

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Penyajian Data

Data yang disajikan telah disusun secara jelas dan sistematis, untuk selanjutnya dilakukan analisis data serta pemaparan hasil. Analisis data ini dilakukan untuk mengetahui hasil dari pengujian-pengujian terhadap tanah lempung. Pengujian yang dilakukan terdiri dari uji kadar air, analisis saringan, batas-batas atterberg, berat jenis, pemadatan dan uji kuat geser langsung. Data-data yang disajikan disusun dalam bentuk yang mudah dipahami yaitu berupa tabel grafik ataupun kurva. Adapun data yang diperoleh pada penelitian dan pengujian ini merupakan data primer.

#### 4.1.1. Pengujian Kadar Air

Kadar air adalah perbandingan antar berat air dan berat butiran padat dari volume tanah. Pengujian kadar air ini adalah untuk mengetahui nilai dari kadar air asli di lapangan yang merupakan tanah terganggu (*disturbed soil*). Sampel tanah yang diambil merupakan tanah lempung dari Kampung Reklamasi di Desa Air Jangkang Kecamatan Merawang, Kabupaten Bangka. Berikut adalah tabel nilai kadar air tanah lempung asli.

Tabel 4. 1. Kadar air tanah lempung asli

Nomor cawan	1	2	3	4
Berat cawan + tanah basah (W1) gr	82,8	83,8	83,1	83,2
Berat cawan + tanah kering (W2) gr	68,6	68,9	68,8	68,5
Berat Air (W1-W2) gr	14,2	14,9	14,3	14,7
Berat Cawan (W3) gr	21,1	21,2	21,1	21,2
Berat tanah kering (W2-W3) gr	47,5	47,7	47,7	47,3
Kadar air (w) = $(W1-W2)/(W2-W3) \times 100\%$	29,895	31,237	29,979	31,078
Kadar Air Rata-rata (%)	30,547			

Sumber : Data diolah, 2020

Hasil pengujian kadar air tanah lempung asli dilapangan diperoleh sebesar 30,547%. Dimana nilai tersebut didapatkan dari pengujian laboratorium yang selanjutnya akan didapatkan berupa data kemudian dihitung untuk mengetahui nilai dari kadar air tanah lempung asli. Perhitungan kadar air dapat dilihat pada Lampiran B-1.

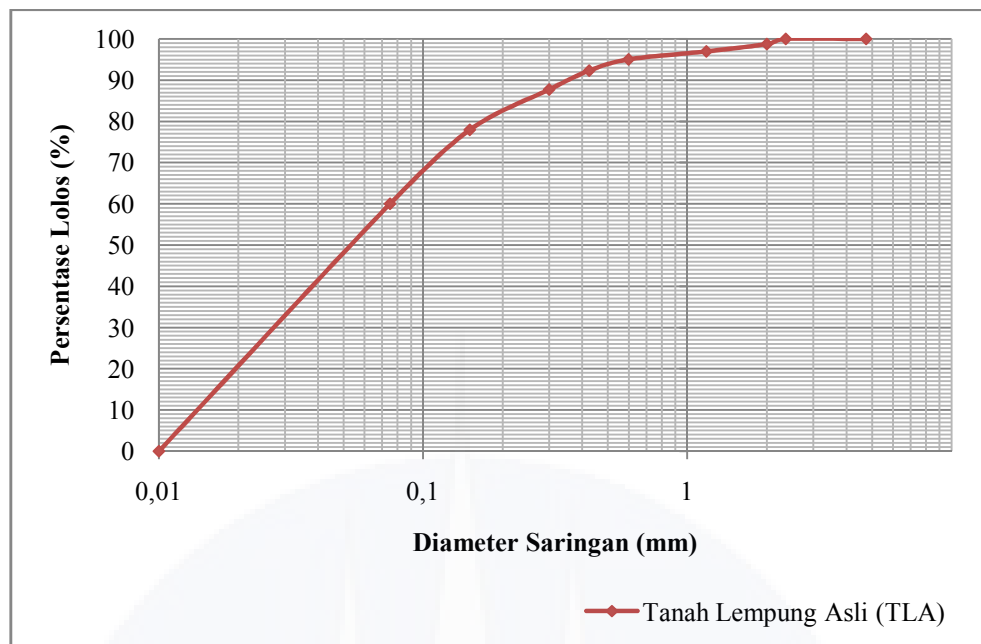
#### 4.1.2. Pengujian Gradasi Tanah (Analisis Saringan)

Pengujian analisis saringan tanah bertujuan untuk mendapatkan nilai gradasi tanah pada klasifikasi tanah menggunakan sistem USCS. Pengujian dilakukan dengan cara menggetarkan saringan menggunakan mesin pengguncang (*shieve shaker*) dimana tanah kering melalui satu set saringan sesuai dengan ukuran ayakan dimana lubang-lubang ayakan tersebut disusun dengan lubang semakin kecil secara berurutan. Tahapan-tahapan dalam pengujian analisis saringan dilakukan berdasarkan SNI 3423:2008 menggunakan ukuran saringan No.4 (4,75 mm), No.8 (2,36 mm), No.10 (2,00 mm), No. 16 (1,18 mm), No.30 (0,60 mm), No.40 (0,425 mm), No.50 (0,30 mm), No.100 (0,15 mm), No.200 (0,075 mm) dan Pan dengan berat sampel tanah kering sebanyak 500 gr. Hasil pengujian analisis saringan terdapat pada Tabel 4.2. dan Gambar 4.1.

Tabel 4. 2. Analisis saringan tanah lempung asli

Saringan	Diameter Saringan (mm)	Berat Tertahan (gram)	Jumlah Berat Tertahan (gram)	Persen (%)	
				Tertahan	Lolos
No. 4	4,75	0	0	0,000	100,000
No. 8	2,36	0	0	0,000	100,000
No. 10	2	6,3	6,3	1,267	98,733
No. 16	1,18	8,8	15,1	3,038	96,962
No. 30	0,6	9,8	24,9	5,009	94,991
No. 40	0,425	13,3	38,2	7,685	92,315
No. 50	0,3	22,9	61,1	12,291	87,709
No. 100	0,15	48,4	109,5	22,028	77,972
No. 200	0,075	89,3	198,8	39,992	60,008
PAN		298,3	497,1	100,000	0,000

Sumber : Data diolah, 2020



Sumber : Data diolah, 2020

Gambar 4. 1. Grafik persentase lolos terhadap diameter saringan

Perhitungan pengujian analisis saringan tanah lempung asli dapat dilihat pada Lampiran B-2.

#### 4.1.3. Pengujian Batas-batas Atterberg

Salah satu pengujian untuk menentukan jenis tanah yaitu dengan melakukan pengujian batas-batas atterberg (*atterberg limit*). Pengujian ini merupakan pengujian terhadap batas-batas konsistensi tanah yang mempertimbangkan kadar air pada tanah tersebut. Dimana pengujian yang dilakukan meliputi pengujian batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*) dan indeks plastisitas (*plasticity index*). Perhitungan pengujian batas-batas atterberg tanah lempung asli terdapat pada Lampiran B-3.

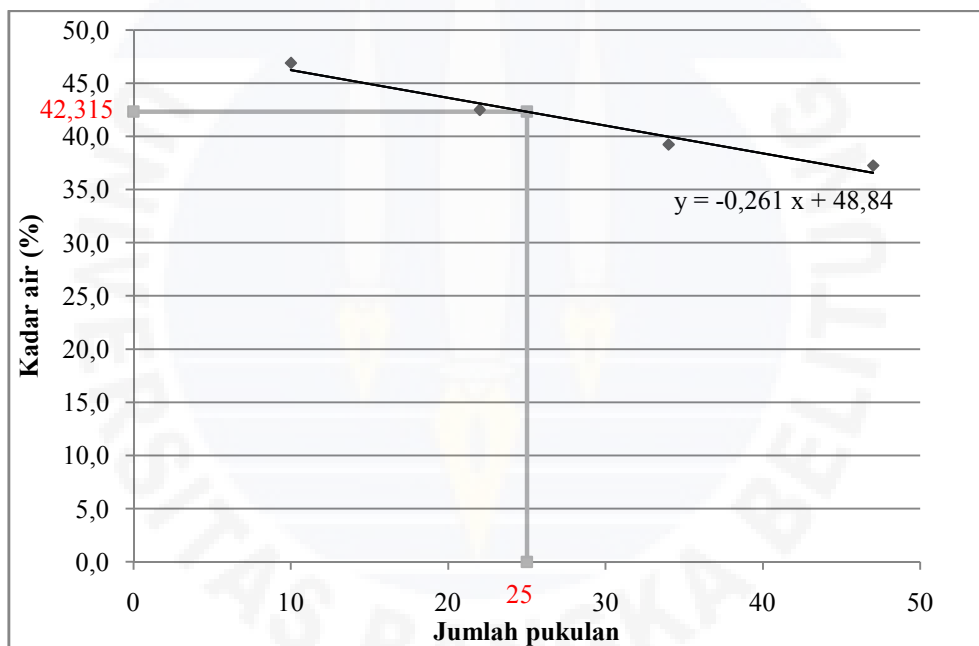
##### a. Pengujian Batas Cair (LL)

Pengujian batas cair ditentukan dari uji cassagrande, dan tahapan-tahapan pengujian mengacu pada SNI 1976-2008. Adapun data yang diperoleh dari pengujian batas cair dapat dilihat pada Tabel 4.3. dan Gambar 4.2.

