

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Penyajian Data Pengujian Laboratorium

Data yang dihasilkan diperoleh dari hasil pengujian di laboratoium yang telah disusun secara jelas dan sistematis yang kemudian dilakukan analisis hasil. Data-data pengujian yang didapatkan merupakan data dari pengujian kadar air, analisis saringan, batas-batas *Atterberg* (batas cair, batas plastis dan indeks plastisitas tanah), berat jenis, pemadatan tanah dan selanjutnya dilakukan pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) yang dimuat dalam bentuk tabel, grafik dan kurva.

#### 4.1.1 Pengujian Kadar Air

Pengujian kadar air ini dilakukan untuk mengetahui nilai kadar air tanah lempung di lapangan yang merupakan tanah kondisi terganggu (*disturbed*). Sampel tanah yang dipakai merupakan tanah lempung dari Desa Deniang, Kabupaten Bangka, Kepulauan Bangka Belitung Nilai kadar air tanah lempung asli dapat dilihat dalam tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Hasil Pengujian kadar air tanah lempung asli

Keterangan	Satuan	Kode Sampel		
		1	2	3
Berat cawan kering (W1)	gram	9,7	10,4	9,9
Berat cawan kering + tanah basah (W2)	gram	35,7	39	36,3
Berat cawan kosong + tanah kering W3	gram	29,2	32,2	30,2
Berat air (W2-W3)	gram	6,5	6,8	6,1
Berat butiran (W3-W1)	gram	19,5	21,8	20,3
Kadar air	%	33,333	31,193	30,049
Kadar air rata-rata	%	31,525		

*Sumber: Pengolahan data, 2023*

Dari hasil pengujian diperoleh nilai kadar air tanah lempung asli dilapangan sebesar 31,525%, detail perhitungan dapat dilihat pada lampiran B.1.

#### 4.1.2 Pengujian Analisis Saringan

Pengujian analisis saringan tanah dalam penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai gradasi tanah yang digunakan untuk klasifikasi tanah menggunakan sistem *Unified Soil Classification System (USCS)*. Pengujian ini dilakukan dengan cara menggetarkan contoh tanah kering melalui satu set saringan sesuai dengan ukuran ayakan yang telah disusun dengan ukuran lubang ayakan yang semakin kecil secara berurutan. Metode pengujian analisis saringan dilakukan berdasarkan SNI 3423 : 2008 dengan ukuran saringan yang digunakan yaitu: 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 500,5 gram. Dalam pengujian terdapat persentase tanah yang hilang sebesar 0,160 % dari total sampel tanah yang digunakan pada pengujian analisis saringan tanah lempung asli. Adapun hasil dari pengujian analisis saringan terdapat pada tabel 4.2 berikut ini :

Tabel 4.2 Hasil pengujian analisis saringan

Saringan	Diameter Saringan (mm)	Berat Tertahan (gram)	Jumlah Berat Tertahan (gram)	Persen (%)	
				Tertahan	Lolos
No.4	4,8	0,0	0,0	0,0	100,0
No.8	2,4	0,0	0,0	0,0	100,0
No.10	2,0	6,2	6,2	1,3	98,7
No.16	1,2	12,7	18,9	3,8	96,2
No.30	0,6	17,8	36,7	7,4	92,6
No.40	0,4	32,9	69,6	14,0	86,0
No.50	0,3	24,6	94,2	19,0	81,0
No.100	0,2	46,8	141,0	28,4	71,6
No.200	0,1	58,4	199,4	40,2	59,8
Pan		296,3	495,7	100,0	0,0
Berat Total			495,7		

