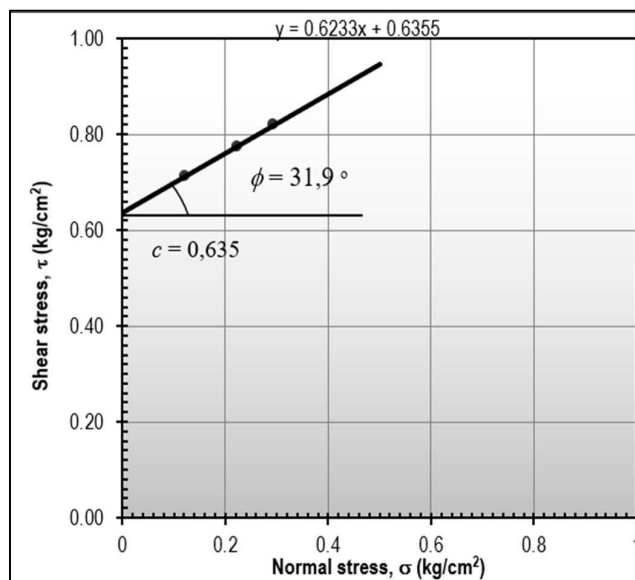


Gambar 4. 60 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal

Tabel 4. 29 Hasil Pengujian *Direct Shear*

Hasil Pengujian	Tegangan Normal (kgf/cm ²)	Tegangan Geser (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	0,14	0,712
Benda Uji 2	0,26	0,774
Benda Uji 3	0,39	0,820

Hasil tersebut kemudian diplot dalam bentuk grafik berikut.

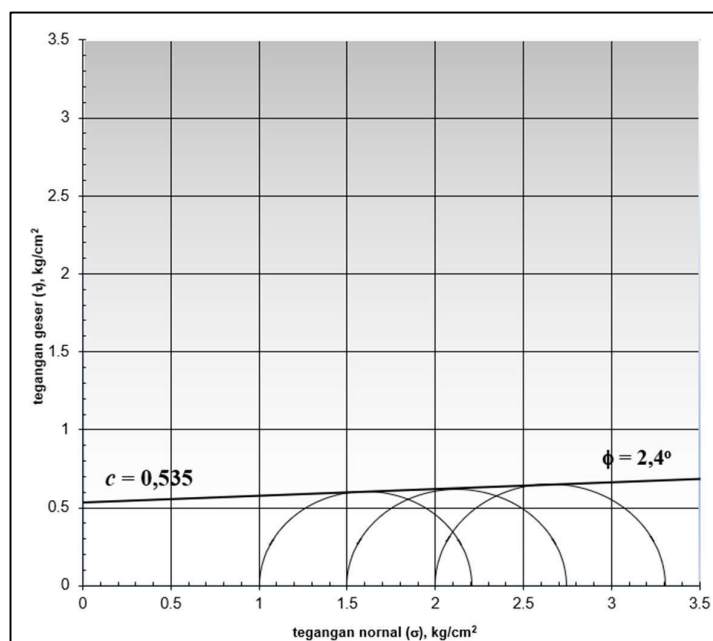


Gambar 4. 61 Garafik Kohesi dan Sudut Dalam

G. Pengujian Triaxial

Tabel 4. 30 Hasil Pengujian Triaxial

Hasil Pengujian	Teg. Deviator maks. (kgf/cm ²)	Teg. Vertikal maks. (kgf/cm ²)	Kohesi <i>Undrained</i> (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	1.048	2,048	0,524
Benda Uji 2	1.047	2,547	0,524
Benda Uji 3	1.129	3.129	0,565

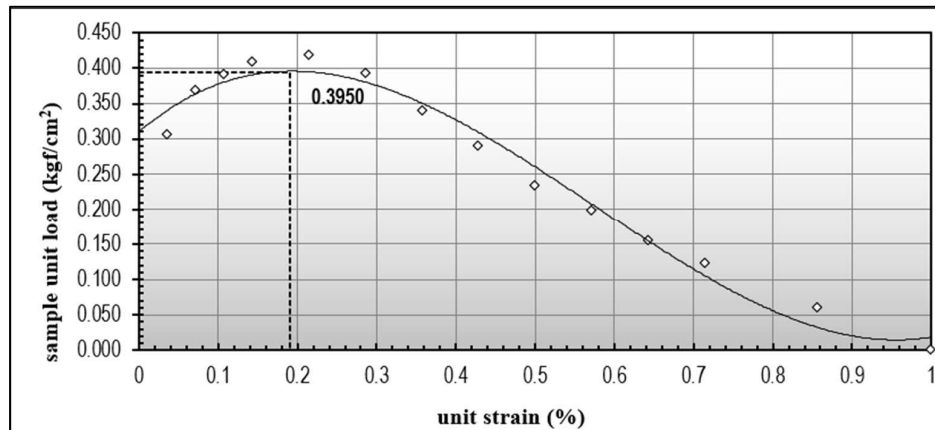


Gambar 4. 62 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU

Rata-rata nilai kohesi (c) 3 sampel pengujian triaxial UU adalah **0,535kgf/cm²** , dengan $\phi = 2,4$.

H. Pengujian USC (*Unconfined Compressive Strength*)

Agar dapat menentukan nilai kuat tekan bebas (q_u) data di atas harus diplot pada grafik parabola dengan perhitungan sebagai berikut.



Gambar 4.63 Grafik Nilai q_u UCS

Dengan nilai $q_u = 0,395 \text{ kgf/cm}^2$, selanjutnya nilai q_u dapat dikonversi dengan nilai kuat geser tanah tidak terdrainase (S_u) dengan rumus berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat geser tanah } (S_u) &= \frac{q_u}{2} \\
 &= \frac{0,395}{2} \\
 &= 0,197 \text{ kgf/cm}^2
 \end{aligned}$$

4.4.2 Variasi Campuran 4,5%

Dengan variasi campuran 4,5% dan masa pemeraman 7 hari maka kebutuhan larutan sementasi sebanyak 47,25 ml, berikut adalah pengujian fisik dan mekanik setelah perlakuannya.

A. Pengujian Kadar Air

Dari pengujian kadar air dalam masa pemeraman 7 hari didapat hasil kadar air tanah asli dengan 3 benda uji sebesar **6.26%**.

B. Pengujian Berat Jenis Tanah Halus

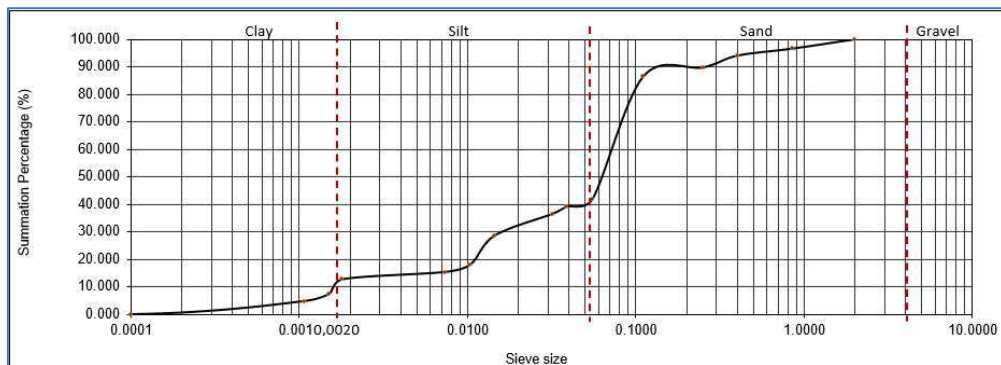
Tabel 4. 31 klasifikasi berat jenis tanah halus

Macam Tanah	Berat Jenis Gs
Kerikil	2,65 - 2,68
Pasir	2,65 - 2,68
Lanau Tak Organik	2,62 - 2,68
Lempung Organik	2,58 - 2,65
Lempung Tak Organik	2,68 - 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 - 1,80

Dari nilai berat jenis tanah **2,585** dapat di simpulkan jenis tanah termasuk dalam tanah **Lanau Tak Organik**.

C. Pengujian Analisa Butiran (Hidrometer)

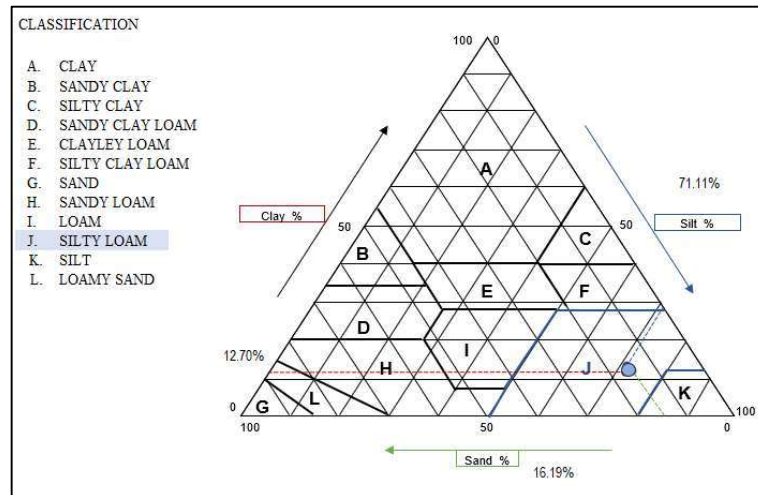
Lalu pada hasil pengujian analisa hidrometer didapat grafik analisa hidrometer dan saringan sebagai berikut :



Gambar 4. 64 Grafik uji ukuran butiran

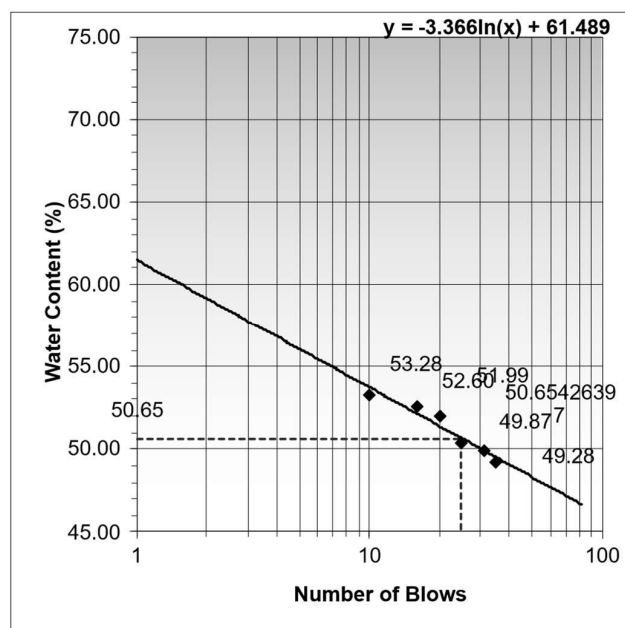
- Lempung (Clay) = 12.70%
- Lanau (Silt) = Persen Lolos Saringan No. 200 – Persen Lempung
= 94,14% - 12,70%
= 71,11%
- Pasir (Sand) = Persen Tertahan Saringan No. 200
= 16,19%

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



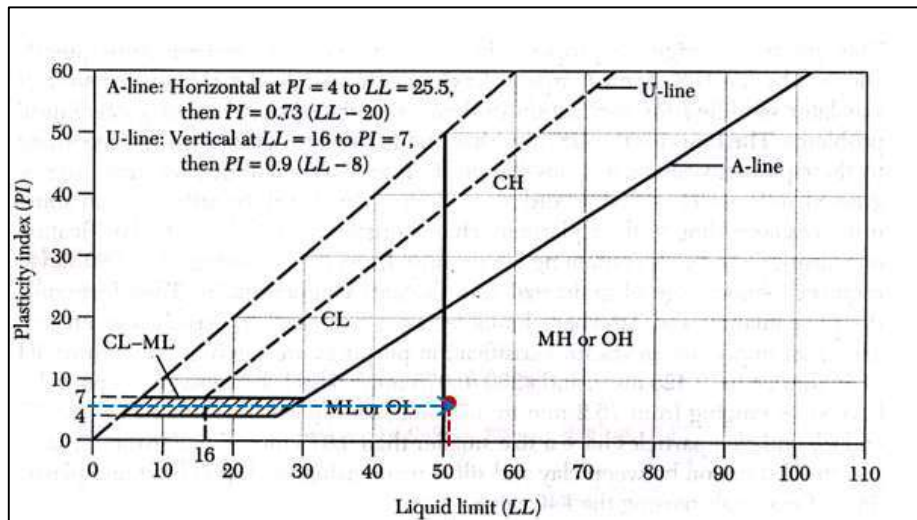
Gambar 4. 66 Hasil pengujian batas cair tanah

Didapat nilai batas cair tanah = **50,65%**.

E. Pengujian Batas Plastis Tanah

Didapat nilai batas plastis tanah = **45,16%**. Selanjutnya dalam penentuan nilai PI (*Plasticity Index*) diperlukan data hasil pengujian Batas Cair dan Batas Plastis untuk membantu pembacaan grafik antara PI dan LL, dengan nilai PI sebagai berikut.

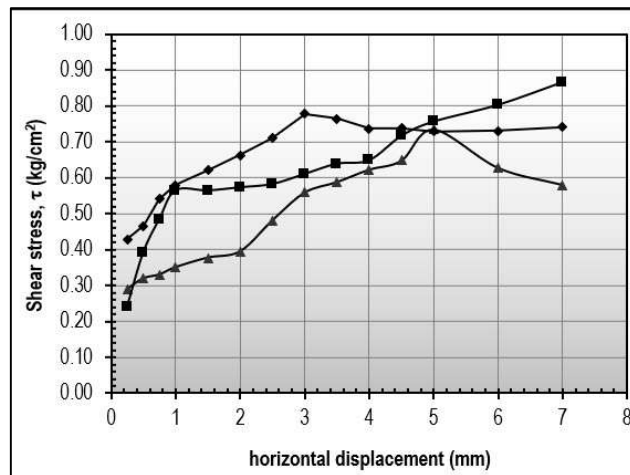
$$\begin{aligned} \text{PI} &= \text{LL} - \text{PL} \\ &= 50,65\% - 45,16\% \\ &= 5,49\% \end{aligned}$$



Gambar 4. 67 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL

Dilihat dari data di atas maka $LL > 50$ dan nilai PI 4 - 7 maka klasifikasi dengan simbol ganda yaitu **MH or OH** atau **Lanau tak organik / Lanau Elastis**.

F. Pengujian *Direct Shear*

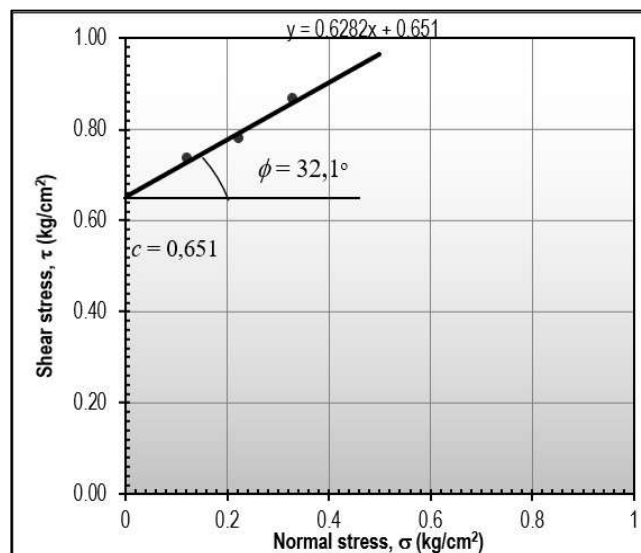


Gambar 4. 68 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal

Tabel 4. 32 Hasil Pengujian *Direct Shear*

Hasil Pengujian	Tegangan Normal (kgf/cm ²)	Tegangan Geser (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	0,14	0,735
Benda Uji 2	0,26	0,778
Benda Uji 3	0,39	0,866

Hasil tersebut kemudian diplot dalam bentuk grafik berikut.

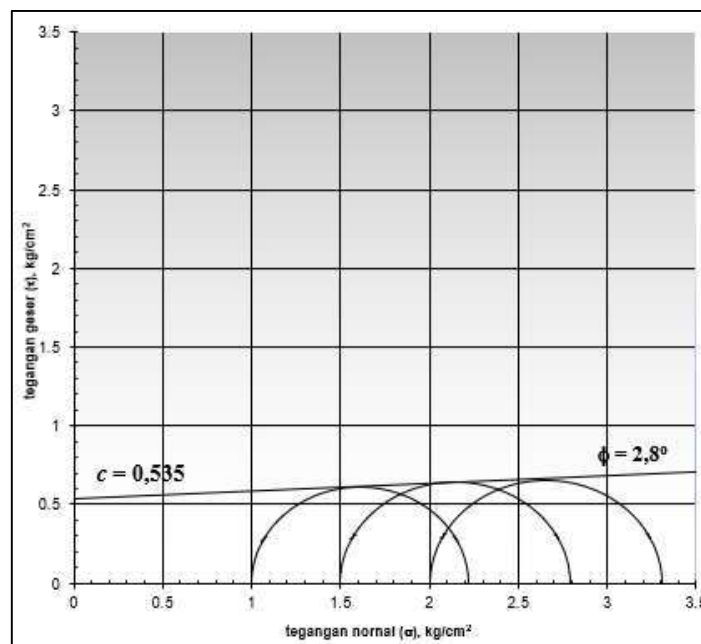


Gambar 4. 69 Garafik Kohesi dan Sudut Dalam

G. Pengujian Triaxial

Tabel 4. 33 Hasil Pengujian Triaxial

Hasil Pengujian	Teg. Deviator maks. (kgf/cm ²)	Teg. Vertikal maks. (kgf/cm ²)	Kohesi <i>Undrained</i> (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	1.048	2,048	0,609
Benda Uji 2	1.047	2,547	0,644
Benda Uji 3	1.129	3.129	0,654

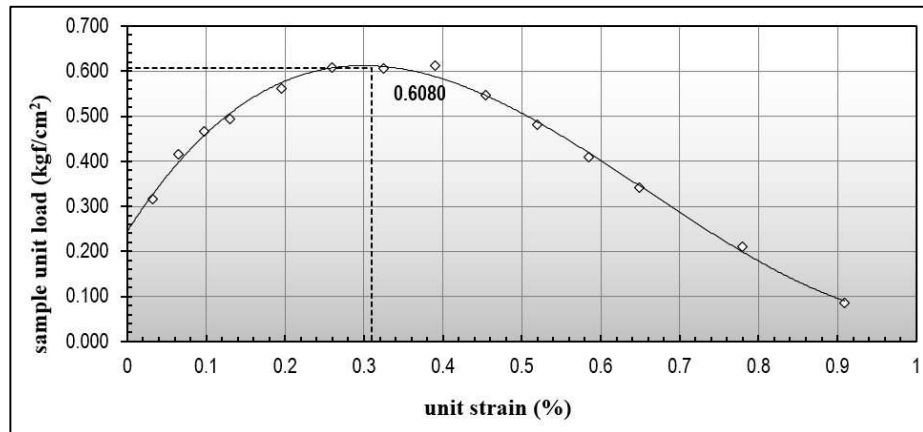


Gambar 4. 70 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU

Rata-rata nilai kohesi (c) 3 sampel pengujian triaxial UU adalah $0,535 \text{ kgf/cm}^2$, dengan $\phi = 2,8$.

H. Pengujian UCS (*Unconfined Compressive Strength*)

Agar dapat menentukan nilai kuat tekan bebas (q_u) data di atas harus diplot pada grafik parabola dengan perhitungan sebagai berikut.



Gambar 4.71 Grafik Nilai q_u UCS

Dengan nilai $q_u = 0,613 \text{ kgf/cm}^2$, selanjutnya nilai q_u dapat dikonversi dengan nilai kuat geser tanah tidak terdrainase (S_u) dengan rumus berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat geser tanah } (S_u) &= \frac{q_u}{2} \\
 &= \frac{0,613}{2} \\
 &= 0,306 \text{ kgf/cm}^2
 \end{aligned}$$

4.4.3 Variasi Campuran 6,5%

Dengan variasi campuran 6,5% dan masa pemeraman 7 hari maka kebutuhan larutan sementasi sebanyak 68,25 ml, berikut adalah pengujian fisik dan mekanik setelah perlakuannya.

A. Pengujian Kadar Air

Dari pengujian kadar air dalam masa pemeraman 7 hari didapat hasil kadar air tanah asli dengan 3 benda uji sebesar **7.83%**.

B. Pengujian Berat Jenis Tanah Halus

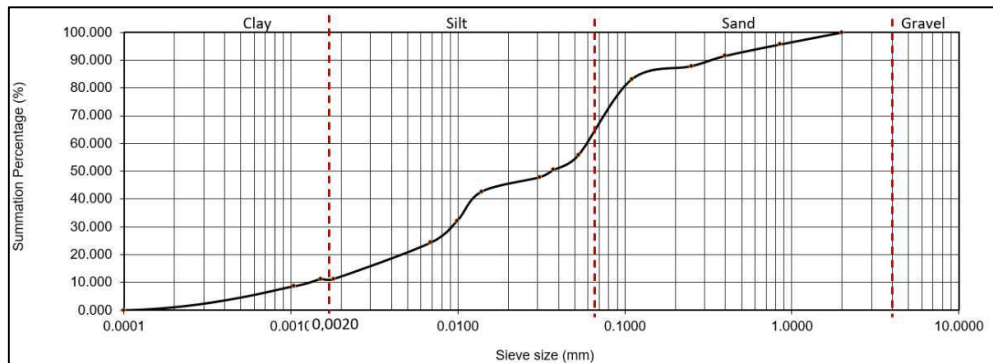
Tabel 4. 34 klasifikasi berat jenis tanah halus

Macam Tanah	Berat Jenis Gs
Kerikil	2,65 - 2,68
Pasir	2,65 - 2,68
Lanau Tak Organik	2,62 - 2,68
Lempung Organik	2,58 - 2,65
Lempung Tak Organik	2,68 - 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 - 1,80

Dari nilai berat jenis tanah **2,609** dapat di simpulkan jenis tanah termasuk dalam tanah **Lanau Tak Organik**.