Tabel 4. 3. Nilai batas cair

Banyak pukulan	10	22	34	47
Nomor cawan	1	2	3	4
Berat cawan + tanah basah (gr)	42,4	42,7	42,8	42,1
Berat cawan + tanah kering (gr)	33,3	34,2	34,6	34,5
Berat air (gr)	9,1	8,5	8,2	7,6
Berat cawan kosong (gr)	13,9	14,2	13,7	14,1
Berat tanah kering oven (gr)	19,4	20	20,9	20,4
Kadar air (%)	46,907	42,500	39,234	37,255

Sumber: Data diolah, 2020



Sumber: Data diolah, 2020

Gambar 4. 2. Grafik batas cair

Dari Tabel 4.3. dan Gambar 4.2. dapat ditentukan nilai batas cair pada pukulan ke-25 sebesar 42,315%.

#### b. Pengujian Batas Plastis (PL)

Batas plastis (PL), didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung (Hardiyatmo, 2012).

Pengujian dilakukan berdasarkan SNI 1966:2008. Berikut ini adalah tabel nilai-nilai yang terdapat pada pengujian batas plastis. Adapun nilai pada pengujian batas platis dapat dilihat pada Tabel 4.4. sebagai berikut.

Tabel 4. 4. Nilai batas plastis

Nomor cawan	1	2
Berat cawan + tanah basah (gr)	27,9	28,7
Berat cawan + tanah kering (gr)	25,1	25,2
Berat air (gr)	2,8	3,5
Berat cawan kosong (gr)	12,9	13,2
berat tanah kering(gr)	12,2	12
Kadar air (%)	22,951	29,167
Kadar air rata-rata (%)	26,059	

Sumber : Data diolah, 2020

Berdasarkan Tabel 4.4. diatas diperoleh nilai batas plastis sebesar 26,059%.

#### c. Indeks Plastisitas (PI)

Setelah dilakukan pengujian batas cair dan batas plastis didapatkan nilai-nilai seperti yang ada pada Tabel 4.3. dan 4.4. yang kemudian dapat ditentukan nilai indeks plastisitas dengan cara mengurangkan nilai batas cair dan batas plastis.

Tabel 4. 5. Nilai batas-batas atterberg

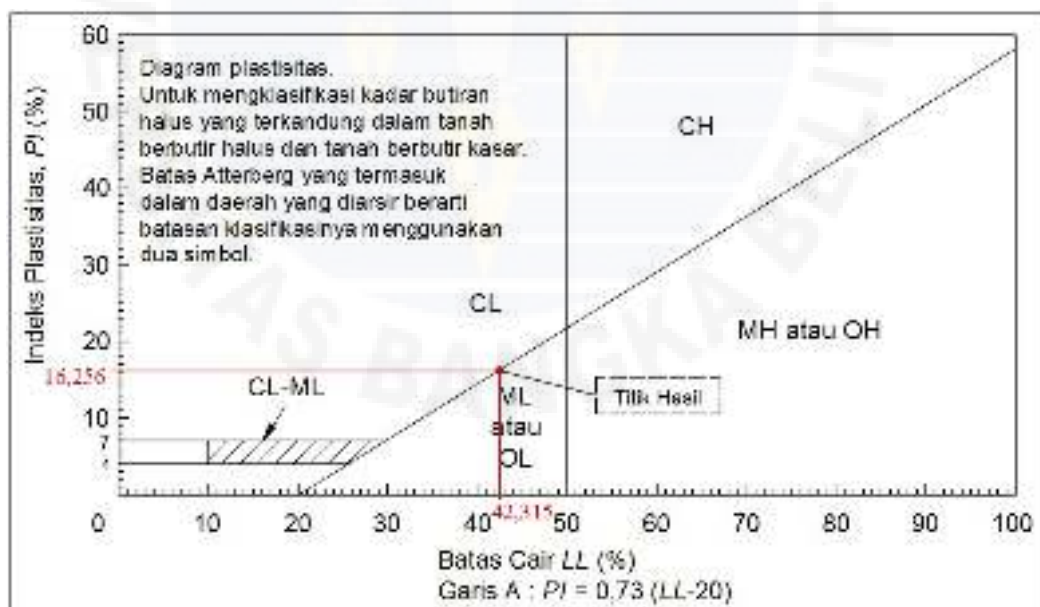
Jenis tanah	Batas cair (LL)	Batas plastis (PL)	Indeks Plastisitas (PI)
Tanah Lempung	42,315	26,059	16,256

Sumber : Data diolah, 2020

Berdasarkan Tabel 4.5. didapatkan nilai indeks plastisitas sebesar 16,256%. Dari hasil pengujian batas-batas atterberg diperoleh nilai-nilai yang akan digunakan pada diagram plastisitas untuk mengetahui klasifikasi jenis tanah berdasarkan metode USCS.

#### 4.1.4. Klasifikasi Tanah Metode USCS

Pengujian analisis saringan dan batas-batas atterberg yang telah dilakukan, kemudian selanjutnya mengklasifikasikan tanah dengan menggunakan metode USCS guna menentukan jenis tanah. Berdasarkan pengujian analisis saringan diperoleh persen lolos saringan No.200 yaitu 60,008% lebih besar dari 50%. Dalam metode klasifikasi USCS menyatakan bahwa tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan No.200. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tanah lempung yang digunakan masuk kedalam tanah berbutir halus. Pada pengujian batas-batas atterberg didapatkan nilai batas cair sebesar 42,315% dan nilai indeks plastisitas sebesar 16,256%. Dari nilai batas cair dan indeks plastisitas selanjutnya diplot pada grafik sistem klasifikasi USCS pada Tabel 2.2 sehingga dapat ditetapkan jenis tanah kelompok OL yaitu lempung organik dengan plastisitas rendah. Disimpulkan bahwa tanah pada daerah Kampung Reklamasi, Desa Air Jangkang Kecamatan Merawang Kabupaten Bangka masuk kedalam jenis tanah lempung. Adapun data yang diperoleh dari hasil plot pada grafik sistem klasifikasi tanah dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Sumber : Data diolah, 2020

Gambar 4. 3. Grafik sistem klasifikasi USCS

#### 4.1.5. Pengujian Berat Jenis

Berat jenis adalah perbandingan berat dari satuan volume dari suatu material terhadap air dengan volume yang sama pada temperatur yang ditentukan (SNI 1970:2008). Berat jenis tanah berhubungan dengan fase udara, air dan butiran dalam tanah. Oleh karena itu, pengujian terhadap berat jenis tanah diperlukan untuk perhitungan-perhitungan parameter indeks tanah. Pengujian berat jenis dilakukan terhadap sampel tanah lempung asli dengan data sebagai berikut.