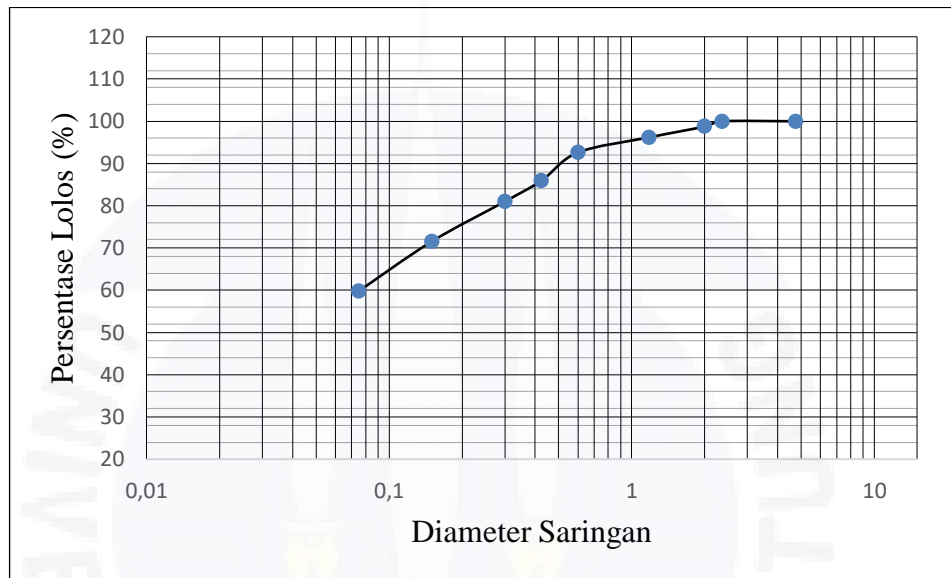
Sumber : Pengolahan data, 2023

Tanah yang hilang selama pengujian analisis saringan = 0,86 % < 2 %

Berdasarkan tabel 4.2 dapat diketahui jumlah berat tertahan yaitu 495,7 gram, dimana terdapat selisih antara berat awal pengujian dengan berat tertahan setelah pengujian. Hal ini berarti ada sejumlah tanah yang hilang saat

pengujian yang disebabkan oleh faktor ketidaktelitian peneliti dalam menuang atau mengangkat benda uji, serta kurang teliti dalam menimbang benda uji. Berdasarkan SNI 3423:2008 disyaratkan bahwa persentase tanah yang hilang selama pengujian tidak boleh lebih dari 2%, jika lebih maka harus dilakukan pengujian ulang. Detail perhitungan pengujian analisis saringan dapat dilihat pada lampiran B.2.

Sedangkan grafik persentase lolos terhadap ukuran saringan dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut ini :



Sumber : Pengolahan data, 2023

Gambar 4.1 Hubungan persen lolos terhadap ukuran saringan

Berdasarkan tabel 4.2 diperoleh nilai persen lolos saringan nomor 200 (ukuran saringan 0,075 mm) sebesar 59,744 % lebih besar dari 50%.

#### 4.1.3 Pengujian Atterberg *Limit*

Salah satu parameter yang dapat digunakan untuk menentukan jenis tanah yaitu dengan melakukan pengujian Atterberg *Limit*. Pengujian ini merupakan pengujian terhadap batas-batas konsistensi tanah yang mempertimbangkan kadar air pada tanah tersebut. Di mana pengujian yang dilakukan meliputi pengujian batas cair, batas plastis dan indeks plastisitas. Nilai indeks plastisitas didapat setelah hasil dari batas cair dan batas plastis telah didapat. Data-data yang diperoleh dari pengujian ini dapat dilihat pada lampiran atau pada tabel 4.3, 4.4, dan 4.5. Perhitungan pengujian *Atterberg Limit* dapat dilihat pada lampiran B.3.

#### 4.1.3.1 Pengujian Batas Cair (*Liquid Limit / LL*)

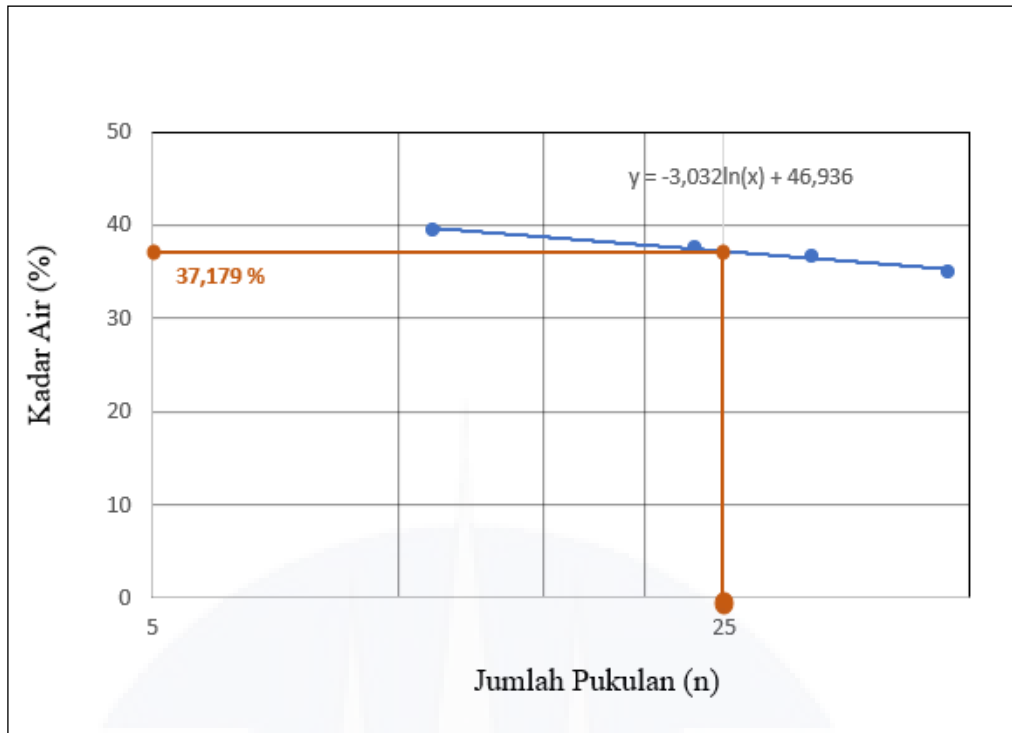
Pengujian ini ditentukan dari uji Cassagrande dan mengacu pada SNI 1967:2008. Berikut ini hasil pengujian dari batas cair dengan perhitungan yang mengacu dengan SNI 1967:2008.