C. Pengujian Analisa Hidrometer Hidromater

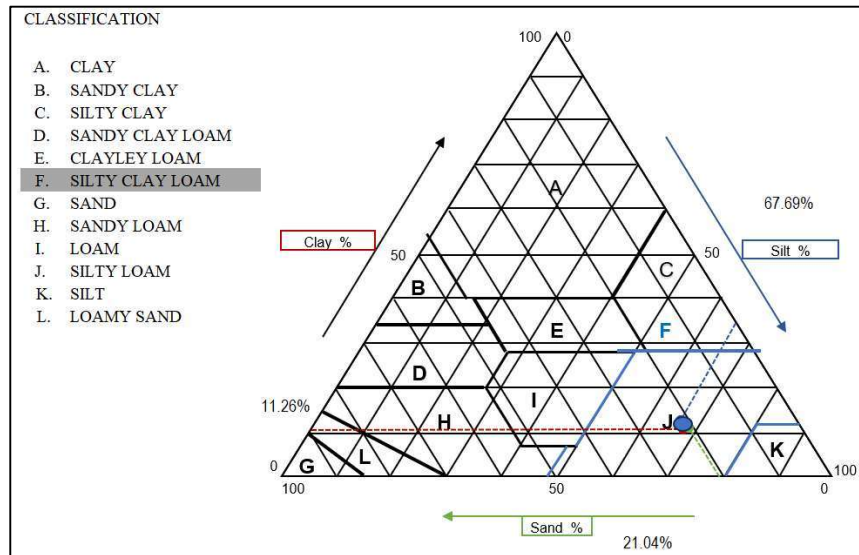
Lalu pada hasil pengujian analisa hidrometer didapat grafik analisa hidrometer dan saringan sebagai berikut :



Gambar 4. 72 Grafik uji ukuran butiran

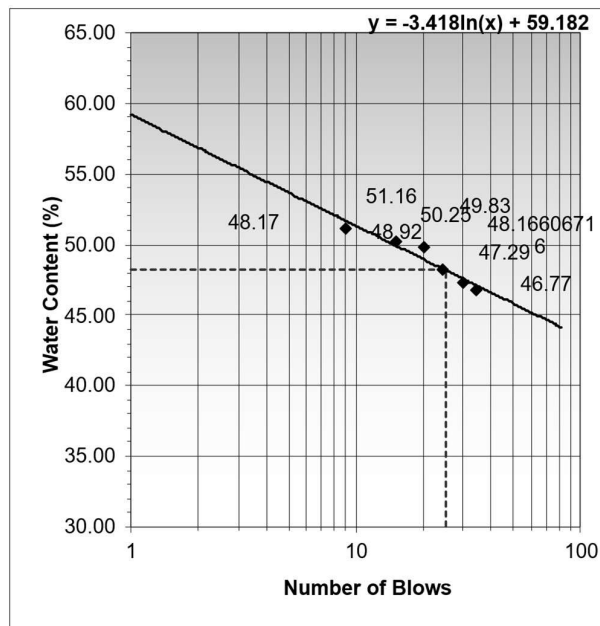
- Lempung (Clay) = 11,26%
- Lanau (Silt) = Persen Lolos Saringan No. 200 – Persen Lempung
= 94,14% - 11,26%
= 67,69%
- Pasir (Sand) = Persen Tertahan Saringan No. 200
= 21,04%

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



Gambar 4. 73 Klasifikasi tanah dengan USDA

D. Pengujian Batas Cair Tanah



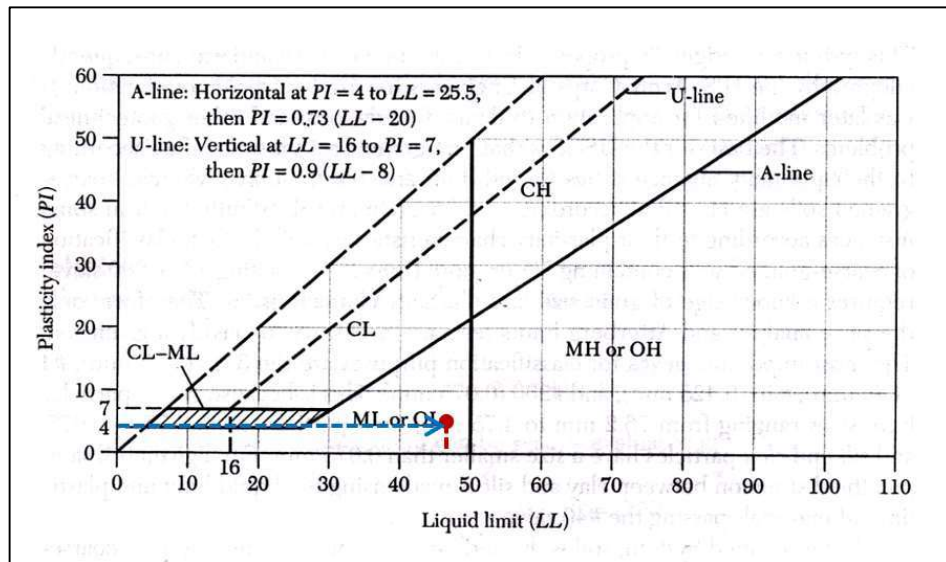
Gambar 4. 74 Hasil pengujian batas cair tanah

Didapat nilai batas cair tanah = **48,17%**.

E. Pengujian Batas Plastis Tanah

Didapat nilai batas plastis tanah = **44,02%**. Selanjutnya dalam penentuan nilai PI (*Plasticity Index*) diperlukan data hasil pengujian Batas Cair dan Batas Plastis untuk membantu pembacaan grafik antara PI dan LL, dengan nilai PI sebagai berikut.

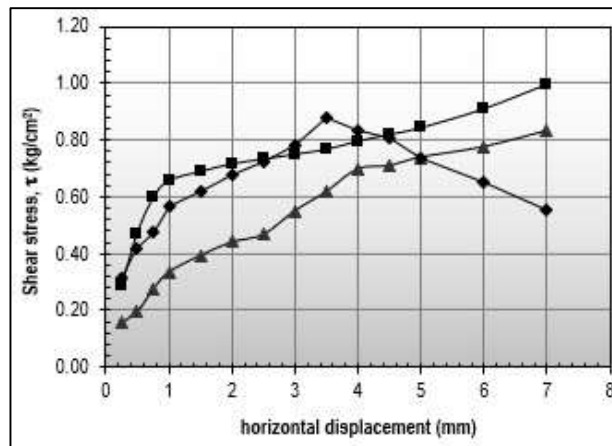
$$\begin{aligned} \text{PI} &= \text{LL} - \text{PL} \\ &= 48,17\% - 44,02\% \\ &= 4,15\% \end{aligned}$$



Gambar 4. 75 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL

Dilihat dari data di atas maka $LL > 50$ dan nilai PI 4 - 7 maka klasifikasi dengan simbol ganda yaitu **ML or OL** atau **Lanau tak organik**.

F. Pengujian *Direct Shear*

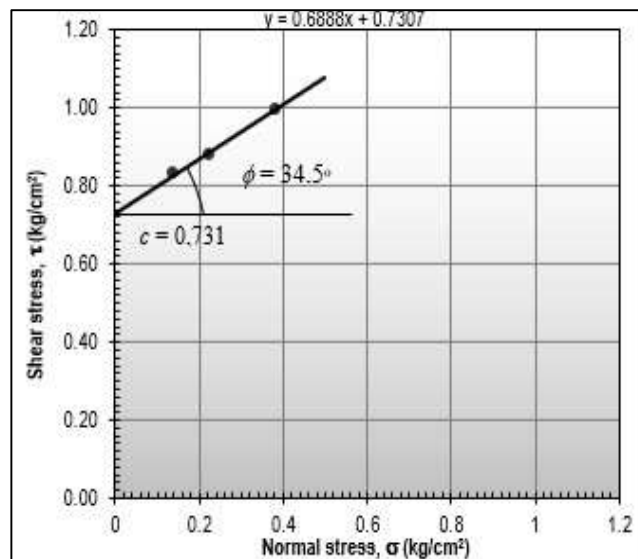


Gambar 4. 76 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal

Tabel 4. 35 Hasil Pengujian *Direct Shear*

Hasil Pengujian	Tegangan Normal (kgf/cm ²)	Tegangan Geser (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	0,14	0,813
Benda Uji 2	0,26	0,879
Benda Uji 3	0,39	0,998

Hasil tersebut kemudian diplot dalam bentuk grafik berikut.

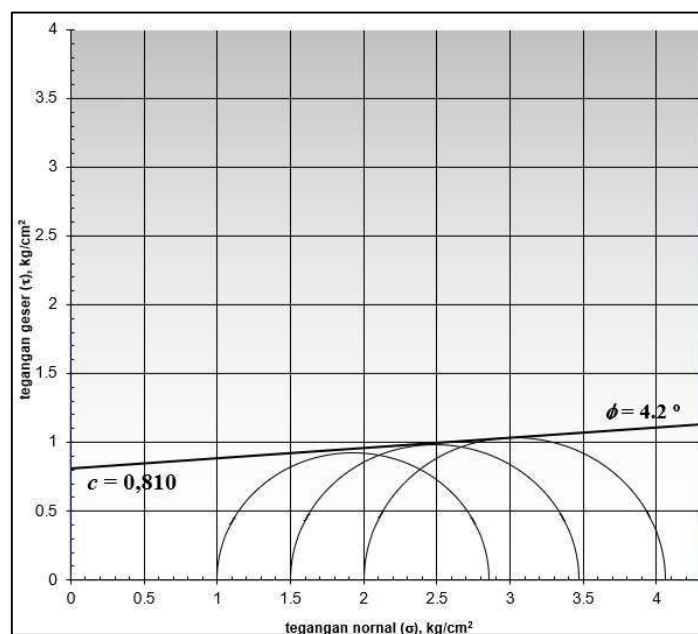


Gambar 4. 77 Grafik Kohesi dan Sudut Dalam

G. Pengujian Triaxial

Tabel 4. 36 Hasil Pengujian Triaxial

Hasil Pengujian	Teg. Deviator maks. (kgf/cm ²)	Teg. Vertikal maks. (kgf/cm ²)	Kohesi <i>Undrained</i> (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	1.048	2,048	0,927
Benda Uji 2	1.047	2,547	0,985
Benda Uji 3	1.129	3.129	1,031

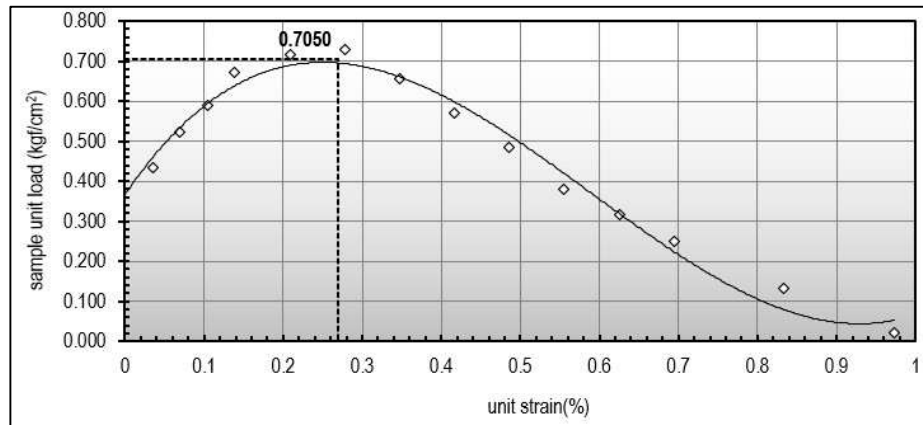


Gambar 4. 78 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU

Rata-rata nilai kohesi (c) 3 sampel pengujian triaxial UU adalah **0,810kgf/cm²** , dengan **$\phi = 4,2$** .

H. Pengujian UCS (*Unconfined Compressive Strength*)

Agar dapat menentukan nilai kuat tekan bebas (qu) data di atas harus diplot pada grafik parabola dengan perhitungan sebagai berikut.



Gambar 4.79 Grafik Nilai q_u UCS

Dengan nilai $q_u = 0,728 \text{ kgf/cm}^2$, selanjutnya nilai q_u dapat dikonversi dengan nilai kuat geser tanah tidak terdrainase (S_u) dengan rumus berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat geser tanah } (S_u) &= \frac{q_u}{2} \\
 &= \frac{0,728}{2} \\
 &= 0,364 \text{ kgf/cm}^2
 \end{aligned}$$

4.4.4 Variasi Campuran 8,5%

Dengan variasi campuran 8,5% dan masa pemeraman 7 hari maka kebutuhan larutan sementasi sebanyak 89,25 ml, berikut adalah pengujian fisik dan mekanik setelah perlakuannya.

A. Pengujian Kadar Air

Dari pengujian kadar air dalam masa pemeraman 7 hari didapat hasil kadar air tanah asli dengan 3 benda uji sebesar **11.33%**.

B. Pengujian Berat Jenis Tanah Halus

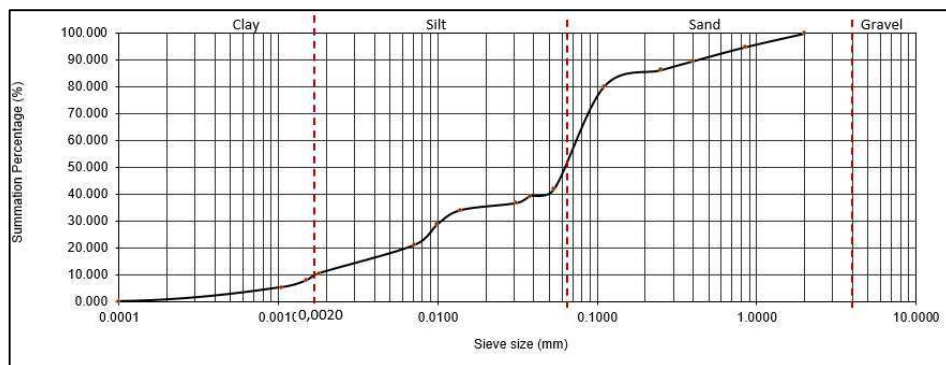
Tabel 4. 37 klasifikasi berat jenis tanah halus

Macam Tanah	Berat Jenis Gs
Kerikil	2,65 - 2,68
Pasir	2,65 - 2,68
Lanau Tak Organik	2,62 - 2,68
Lempung Organik	2,58 - 2,65
Lempung Tak Organik	2,68 - 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 - 1,80

Dari nilai berat jenis tanah **2,610** dapat di simpulkan jenis tanah termasuk dalam tanah **Lanau Tak Organik**.

C. Pengujian Analisa Butiran (Hidrometer)

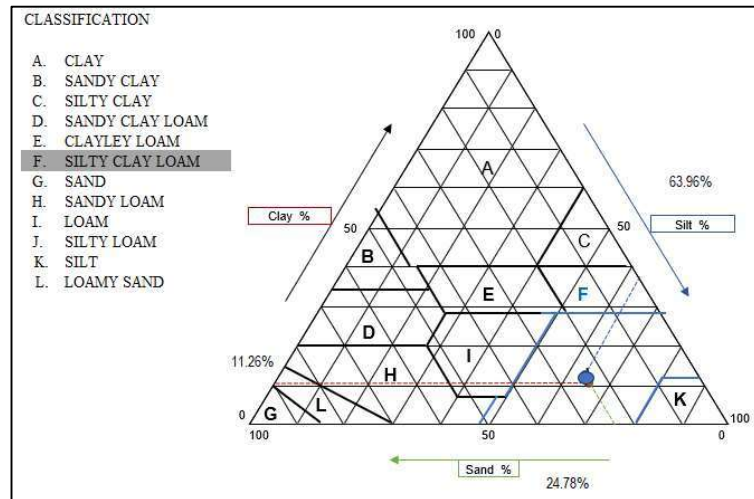
Lalu pada hasil pengujian analisa hidrometer didapat grafik analisa hidrometer dan saringan sebagai berikut :



Gambar 4. 80 Grafik uji ukuran butiran

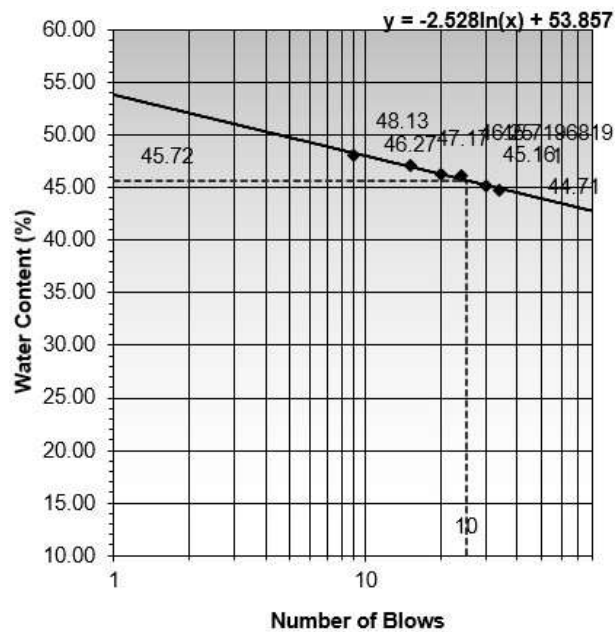
- Lempung (Clay) = 11,26%
- Lanau (Silt) = Persen Lolos Saringan No. 200 – Persen Lempung
= 94,14% - 11,26%
= 63,69%
- Pasir (Sand) = Persen Tertahan Saringan No. 200
= 24,78%

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



Gambar 4. 81 Klasifikasi tanah dengan USDA

D. Pengujian Batas Cair Tanah



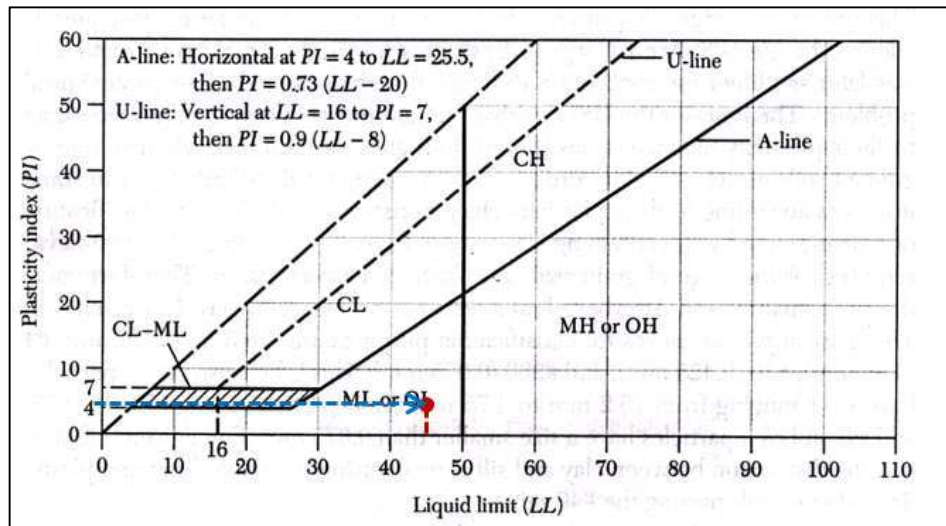
Gambar 4. 82 Hasil pengujian batas cair tanah

Didapat nilai batas cair tanah = 45,72%.

E. Pengujian Batas Plastis Tanah

Didapat nilai batas plastis tanah = **41,63%**. Selanjutnya dalam penentuan nilai PI (*Plasticity Index*) diperlukan data hasil pengujian Batas Cair dan Batas Plastis untuk membantu pembacaan grafik antara PI dan LL, dengan nilai PI sebagai berikut.

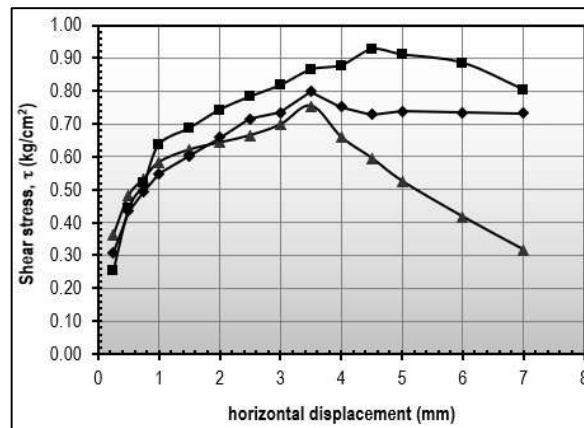
$$\begin{aligned} \text{PI} &= \text{LL} - \text{PL} \\ &= 45,72\% - 41,63\% \\ &= 4,35\% \end{aligned}$$



Gambar 4. 83 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL

Dilihat dari data di atas maka $LL > 50$ dan nilai PI 4 - 7 maka klasifikasi dengan simbol ganda yaitu **ML or OL** atau **Lanau tak organik**.

F. Pengujian *Direct Shear*

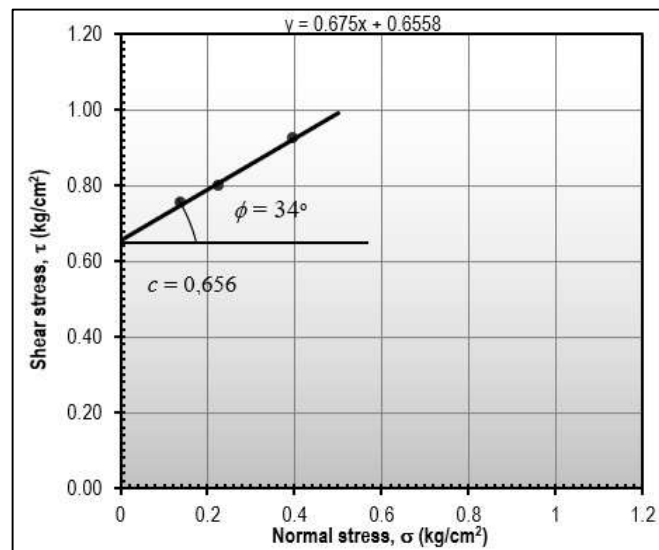


Gambar 4. 84 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal

Tabel 4. 38 Hasil Pengujian *Direct Shear*

Hasil Pengujian	Tegangan Normal (kgf/cm ²)	Tegangan Geser (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	0,14	0,755
Benda Uji 2	0,26	0,798
Benda Uji 3	0,39	0,926

Hasil tersebut kemudian diplot dalam bentuk grafik berikut.

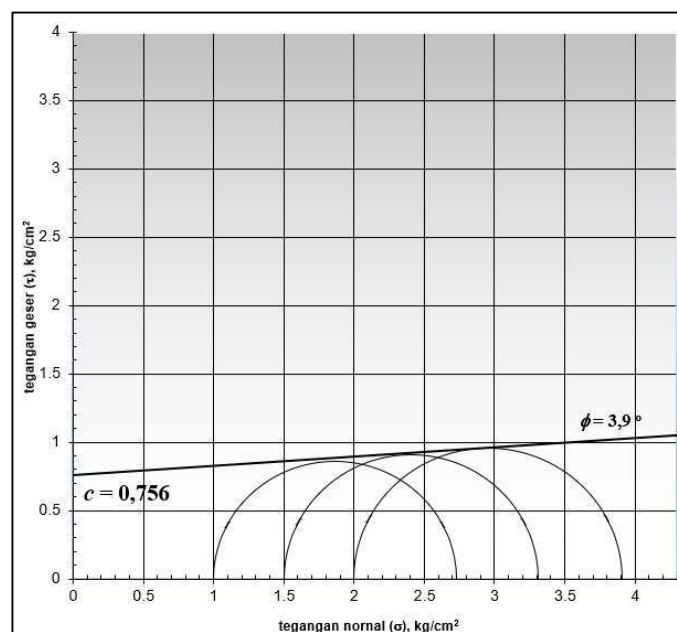


Gambar 4. 85 Garafik Kohesi dan Sudut Dalam

G. Pengujian Triaxial

Tabel 4. 39 Hasil Pengujian Triaxial

Hasil Pengujian	Teg. Deviator maks. (kgf/cm ²)	Teg. Vertikal maks. (kgf/cm ²)	Kohesi <i>Undrained</i> (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	1.048	2,048	0,864
Benda Uji 2	1.047	2,547	0,906
Benda Uji 3	1.129	3.129	0,955

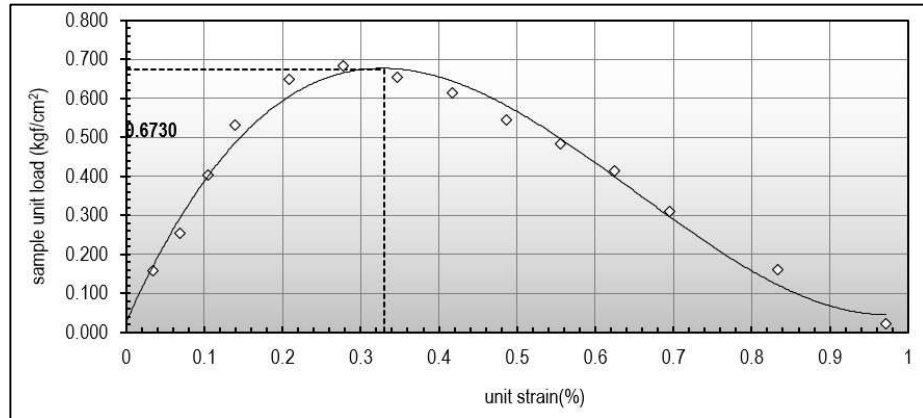


Gambar 4. 86 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU

Rata-rata nilai kohesi (c) 3 sampel pengujian triaxial UU adalah **0,756kgf/cm²** , dengan $\phi = 3,9$.