Tabel 4. 6. Berat jenis tanah lempung

Benda Uji	1	2
Berat piknometer + tanah (W2) gr	113,4	113,4
Berat Piknometer (W1) gr	63,4	63,4
Berat tanah $W_t = W_2 - W_1$ gr	50	50
Berat piknometer + Air + tanah (W3) gr	194,4	193,5
Berat piknometer + air (W4) gr	162,8	162,6
Temperatur °C	28	28
Faktor Koreksi	0,998	0,998
$W_5 = W_t + W_4$ gr	212,8	212,6
Isi Tanah ( $W_5 - W_3$ ) gr	18,4	19,1
Berat Jenis (Gs)	2,717	2,618
Berat jenis rata-rata	2,668	

Sumber: Data diolah, 2020

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis pada tanah lempung didapat nilai sebesar 2,668. Dari hasil tersebut, kemudian nilai berat jenis digunakan pada pengujian pemadatan yaitu menghitung nilai ZAV (*Zero Air Void*). Untuk perhitungan berat jenis tanah dapat dilihat pada Lampiran B-4.

#### 4.1.6. Pengujian Pemadatan

Pengujian pemadatan bertujuan untuk menaikkan nilai kerapatan tanah dengan menggunakan energi mekanis untuk menghasilkan kemampatan partikel serta untuk menentukan nilai kadar air optimum (*Optimum Moisture Content*) dan

nilai kepadatan kering maksimum (*Maximum Dry Density*). Pada pengujian pemadatan ini dilakukan dengan cara pemadatan *modified* dimana tanah dipadatkan dengan 5 lapisan yang setiap lapisan diberi pukulan sebanyak 56 kali. Penelitian ini dilakukan pengujian pemadatan pada tanah lempung asli. Adapun perhitungan pada pengujian pemadatan tanah lempung asli sebagai berikut.

Sampel 1

Berat sampel	= 6000 gr
Kadar air awal	= 4,146 %
Penambahan air	= 14 %
	$= \frac{14 \times 6000}{100} = 840 \text{ ml}$
Massa cetakan	= 6872 gr
Massa tanah basah + cetakan	= 13123 gr
Massa tanah basah	= 13123 – 6872 = 6251 gr
Isi cetakan (V)	
Diameter cetakan	= 15,22 cm
Tinggi cetakan	= 17,79 cm
Volume cetakan	$= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t$
	$= \frac{1}{4} \times \pi \times (15,22)^2 \times 17,79$
	= 3236,642cm <sup>3</sup>
Kepadatan basah ( $\rho_w$ )	$= \frac{\text{Massa tanah basah}}{\text{isi cetakan}}$
	$= \frac{6251}{3236,642}$
	= 1,931 gr/cm <sup>3</sup>
Kadar air	= 16,698%
Kepadatan kering ( $\rho_d$ )	$= \frac{\text{Kepadatan basah}}{(100+w)\%} \times 100\%$



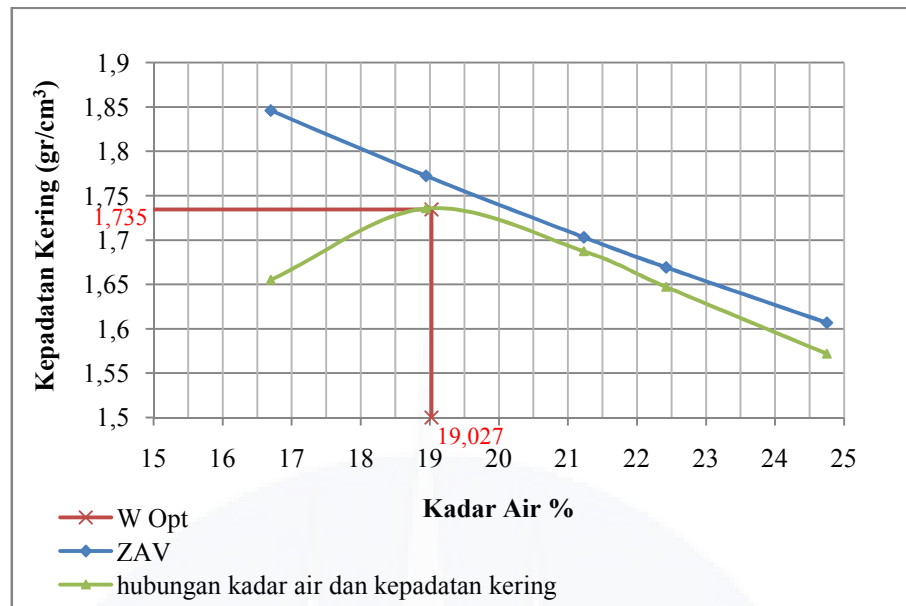
$$\begin{aligned}
 &= \frac{1,931}{(100+16,698)\%} \times 100\% \\
 &= 1,655 \text{ gr/cm}^3 \\
 \text{Berat jenis (Gs)} &= 2,668 \\
 \text{ZAV} &= \frac{\text{Berat jenis}}{(100+(\text{Berat jenis} \times \text{Kadar air}))\%} \times 100\% \\
 &= \frac{2,668}{(100+(2,668 \times 16,698))\%} \times 100\% \\
 &= 1,846 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

Untuk sampel 2, 3, 4 dan 5 perhitungan terdapat pada Lampiran B-5. Adapun hasil pengujian pemadatan tanah lempung asli dapat dilihat pada tabel dan gambar dibawah ini:

Tabel 4. 7. Hasil perhitungan pengujian pemadatan tanah lempung

Persiapan contoh uji :	1	2	3	4	5
Massa tanah basah (gr)	6000	6000	6000	6000	6000
Kadar air awal (%)	4,146	4,146	4,146	4,146	4,146
Penambah air (%)	14	16	18	20	22
Penambahan air (ml)	840	960	1080	1200	1320
Kepadatan tanah :					
Massa tanah basah + cetakan (gr)	13123	13195	13491	13367	13347
Massa cetakan (gr)	6872	6515	6877	6872	7022
Massa tanah basah (gr)	6251	6680	6614	6495	6325
Isi cetakan (cm <sup>3</sup> )	3236,642	3236,025	3233,586	3220,884	3225,123
Kepadatan basah (gr/cm <sup>3</sup> )	1,931	2,064	2,045	2,017	1,961
Kepadatan kering (gr/cm <sup>3</sup> )	1,655	1,735	1,687	1,647	1,572
Kadar air (%)	16,698	18,948	21,232	22,424	24,753
ZAV	1,846	1,772	1,703	1,669	1,607
Gs	2,668	2,668	2,668	2,668	2,668

Sumber: Data diolah, 2020



Sumber: Data diolah, 2020

Gambar 4. 4. Grafik pemadatan tanah lempung asli

Dari hasil grafik pada Gambar 4.4, diperoleh kurva pada keadaan 100% derajat kejenuhan (ZAV). Kurva tersebut dihasilkan dari hubungan antara nilai kadar air dan nilai ZAV. Kemudian membuat kurva hubungan nilai kadar air dan kepadatan kering untuk memperoleh nilai kadar air optimum (OMC) dan kepadatan kering maksimum (MDD), dimana kurva tersebut harus terletak dibawah dan tidak memotong dari kurva ZAV/garis kejenuhan. Pada pengujian ini diperoleh nilai kadar air optimum dan kepadatan kering maksimum seperti tabel dibawah ini.

Tabel 4. 8. Hasil pengujian pemadatan tanah asli

Jenis Tanah	Kadar Air Optimum (%)	Kepadatan Kering Maksimum (gr/cm <sup>3</sup> )
Tanah Lempung	19,027	1,735

Sumber : Data diolah, 2020

#### 4.1.7. Pengujian Kuat Geser (*Direct Shear*)

Kuat geser adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Hasil dari pengujian kuat geser yaitu nilai kohesi

dan sudut geser, yang selanjutnya dijadikan parameter untuk menghitung nilai kuat geser tanah. Berikut hasil dari perhitungan kuat geser dari tanah lempung asli dan tanah yang dicampur dengan abu cangkang sawit dan limbah gipsum serta dilakukannya pemeraman.

Sampel A (0 hari)

Luas Sampel	= 28,274 cm <sup>2</sup>
Kalibrasi	= 0,56 Kgf/Div
Pembacaan Dial	= 10
Berat Sampel	= 100,9 gr
Beban Tetap	= 5000 gr
Beban Tambahan	= 514,1 gr
Total Beban	= 5000 + 514,1 = 5514,1 gr

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Tegangan Normal } (\sigma) &= \frac{\text{Total beban}}{\text{Luas sampel}} \\
 &= \frac{5514,1}{28,274} \\
 &= 0,19502 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 19,502 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2. \text{ Tegangan Geser } (\tau) &= \frac{\text{Kalibrasi} \times \text{Pembacaan dial}}{\text{Luas sampel}} \\
 &= \frac{0,56 \times 10}{28,274} \\
 &= 0,19806 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 19,806 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Pada sampel B dan C, langkah-langkah perhitungan yang digunakan sama seperti sampel A. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.9. sebagai berikut.