Tabel 4.3 Nilai batas cair

Keterangan	Satuan	Kode Sampel			
		1	2	3	4
Berat cawan	gram	13,2	14,2	13,5	19,3
Berat cawan + tanah basah	gram	73,6	63,2	58,2	35,9
Berat cawan + tanah kering	gram	56,5	49,8	46,2	31,6
Berat tanah kering	gram	43,3	35,6	32,7	12,3
Berat air	gram	17,1	13,4	12	4,3
Kadar air	(%)	39,492	37,640	36,697	34,959
Jumlah pukulan		11	23	32	47

Sumber : Pengolahan data, 2023

Untuk menentukan nilai batas cair didapat dengan membuat grafik hubungan antara jumlah pukulan dengan kadar air. Selanjutnya batas cair didapat dengan hubungan antara 25 ketukan dan kadar air, seperti pada gambar 4.2 di bawah ini.



Sumber : Pengolahan data, 2023

Gambar 4.2 Grafik batas cair

Persamaan garis untuk mendapatkan nilai kadar air pada nilai pukulan sebanyak 25 kali, yaitu:

$$y = -3,032\ln(x) + 46,936$$

$$y = (-3,032\ln \times 25) + 46,936$$

$$y = 37,179 \%$$

Setelah dimasukkan jumlah pukulan 25 seperti gambar di atas, didapatkan nilai batas cair yaitu sebesar 37,179%.

#### 4.1.3.2 Pengujian Batas Plastis (*Plastic Limit / PL*)

Batas plastis (PL) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung (Hardiyatmo, 2002). Pengujian ini dilakukan berdasarkan SNI 1966:2008. Berikut ini adalah tabel nilai-nilai yang terdapat pada pengujian batas plastis. Adapun tabel untuk nilai-nilai pada batas plastis dapat dilihat pada tabel 4.4 sebagai berikut.

Tabel 4.4 Nilai batas plastis

Keterangan	Kode	Satuan	Kode sampel	
			1	2
Berat cawan (gr)	W1	gram	21	21,3
Berat cawan + tanah basah (gr)	W2	gram	34,1	35,3
Berat cawan + tanah kering (gr)	W3	gram	33,5	34,6
Berat tanah kering (gr)	W3-W1	gram	12,5	13,3
Berat air (gr)	W2-W3	gram	0,6	0,7
Kadar air (%)	$[(W2-W3)/(W3-W1)]100\%$	%	4,800	5,263
Kadar Air Rata-rata		%	<b>5,032</b>	

Sumber : Pengolahan data, 2023

Berdasarkan tabel 4.4 di atas, didapatkan nilai batas plastis yaitu 5,032%.

#### 4.1.3.3 Indeks Plastisitas (*Plasticity Index/ PI*)

Setelah dilakukan pengujian batas-batas Atterberg yang terdiri dari pengujian batas cair dan batas plastis didapatkan nilai yang terdapat pada tabel 4.5 dan tabel 4.6. Setelah batas cair dan batas plastis didapatkan, kemudian dapat ditentukan nilai indeks plastisitas dengan cara selisih antara nilai batas cair dan batas plastis.

Tabel 4.5 Nilai batas-batas Atterberg

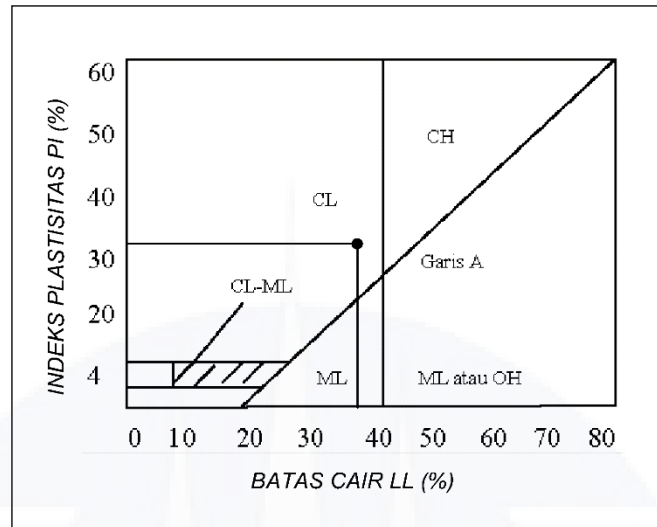
LL	PL	PI
37,179	5,032	32,144

Sumber : Pengolahan data, 2023

Adapun nilai indeks plastisitas sebesar 32,144% merupakan salah satu cara untuk mengklasifikasikan tanah dengan menggunakan tabel 2.1 yaitu tabel klasifikasi USCS.