H. Pengujian USC (*Unconfined Compressive Strength*)

Agar dapat menentukan nilai kuat tekan bebas (q_u) data di atas harus diplot pada grafik parabola dengan perhitungan sebagai berikut.

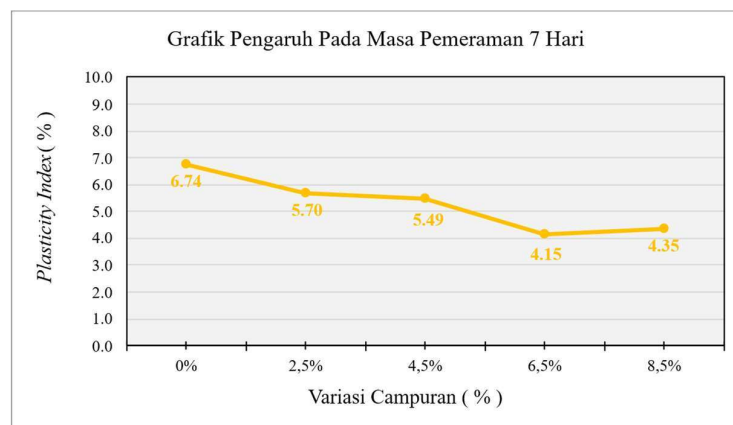


Gambar 4.87 Grafik Nilai q_u UCS

Dengan nilai $q_u = 0,683 \text{ kgf/cm}^2$, selanjutnya nilai q_u dapat dikonversi dengan nilai kuat geser tanah tidak terdrainase (S_u) dengan rumus berikut :

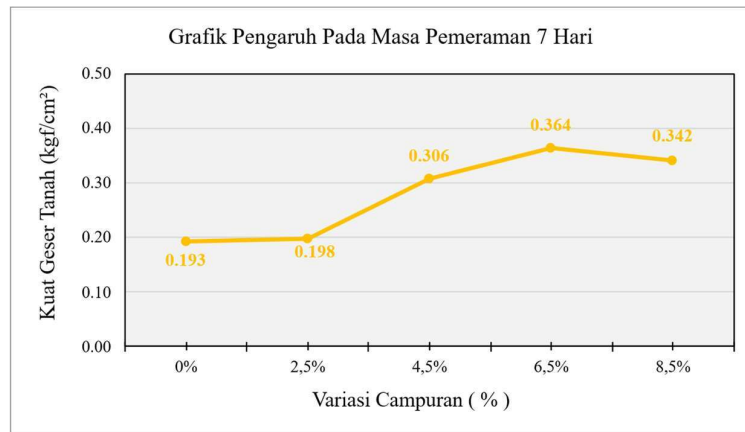
$$\begin{aligned}
 \text{Kuat geser tanah } (S_u) &= \frac{q_u}{2} \\
 &= \frac{0,728}{2} \\
 &= 0,364 \text{ kgf/cm}^2
 \end{aligned}$$

4.6 Grafik Pengaruh Bakteri



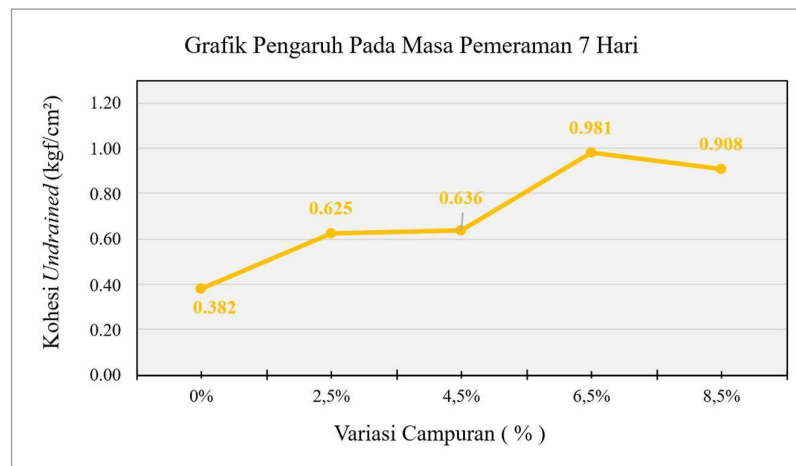
Gambar 4. 88 Grafik Pengaruh Terhadap Nilai PI

Grafik menunjukkan bahwa nilai PI pada masa pemeraman 7 hari, nilai tertinggi 6,74% dan menurun hingga 4,15% dan sedikit meningkat 4,35%. Maka titik optimal berada pada angka 6,74%.



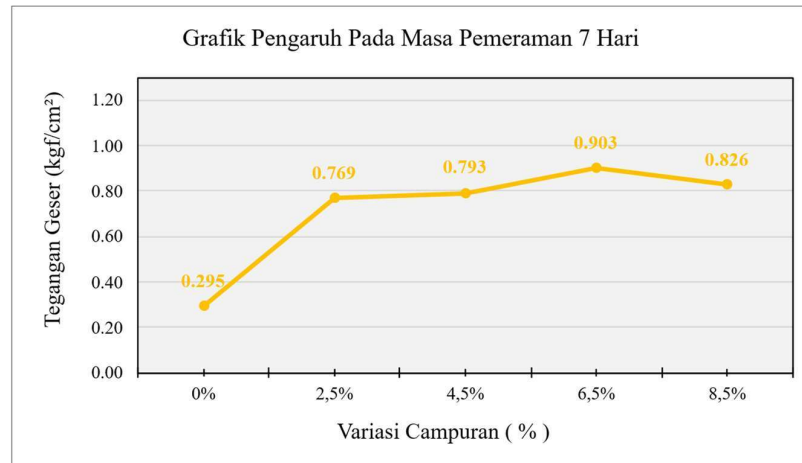
Gambar 4. 89 Grafik Kuat Geser Tanah (UCS)

Grafik menunjukkan kuat geser tanah meningkat mencapai 0,364 kgf/cm² pada campuran 6,5%, kemudian turun menjadi 0,342 kgf/cm² di 8,5%. Hal ini menandakan bahwa titik optimal terletak pada campuran 6,5%.



Gambar 4. 90 Grafik Kohesi *Undrained* (Triaxial)

Grafik menunjukkan nilai kohesi tanah meningkat mencapai puncak 0,981 kgf/cm³ pada campuran 6,5%, kemudian turun menjadi 0,908 kgf/cm³ di 8,5%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan campuran efektif 6,5%.



Gambar 4. 91 Grafik Tegangan Geser (*Direct shear*)

Grafik di atas menunjukkan bahwa tegangan geser tanah mencapai puncak 0,903, lalu turun ke 0,826, mengindikasikan ada batas optimal penambahan untuk kekuatan tanah.

4.4 Pengujian Fisik dan Mekanik pada masa Pemeraman 14 Hari

4.4.1 Variasi campuran 2,5%

Dengan variasi campuran 2,5% dan masa pemeraman 14 hari maka kebutuhan larutan sementasi sebanyak 26,25 ml, berikut adalah pengujian fisik dan mekanik setelah perlakuannya.

A. Pengujian Kadar Air

Dari pengujian kadar air dalam masa pemeraman 7 hari didapat hasil kadar air tanah asli dengan 3 benda uji sebesar **21.23%**.

B. Pengujian Berat Jenis Tanah Halus

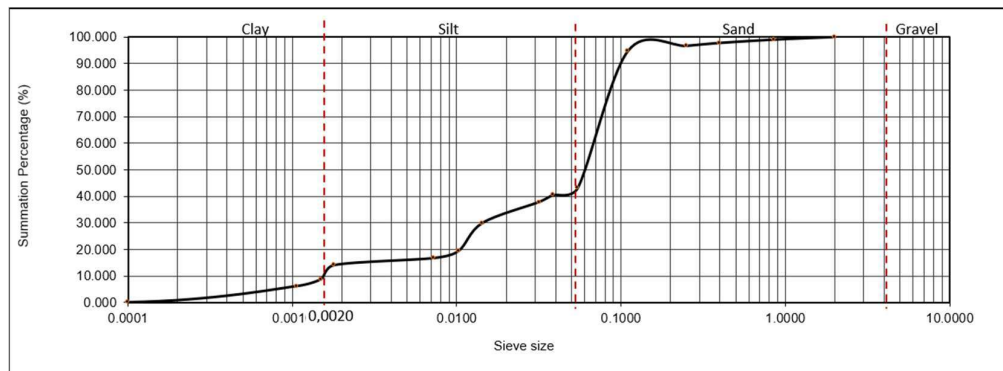
Tabel 4. 40 klasifikasi berat jenis tanah halus

Macam Tanah	Berat Jenis Gs
Kerikil	2,65 - 2,68
Pasir	2,65 - 2,68
Lanau Tak Organik	2,62 - 2,68
Lempung Organik	2,58 - 2,65
Lempung Tak Organik	2,68 - 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 - 1,80

Dari nilai berat jenis tanah **2,570** dapat di sempulkan jenis tanah termasuk dalam tanah **Lanau Tak Organik**.

C. Pengujian Analisa Butiran (Hidrometer)

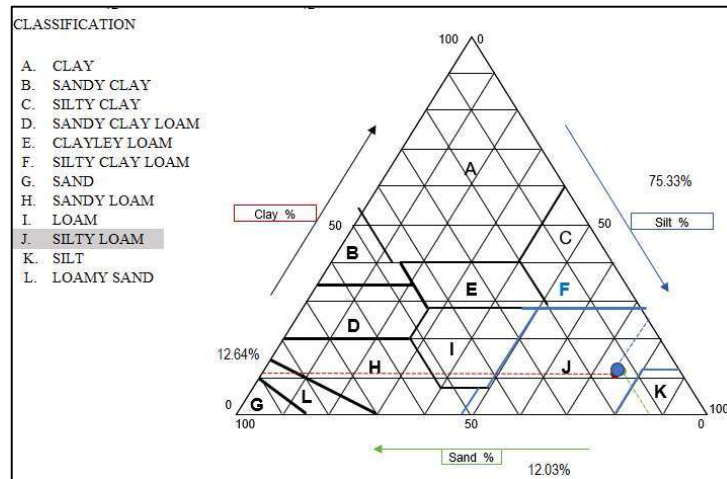
Lalu pada hasil pengujian analisa Hidrometer didapat grafik analisa hidrometer dan saringan sebagai berikut :



Gambar 4. 92 Grafik uji ukuran butiran

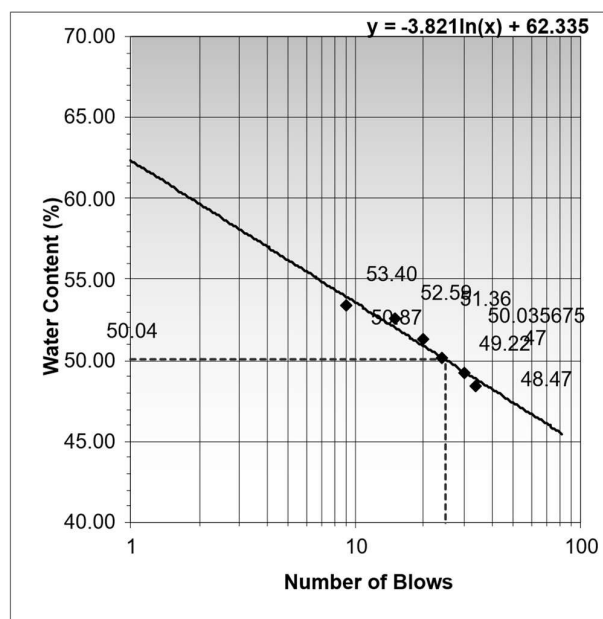
- Lempung (Clay) = 12,64%
- Lanau (Silt) = Persen Lolos Saringan No. 200 – Persen Lempung
= 94,14% - 12,64%
= 75,33%
- Pasir (Sand) = Persen Tertahan Saringan No. 200
= 12,03%

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



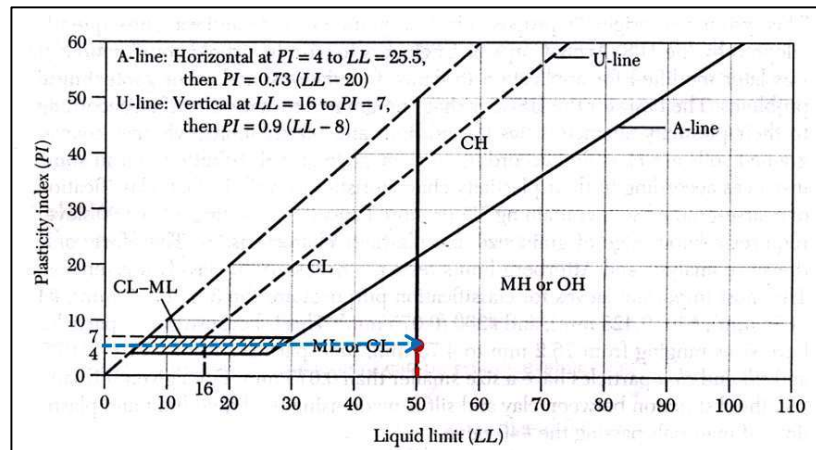
Gambar 4. 94 Hasil pengujian batas cair tanah

Didapat nilai batas cair tanah = **50,04%**.

E. Pengujian Batas Plastis Tanah

Didapat nilai batas plastis tanah = **45,02%**. Selanjutnya dalam penentuan nilai PI (*Plasticity Index*) diperlukan data hasil pengujian Batas Cair dan Batas Plastis untuk membantu pembacaan grafik antara PI dan LL, dengan nilai PI sebagai berikut.

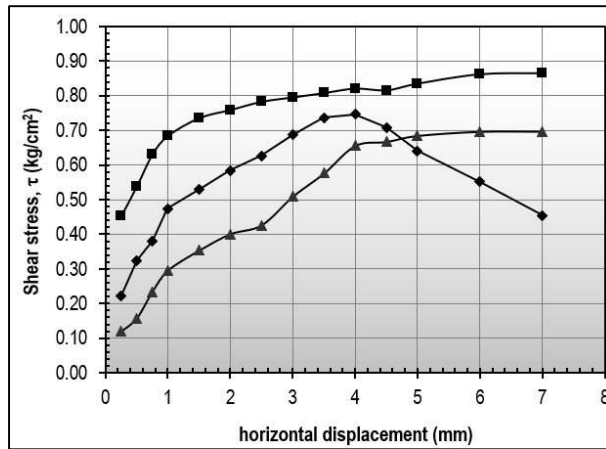
$$\begin{aligned} \text{PI} &= \text{LL} - \text{PL} \\ &= 50,04\% - 45,02\% \\ &= 5,01\% \end{aligned}$$



Gambar 4. 95 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL

Dilihat dari data di atas maka $LL > 50$ dan nilai PI 4 - 7 maka klasifikasi dengan simbol ganda yaitu **MH or OH** atau **Lanau tak organik / Lanau Elastis**.

F. Pengujian *Direct Shear*

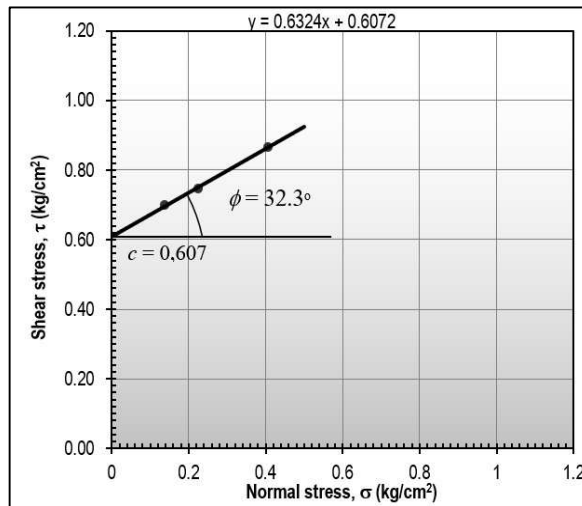


Gambar 4. 96 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal

Tabel 4. 41 Hasil Pengujian *Direct Shear*

Hasil Pengujian	Tegangan Normal (kgf/cm ²)	Tegangan Geser (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	0,14	0,697
Benda Uji 2	0,26	0,746
Benda Uji 3	0,39	0,866

Hasil tersebut kemudian diplot dalam bentuk grafik berikut.

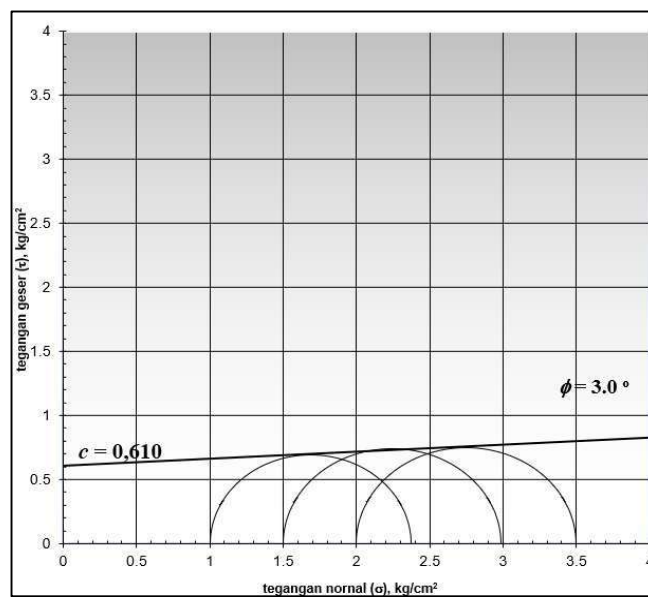


Gambar 4. 97 Garafik Kohesi dan Sudut Dalam

G. Pengujian Triaxsial

Tabel 4. 42 Hasil Pengujian Triaxsial

Hasil Pengujian	Teg. Deviator maks. (kgf/cm ²)	Teg. Vertikal maks. (kgf/cm ²)	Kohesi <i>Undrained</i> (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	1.376	2,376	0,688
Benda Uji 2	1.488	2,988	0,744
Benda Uji 3	1.496	3,496	0,748

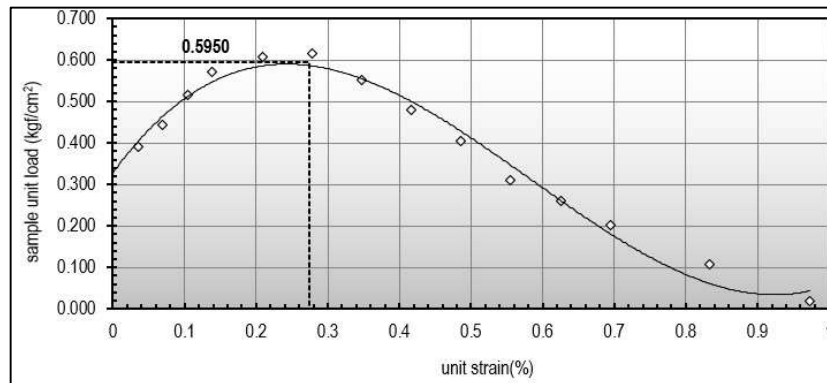


Gambar 4. 98 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU

Rata-rata nilai kohesi (c) 3 sampel pengujian triaxial UU adalah **0,610kgf/cm²** , dengan $\phi = 3,0$.

H. Pengujian USC (*Unconfined Compressive Strength*)

Agar dapat menentukan nilai kuat tekan bebas (q_u) data di atas harus diplot pada grafik parabola dengan perhitungan sebagai berikut.



Gambar 4. 99 Grafik Nilai q_u UCS

Dengan nilai $q_u = 0,615 \text{ kgf/cm}^2$, selanjutnya nilai q_u dapat dikonversi dengan nilai kuat geser tanah tidak terdrainase (S_u) dengan rumus berikut :

$$\begin{aligned}\text{Kuat geser tanah } (S_u) &= \frac{q_u}{2} \\ &= \frac{0,615}{2} \\ &= 0,307 \text{ kgf/cm}^2\end{aligned}$$

4.4.2 Variasi campuran 4,5%

Dengan variasi campuran 4,5% dan masa pemeraman 14 hari maka kebutuhan larutan sementasi sebanyak 47,25 ml, berikut adalah pengujian fisik dan mekanik setelah perlakuannya.

A. Pengujian Kadar Air

Dari pengujian kadar air dalam masa pemeraman 14 hari didapat hasil kadar air tanah asli dengan 3 benda uji sebesar **13,98%**.

B. Pengujian Berat Jenis Tanah Halus

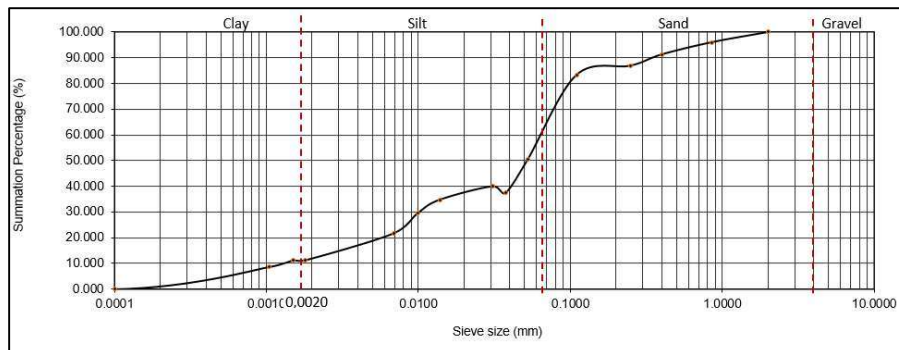
Tabel 4. 43 klasifikasi berat jenis tanah halus

Macam Tanah	Berat Jenis Gs
Kerikil	2,65 - 2,68
Pasir	2,65 - 2,68
Lanau Tak Organik	2,62 - 2,68
Lempung Organik	2,58 - 2,65
Lempung Tak Organik	2,68 - 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 - 1,80

Dari nilai berat jenis tanah **2,610** dapat di sempulkan jenis tanah termasuk dalam tanah **Lanau Tak Organik**.