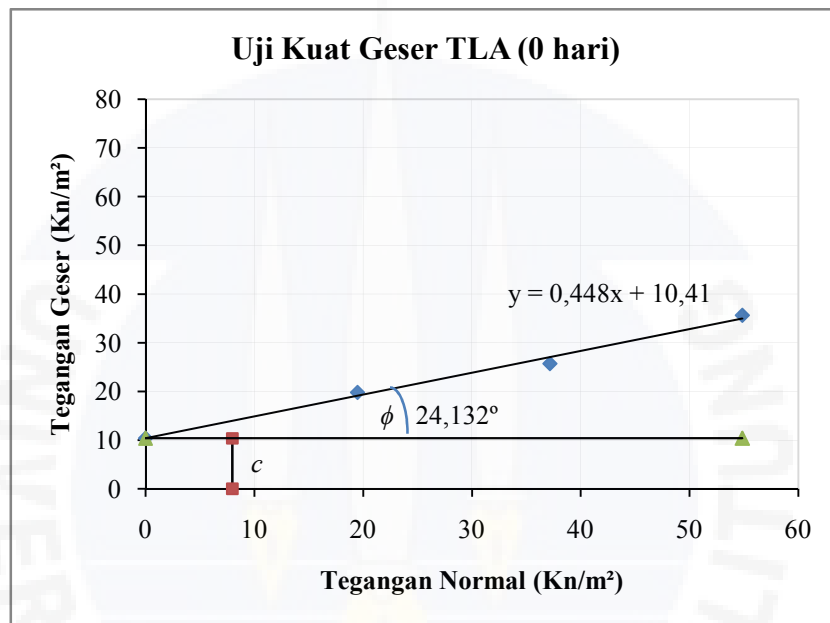
Tabel 4. 9. Hasil perhitungan tegangan normal dan tegangan geser

Kode Sampel	Tegangan Normal ( $\sigma$ ) kN/m <sup>2</sup>	Tegangan Geser ( $\tau$ ) kN/m <sup>2</sup>
A	19,502	19,806

Kode Sampel	Tegangan Normal ( $\sigma$ ) kN/m <sup>2</sup>	Tegangan Geser ( $\tau$ ) kN/m <sup>2</sup>
B	37,186	25,748
C	54,870	35,651

Sumber : Data diolah, 2020

Untuk mendapatkan nilai kohesi dan sudut geser dihubungkan antara tegangan normal dan tegangan geser seperti pada Gambar 4.5.



Sumber : Data diolah, 2020

Gambar 4. 5. Hubungan antara tegangan normal ( $\sigma$ ) dan tegangan geser ( $\tau$ )  
Kuat geser dihitung dari perolehan nilai kohesi ( $c$ ) 10,41 kN/m<sup>2</sup> dan sudut geser ( $\phi$ ) 24,132° serta tegangan normal rata-rata yaitu 37,186 kN/m<sup>2</sup>.

$$\begin{aligned}
 3. \text{ Kuat Geser (s)} &= c + \sigma \times \tan \phi \\
 &= 10,41 + (37,186 \times \tan 24,132) \\
 &= 27,069 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

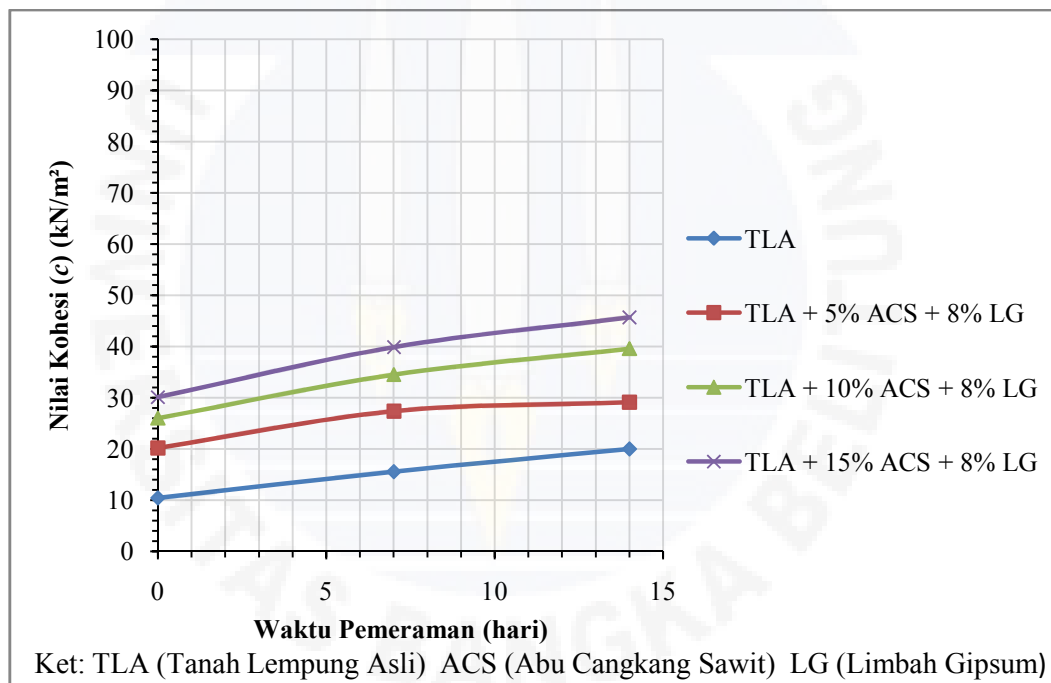
Perhitungan pada setiap variasi campuran dan variasi waktu pemeraman dilakukan dengan rumus yang sama dapat dilihat pada Lampiran C. Berikut tabel dan gambar yang menunjukkan hubungan nilai kohesi dengan waktu pemeraman yang diperoleh dari pengujian kuat geser tanah lempung asli dan tanah lempung ditambah dengan campuran abu cangkang sawit dan limbah gipsum.

Tabel 4. 10. Nilai kohesi ( $c$ ) ( $\text{kN/m}^2$ )

Variasi	Tanpa Pemeraman	Waktu Pemeraman	
	0 hari	7 hari	14 hari
TLA	10,41	15,56	19,98
TLA + 5% ACS + 8% LG	20,18	27,34	29,12
TLA + 10% ACS + 8% LG	26,02	34,50	39,58
TLA + 15% ACS + 8% LG	30,13	39,86	45,67

Keterangan :  
TLA (Tanah Lempung Asli) ACS (Abu Cangkang Sawit) LG (Limbah Gypsum)

Sumber : Data diolah, 2020



Sumber : Data diolah, 2020

Gambar 4. 6. Grafik kenaikan nilai kohesi ( $c$ )

Dilihat dari Tabel 4.10. dan Gambar 4.6. diatas, dari hasil pengujian didapatkan nilai kohesi ( $c$ ) pada tanah asli mengalami kenaikan pada tiap waktu pemeraman dari 0 hari, 7 hari, dan 14 hari. Kenaikan nilai kohesi terjadi karena pada waktu pemeraman adanya perubahan kadar air, sehingga sampel mengalami pangikatan antara butiran tanah dan bahan campuran. Nilai kohesi maksimum

terjadi pada kadar campuran abu cangkang sawit 15% dan limbah gipsum 8%. Pada waktu pemeraman 0 hari diperoleh nilai kohesi sebesar  $30,13 \text{ kN/m}^2$ , dibandingkan dengan tanah asli yang diperam 0 hari yaitu  $10,41 \text{ kN/m}^2$  terjadi kenaikan sebesar 189,433%. Kemudian dilakukan waktu pemeraman 7 hari diperoleh nilai kohesi yaitu  $39,86 \text{ kN/m}^2$ , sedangkan tanah asli yang diperam selama 7 hari  $15,56 \text{ kN/m}^2$ , terjadi kenaikan sebesar 156,170%. Kenaikan nilai kohesi juga terjadi pada waktu pemeraman selama 14 hari yaitu  $45,67 \text{ kN/m}^2$ , dibandingkan dengan tanah asli yang diperam 14 hari dengan nilai kohesi  $19,98 \text{ kN/m}^2$ , terjadi kenaikan sebesar 128,579%. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi kenaikan nilai kohesi dari waktu peram 0 hari hingga waktu peram 14 hari walaupun terjadi penurunan persentase yang tidak terlalu signifikan. Kenaikan nilai kohesi dikarenakan kandungan kalsium dan silika pada abu cangkang sawit dan limbah gipsum mengisi rongga-rongga pada tanah serta mengikat butiran tanah yang dapat meningkatkan stabilitas tanah.