#### 4.1.4 Klasifikasi Tanah

Setelah dilakukan pengujian analisis saringan dan batas-batas Atterberg selanjutnya dilakukan klasifikasi tanah dengan menggunakan sistem klasifikasi USCS. Klasifikasi tanah ini dipergunakan untuk menentukan jenis tanah.



Sumber : Pengolahan data, 2023

Gambar 4.3 Grafik hubungan batas cair dan indeks plastisitas

Berdasarkan hasil pengujian analisis saringan diperoleh berat tanah di pan yang lolos saringan No. 200 sebesar 59,774% > 50% dari berat total yaitu sebesar 495,7 gram di mana sampel tanah tersebut masuk dalam kategori tanah berbutir halus pada sistem klasifikasi USCS. Setelah itu pengujian batas-batas Atterberg diperoleh nilai batas cair 37,179% dan indeks plastisitas 32,144%, kemudian nilai dari batas cair dan indeks plastisitas diplotkan pada grafik sistem klasifikasi USCS. Hasil plot terdapat pada gambar 4.3 dan didapat sampel tanah yang diuji masuk klasifikasi USCS dengan simbol kelompok CL yaitu tanah lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah. Tabel klasifikasi USCS dapat dilihat pada lampiran A.1.

#### 4.1.5 Pengujian Berat Jenis

Berat jenis tanah digunakan pada hubungan fungsional antara 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. Dari pengujian diperoleh data pada tabel 4.6 sebagai berikut:

Tabel 4.6 Hasil pengujian berat jenis

Keterangan	Kode	Kode Sampel		Satuan
		I	II	
Berat Pikhnometer	W1	65,6	65,6	Gram
Berat Tanah	W2-W1	56,8	56,8	Gram
Berat Tanah + Berat Pikhnometer	W2	122,4	122,4	Gram
Temperatur	-	29	29	°C
Berat Pikhnometer + Air	W3	168,6	168,6	Gram
Berat Pikhnometer + Air + Contoh Tanah	W4	203,8	203,1	Gram
Isi Contoh Tanah ( V )	$(W2 - W1) + (W3 - W4)$	21,6	22,3	Gram
Berat Jenis	Gs	2,624	2,541	-
Berat Jenis Rata-rata	Gs	2,582		-

Sumber : Pengolahan data, 2023

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis pada tanah lempung asli didapat nilai sebesar 2,582. Dari hasil tersebut, kemudian nilai berat jenis digunakan pada pengujian pemadatan yaitu menghitung nilai ZAV (*Zero Air Void*). Perhitungan pengujian berat jenis dapat dilihat pada lampiran B.4.

#### 4.1.6 Pengujian Pemadatan

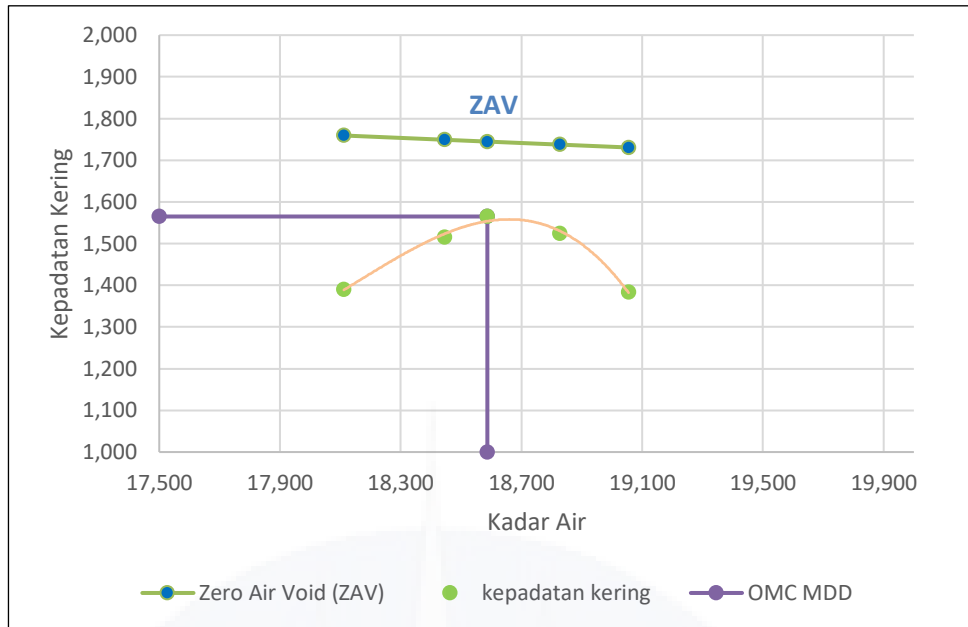
Pengujian pemadatan merupakan pengujian pemadatan yang dilakukan pada tanah lempung tanpa campuran bahan stabilisasi. Pengujian ini dimaksudkan untuk mendapatkan nilai *Optimum Moisture Content (OMC)* dan *Maximum Dry Density (MDD)* yang digunakan sebagai acuan jumlah kadar air yang digunakan pada pengujian *California Bearing Ratio (CBR)*. Nilai OMC dan MDD didapat dari hasil plot hubungan nilai kadar air dan kepadatan kering yang membentuk kurva kemudian didapatkan persamaan polynomial (sebagai garis bantu) untuk menghasilkan nilai OMC dan MDD tersebut yang dapat dilihat pada gambar 4.4.