C. Pengujian Analisa Butiran (Hidrometer)

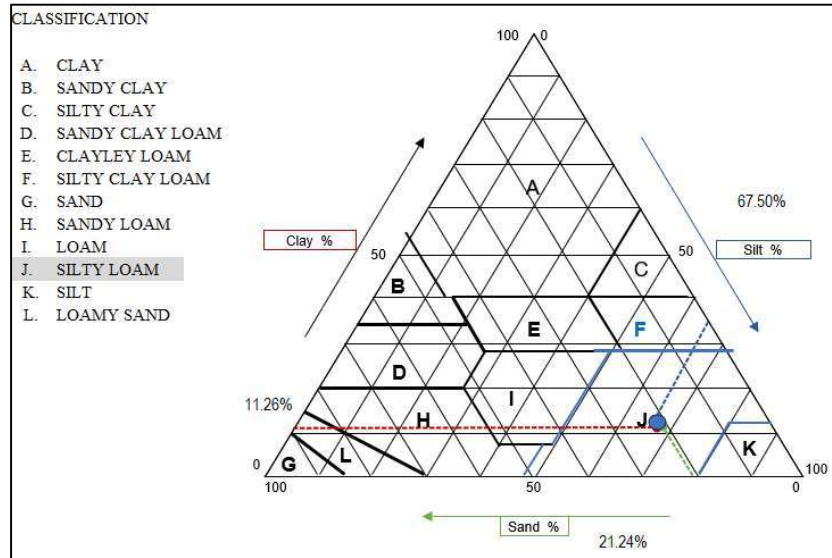
Lalu pada hasil pengujian analisa Hidrometer didapat grafik analisa hidrometer dan saringan sebagai berikut :



Gambar 4. 100 Grafik uji ukuran butiran

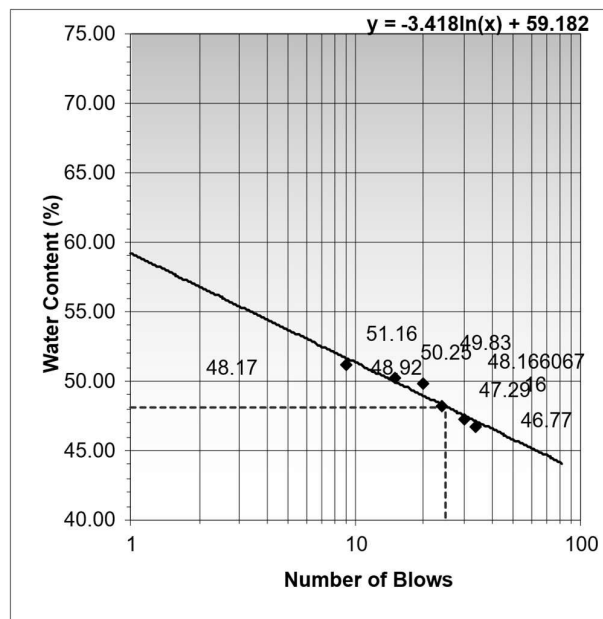
- Lempung (Clay) = 11,26%
- Lanau (Silt) = Persen Lolos Saringan No. 200 – Persen Lempung
= 94,14% - 11,26%
= 67,50%
- Pasir (Sand) = Persen Tertahan Saringan No. 200
= 21,24%

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



Gambar 4. 101 Klasifikasi tanah dengan USDA

D. Pengujian Batas Cair Tanah



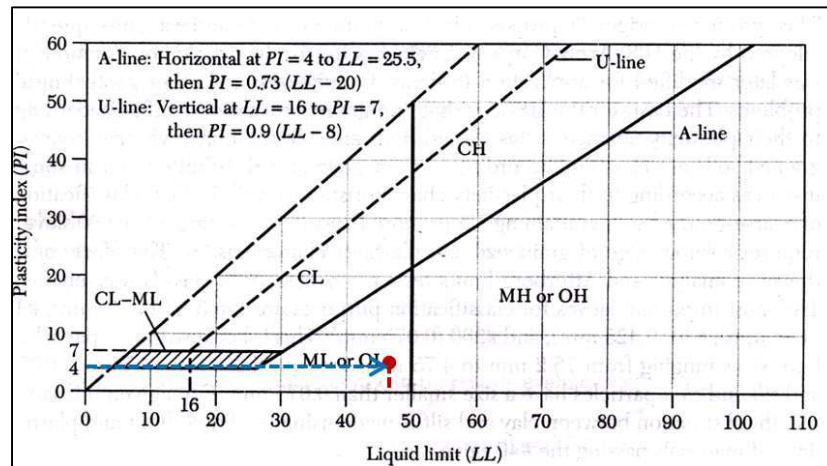
Gambar 4. 102 Hasil pengujian batas cair tanah

Didapat nilai batas cair tanah = **48,17%**.

E. Pengujian Batas Plastis Tanah

Didapat nilai batas plastis tanah = **44,02%**. Selanjutnya dalam penentuan nilai PI (*Plasticity Index*) diperlukan data hasil pengujian Batas Cair dan Batas Plastis untuk membantu pembacaan grafik antara PI dan LL, dengan nilai PI sebagai berikut.

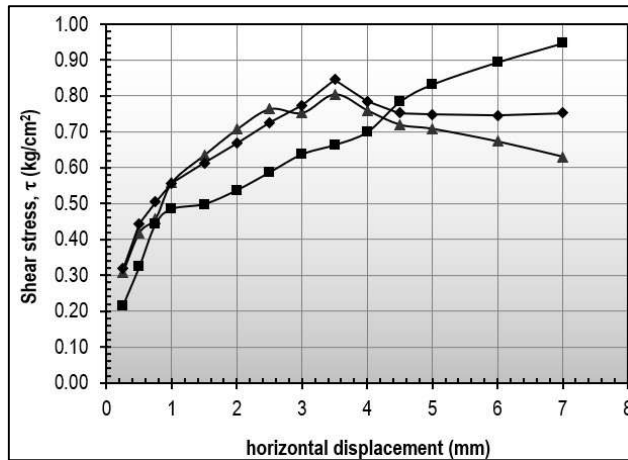
$$\begin{aligned}PI &= LL - PL \\&= 48,17\% - 44,02\% \\&= 4,15\%\end{aligned}$$



Gambar 4. 103 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL

Dilihat dari data di atas maka $LL > 50$ dan nilai PI 4 - 7 maka klasifikasi dengan simbol ganda yaitu **ML or OL** atau **Lanau tak organik / Lanau Elastis**

F. Pengujian *Diract Shear*

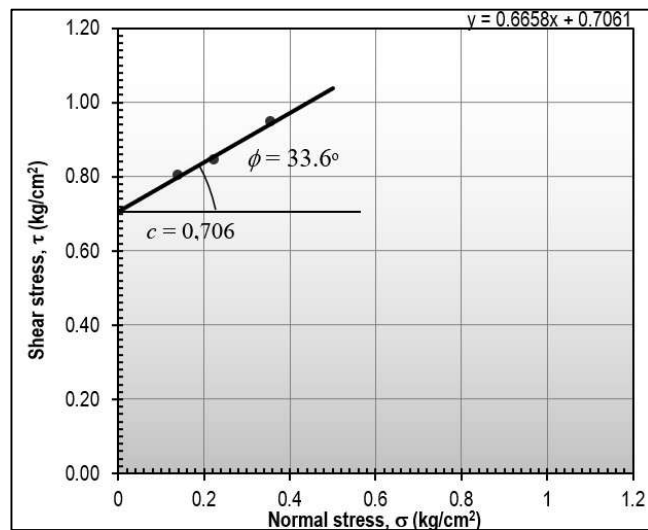


Gambar 4. 104 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal

Tabel 4. 44 Hasil Pengujian *Direct Shear*

Hasil Pengujian	Tegangan Normal (kgf/cm ²)	Tegangan Geser (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	0,14	0,805
Benda Uji 2	0,26	0,846
Benda Uji 3	0,39	0,947

Hasil tersebut kemudian diplot dalam bentuk grafik berikut.

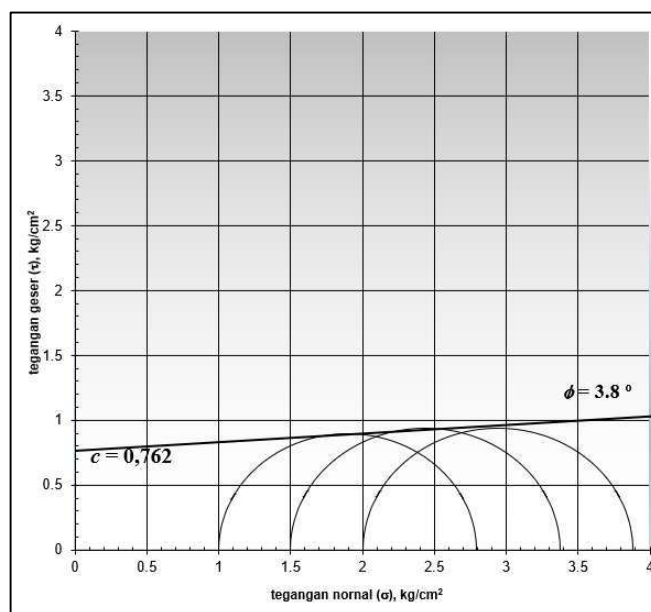


Gambar 4. 105 Garafik Kohesi dan Sudut Dalam

G. Pengujian Triaxial

Tabel 4. 45 Hasil Pengujian Triaxial

Hasil Pengujian	Teg. Deviator maks. (kgf/cm ²)	Teg. Vertikal maks. (kgf/cm ²)	Kohesi <i>Undrained</i> (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	1.792	2,792	0,895
Benda Uji 2	1.876	3,876	0,938
Benda Uji 3	1.883	3,883	0,942

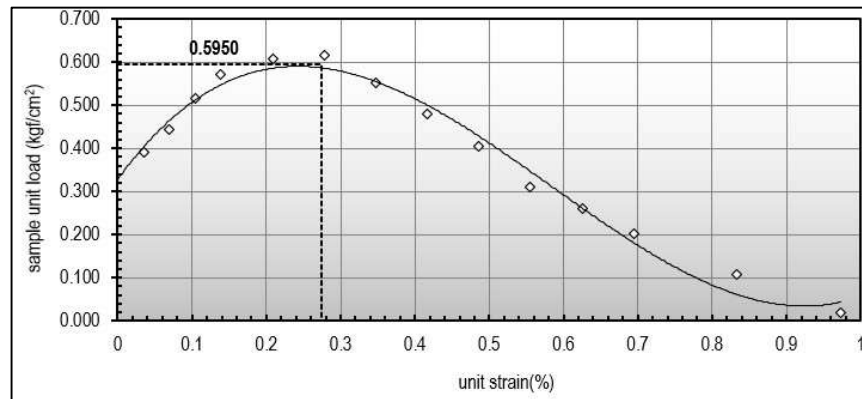


Gambar 4. 106 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU

Rata-rata nilai kohesi (c) 3 sampel pengujian triaxial UU adalah $0,762 \text{ kgf/cm}^2$, dengan $\phi = 3,8$.

H. Pengujian USC (*Unconfined Compressive Strength*)

Agar dapat menentukan nilai kuat tekan bebas (q_u) data di atas harus diplot pada grafik parabola dengan perhitungan sebagai berikut.



Gambar 4.107 Grafik Nilai q_u UCS

Dengan nilai $q_u = 0,759 \text{ kgf/cm}^2$, selanjutnya nilai q_u dapat dikonversi dengan nilai kuat geser tanah tidak terdrainase (S_u) dengan rumus berikut :

$$\begin{aligned}\text{Kuat geser tanah } (S_u) &= \frac{q_u}{2} \\ &= \frac{0,759}{2} \\ &= 0,380 \text{ kgf/cm}^2\end{aligned}$$

4.4.3 Variasi campuran 6,5%

Dengan variasi campuran 6,5% dan masa pemeraman 14 hari maka kebutuhan larutan sementasi sebanyak 68,25 ml, berikut adalah pengujian fisik dan mekanik setelah perlakuannya.

A. Pengujian Kadar Air

Dari pengujian kadar air dalam masa pemeraman 14 hari didapat hasil kadar air tanah asli dengan 3 benda uji sebesar **16,59%**.

B. Pengujian Berat Jenis Tanah Halus

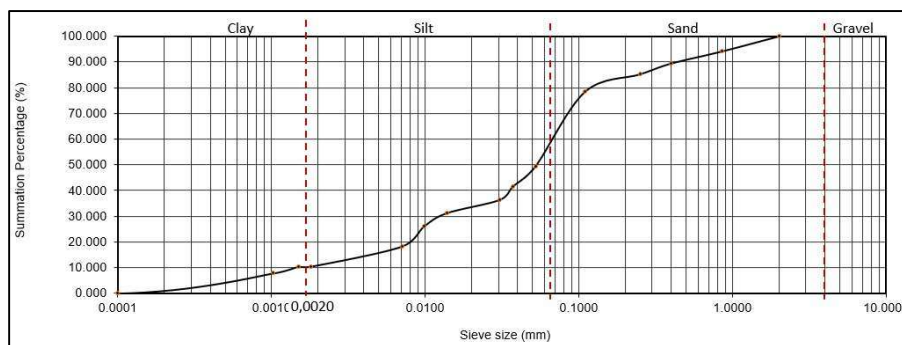
Tabel 4.46 klasifikasi berat jenis tanah halus

Macam Tanah	Berat Jenis Gs
Kerikil	2,65 - 2,68
Pasir	2,65 - 2,68
Lanau Tak Organik	2,62 - 2,68
Lempung Organik	2,58 - 2,65
Lempung Tak Organik	2,68 - 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 - 1,80

Dari nilai berat jenis tanah **2,651** dapat di sempulkan jenis tanah termasuk dalam tanah **Lanau Tak Organik**.

C. Pengujian Analisa Butiran (Hidrometer)

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

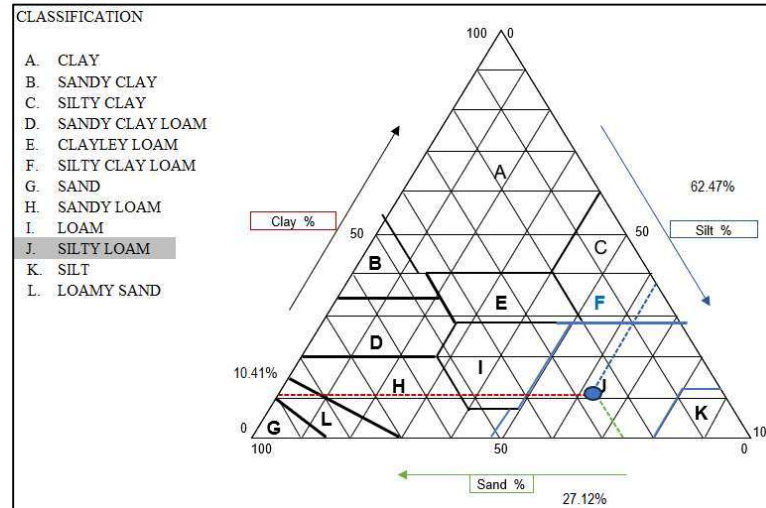


Gambar 4. 108 Grafik uji ukuran butiran

- Lempung (Clay) = 10.41%
- Lanau (Silt) = Persen Lolos Saringan No. 200 – Persen Lempung
= 94,14% - 10,41%
= 62,47%
- Pasir (Sand) = Persen Tertahan Saringan No. 200

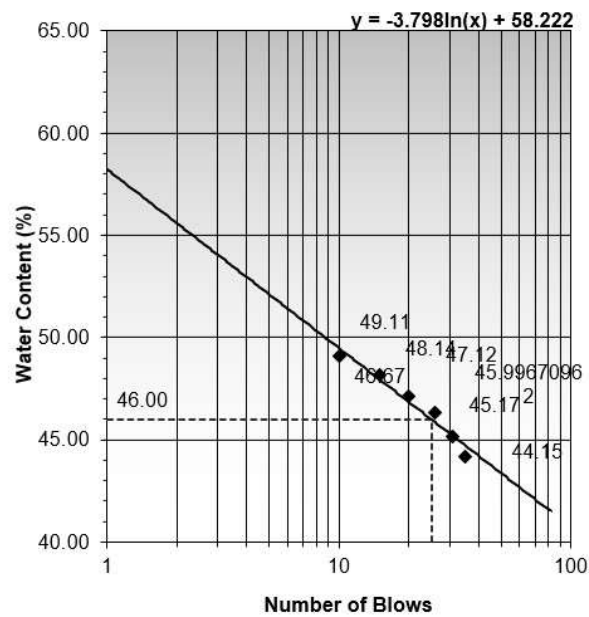
$$= 27,12\%$$

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



Gambar 4. 109 Klasifikasi tanah dengan USDA

D. Pengujian Batas Cair Tanah



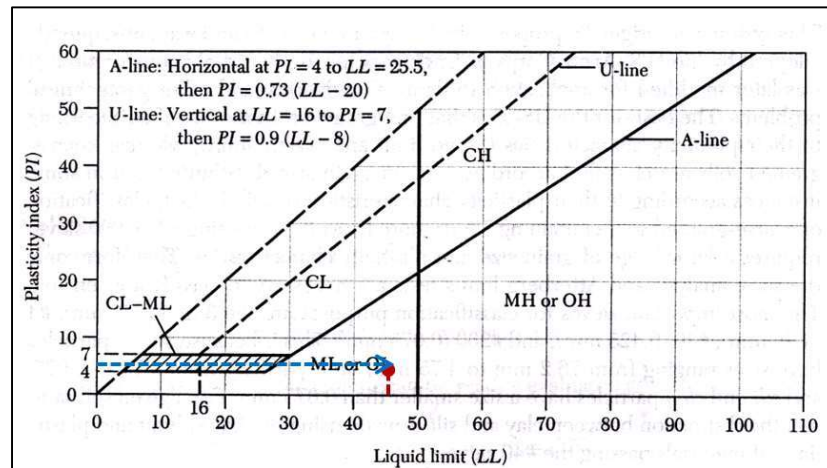
Gambar 4. 110 Hasil pengujian batas cair tanah

Didapat nilai batas cair tanah = **46,00%**.

E. Pengujian Batas Plastis Tanah

Didapat nilai batas plastis tanah = **43,07%**. Selanjutnya dalam penentuan nilai PI (*Plasticity Index*) diperlukan data hasil pengujian Batas Cair dan Batas Plastis untuk membantu pembacaan grafik antara PI dan LL, dengan nilai PI sebagai berikut.

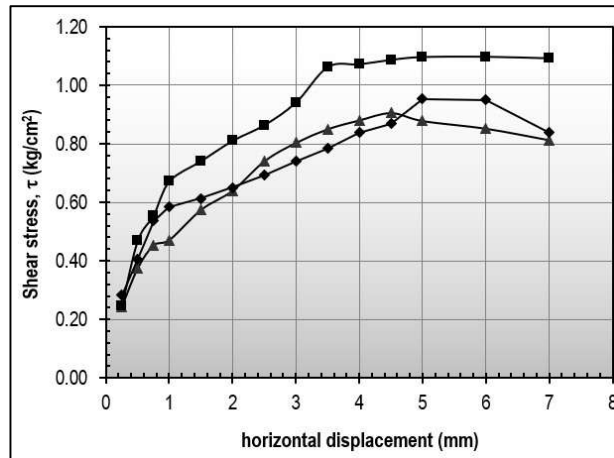
$$\begin{aligned} \text{PI} &= \text{LL} - \text{PL} \\ &= 46,00\% - 43,07\% \\ &= 2,94\% \end{aligned}$$



Gambar 4. 111 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL

Dilihat dari data di atas maka $\text{LL} > 50$ dan nilai $\text{PI } 4 - 7$ maka klasifikasi dengan simbol ganda yaitu **ML or OL** atau **Lanau tak organik / Lanau Elastis**

F. Pengujian *Direct Shear*

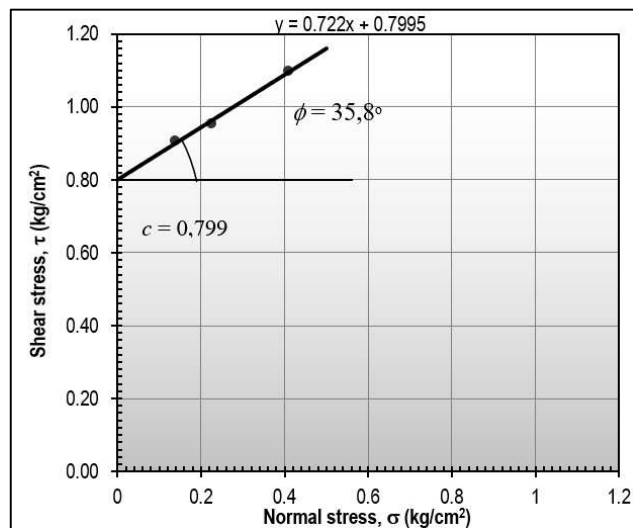


Gambar 4. 112 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal

Tabel 4. 47 Hasil Pengujian *Direct Shear*

Hasil Pengujian	Tegangan Normal (kgf/cm ²)	Tegangan Geser (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	0,14	0,906
Benda Uji 2	0,26	0,964
Benda Uji 3	0,39	1,098

Hasil tersebut kemudian diplot dalam bentuk grafik berikut.

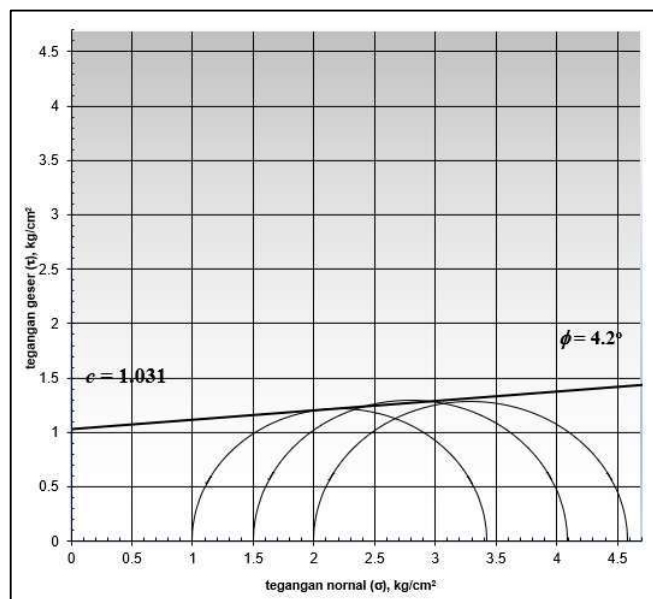


Gambar 4. 113 Garafik Kohesi dan Sudut Dalam

G. Pengujian Triaxsial

Tabel 4. 48 Hasil Pengujian Triaxsial

Hasil Pengujian	Teg. Deviator maks. (kgf/cm ²)	Teg. Vertikal maks. (kgf/cm ²)	Kohesi <i>Undrained</i> (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	2,428	3,428	1,213
Benda Uji 2	2,585	4,085	1,292
Benda Uji 3	2,578	4,578	1,289

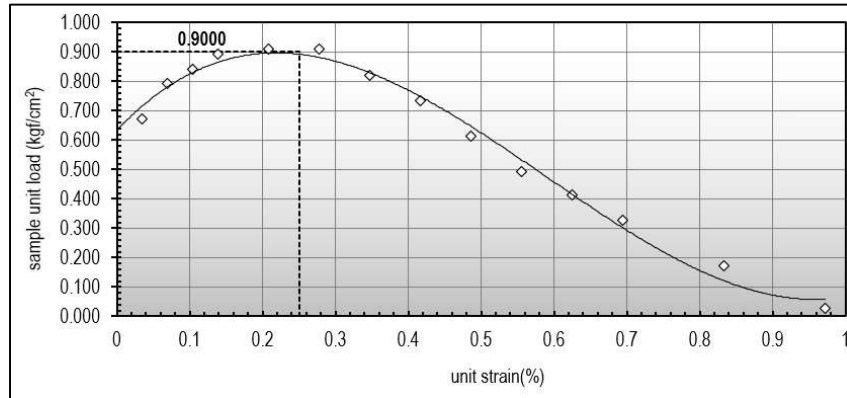


Gambar 4. 114 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU

Rata-rata nilai kohesi (c) 3 sampel pengujian triaxial UU adalah $1,031 \text{ kgf/cm}^2$, dengan $\phi = 4,2$.