Baik dan buruknya suatu konsistensi tanah, dapat kita lihat dengan menghubungkan korelasi antara nilai kohesi tanah dengan nilai N-SPT pada tanah. Setelah memperoleh nilai kohesi selanjutnya diplot pada Tabel 2.6 untuk mengetahui konsistensi tanah. Dari hasil pengujian didapat nilai kohesi pada tanah asli yaitu  $10,41 - 19,98 \text{ kN/m}^2$ , dikorelasikan dengan nilai N-SPT yaitu 4 – 10, artinya tanah asli memiliki konsistensi lunak. Sedangkan nilai kohesi tertinggi terjadi pada tanah yang dicampur dengan abu cangkang sawit 15% dan limbah gipsum 8% sebesar  $45,67 \text{ kN/m}^2$ , dikorelasikan dengan nilai N-SPT yaitu 10 – 30, artinya tanah campuran memiliki konsistensi tanah sedang. Bisa disimpulkan bahwa terjadi peningkatan kekerasan tanah dari tanah asli ke tanah yang dicampur dengan abu cangkang sawit dan limbah gipsum.

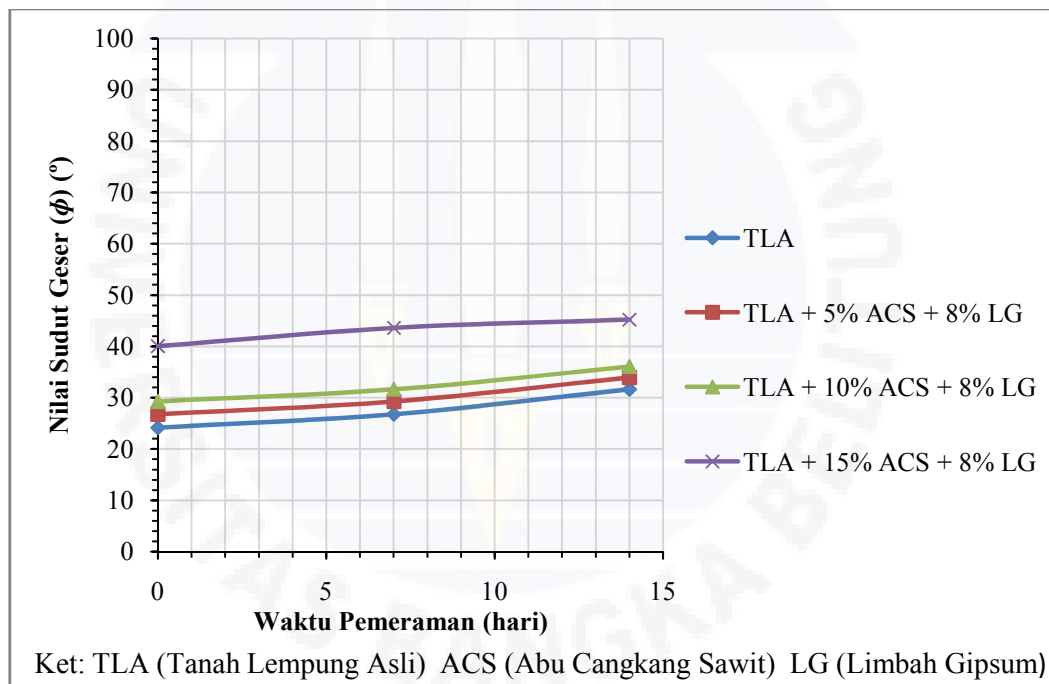
Berikut tabel yang menunjukkan nilai dari sudut geser ( $\phi$ ) yang didapatkan dari pengujian kuat geser tanah lempung asli dan tanah lempung ditambah abu cangkang sawit dan limbah gipsum.

Tabel 4. 11. Nilai sudut geser ( $\phi$ ) ( $^{\circ}$ )

Variasi	Tanpa Pemeraman	Waktu Pemeraman	
	0 hari	7 hari	14 hari
TLA	24,132	26,748	31,633
TLA + 5% ACS + 8% LG	26,747	29,248	33,901
TLA + 10% ACS + 8% LG	29,248	31,633	36,054
TLA + 15% ACS + 8% LG	40,030	43,591	45,228

Keterangan :  
TLA (Tanah Lempung Asli) ACS (Abu Cangkang Sawit) LG (Limbah Gypsum)

Sumber : Data diolah, 2020



Sumber : Data diolah, 2020

Gambar 4. 7. Grafik nilai sudut geser ( $\phi$ )

Dari Tabel 4.11. dan Gambar 4.7. diatas, dapat dilihat nilai sudut geser tanah asli tanpa pemeraman diperoleh nilai yaitu 24,132 $^{\circ}$  dan pada pemeraman 14 hari diperoleh nilai sebesar 31,633 $^{\circ}$ . Kemudian dilakukan penambahan abu cangkang sawit dan limbah gipsum terjadi peningkatan nilai sudut geser, nilai sudut geser maksimum terjadi pada tanah yang dicampur dengan abu cangkang

sawit 15% dan limbah gipsum 8%. Pada waktu pemeraman 0 hari diperoleh nilai sudut geser sebesar  $40,030^\circ$ , dibandingkan dengan tanah asli yang diperam 0 hari yaitu  $24,132^\circ$  dengan persentase peningkatan sebesar 65,879%. Kemudian dilakukan waktu pemeraman 7 hari dengan perolehan sudut geser yaitu  $43,591^\circ$ , sedangkan tanah asli yang diperam selama 7 hari  $26,748^\circ$ , terjadi peningkatan persentase sebesar 62,969%. Kenaikan nilai sudut geser juga terjadi pada waktu pemeraman selama 14 hari yaitu  $45,228^\circ$ , dibandingkan dengan tanah asli yang diperam 14 hari dengan nilai sudut geser  $31,633^\circ$ , dengan persentase peningkatan 42,977%. Peningkatan nilai sudut geser dipengaruhi oleh nilai tegangan geser dan nilai kohesi, semakin besar kenaikan nilai tegangan geser dan kohesi maka nilai sudut geser semakin meningkat. Dapat disimpulkan bahwa seiring dengan ditambahkan persentase campuran abu cangkang sawit dan limbah gipsum mampu meningkatkan nilai sudut geser tanah lempung. Gesekan antar butiran tanah yang mempengaruhi nilai sudut geser. Silika dan kalsium yang terkandung dalam abu cangkang sawit dan limbah gipsum mampu menyerap air sehingga butiran tanah saling mengikat dan menyebabkan tanah menjadi lebih padat serta gesekan antar butiran menjadi lebih baik. Penambahan abu cangkang sawit dan limbah gipsum membuat gradasi tanah campuran menjadi gumpalan-gumpalan lebih besar sehingga kualitas gesek tanah meningkat.