Tabel 4.7 Pematatan tanah lempung

<b>Sampel</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Massa Tanah	(gr)	6000	6000	6000	6000	6000
Kadar Air Awal	(%)	24,65	24,65	24,65	24,65	24,65
Penambah Air	(%)	20,65	22,65	24,65	26,65	28,65
Penambahan Air	(ml)	1239	1359	1479	1599	1719
Massa Tanah Basah + Cetakan	(gr)	13405	13911	14112	13965	13424
Massa Cetakan	(gr)	8003,5	8003,5	8003,5	8003,5	8003,5
Massa Tanah Basah	(gr)	5401,5	5907,5	6108,5	5961,5	5420,5
Isi Cetakan	(cm <sup>3</sup> )	3290,9 8	3290,9 8	3290,9 8	3290,9 8	3290,9 8
Kepadatan Basah	(gr/cm <sup>3</sup> )	1,641	1,795	1,856	1,811	1,647
Kepadatan Kering	(gr/cm <sup>3</sup> )	1,390	1,516	1,565	1,524	1,383
Zero Air Void (ZAV)		1,759	1,749	1,745	1,737	1,731
Berat Jenis (Gs)		2,582	2,582	2,582	2,582	2,582
Yair		1	1	1	1	1
Massa Tanah Basah + Cawan	(gr)	92,1	92,3	92,5	92,7	93,1
Massa Tanah Kering + Cawan	(gr)	80,4	80,34	80,4	80,5	80,6
Massa Air	(gr)	11,7	11,96	12,1	12,2	12,5
Massa Cawan	(gr)	15,8	15,5	15,3	15,7	15
Massa Tanah Kering	(gr)	64,6	64,84	65,1	64,8	65,6
Kadar Air	(%)	18,111	18,445	18,587	18,827	19,055

Sumber : Pengolahan data, 2023



Sumber : Pengolahan data, 2023

Gambar 4.4 Grafik pemadatan tanah lempung

Berdasarkan data dari tabel 4.7 diperoleh nilai kadar air optimum (OMC) tanah lempung sebesar 18,587% dan kepadatan kering sebesar 1,565 gr/cm<sup>3</sup>. Perhitungan pengujian pemadatan dapat dilihat pada lampiran B.5.

#### 4.1.7 Pengujian California Bearing Ratio (CBR)

Pengujian CBR dilakukan terhadap tanah lempung asli dan tanah lempung yang telah distabilisasi dengan bahan tambah berupa serbuk arang kayu dengan kadar 2,5%, 5% dan 7,5% serta limbah gipsum dengan kadar 5%. Pada penelitian ini pengujian CBR dilakukan dengan kondisi terendam (*soaked*) dengan menggunakan pedoman berdasarkan SNI 1744:2012 dilakukan dengan tiga jenis pukulan yaitu 10, 30 dan 65 pukulan.

Proses pengujian CBR dilakukan setelah pengujian pemadatan selesai dilakukan. Proses pembuatan benda uji dilakukan dengan menggunakan persentase kadar air optimum yang diperoleh dari pengujian pemadatan. Jumlah benda uji sebanyak 45 benda uji. Setelah dipadatkan benda uji terlebih dahulu direndam selama 4 (empat) hari dan diamati nilai pengembangannya kemudian ditampilkan ke dalam bentuk tabel dan gambar. Kemudian hasil dari pengujian dibandingkan dari masing-masing persentase 2,5%, 5% dan 7,5% penambahan serbuk arang kayu dan 5% limbah gipsum.

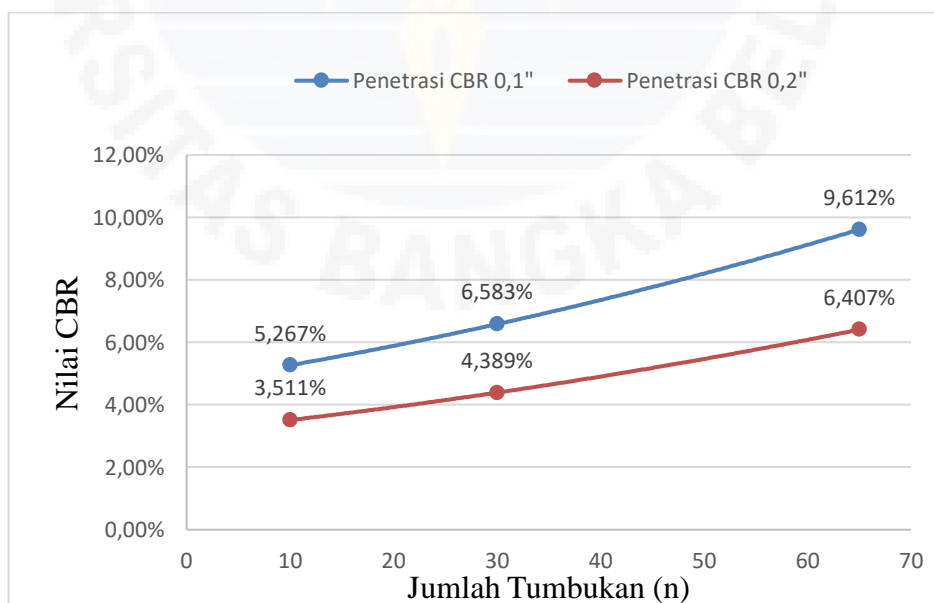
#### 4.1.7.1 Pengujian CBR Tanah Lempung Asli