H. Pengujian USC (*Unconfined Compressive Strength*)

Agar dapat menentukan nilai kuat tekan bebas (q_u) data di atas harus diplot pada grafik parabola dengan perhitungan sebagai berikut.



Gambar 4.115 Grafik Nilai q_u UCS

Dengan nilai $q_u = 0,912 \text{ kgf/cm}^2$, selanjutnya nilai q_u dapat dikonversi dengan nilai kuat geser tanah tidak terdrainase (S_u) dengan rumus berikut :

$$\begin{aligned}\text{Kuat geser tanah } (S_u) &= \frac{q_u}{2} \\ &= \frac{0,912}{2} \\ &= 0,456 \text{ kgf/cm}^2\end{aligned}$$

4.4.4 Variasi campuran 8,5%

Dengan variasi campuran 8,5% dan masa pemeraman 14 hari maka kebutuhan larutan sementasi sebanyak 89,25 ml, berikut adalah pengujian fisik dan mekanik setelah perlakuannya.

A. Pengujian Kadar Air

Dari pengujian kadar air dalam masa pemeraman 14 hari didapat hasil kadar air tanah asli dengan 3 benda uji sebesar **14,68%**.

B. Pengujian Berat Jenis Tanah Halus

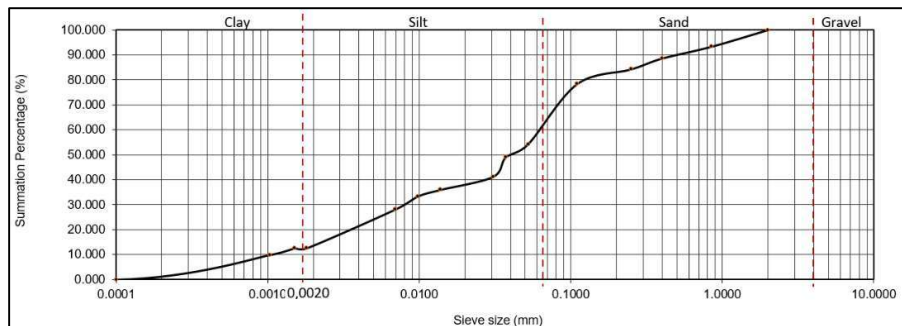
Tabel 4.49 klasifikasi berat jenis tanah halus

Macam Tanah	Berat Jenis Gs
Kerikil	2,65 - 2,68
Pasir	2,65 - 2,68
Lanau Tak Organik	2,62 - 2,68
Lempung Organik	2,58 - 2,65
Lempung Tak Organik	2,68 - 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 - 1,80

Dari nilai berat jenis tanah **2,640** dapat di simpulkan jenis tanah termasuk dalam tanah **Lanau Tak Organik**.

C. Pengujian Ukuran Butiran (Hidrometer)

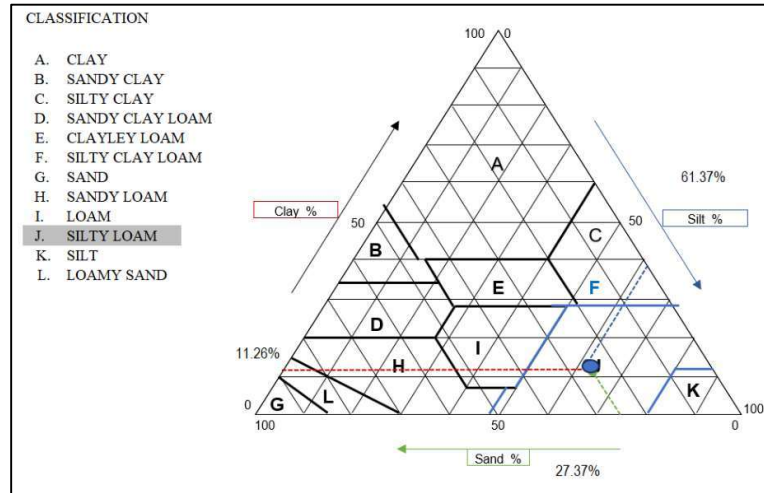
Lalu pada hasil pengujian analisa Hidrometer didapat grafik analisa hidrometer dan saringan sebagai berikut :



Gambar 4. 116 Grafik uji ukuran butiran

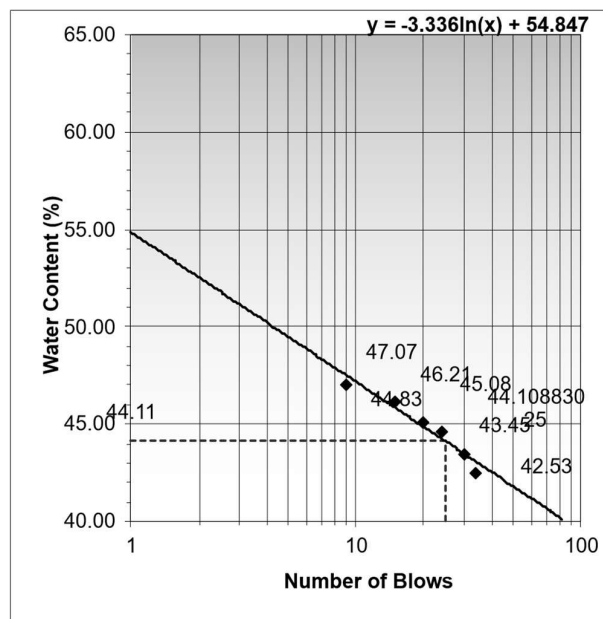
- Lempung (Clay) = 11,26%
- Lanau (Silt) = Persen Lolos Saringan No. 200 – Persen Lempung
= 94,14% - 11,26%
= 61,37%
- Pasir (Sand) = Persen Tertahan Saringan No. 200
= 27,37%

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



Gambar 4. 117 Klasifikasi tanah dengan USDA

D. Pengujian Batas Cair Tanah



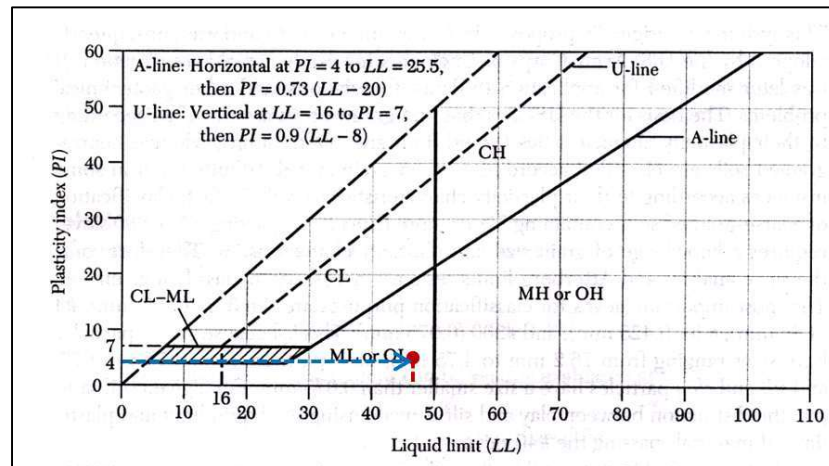
Gambar 4. 118 Hasil pengujian batas cair tanah

Didapat nilai batas cair tanah = **44,11%**.

E. Pengujian Batas Plastis Tanah

Didapat nilai batas plastis tanah = **40,84%**. Selanjutnya dalam penentuan nilai PI (*Plasticity Index*) diperlukan data hasil pengujian Batas Cair dan Batas Plastis untuk membantu pembacaan grafik antara PI dan LL, dengan nilai PI sebagai berikut.

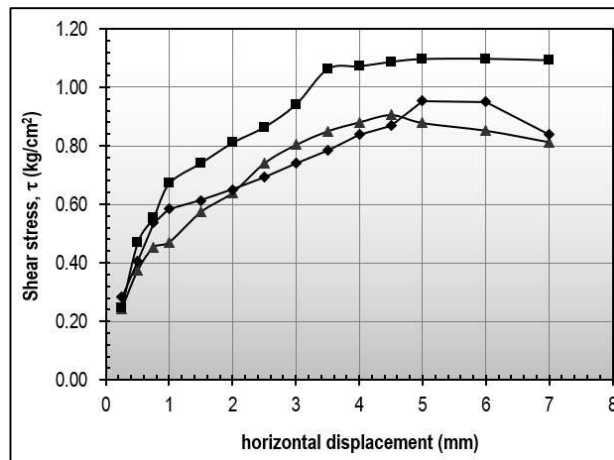
$$\begin{aligned} \text{PI} &= \text{LL} - \text{PL} \\ &= 44,11\% - 40,84\% \\ &= 3,27\% \end{aligned}$$



Gambar 4. 119 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL

Dilihat dari data di atas maka $LL > 50$ dan nilai PI 4 - 7 maka klasifikasi dengan simbol ganda yaitu **ML or OL** atau **Lanau tak organik / Lanau Elastis**

F. Pengujian *Direct Shear*

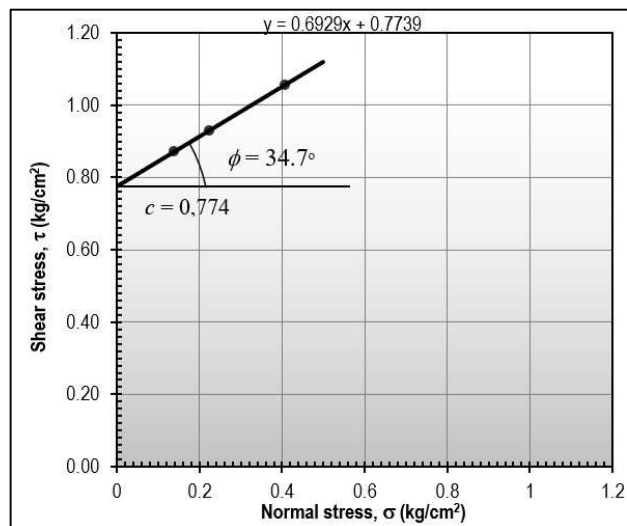


Gambar 4. 120 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal

Tabel 4. 50 Hasil Pengujian *Direct Shear*

Hasil Pengujian	Tegangan Normal (kgf/cm ²)	Tegangan Geser (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	0,14	0,871
Benda Uji 2	0,26	0,929
Benda Uji 3	0,39	1,056

Hasil tersebut kemudian diplot dalam bentuk grafik berikut.

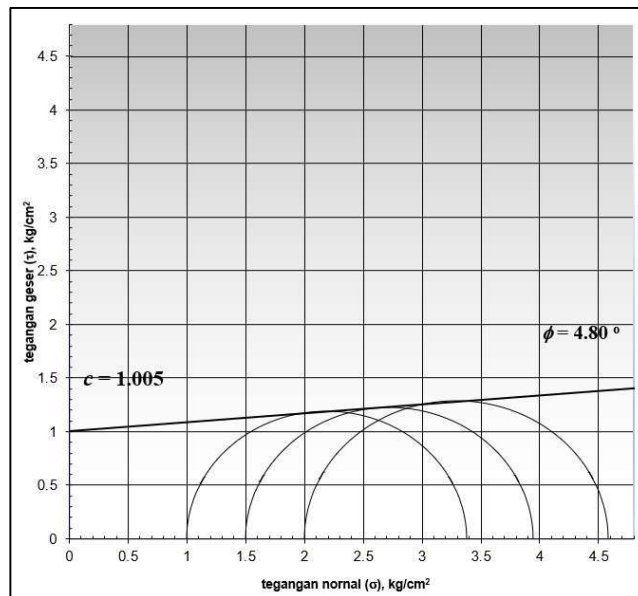


Gambar 4. 121 Garafik Kohesi dan Sudut Dalam

G. Pengujian Triaxial

Tabel 4. 51 Hasil Pengujian Triaxial

Hasil Pengujian	Teg. Deviator maks. (kgf/cm ²)	Teg. Vertikal maks. (kgf/cm ²)	Kohesi <i>Undrained</i> (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	2,378	3,378	1,189
Benda Uji 2	2,445	3,945	1,223
Benda Uji 3	2,580	4,580	1,290

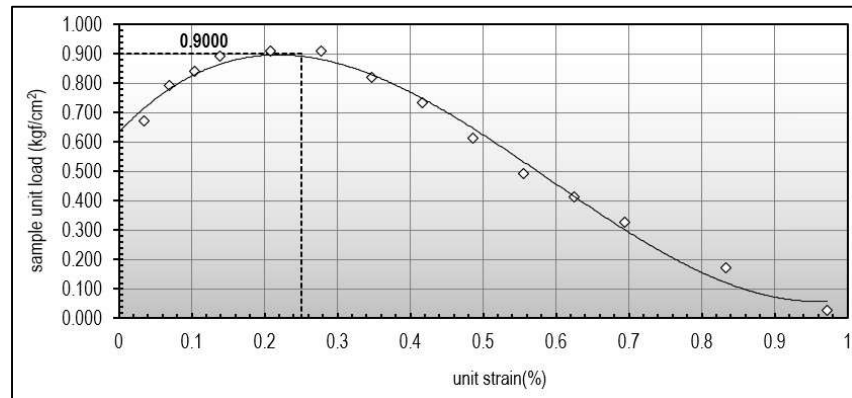


Gambar 4. 122 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU

Rata-rata nilai kohesi (c) 3 sampel pengujian triaxial UU adalah **1,005kgf/cm²** , dengan $\phi = 4,80$.

H. Pengujian UCS (*Unconfined Compressive Strength*)

Agar dapat menentukan nilai kuat tekan bebas (qu) data di atas harus diplot pada grafik parabola dengan perhitungan sebagai berikut.

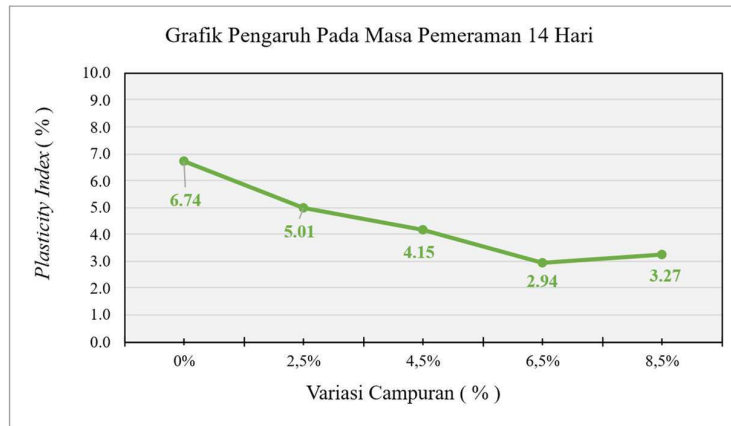


Gambar 4.123 Grafik Nilai q_u UCS

Dengan nilai $q_u = 0,925 \text{ kgf/cm}^2$, selanjutnya nilai q_u dapat dikonversi dengan nilai kuat geser tanah tidak terdrainase (S_u) dengan rumus berikut :

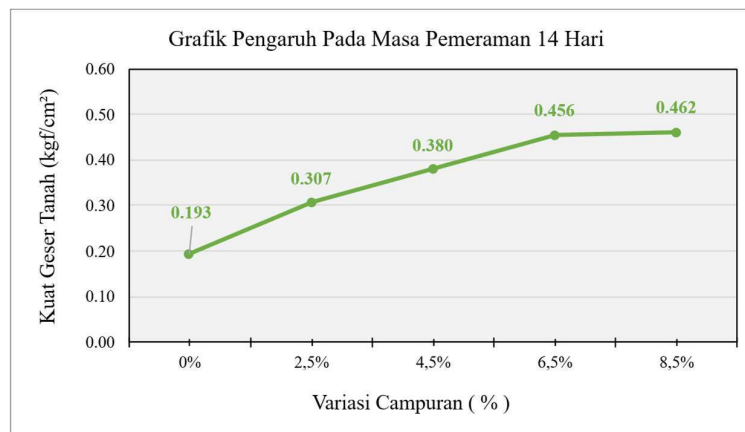
$$\begin{aligned}
 \text{Kuat geser tanah } (S_u) &= \frac{q_u}{2} \\
 &= \frac{0,925}{2} \\
 &= 0,462 \text{ kgf/cm}^2
 \end{aligned}$$

4.7 Grafik Pengaruh Bakteri



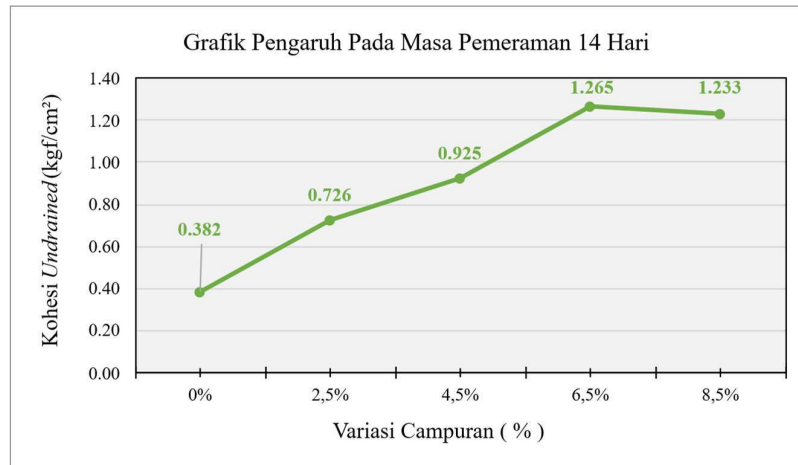
Gambar 4. 124 Grafik Pengaruh Terhadap Nilai PI

Grafik menunjukkan perubahan nilai PI pada pemeraman 14 hari, mendapatkan nilai tertinggi pada campuran 6,5% dan menurun pada campuran 8,5% di angka 3,27, maka optimal terdapat pada campuran 6,5%.



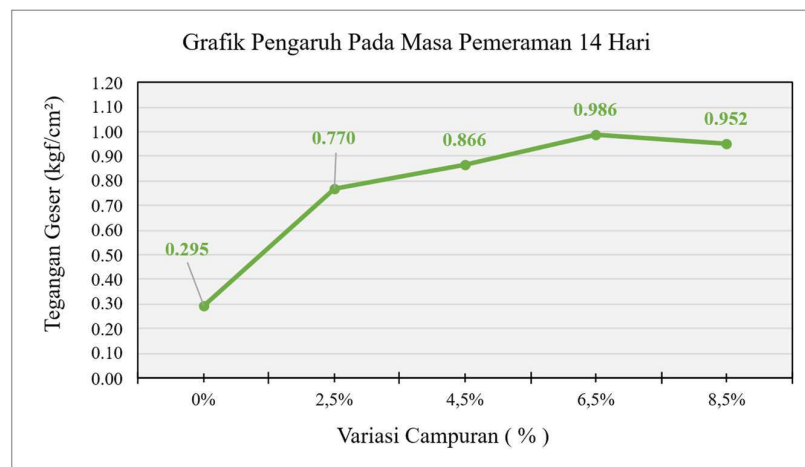
Gambar 4. 125 Grafik Kuat Geser Tanah (UCS)

Grafik menunjukkan kuat geser optimal berada pada campuran 2,5%, tetapi turun menjadi 0,193 pada campuran 6,5%, mengindikasikan batas efektif tanah pada kadar rendah.



Gambar 4. 126 Grafik Kohesi *Undrained* (Triaxial)

Nilai kohesi tertinggi mencapai 1,265 pada campuran 6,5% namun mengalami penurunan signifikan menjadi 1,233 pada campuran 8,5%, hal ini dapat disimpulkan bahwa pencampuran di atas 6,5% justru mengurangi stabilitas tanah.



Gambar 4. 127 Grafik Tegangan Geser (*Direct shear*)

Pada grafik di atas tegangan kuat geser meningkat drastis dari angka 0,295 hingga 0,986 dan terjadi penurunan di campuran 8,5% sebesar 0,952, maka campuran optimum lebih dari 6,5% menyebabkan penurunan pada stabilitas tanah.

4.8 Pengujian Fisik dan Mekanik pada masa Pemeraman 28 Hari

4.8.1 Variasi campuran 2,5%

Dengan variasi campuran 2,5% dan masa pemeraman 28 hari maka kebutuhan larutan sementasi sebanyak 26,25 ml, berikut adalah pengujian fisik dan mekanik setelah perlakuannya.

A. Pengujian Kadar Air

Dari pengujian kadar air dalam masa pemeraman 28 hari didapat hasil kadar air tanah asli dengan 3 benda uji sebesar **14,32%**.

B. Pengujian Berat Jenis Tanah Halus

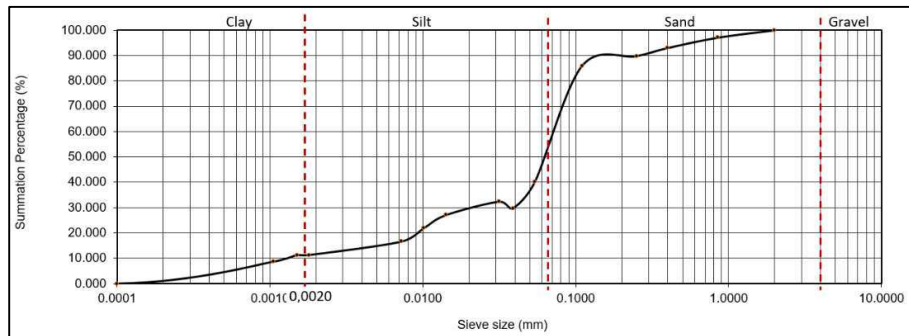
Tabel 4.52 klasifikasi berat jenis tanah halus

Macam Tanah	Berat Jenis Gs
Kerikil	2,65 - 2,68
Pasir	2,65 - 2,68
Lanau Tak Organik	2,62 - 2,68
Lempung Organik	2,58 - 2,65
Lempung Tak Organik	2,68 - 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 - 1,80

Dari nilai berat jenis tanah **2,580** dapat di sempulkan jenis tanah termasuk dalam tanah **Lanau Tak Organik**.