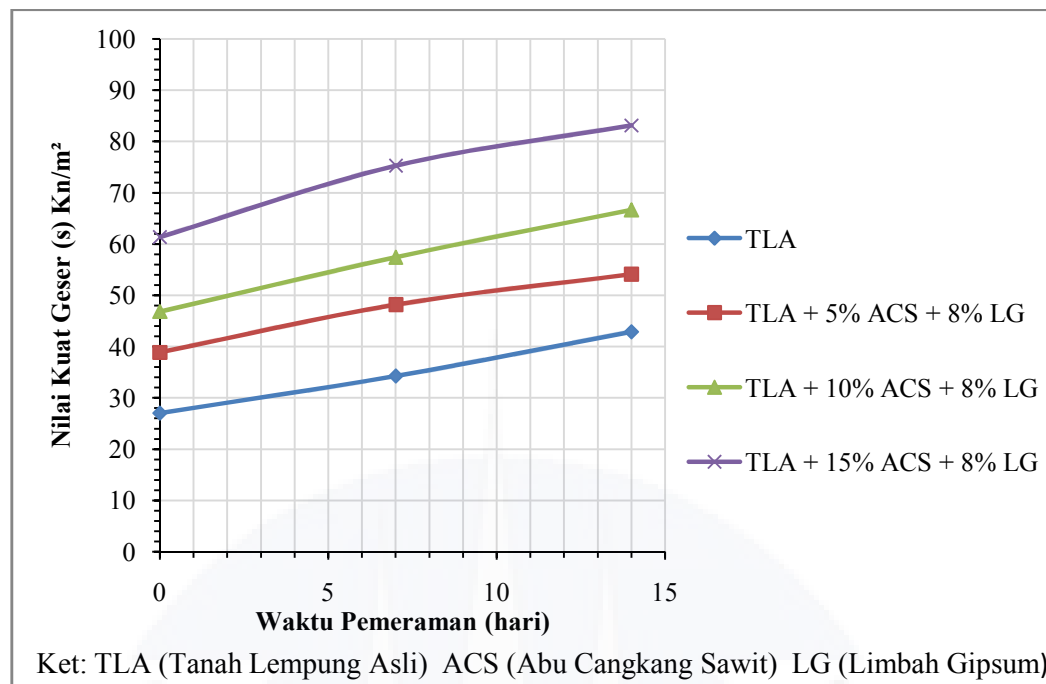
Dari pengujian kuat geser tersebut menghasilkan nilai kohesi dan sudut geser yang digunakan dalam menentukan nilai kuat geser tanah. Nilai kuat geser dapat dilihat pada tabel dan gambar dibawah ini.

Tabel 4. 12. Nilai kuat geser ( $s$ ) ( $\text{kN/m}^2$ )

Variasi	Tanpa Pemeraman	Waktu Pemeraman	
	0 hari	7 hari	14 hari
TLA	27,069	34,302	42,886
TLA + 5% ACS + 8% LG	38,921	48,163	54,109
TLA + 10% ACS + 8% LG	46,843	57,406	66,651
TLA + 15% ACS + 8% LG	61,366	75,261	83,153
Keterangan :			
TLA (Tanah Lempung Asli) ACS (Abu Cangkang Sawit) LG (Limbah Gipsum)			

Sumber : Data diolah, 2020





Sumber : Data diolah, 2020

Gambar 4. 8. Grafik nilai kuat geser (s)

Dilihat dari Tabel 4.12. dan Gambar 4.8, hasil dari pengujian didapat nilai kuat geser maksimum terjadi pada sampel tanah campuran abu cangkang sawit 15% dan limbah gipsum 8%. Pada waktu pemeraman selama 0 hari diperoleh nilai kuat geser sebesar  $61,366 \text{ kN/m}^2$ , dibandingkan dengan tanah asli yang diperam 0 hari yaitu  $27,069 \text{ kN/m}^2$  terjadi peningkatan persentase yaitu 126,702%. Kemudian dilakukan waktu pemeraman 7 hari diperoleh nilai sebesar  $75,261 \text{ kN/m}^2$ , sedangkan tanah asli yang diperam selama 7 hari  $34,302 \text{ kN/m}^2$  dengan peningkatan persentase 119,407%. Kenaikan nilai kuat geser juga terjadi pada waktu pemeraman selama 14 hari yaitu  $83,153 \text{ kN/m}^2$ , dibandingkan dengan tanah asli yang diperam 14 hari dengan nilai kuat geser  $42,886 \text{ kN/m}^2$ , terjadi peningkatan persentase yaitu 93,893%. Disimpulkan bahwa dengan penambahan abu cangkang sawit dan limbah gipsum serta dilakukan variasi waktu pemeraman 0 hari, 7 hari, dan 14 hari mampu meningkatkan nilai kuat geser tanah lempung. Hal ini disebabkan oleh abu cangkang sawit dan limbah gipsum yang bereaksi dengan tanah lempung hingga terjadi pengikatan antar butir tanah. Selain itu, abu cangkang sawit dan limbah gipsum juga menyerap lebih banyak air sehingga

membuat campuran bahan tersebut terhadap tanah akan menjadi semakin kuat, sehingga dapat meningkatkan nilai kohesi tanah yang menjadikan tiap-tiap partikel tanah terikat dengan kuat dan berpengaruh pada peningkatan nilai kuat geser tanah lempung.

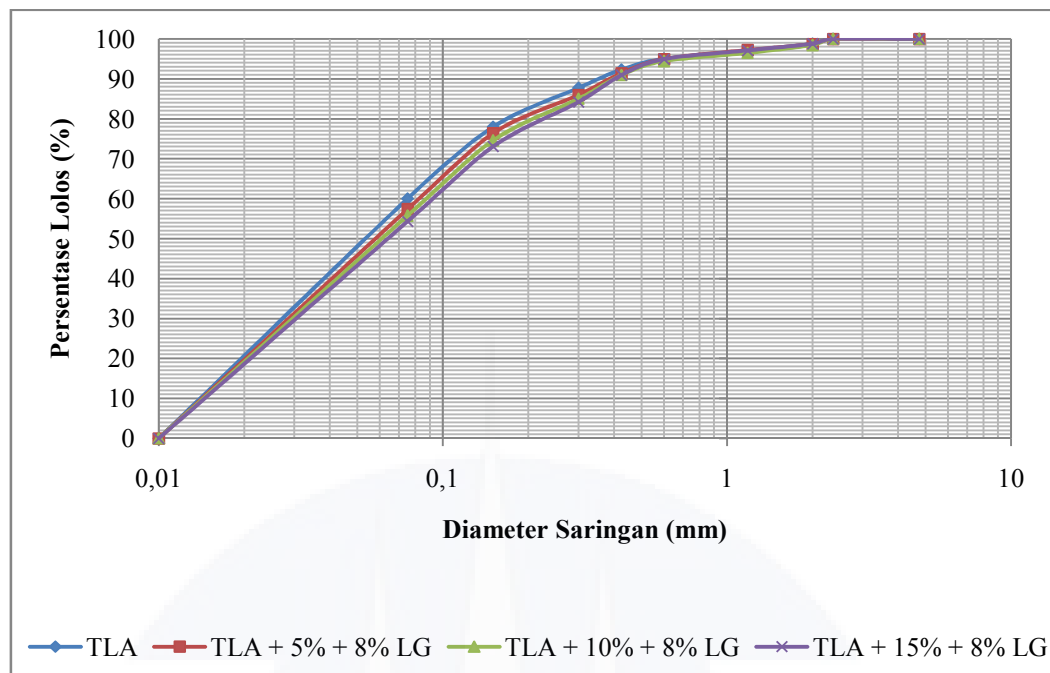
#### 4.1.8. Hasil Pengujian Analisis Saringan

Pengujian analisis saringan yang dilakukan pada tanah lempung yang ditambah dengan campuran abu cangkang sawit 0%, 5%,10%, 15% dan limbah gipsum dengan kadar 8%. Perhitungan yang dilakukan sama dengan uji analisis saringan tanah asli yang dapat dilihat pada Lampiran D. Dari pengujian ini diperoleh nilai persentase lolos pada tiap saringan. Hasil dari pengujian analisis saringan pada tanah lempung ditambah abu cangkang sawit dan limbah gipsum dapat dilihat pada tabel dan gambar dibawah ini.