Jenis tanah lempung yang digunakan yaitu tanah lempung klasifikasi USCS simbol kelompok CL yang merupakan jenis tanah lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah. Pengujian untuk tanah lempung sebanyak 9 buah benda uji dengan pembagian 3 jenis jumlah pukulan yang dilakukan sebanyak 3 buah per masing – masing pukulan. Hasil perhitungan CBR tanah lempung asli dapat dilihat dalam tabel 4.8 dan gambar 4.5. Perhitungan dapat dilihat pada lampiran C.1.

Tabel 4.8 Hasil perhitungan nilai CBR (%) tanah lempung asli

Jenis Sampel	Jumlah Tumbukan	No. Sampel	CBR		CBR rata-rata	
			Penetrasi		Penetrasi	
			0,1"	0,2"	0,1"	0,2"
Tanah Lempung	10	1	5,135%	3,423%	5,267%	3,511%
		2	5,135%	3,423%		
		3	5,530%	3,687%		
	30	1	6,320%	4,213%	6,583%	4,389%
		2	6,715%	4,477%		
		3	6,715%	4,477%		
	65	1	9,480%	6,320%	9,612%	6,407%
		2	9,480%	6,320%		
		3	9,875%	6,580%		

Sumber: Pengolahan data, 2023



Sumber : Pengolahan data, 2023

Gambar 4.5 Grafik hasil pengujian nilai CBR pada tanah lempung asli

Berdasarkan tabel diatas terlihat bahwa tiap sampel tanah lempung asli dilakukan 3 kali pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) untuk mendapatkan nilai CBR rata-rata tiap pengujian berdasarkan jumlah tumbukan. Pada jumlah tumbukan 10 didapat nilai CBR rata-rata pada penetrasi 0,1” sebesar 5,267%. Untuk jumlah tumbukan 30 didapat nilai CBR rata-rata pada penetrasi 0,1” sebesar 6,583% dan jumlah tumbukan 65 didapat nilai CBR rata-rata pada penetrasi 0,1” sebesar 9,612%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tanah lempung asli memiliki daya dukung yaitu sedang, dengan CBR rata-rata sebesar 9,612% masuk rentang 7-20 berdasarkan tabel 2.8 (Wesley, 2012).

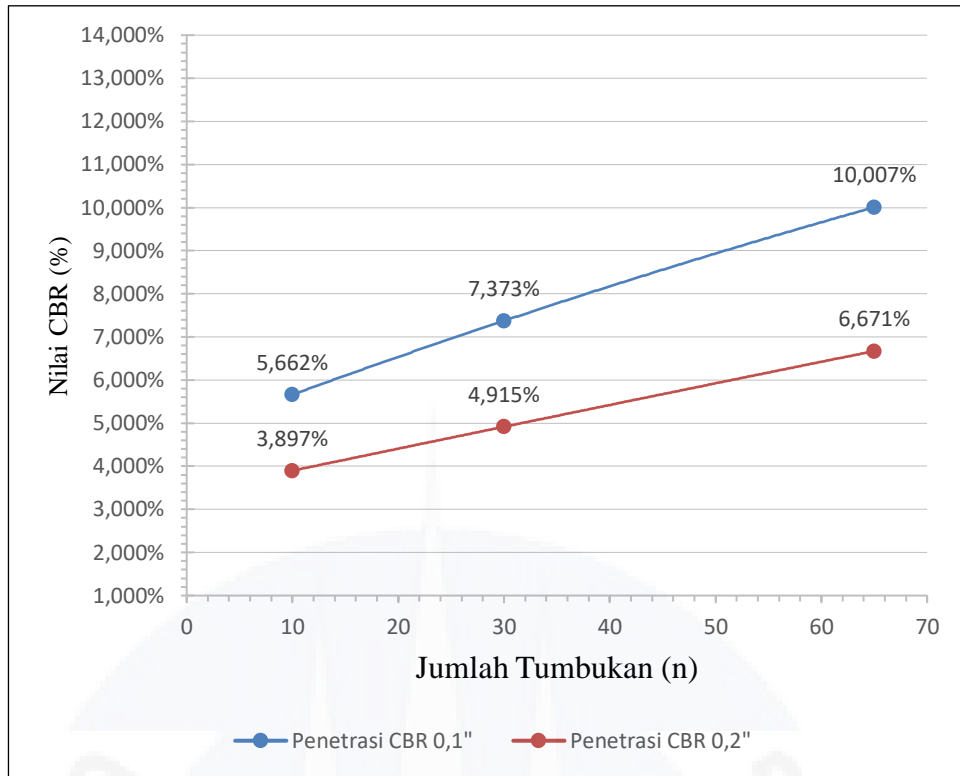
#### 4.1.7.2 Pengujian CBR Tanah Lempung + 5 % Limbah *Gypsum*