C. Pengujian Analisa Butiran (Hidrometer)

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



Gambar 4. 128 Grafik uji ukuran butiran

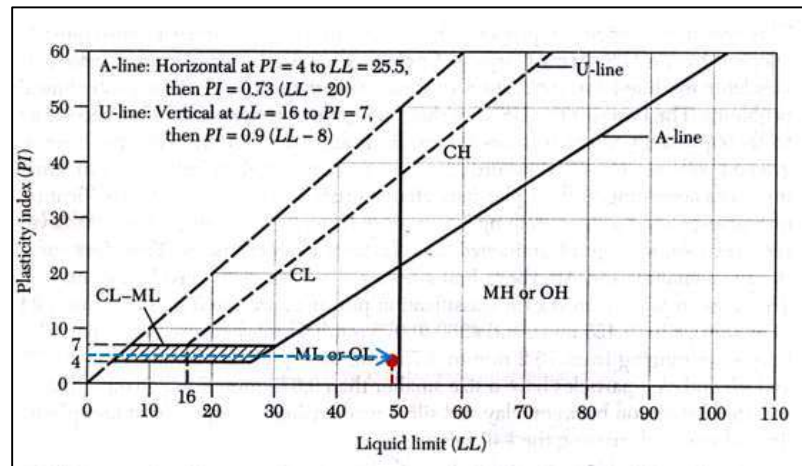
- Lempung (Clay) = 11,31%
- Lanau (Silt) = Persen Lolos Saringan No. 200 – Persen Lempung
= 94,14% - 11,31%
= 72,36%
- Pasir (Sand) = Persen Tertahan Saringan No. 200
= 16,33%

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

E. Pengujian Batas Plastis Tanah

Didapat nilai batas plastis tanah = **44,18%**. Selanjutnya dalam penentuan nilai PI (*Plasticity Index*) diperlukan data hasil pengujian Batas Cair dan Batas Plastis untuk membantu pembacaan grafik antara PI dan LL, dengan nilai PI sebagai berikut.

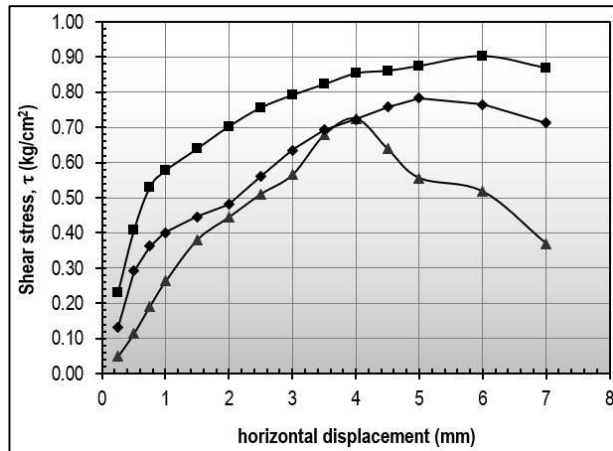
$$\begin{aligned} \text{PI} &= \text{LL} - \text{PL} \\ &= 49,17\% - 44,18\% \\ &= 4,99\% \end{aligned}$$



Gambar 4. 131 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL

Dilihat dari data di atas maka $LL > 50$ dan nilai PI 4 - 7 maka klasifikasi dengan simbol ganda yaitu **ML or OL** atau **Lanau tak organik / Lanau Elastis**.

F. Pengujian *Diract Shear*

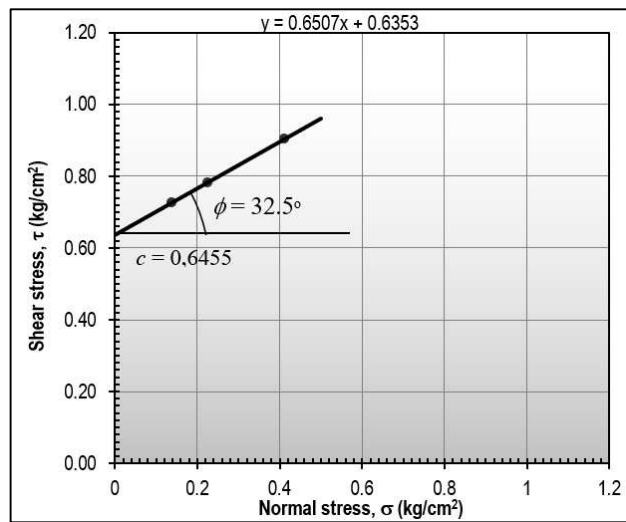


Gambar 4. 132 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal

Tabel 4. 53 Hasil Pengujian *Direct Shear*

Hasil Pengujian	Tegangan Normal (kgf/cm ²)	Tegangan Geser (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	0,14	0,725
Benda Uji 2	0,26	0,783
Benda Uji 3	0,39	0,902

Hasil tersebut kemudian diplot dalam bentuk grafik berikut.

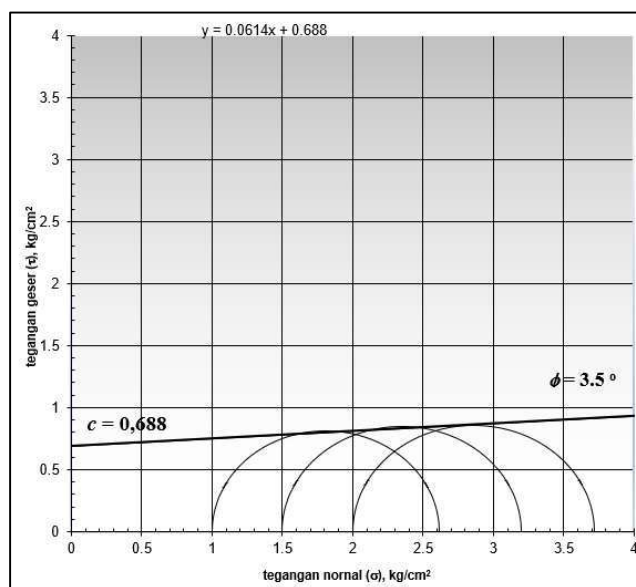


Gambar 4. 133 Grafik Kohesi dan Sudut Dalam

G. Pengujian Triaxial

Tabel 4. 54 Hasil Pengujian Triaxial

Hasil Pengujian	Teg. Deviator maks. (kgf/cm ²)	Teg. Vertikal maks. (kgf/cm ²)	Kohesi <i>Undrained</i> (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	1,619	2,619	0,809
Benda Uji 2	1,697	3,197	0,848
Benda Uji 3	1,720	3,720	0,860

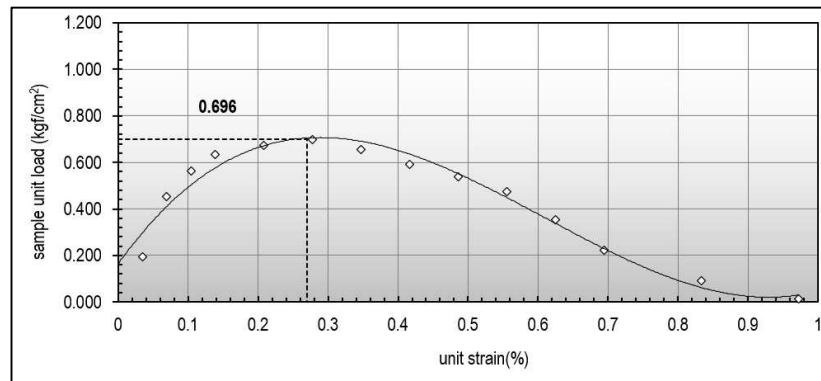


Gambar 4. 134 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU

Rata-rata nilai kohesi (c) 3 sampel pengujian triaxial UU adalah **0,688kgf/cm²** , dengan $\phi = 3,5$.

H. Pengujian UCS (*Unconfined Compressive Strength*)

Agar dapat menentukan nilai kuat tekan bebas (q_u) data di atas harus diplot pada grafik parabola dengan perhitungan sebagai berikut.



Gambar 4.135 Grafik Nilai q_u UCS

Dengan nilai $q_u = 0,696 \text{ kgf/cm}^2$, selanjutnya nilai q_u dapat dikonversi dengan nilai kuat geser tanah tidak terdrainase (S_u) dengan rumus berikut :

$$\begin{aligned}\text{Kuat geser tanah } (S_u) &= \frac{q_u}{2} \\ &= \frac{0,696}{2} \\ &= 0,348 \text{ kgf/cm}^2\end{aligned}$$

4.8.2 Variasi campuran 4,5%

Dengan variasi campuran 4,5% dan masa pemeraman 28 hari maka kebutuhan larutan sementasi sebanyak 47,25 ml, berikut adalah pengujian fisik dan mekanik setelah perlakuannya.

A. Pengujian Kadar Air

Dari pengujian kadar air dalam masa pemeraman 28 hari didapat hasil kadar air tanah asli dengan 3 benda uji sebesar **14,50%**.

B. Pengujian Berat Jenis Tanah Halus

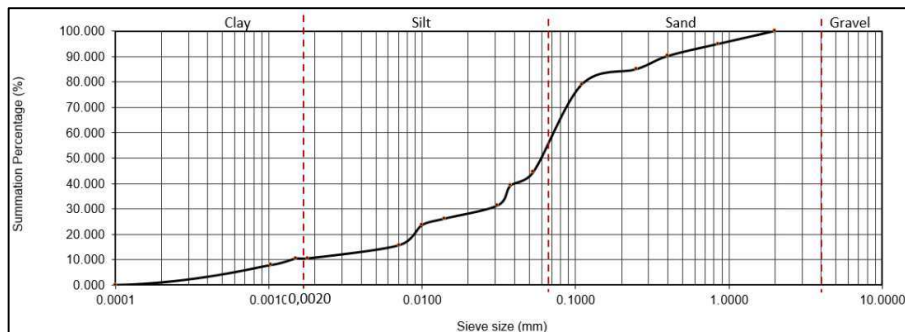
Tabel 4.55 klasifikasi berat jenis tanah halus

Macam Tanah	Berat Jenis Gs
Kerikil	2,65 - 2,68
Pasir	2,65 - 2,68
Lanau Tak Organik	2,62 - 2,68
Lempung Organik	2,58 - 2,65
Lempung Tak Organik	2,68 - 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 - 1,80

Dari nilai berat jenis tanah **2,630** dapat di sempulkan jenis tanah termasuk dalam tanah **Lanau Tak Organik**.

C. Pengujian Analisa Butiran (Hidrometer)

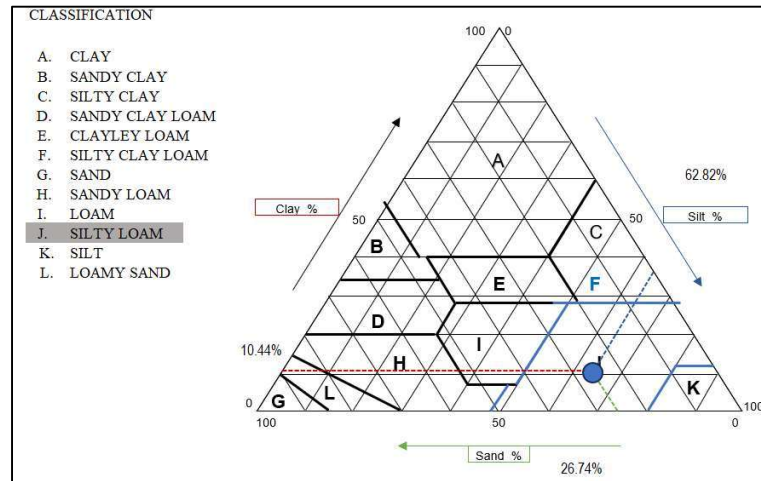
Lalu pada hasil pengujian analisa Hidrometer didapat grafik analisa hidrometer dan saringan sebagai berikut :



Gambar 4. 136 Grafik uji ukuran butiran

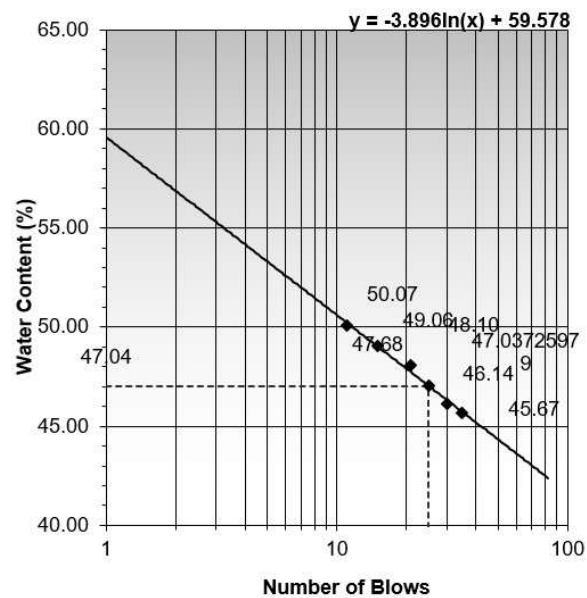
- Lempung (Clay) = 10,44%
- Lanau (Silt) = Persen Lolos Saringan No. 200 – Persen Lempung
= 94,14% - 10,44%
= 62,82%
- Pasir (Sand) = Persen Tertahan Saringan No. 200
= 26,74%

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



Gambar 4. 137 Klasifikasi tanah dengan USDA

D. Pengujian Batas Cair Tanah



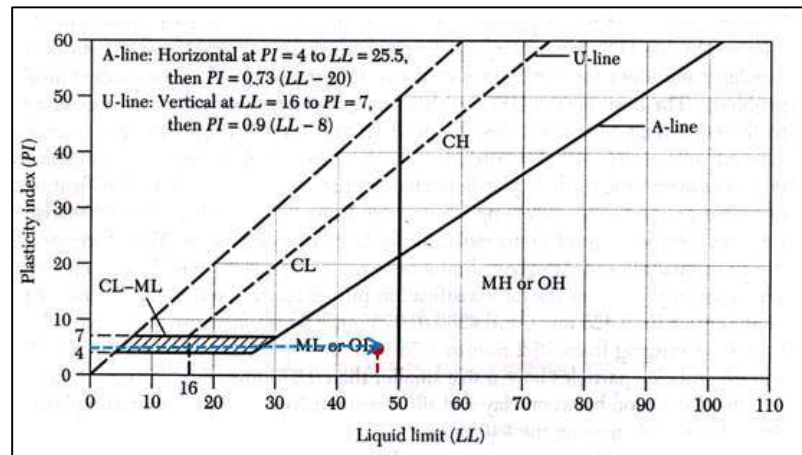
Gambar 4. 138 Hasil pengujian batas cair tanah

Didapat nilai batas cair tanah = **47,04%**.

E. Pengujian Batas Plastis Tanah

Didapat nilai batas plastis tanah = **43,59%**. Selanjutnya dalam penentuan nilai PI (*Plasticity Index*) diperlukan data hasil pengujian Batas Cair dan Batas Plastis untuk membantu pembacaan grafik antara PI dan LL, dengan nilai PI sebagai berikut.

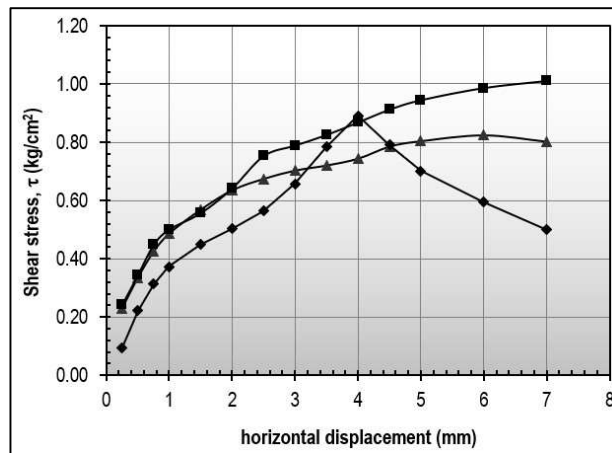
$$\begin{aligned} \text{PI} &= \text{LL} - \text{PL} \\ &= 47,04\% - 43,59\% \\ &= 3,45\% \end{aligned}$$



Gambar 4. 139 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL

Dilihat dari data di atas maka $LL > 50$ dan nilai PI 4 - 7 maka klasifikasi dengan simbol ganda yaitu **ML or OL** atau **Lanau tak organik / Lanau Elastis**

F. Pengujian *Diract Shear*

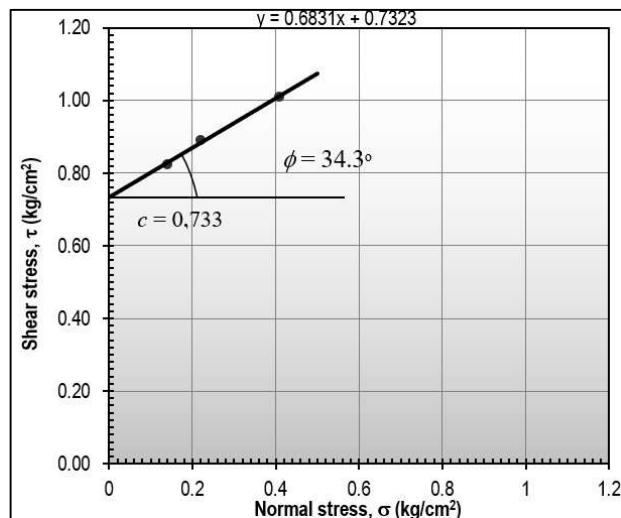


Gambar 4. 140 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal

Tabel 4. 56 Hasil Pengujian *Direct Shear*

Hasil Pengujian	Tegangan Normal (kgf/cm ²)	Tegangan Geser (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	0,14	0,824
Benda Uji 2	0,26	0,890
Benda Uji 3	0,39	1,010

Hasil tersebut kemudian diplot dalam bentuk grafik berikut.

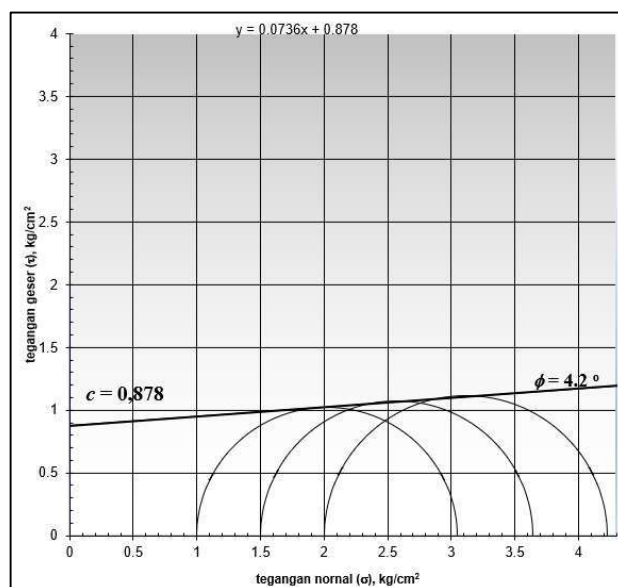


Gambar 4. 141 Garafik Kohesi dan Sudut Dalam

G. Pengujian Triaxial

Tabel 4. 57 Hasil Pengujian Triaxial

Hasil Pengujian	Teg. Deviator maks. (kgf/cm ²)	Teg. Vertikal maks. (kgf/cm ²)	Kohesi <i>Undrained</i> (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	2,046	3,046	1,022
Benda Uji 2	2,144	3,644	1,022
Benda Uji 3	2,223	4,223	1,111

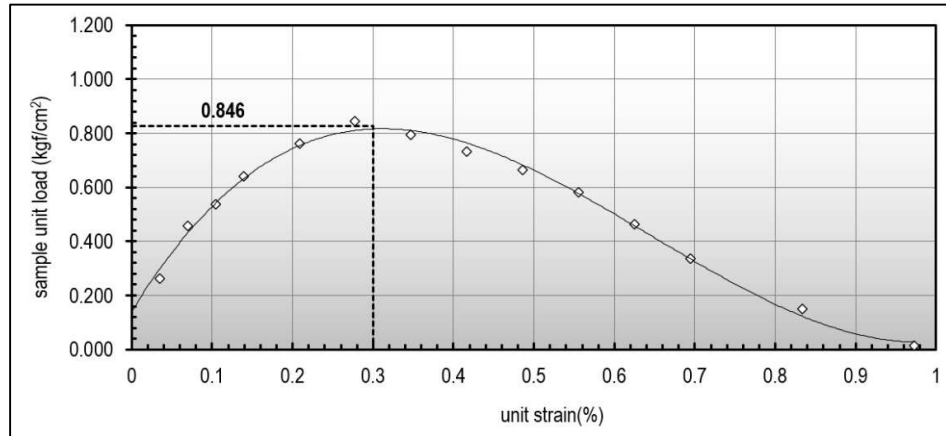


Gambar 4. 142 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU

Rata-rata nilai kohesi (c) 3 sampel pengujian triaxial UU adalah **0,878kgf/cm²** , dengan **$\phi = 4,2$** .

H. Pengujian UCS (*Unconfined Compressive Strength*)

Agar dapat menentukan nilai kuat tekan bebas (q_u) data di atas harus diplot pada grafik parabola dengan perhitungan sebagai berikut.



Gambar 4. 143 Grafik Nilai q_u UCS

Dengan nilai $q_u = 0,846 \text{ kgf/cm}^2$, selanjutnya nilai q_u dapat dikonversi dengan nilai kuat geser tanah tidak terdrainase (S_u) dengan rumus berikut :

$$\begin{aligned}\text{Kuat geser tanah } (S_u) &= \frac{q_u}{2} \\ &= \frac{0,846}{2} \\ &= 0,426 \text{ kgf/cm}^2\end{aligned}$$

4.8.3 Variasi campuran 6,5%

Dengan variasi campuran 6,5% dan masa pemeraman 28 hari maka kebutuhan larutan sementasi sebanyak 68,25 ml, berikut adalah pengujian fisik dan mekanik setelah perlakuannya.

A. Pengujian Kadar Air

Dari pengujian kadar air dalam masa pemeraman 28 hari didapat hasil kadar air tanah asli dengan 3 benda uji sebesar **13,56%**.

B. Pengujian Berat Jenis Tanah Halus

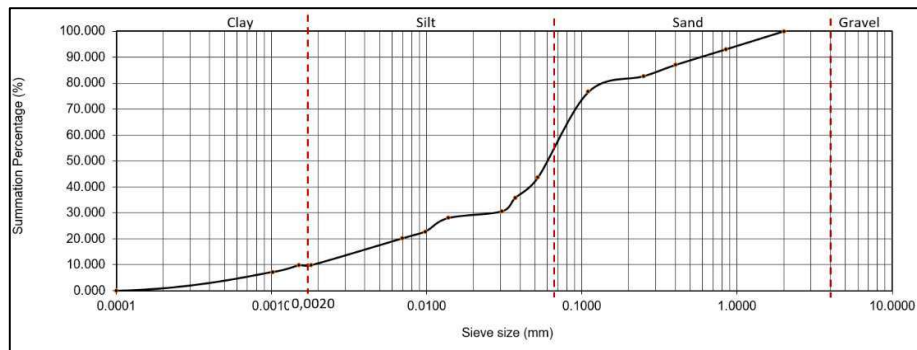
Tabel 4.58 klasifikasi berat jenis tanah halus

Macam Tanah	Berat Jenis Gs
Kerikil	2,65 - 2,68
Pasir	2,65 - 2,68
Lanau Tak Organik	2,62 - 2,68
Lempung Organik	2,58 - 2,65
Lempung Tak Organik	2,68 - 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 - 1,80

Dari nilai berat jenis tanah **2,680** dapat di sempulkan jenis tanah termasuk dalam tanah **Lanau Tak Organik**.