Tabel 4. 13. Hasil pengujian analisis saringan campuran

Saringan	Diameter Saringan (mm)	Persentase Lolos (%)			
		TLA	TLA+ 5%ACS + 8%LG	TLA + 10%ACS + 8%LG	TLA + 15%ACS + 8%LG
No. 4	4,75	100,000	100,000	100,000	100,000
No. 8	2,36	100,000	100,000	100,000	100,000
No. 10	2	98,733	98,699	98,427	98,740
No. 16	1,18	96,962	97,148	96,478	97,087
No. 30	0,6	94,991	94,939	94,409	94,926
No. 40	0,425	92,315	91,392	90,939	90,884
No. 50	0,3	87,709	85,974	85,023	84,190
No. 100	0,15	77,972	76,314	74,543	73,011
No. 200	0,075	60,008	57,316	55,719	54,304
PAN		0,000	0,000	0,000	0,000

Sumber : Data diolah, 2020



Sumber : Data diolah, 2020

Gambar 4. 9. Grafik persentase lolos terhadap diameter saringan pada campuran

Dari hasil Tabel 4.13. dan Gambar 4.9. diatas dapat dilihat untuk hasil persentase lolos saringan no.4 (4,75 mm), no.8 (2,36 mm), no.10 (2 mm), no.16 (1,18 mm), dan no.30 (0,6 mm) memiliki nilai persentase lolos yang tidak jauh berbeda dengan tanah lempung asli tanpa bahan tambah yang telah diuji sebelumnya. Pada saringan no.40 (0,425 mm), no.50 (0,3), no.100 (0,15 mm) dan no.200 (0,075 mm) persentase lolos saringan secara umum semakin menurun disetiap komposisi kadar campuran abu cangkang sawit dan limbah gipsum dibandingkan persentase lolos saringan tanah lempung asli, hal ini menandakan bahwa campuran tanah lempung dengan bahan tambah abu cangkang sawit dan limbah gipsum butirannya semakin kasar dan campuran tersebut masih lolos saringan no.200 (0,075 mm) lebih dari 50% serta tidak merubah klasifikasi tanah.

#### 4.1.9. Hasil Pengujian Batas-batas Atterberg

Hasil pengujian batas-batas atterberg untuk masing-masing jenis sampel yang terdiri dari tanah lempung dengan campuran abu cangkang sawit 5%, 10%, 15% dan limbah gipsum dengan kadar 8%. Perhitungan yang dilakukan sama

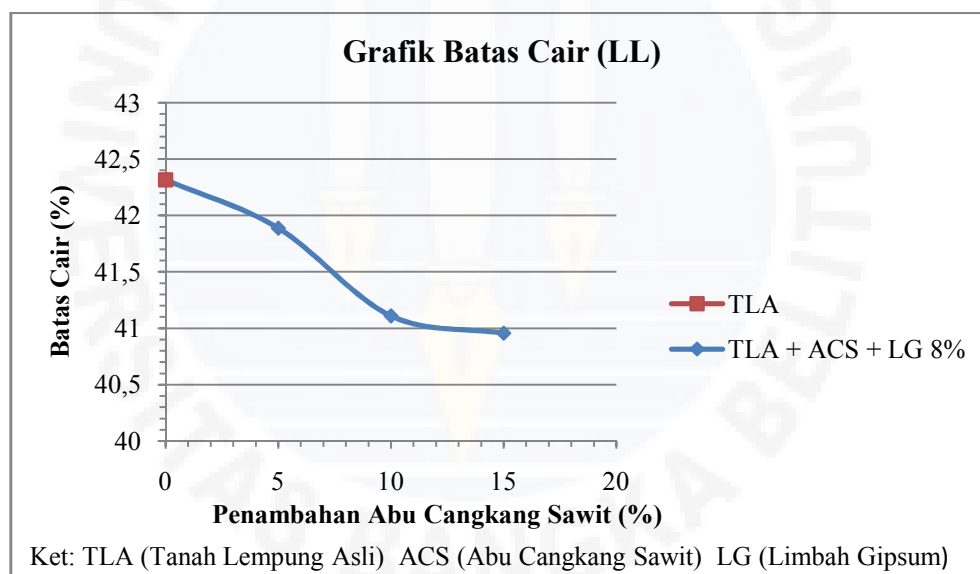
dengan uji batas-batas atterberg tanah asli yang dapat dilihat pada Lampiran E. Dari pengujian ini diperoleh nilai batas cair (LL), batas plastis (PL) dan indeks plastisitas (PI). Adapun hasil dari pengujian batas-batas atterberg campuran dapat dilihat pada tabel dan gambar dibawah ini.

Tabel 4. 14. Hasil pengujian batas-batas atterberg campuran

Variasi Sampel	LL (%)	PL (%)	PI (%)
TLA	42,315	26,059	16,256
TLA + 5%ACS + 8%LG	41,885	26,429	15,456
TLA + 10%ACS + 8%LG	41,110	27,586	13,524
TLA + 15%ACS + 8%LG	40,955	29,482	11,473

Sumber : Data diolah, 2020

a. Batas Cair (*Liquid Limit*)



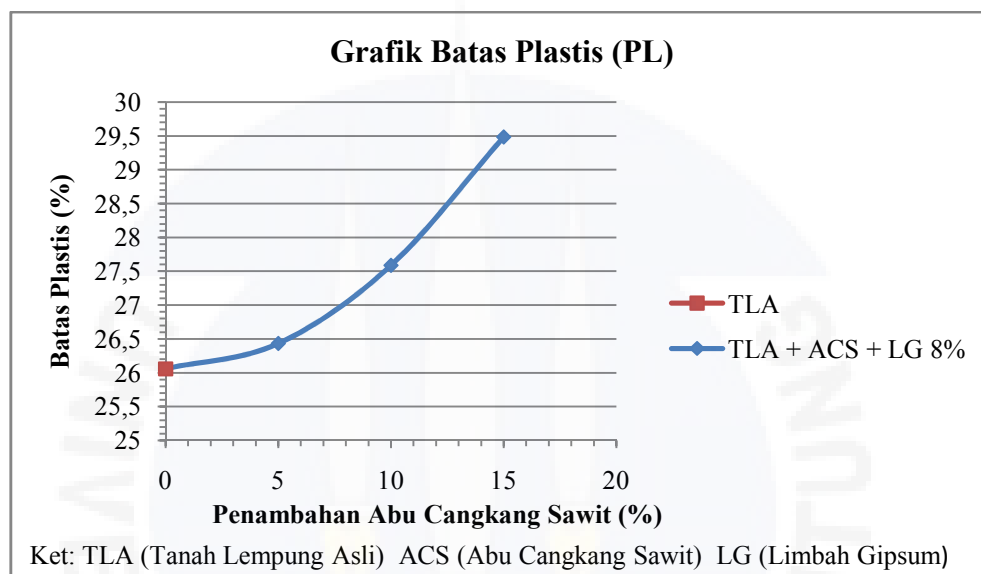
Sumber : Data diolah, 2020

Gambar 4. 10. Grafik hubungan antara nilai batas cair (LL) dengan variasi campuran abu cangkang sawit dan limbah gipsum

Hasil yang diperoleh pada pengujian batas cair terhadap tanah asli yaitu sebesar 42,315% dan nilai batas cair terendah dengan penambahan bahan stabilisasi berupa abu cangkang sawit dan limbah gipsum yaitu pada variasi campuran 15% ACS + 8% LG dengan nilai sebesar 40,955%.

Pada Gambar 4.10. tersebut, ditunjukkan bahwa batas cair akibat penambahan bahan stabilisasi abu cangkang sawit dan limbah gipsum mengalami penurunan. Semakin besar persentase penambahan abu cangkang sawit dan limbah gipsum, maka semakin kecil batas cairnya. Hal tersebut disebabkan rongga tanah yang berisi air sebelum pencampuran bahan stabilisasi di isi dengan butiran abu cangkang sawit dan limbah gipsum.

b. Batas Plastis (*Plastic Limit*)



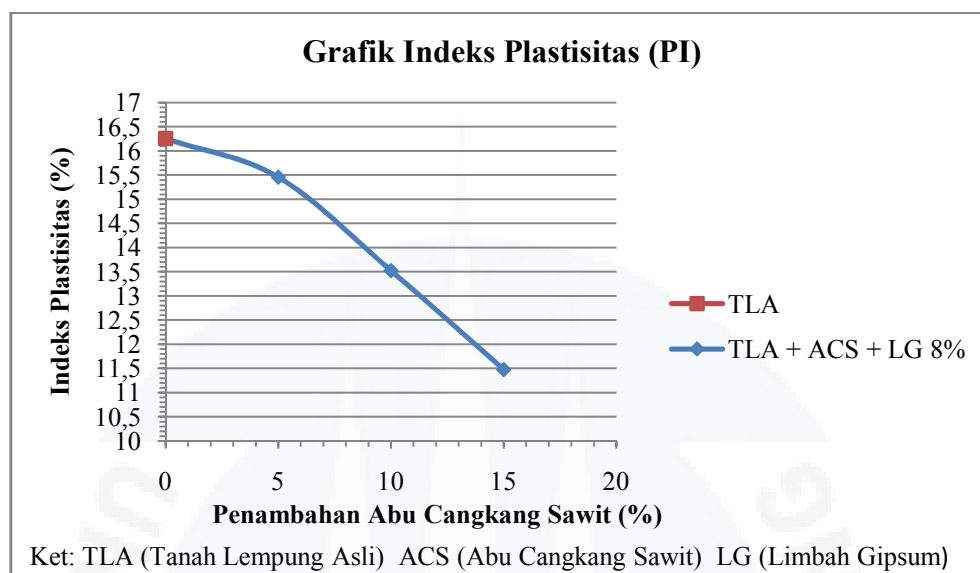
Sumber : Data diolah, 2020

Gambar 4. 11. Grafik hubungan antara nilai batas plastis (PL) dengan variasi campuran abu cangkang sawit dan limbah gipsum