Berikut ini adalah hasil dari pengujian CBR laboratorium berupa tanah lempung dengan campuran limbah *gypsum* sebanyak 5%. Hasil dapat dilihat pada tabel 4.9 dan gambar 4.6 sebagai berikut. Perhitungan nilai CBR tanah lempung + 5% LG dapat dilihat pada lampiran C.2.

Tabel 4.9 Hasil perhitungan nilai CBR (%) tanah lempung + 5% Limbah *Gypsum*.

Jenis Sampel	Jumlah Tumbukan	No. Sampel	CBR		CBR rata-rata	
			Penetrasi		Penetrasi	
			0,1"	0,2"	0,1"	0,2"
Tanah Lempung + LG 5%	10	1	5,530%	3,870%	5,662%	3,897%
		2	5,530%	3,870%		
		3	5,925%	3,950%		
	30	1	7,110%	4,740%	7,373%	4,915%
		2	7,505%	5,003%		
		3	7,505%	5,003%		
	65	1	9,875%	6,583%	10,007%	6,671%
		2	9,875%	6,583%		
		3	10,270%	6,847%		

Sumber : Pengolahan data, 2023



Sumber : Pengolahan data, 2023

Gambar 4.6 Grafik hasil pengujian nilai CBR pada tanah lempung beserta bahan tambah

Berdasarkan tabel diatas terlihat bahwa tiap sampel tanah lempung + 5% limbah *gypsum* dilakukan 3 kali pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) untuk mendapatkan nilai CBR rata-rata tiap pengujian berdasarkan jumlah tumbukan. Pada jumlah tumbukan 10 didapat nilai CBR rata-rata pada penetrasi 0,1" sebesar 5,662%. Untuk jumlah tumbukan 30 didapat nilai CBR rata-rata pada penetrasi 0,1" sebesar 7,373% dan jumlah tumbukan 65 didapat nilai CBR rata-rata pada penetrasi 0,1" sebesar 10,007%. Berdasarkan data tersebut jumlah tumbukan pada tanah lempung asli dapat memberikan kenaikan pada nilai CBR. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tanah lempung asli memiliki daya dukung yaitu sedang, dengan CBR rata-rata sebesar 10,007% masuk rentang 7-20 berdasarkan tabel 2.8 (Wesley, 2012).

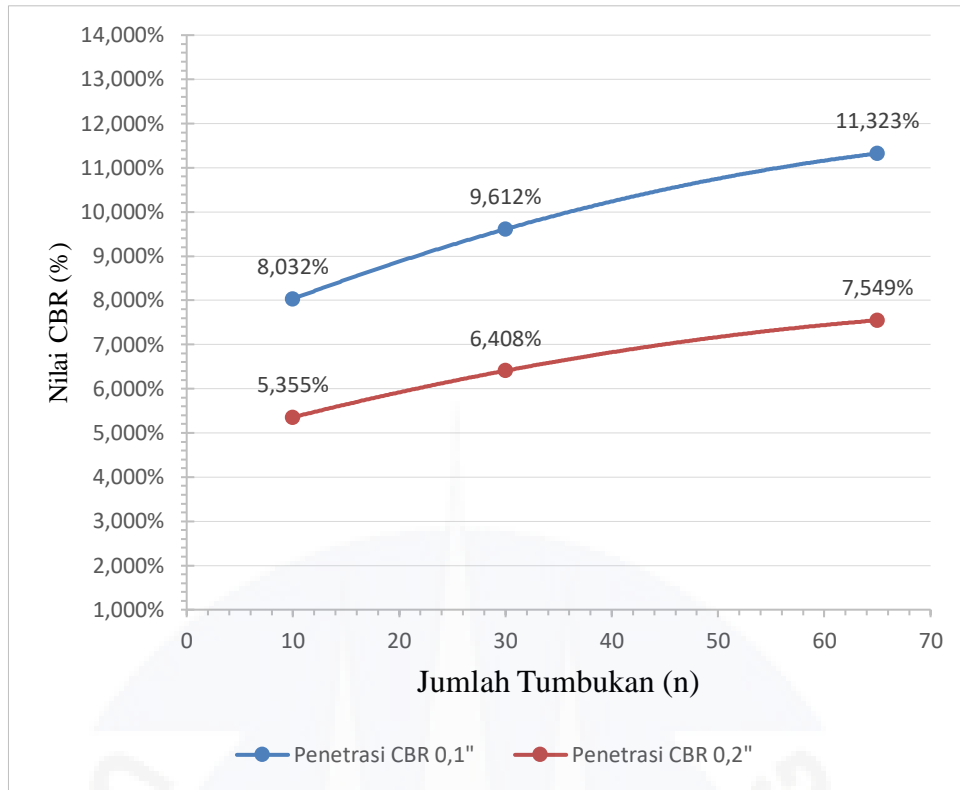
**4.1.7.3 Pengujian CBR Tanah Lempung + 5% Limbah Gypsum + 2,5 % Serbuk Arang Kayu**