C. Pengujian Analisa Butiran (Hidrometer)

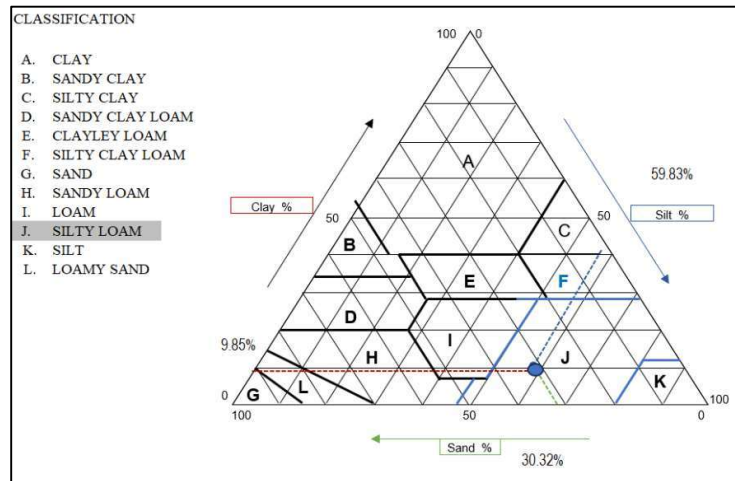
Lalu pada hasil pengujian analisa Hidrometer didapat grafik analisa hidrometer dan saringan sebagai berikut :



Gambar 4. 144 Grafik uji ukuran butiran

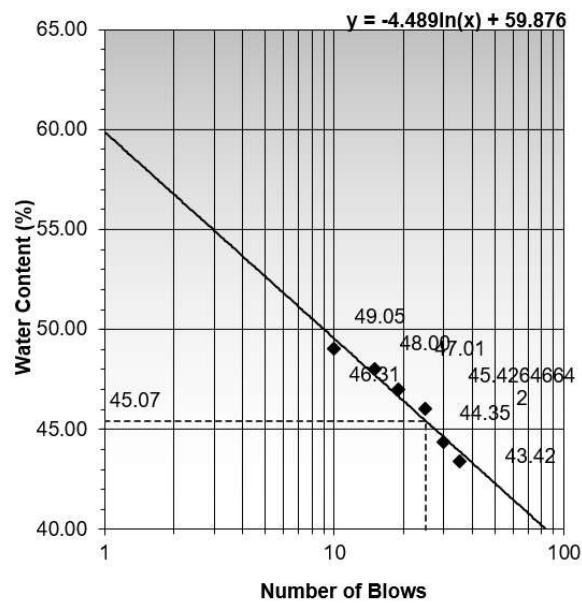
- Lempung (Clay) = 9,85%
- Lanau (Silt) = Persen Lolos Saringan No. 200 – Persen Lempung
= 94,14% - 9,85%
= 59,83%
- Pasir (Sand) = Persen Tertahan Saringan No. 200
= 30,32%

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



Gambar 4. 145 Klasifikasi tanah dengan USDA

D. Pengujian Batas Cair Tanah



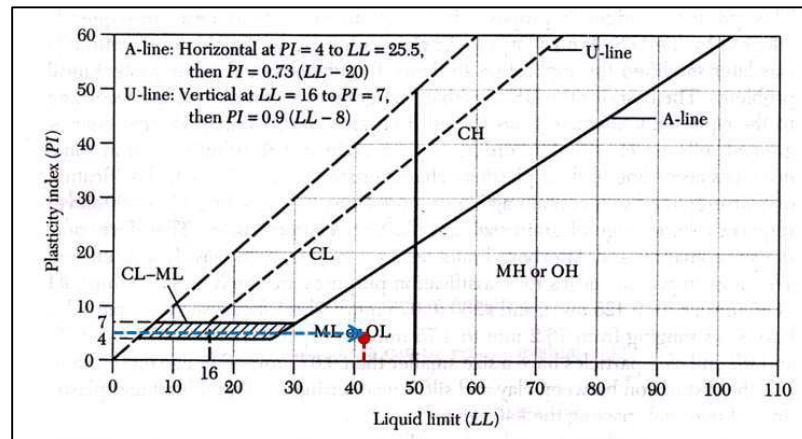
Gambar 4. 146 Hasil pengujian batas cair tanah

Didapat nilai batas cair tanah = **45,07%**.

E. Pengujian Batas Plastis Tanah

Didapat nilai batas plastis tanah = **42,42%**. Selanjutnya dalam penentuan nilai PI (*Plasticity Index*) diperlukan data hasil pengujian Batas Cair dan Batas Plastis untuk membantu pembacaan grafik antara PI dan LL, dengan nilai PI sebagai berikut.

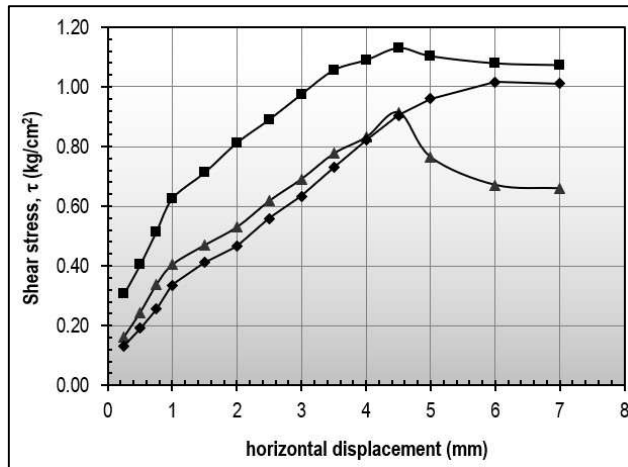
$$\begin{aligned} PI &= LL - PL \\ &= 45,07\% - 42,42\% \\ &= 2,65\% \end{aligned}$$



Gambar 4. 147 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL

Dilihat dari data di atas maka $LL > 50$ dan nilai $PI < 7$ maka klasifikasi dengan simbol ganda yaitu **ML or OL** atau **Lanau tak organik / Lanau Elastis**

F. Pengujian *Direct Shear*

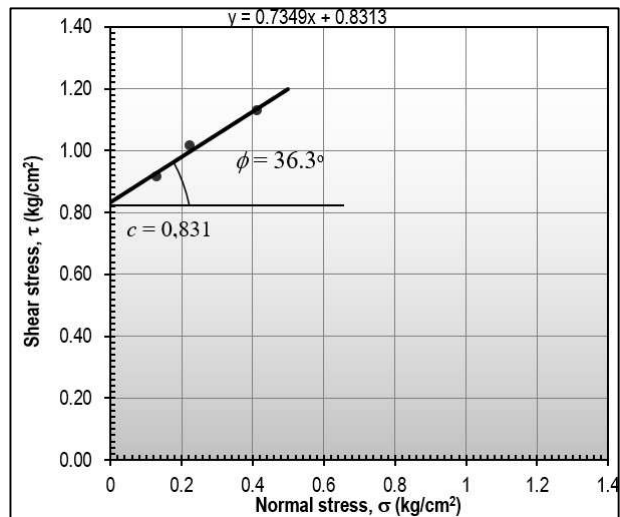


Gambar 4. 148 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal

Tabel 4. 59 Hasil Pengujian *Direct Shear*

Hasil Pengujian	Tegangan Normal (kgf/cm ²)	Tegangan Geser (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	0,14	0,914
Benda Uji 2	0,26	1,016
Benda Uji 3	0,39	1,129

Hasil tersebut kemudian diplot dalam bentuk grafik berikut.

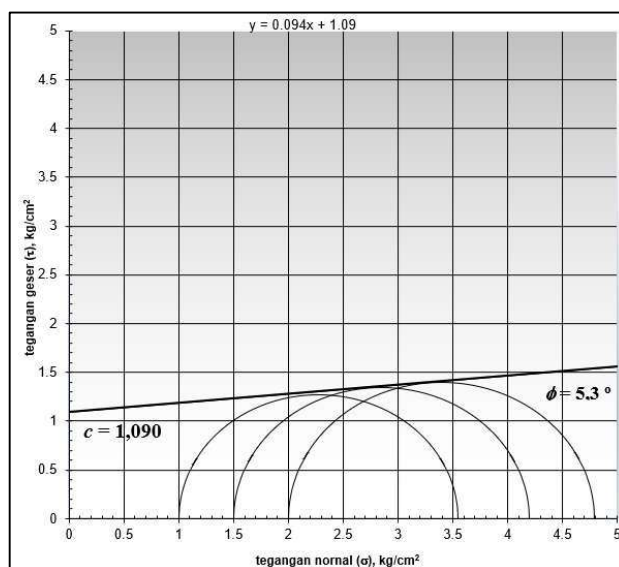


Gambar 4. 149 Garafik Kohesi dan Sudut Dalam

G. Pengujian Triaxial

Tabel 4. 60 Hasil Pengujian Triaxial

Hasil Pengujian	Teg. Deviator maks. (kgf/cm ²)	Teg. Vertikal maks. (kgf/cm ²)	Kohesi <i>Undrained</i> (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	2,549	3,549	1,274
Benda Uji 2	2,649	4,149	1,347
Benda Uji 3	2,792	4,792	1,396

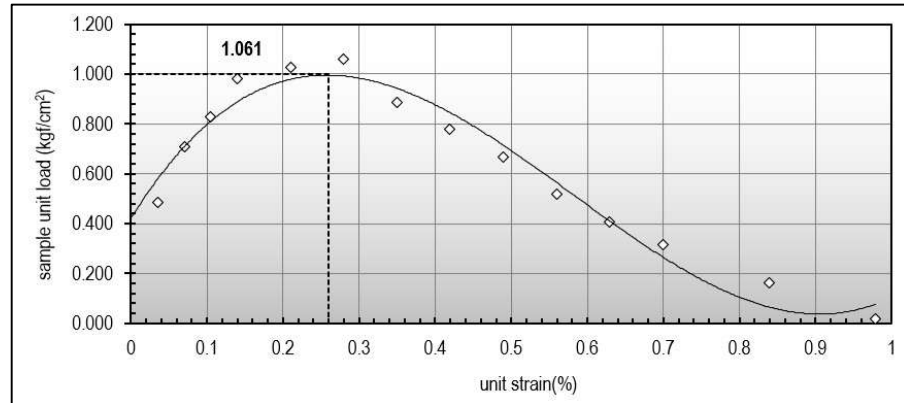


Gambar 4. 150 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU

Rata-rata nilai kohesi (c) 3 sampel pengujian triaxial UU adalah **1,090kgf/cm²** , dengan **$\phi = 5,3$** .

H. Pengujian UCS (*Unconfined Compressive Strength*)

Agar dapat menentukan nilai kuat tekan bebas (q_u) data di atas harus diplot pada grafik parabola dengan perhitungan sebagai berikut.



Gambar 4.151 Grafik Nilai q_u UCS

Dengan nilai $q_u = 1,061 \text{ kgf/cm}^2$, selanjutnya nilai q_u dapat dikonversi dengan nilai kuat geser tanah tidak terdrainase (S_u) dengan rumus berikut :

$$\begin{aligned}\text{Kuat geser tanah } (S_u) &= \frac{q_u}{2} \\ &= \frac{1,061}{2} \\ &= 0,530 \text{ kgf/cm}^2\end{aligned}$$

4.8.4 Variasi campuran 8,5%

Dengan variasi campuran 8,5% dan masa pemeraman 28 hari maka kebutuhan larutan sementasi sebanyak 89,25 ml, berikut adalah pengujian fisik dan mekanik setelah perlakuannya.

A. Pengujian Kadar Air

Dari pengujian kadar air dalam masa pemeraman 28 hari didapat hasil kadar air tanah asli dengan 3 benda uji sebesar **14,72%**.

B. Pengujian Berat Jenis Tanah Halus

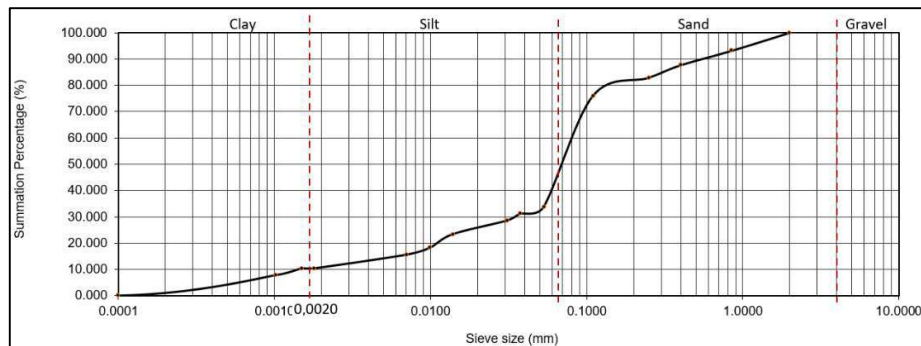
Tabel 4.61 klasifikasi berat jenis tanah halus

Macam Tanah	Berat Jenis Gs
Kerikil	2,65 - 2,68
Pasir	2,65 - 2,68
Lanau Tak Organik	2,62 - 2,68
Lempung Organik	2,58 - 2,65
Lempung Tak Organik	2,68 - 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 - 1,80

Dari nilai berat jenis tanah **2,660** dapat di simpulkan jenis tanah termasuk dalam tanah **Lanau Tak Organik**.

C. Pengujian Analisa Butiran (Hidrometer)

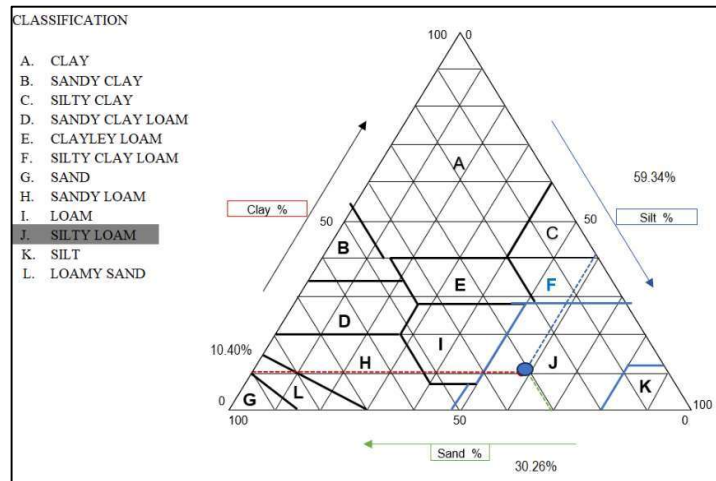
Lalu pada hasil pengujian analisa Hidrometer didapat grafik analisa hidrometer dan saringan sebagai berikut :



Gambar 4. 152 Grafik uji ukuran butiran

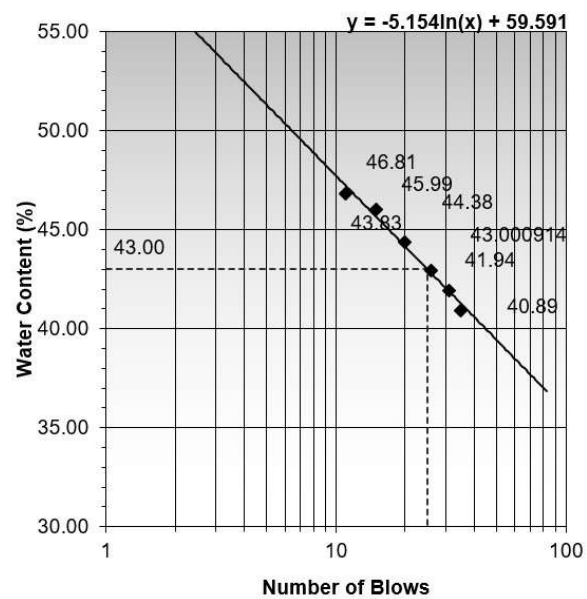
- Lempung (Clay) = 10,40%
- Lanau (Silt) = Persen Lolos Saringan No. 200 – Persen Lempung
= 94,14% - 10,40%
= 59,34%
- Pasir (Sand) = Persen Tertahan Saringan No. 200
= 30,26%

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



Gambar 4. 153 Klasifikasi tanah dengan USDA

D. Pengujian Batas Cair Tanah



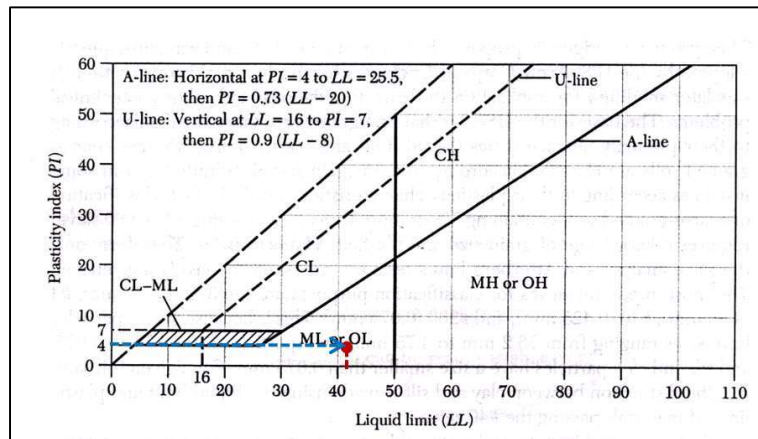
Gambar 4. 154 Hasil pengujian batas cair tanah

Didapat nilai batas cair tanah = **43,00%**.

E. Pengujian Batas Plastis Tanah

Didapat nilai batas plastis tanah = **40,82%**. Selanjutnya dalam penentuan nilai PI (*Plasticity Index*) diperlukan data hasil pengujian Batas Cair dan Batas Plastis untuk membantu pembacaan grafik antara PI dan LL, dengan nilai PI sebagai berikut.

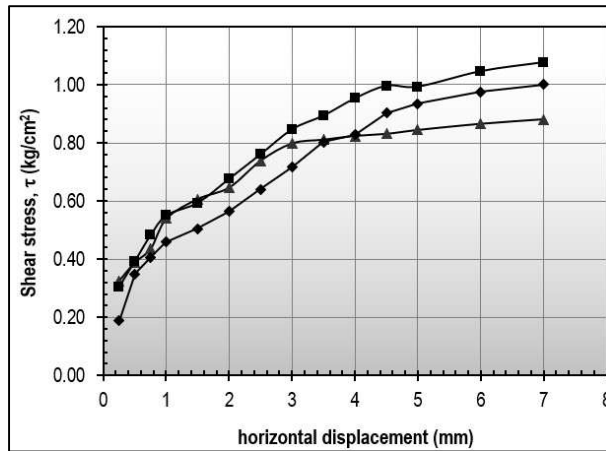
$$\begin{aligned} PI &= LL - PL \\ &= 43,00\% - 40,82\% \\ &= 2,18\% \end{aligned}$$



Gambar 4. 155 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL

Dilihat dari data di atas maka $LL > 50$ dan nilai PI 4 - 7 maka klasifikasi dengan simbol ganda yaitu **ML or OL** atau **Lanau tak organik / Lanau Elastis**

F. Pengujian *Direct Shear*

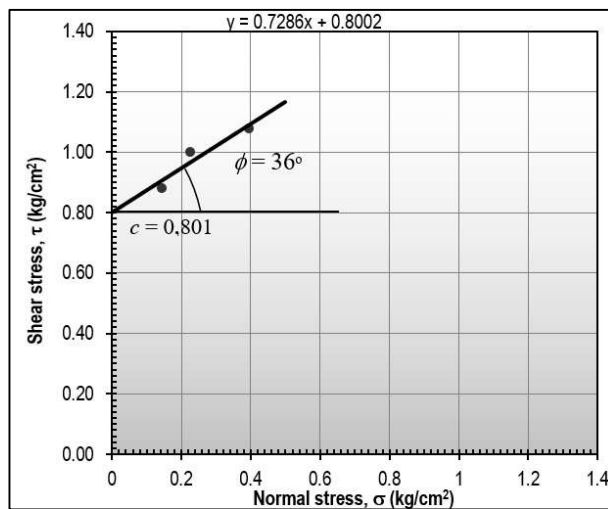


Gambar 4. 156 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal

Tabel 4. 62 Hasil Pengujian *Direct Shear*

Hasil Pengujian	Tegangan Normal (kgf/cm ²)	Tegangan Geser (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	0,14	0,881
Benda Uji 2	0,26	1,001
Benda Uji 3	0,39	1,077

Hasil tersebut kemudian diplot dalam bentuk grafik berikut.

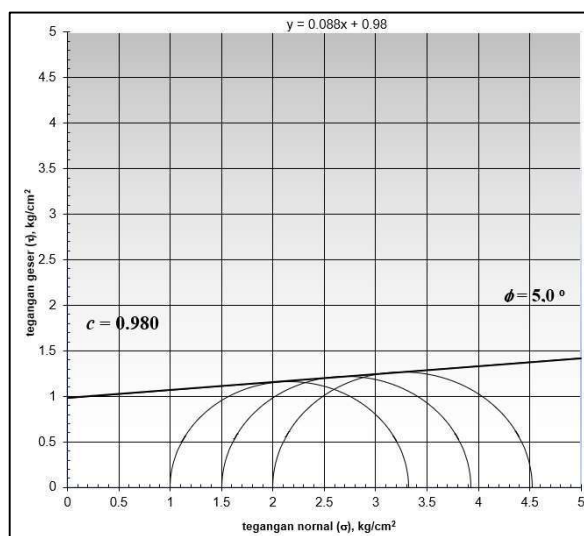


Gambar 4. 157 Garafik Kohesi dan Sudut Dalam

G. Pengujian Triaxial

Tabel 4. 63 Hasil Pengujian Triaxial

Hasil Pengujian	Teg. Deviator maks. (kgf/cm ²)	Teg. Vertikal maks. (kgf/cm ²)	Kohesi <i>Undrained</i> (kgf/cm ²)
Benda Uji 1	2,318	3,318	1,158
Benda Uji 2	2,430	3,930	1,215
Benda Uji 3	2,527	4,527	1,264

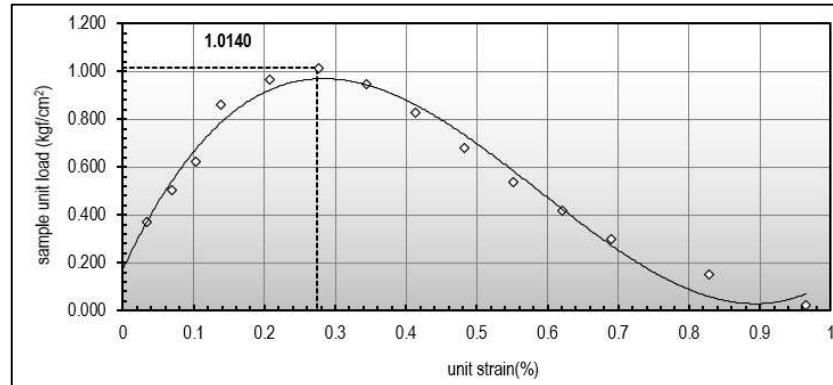


Gambar 4. 158 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU

Rata-rata nilai kohesi (c) 3 sampel pengujian triaxial UU adalah $0,980 \text{ kgf/cm}^2$, dengan $\phi = 5,0$.

H. Pengujian UCS (*Unconfined Compressive Strength*)

Agar dapat menentukan nilai kuat tekan bebas (q_u) data di atas harus diplot pada grafik parabola dengan perhitungan sebagai berikut.