Gambar 4.11. menunjukkan terjadinya peningkatan nilai batas plastis akibat penambahan abu cangkang sawit dan limbah gipsum. Untuk tanah asli batas plastis diperoleh sebesar 26,059% dan terjadi peningkatan nilai batas plastis tertinggi berada pada variasi 15% ACS + 8% LG sebesar 29,482%. Maka, semakin banyak persentase penambahan bahan stabilisasi berupa abu cangkang sawit dan limbah gipsum maka semakin tinggi nilai batas plastisnya. Hal ini disebabkan campuran abu cangkang sawit dan limbah gipsum dapat membuat kadar air yang dibutuhkan tanah tersebut menjadi lebih banyak untuk merubah tanah dari keadaan semi padat menjadi keadaan plastis.

c. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Nilai indeks plastisitas didapat dari pengujian batas cair dan batas plastis. Adapun nilai indeks plastisitas dapat dilihat pada gambar grafik hubungan antara nilai indeks plastisitas dengan variasi campuran dibawah ini.



Sumber : Data diolah, 2020

Gambar 4. 12. Grafik hubungan antara nilai indeks plastisitas (PI) dengan variasi campuran abu cangkang sawit dan limbah gipsum

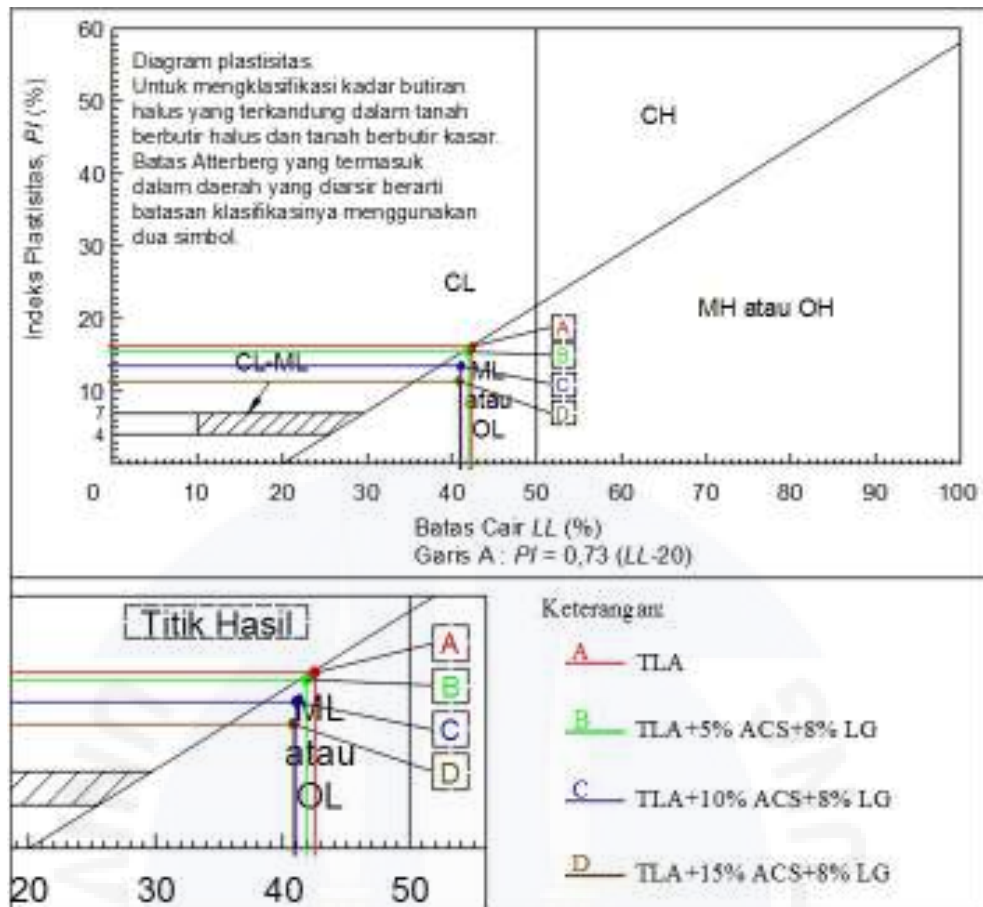
Gambar 4.12. menunjukkan terjadinya penurunan nilai indeks plastisitas akibat penambahan abu cangkang sawit dan limbah gipsum pada tanah asli. Selain itu penambahan bahan campuran dapat menaikkan nilai batas plastis tanah diikuti dengan penurunan nilai batas cairnya. Penurunan nilai indeks plastisitas tersebut dapat mengurangi potensi pengembangan dan penyusutan dari tanah. Proses ini memperkuat ikatan antara partikel-partikel tanah, sehingga terbentuk butiran yang lebih keras dan stabil. Terisinya pori-pori tanah memperkecil terjadinya rembesan pada campuran tanah-limbah gipsum tersebut dan mengurangi potensi kembang susut.

Ditambah dengan bahan stabilisasi berupa abu cangkang sawit. Silika dari bahan tersebut bercampur dengan air membentuk pasta yang mengikat partikel lempung dan menutupi pori-pori tanah. Rongga-rongga pori yang dikelilingi bahan sementasi yang lebih sulit ditembus air akan membuat campuran tanah-abu cangkang sawit lebih tahan terhadap penyerapan air sehingga menurunkan sifat

plastisitasnya. Dapat dilihat penurunan indeks plastisitas dari tanah asli yang awalnya sebesar 16,256% mengalami penurunan seiring bertambahnya pencampuran abu cangkang sawit hingga nilai indeks plastisitas terendah pada variasi campuran 15% ACS + 8% LG yaitu sebesar 11,473%.

#### **4.1.10. Klasifikasi Tanah Campuran**

Pengujian analisis saringan dan batas-batas atterberg tanah yang dicampur dengan bahan stabilisasi berupa abu cangkang sawit dan limbah gipsum telah dilakukan, kemudian selanjutnya mengklasifikasikan tanah dengan menggunakan metode USCS guna menentukan jenis tanah. Berdasarkan pengujian analisis saringan tanah campuran bahan abu cangkang sawit dan limbah gipsum, nilai lolos saringan no.200 menurun berturut-turut seiring ditambahkan variasi campuran bahan dan tidak merubah klasifikasi tanah. Penurunan nilai persentase lolos saringan disebabkan karena partikel abu cangkang sawit dan limbah gipsum yang melekat pada butiran tanah semakin banyak sehingga mengakibatkan terjadi penggumpalan serta butirannya semakin kasar. Pada pengujian batas-batas atterberg tanah yang ditambah dengan bahan stabilisasi abu cangkang sawit dan limbah gipsum terjadi penurunan nilai batas cair dan indeks plastisitas serta sebaliknya terjadi peningkatan nilai batas plastis. Setelah mendapatkan nilai batas cair dan indeks plastisitas selanjutnya diplot pada grafik sistem klasifikasi USCS seperti Gambar 4.13. berikut.



Sumber : Data diolah, 2020

Gambar 4. 13. Grafik sistem klasifikasi USCS pada tanah campuran

Berdasarkan hasil grafik pada Gambar 4.13, Letak titik hasil menunjukkan bahwa tanah asli yang di variasi dengan campuran abu cangkang sawit dan limbah gipsum tidak mengalami perubahan klasifikasi jenis tanah sehingga jenis tanah tetap termasuk kelompok OL yaitu lempung organik dengan plastisitas rendah.