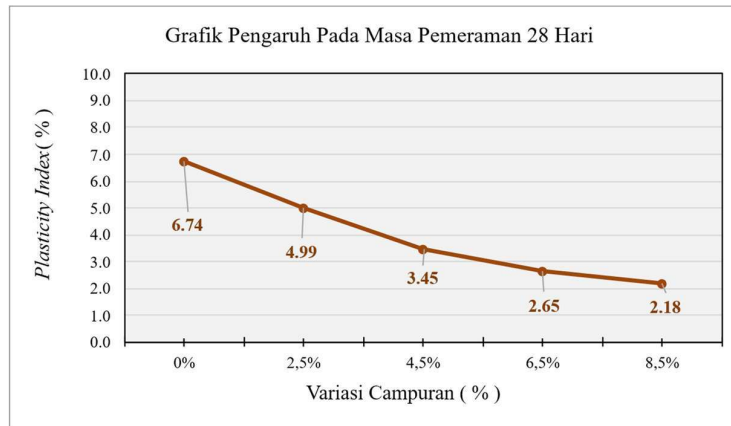


Gambar 4. 159 Grafik Nilai q_u UCS

Dengan nilai $q_u = 1,014 \text{ kgf/cm}^2$, selanjutnya nilai q_u dapat dikonversi dengan nilai kuat geser tanah tidak terdrainase (S_u) dengan rumus berikut :

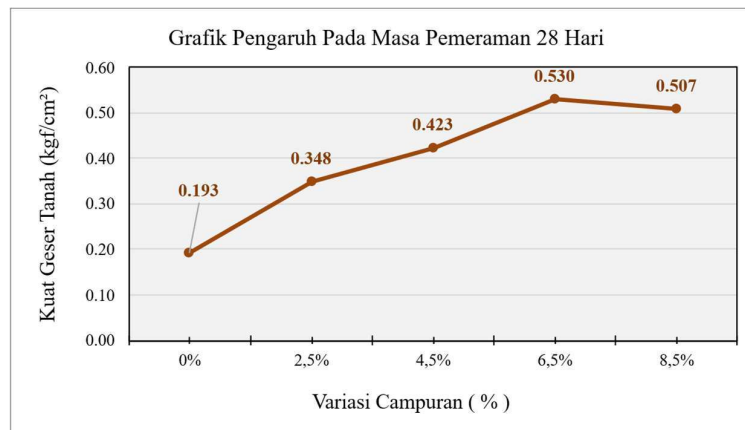
$$\begin{aligned}\text{Kuat geser tanah } (S_u) &= \frac{q_u}{2} \\ &= \frac{1,014}{2} \\ &= 0,507 \text{ kgf/cm}^2\end{aligned}$$

4.8 Grafik Pengaruh Bakteri



Gambar 4. 160 Grafik Pengaruh Terhadap Nilai PI

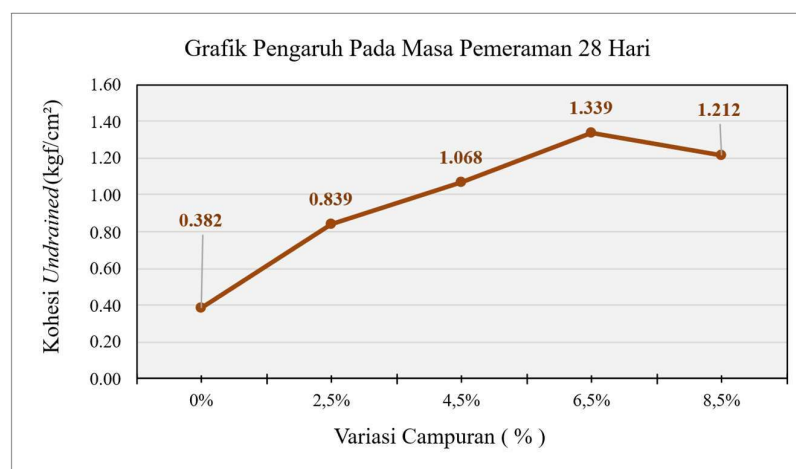
Grafik menunjukkan bahwa penambahan bakteri hingga 6,5% selama masa pemeraman 28 hari menyebabkan penurunan nilai PI secara signifikan, penurunan ini mengindikasikan bahwa proses MICP efektif mengurangi plastisitas tanah dengan mengendapkan kalsium karbonat pada partikel tanah. Namun pada variasi campuran 8,5 nilai PI meningkat hal ini menandakan bahwa campuran bakteri berlebihan dapat mengurangi stabilitas tanah, campuran optimal terletak pada campuran 6,5%.



Gambar 4. 161 Grafik Kuat Geser Tanah (UCS)

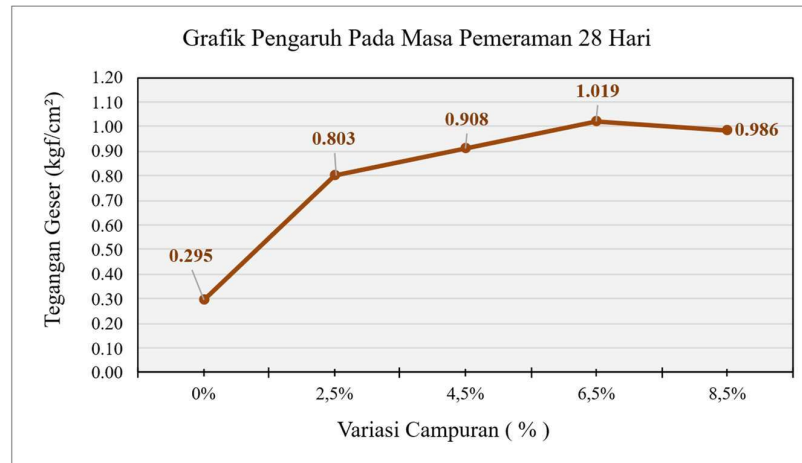
Grafik menunjukkan bahwa penambahan bakteri *Bacillus subtilis* hingga 6,5% selama masa pemeraman 28 hari secara umum meningkatkan nilai kuat geser

tanah dari 0,193 kg/cm² menjadi maksimum 0,530 kg/cm². Peningkatan ini menunjukkan bahwa proses MICP mampu memperkuat ikatan antar partikel tanah melalui pengendapan kalsium karbonat, sehingga meningkatkan daya tahan tanah terhadap geseran. Namun, pada variasi 8,5%, terjadi sedikit penurunan kuat geser pada beberapa data, mengindikasikan bahwa bakteri yang terlalu tinggi tidak selalu meningkatkan kekuatan tanah secara optimal. Oleh karena itu, variasi campuran 6,5% dapat dianggap sebagai kadar yang paling efektif untuk meningkatkan kuat geser tanah.



Gambar 4. 162 Grafik Kohesi *Undrained* (Triaxial)

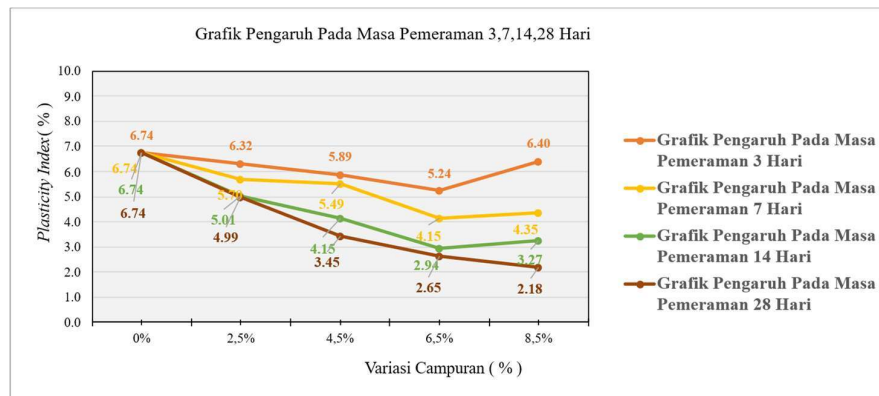
Grafik menunjukkan bahwa penambahan bakteri *Bacillus subtilis* hingga 6,5% selama masa pemeraman 28 hari menghasilkan peningkatan signifikan pada nilai kohesi undrained, dari nilai awal sebesar 0,382 kg/cm² menjadi maksimum 1,339 kg/cm². Hal ini menandakan bahwa proses MICP mampu memperkuat kohesi antar partikel tanah melalui pembentukan endapan kalsium karbonat yang berfungsi sebagai pengikat alami. Peningkatan paling tinggi terjadi pada variasi 6,5%, yang menjadi titik optimal dalam proses stabilisasi. Namun, pada variasi 8,5%, beberapa data menunjukkan penurunan nilai kohesi, yang mengindikasikan bahwa penambahan bakteri yang berlebihan dapat menurunkan efektivitas ikatan partikel tanah. Dengan demikian, kadar 6,5% dapat disimpulkan sebagai campuran bakteri yang paling efektif untuk meningkatkan kohesi tanah.



Gambar 4. 163 Grafik Tegangan Geser (*Direct shear*)

Grafik menunjukkan bahwa penambahan bakteri *Bacillus subtilis* hingga variasi 6,5% selama masa pemeraman 28 hari meningkatkan nilai tegangan geser tanah dari 0,295 kg/cm² menjadi maksimum 1,019 kg/cm². Hal ini mencerminkan bahwa proses MICP efektif dalam memperkuat struktur tanah dengan memperbesar daya tahan terhadap gaya geser. Kenaikan paling signifikan terjadi antara variasi 0% hingga 4,5%, dan mencapai puncaknya pada 6,5%. Namun, pada variasi 8,5%, terjadi sedikit penurunan nilai tegangan geser di sebagian data, menunjukkan bahwa kelebihan bakteri dapat mengurangi efisiensi pengikatan antar partikel tanah. Dengan demikian, variasi campuran bakteri sebesar 6,5% dapat dianggap sebagai kondisi optimal untuk peningkatan tegangan geser tanah.

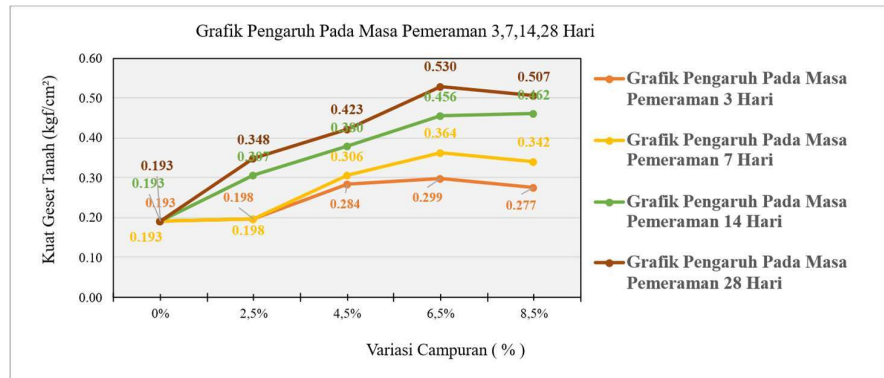
4.9 Grafik Pengaruh Bakteri



Gambar 4. 164 Grafik Pengaruh Terhadap Nilai PI

Pada masa pemeraman 3 hari, terjadi penurunan signifikan dari 6,74% menjadi 2,65% pada campuran 6,5%, kemudian sedikit meningkat menjadi 3,27% pada 8,5%. Pemeraman 7 dan 14 hari juga menunjukkan tren penurunan yang cukup stabil, dengan nilai terendah masing-masing 4,15% dan 5,24%. Sementara itu, pemeraman 28 hari awalnya mengalami penurunan hingga titik terendah di 5,24%, namun kembali naik menjadi 6,40% pada 8,5%. Fenomena ini menunjukkan bahwa setelah titik tertentu (sekitar 6,5%), penambahan campuran yang berlebihan bisa memicu peningkatan kembali plastisitas, kemungkinan akibat kejenuhan atau reaksi kimia sekunder.

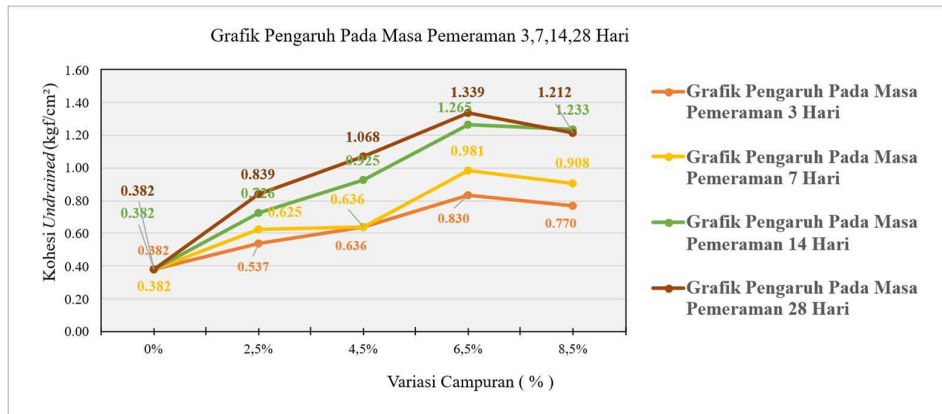
Secara keseluruhan, grafik ini menunjukkan bahwa penurunan Plasticity Index paling efektif terjadi pada variasi campuran 4,5% hingga 6,5%, dengan waktu pemeraman juga mempengaruhi efektivitas stabilisasi. Masa pemeraman yang lebih lama (14 hingga 28 hari) cenderung menunjukkan hasil yang lebih stabil atau mengalami sedikit peningkatan kembali. Hal ini perlu menjadi perhatian dalam menentukan dosis campuran dan lama pemeraman yang optimal untuk mencapai stabilitas tanah yang diinginkan.



Gambar 4. 165 Grafik Kuat Geser Tanah (UCS)

Pada pemeraman 3 hari, kuat geser meningkat dari 0,193 kg/cm² hingga mencapai puncaknya di 0,530 kg/cm² pada campuran 6,5%, sebelum sedikit menurun menjadi 0,507 kg/cm² pada 8,5%. Tren serupa juga terlihat pada masa pemeraman 28 hari, yang menunjukkan nilai tertinggi kedua sebesar 0,462 kg/cm² pada 6,5%, lalu sedikit turun di campuran 8,5%. Pemeraman 14 hari menunjukkan kenaikan stabil hingga 0,456 kg/cm², sementara pemeraman 7 hari hanya mencapai nilai maksimum 0,364 kg/cm² dan kemudian menurun. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa kuat geser tanah meningkat seiring bertambahnya campuran dan lama pemeraman, terutama hingga batas campuran 6,5%, setelah itu cenderung menurun atau stagnan.

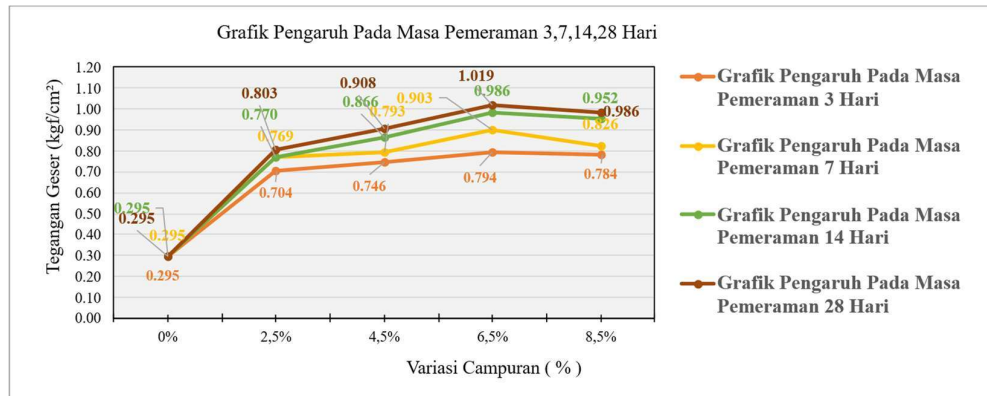
Hal ini mengindikasikan bahwa variasi campuran optimal berada pada kisaran 6,5%, di mana tanah mencapai nilai kuat geser maksimum pada hampir semua waktu pemeraman. Sementara itu, masa pemeraman yang lebih lama, terutama 28 hari, memberikan hasil kuat geser tertinggi, menunjukkan bahwa proses stabilisasi tanah memerlukan waktu agar bahan pencampur bereaksi sempurna. Dengan demikian, untuk mendapatkan tanah dengan daya dukung maksimal, dibutuhkan campuran yang tepat dan waktu pemeraman yang cukup.



Gambar 4. 166 Grafik Kohesi *Undrained* (Triaxial)

Pada masa pemeraman 3 hari, nilai kohesi meningkat dari 0,382 kg/cm² pada 4,5% menjadi puncaknya di 1,068 kg/cm² pada variasi campuran 6,5%, kemudian sedikit menurun menjadi 1,012 kg/cm² pada 8,5%. Pemeraman 7 hari menunjukkan tren serupa, dengan peningkatan hingga 0,981 kg/cm² di 6,5% lalu menurun ke 0,908 kg/cm². Pemeraman 14 hari menunjukkan peningkatan lebih tajam, dari 0,382 kg/cm² menjadi 1,266 kg/cm² di 6,5%, sebelum turun menjadi 1,212 kg/cm². Pemeraman 28 hari menghasilkan nilai tertinggi secara keseluruhan, yaitu 1,339 kg/cm² pada 6,5%, lalu sedikit menurun menjadi 1,233 kg/cm² pada campuran 8,5%.

Dari grafik ini dapat disimpulkan bahwa nilai kohesi tanah mencapai titik optimal pada variasi campuran 6,5% untuk semua masa pemeraman. Selain itu, semakin lama masa pemeraman, semakin tinggi nilai kohesi yang dihasilkan, dengan pemeraman 28 hari memberikan hasil terbaik. Penurunan nilai setelah titik 6,5% kemungkinan disebabkan oleh kejenuhan material pencampur yang menyebabkan efektivitasnya menurun. Oleh karena itu, untuk mendapatkan kohesi tanah maksimum, diperlukan kombinasi antara dosis campuran yang tepat (sekitar 6,5%) dan waktu pemeraman yang memadai.



Gambar 4. 167 Grafik Tegangan Geser (*Direct shear*)

Grafik di atas menunjukkan hubungan antara variasi campuran (%) dan tegangan geser (kg/cm^2) pada masa pemeraman 3, 7, 14, dan 28 hari. Secara umum, grafik memperlihatkan bahwa semakin lama masa pemeraman, semakin tinggi nilai tegangan geser yang dihasilkan. Hal ini terlihat dari peningkatan nilai tegangan geser pada setiap penambahan waktu pemeraman. Nilai tegangan geser tertinggi dicapai pada hari ke-28 dengan campuran 6,5%, yaitu sebesar $1,019 \text{ kg/cm}^2$. Campuran 6,5% juga tampak memberikan hasil tegangan geser tertinggi pada hampir semua masa pemeraman, sehingga dapat disimpulkan bahwa komposisi ini merupakan campuran paling optimal dalam meningkatkan kekuatan geser. Namun, setelah titik 6,5%, yaitu pada campuran 8,5%, beberapa kurva mulai menunjukkan sedikit penurunan nilai tegangan geser, yang mengindikasikan bahwa peningkatan campuran secara berlebihan dapat menurunkan kekuatan material. Dengan demikian, grafik ini menegaskan pentingnya pengendalian komposisi campuran dan masa pemeraman untuk mencapai kekuatan material yang maksimal.

4.10 Hipotesis Penelitian (*Two-Way ANOVA*)

Penelitian ini menggunakan metode ANOVA dua arah untuk menguji hipotesis karena melibatkan dua faktor independen, yakni faktor A (presentase bakteri) dan faktor B (waktu), yang akan diteliti pengaruhnya terhadap variabel terikat (kuat geser).

Tabel 4. 64 Komponen Variabel Uji *Two-Way*

Variabel Independen		Variabel Dependen	Variabel Kontrol
Faktor A	Faktor B		
Variasi presentase penambahan bakteri (2.5%, 4.5%, 6.5%, dan 8.5%)	Variasi Waktu (3, 7, 14 dan 28 hari)	Nilai kuat geser tanah	Tanah Lanau

A. Menyusun Hipotesa

- Faktor A (Presentase Bakteri) :
 1. **H₀** : Tidak ada Perbedaan kuat geser antar level presentase bakteri (2,5%, 4,5%, 6,5% dan 8,5%).
 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 antara presentase bakteri dan masa pemeraman.
 2. **H₁** : Ada interaksi antar dua faktor.

Dengan catatan :

- **H₀** diterima dan **H₁** ditolak jika **F Hitung < F Tabel**
- **H₁** diterima dan **H₀** ditolak jika **F Hitung > F Tabel**

Tabel 4. 65 Data Hasil Pengujian Triaxial UU

HASIL KOHESI <i>UNDRAINED</i> UJI TRIAXIAL <i>COMPRESSION</i>				
	3 Hari	7 Hari	14 Hari	28 Hari
2.5%	0.524	0.603	0.688	0.809
	0.524	0.621	0.744	0.848
	0.565	0.651	0.748	0.860
4.5%	0.609	0.609	0.896	1.023
	0.644	0.644	0.938	1.072
	0.654	0.654	0.942	1.111
6.5%	0.804	0.927	1.214	1.275
	0.825	0.985	1.292	1.347
	0.860	1.031	1.289	1.396
8.5%	0.731	0.864	1.189	1.159
	0.766	0.906	1.223	1.215
	0.814	0.955	1.290	1.264

ANOVA						
Source of Varia	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Sample	1.354675	3	0.451558	287.6584	3.24E-23	2.90112
Columns	1.44372	3	0.48124	306.5668	1.21E-23	2.90112
Interactor	0.118261	9	0.01314	8.370703	2.74E-06	2.188766
Within	0.050233	32	0.00157			
Total	2.966888	47				

Gambar 4. 168 Hasil *Two-Way ANOVA* Pada Kohesi *Undrained* (Triaxial UU)

Pada Uji *Triaxial Compression UU*, Dapat disimpulkan karena faktor A $287,65 > 3,24$, faktor B $306,56 > 1,21$ serta Interaksi AxB $8,37 > 2,74$, maka semua H_1 diterima dan H_0 ditolak.

ANOVA						
Source of Varia	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Sample	0.184877	3	0.061626	8.413591	0.000289	2.90112
Columns	0.21087	3	0.07029	9.596522	0.000114	2.90112
Interactor	0.027916	9	0.003102	0.423479	0.912669	2.188766
Within	0.234385	32	0.007325			
Total	0.658049	47				

Gambar 4. 169 Hasil *Two-Way ANOVA* Pada Tegangan Geser (*Direct Shear*)

Lalu uji *Direct Shear*, dapat di seimpulkan karne faktor A $8,41 > 2,90$, faktor B $9,59 > 2,90$ serta AxB $0,42 > 2,18$, maka semua H_1 diterima dan H_0 ditolak.

ANOVA						
<i>Source of Varia</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Rows	0.054522	3	0.018174	33.54909	3.25E-05	3.862548
Columns	0.09025	3	0.030083	55.53389	3.96E-06	3.862548
Error	0.004875	9	0.000542			
Total	0.149648	15				

Gambar 4. 170 Hasil *Two-Way ANOVA* Pada Kuat Geser tanah (UCS)

Terakhir, pada Uji *Unconfined Comprresive Strength*, Dapat disimpulkan karena faktor A $33,54 > 3,25$, faktor B $55,53 > 3,96$ dan tanpa replikasi, maka semua H_1 diterima dan H_0 ditolak.

Pada 4 parameter hasil pengujian tersebut dapat terlihat ada perubahan pada hasil pengujian dimana hal ini terjadi akibat reaksi bakteri pada benda uji yaitu berupa perubahan ukuran butiran (penggumpalan) dan pengikatan antarpartikel tanah yang membuat benda uji lebih kuat terhadap gaya geser dan kuat tekan.