Berikut ini adalah hasil dari pengujian CBR laboratorium berupa tanah lempung asli dengan campuran limbah gypsum sebanyak 5% dan serbuk arang kayu 2,5%. Hasil dapat dilihat pada tabel 4.10 dan gambar 4.7 sebagai berikut. Perhitungan nilai CBR tanah lempung +5% LG +2,5% SAK dapat dilihat pada lampiran C.3.

Tabel 4.10 Hasil perhitungan nilai CBR (%) tanah lempung + 5%LG + 2,5% SAK

Jenis Sampel	Jumlah Tumbukan	No. Sampel	CBR		CBR rata-rata	
			Penetrasi		Penetrasi	
			0,1"	0,2"	0,1"	0,2"
Tanah Lempung + LG 5% + 2,5% SAK	10	1	7,900%	5,267%	8,032%	5,355%
		2	7,900%	5,267%		
		3	8,295%	5,530%		
	30	1	9,480%	6,320%	9,612%	6,408%
		2	9,480%	6,320%		
		3	9,875%	6,583%		
	65	1	11,060%	7,373%	11,323%	7,549%
		2	11,455%	7,637%		
		3	11,455%	7,637%		

Sumber : Pengolahan data, 2023



Sumber : Pengolahan data, 2023

Gambar 4.7 Grafik hasil pengujian nilai CBR pada tanah lempung beserta bahan tambah

Berdasarkan tabel diatas terlihat bahwa tiap sampel tanah lempung + 5% limbah *gypsum* + 2,5% Serbuk Arang Kayu dilakukan 3 kali pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) untuk mendapatkan nilai CBR rata-rata tiap pengujian berdasarkan jumlah tumbukan. Pada jumlah tumbukan 10 didapat nilai CBR rata-rata pada penetrasi 0,1" sebesar 8,032%. Untuk jumlah tumbukan 30 didapat nilai CBR rata-rata pada penetrasi 0,1" sebesar 9,612% dan jumlah tumbukan 65 didapat nilai CBR rata-rata pada penetrasi 0,1" sebesar 11,323%. Berdasarkan data tersebut jumlah tumbukan pada tanah lempung asli dapat memberikan kenaikan pada nilai CBR. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tanah lempung asli memiliki daya dukung yaitu sedang, dengan CBR rata-rata sebesar 11,323% masuk rentang 7-20 berdasarkan tabel 2.8 (Wesley, 2012).

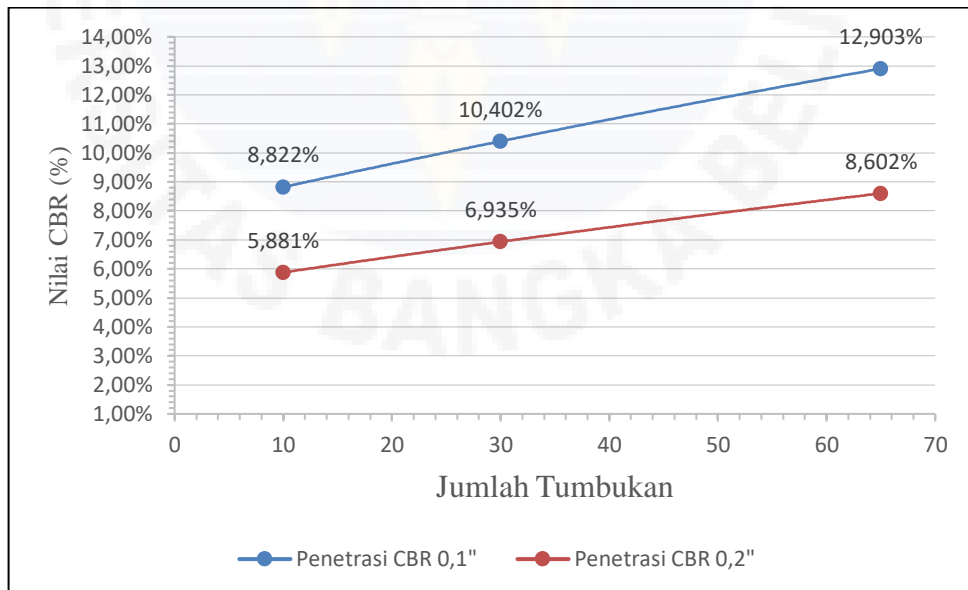
**4.1.7.4 Pengujian CBR Tanah Lempung + 5 % Limbah Gypsum + 5 % Serbuk Arang Kayu**

Berikut adalah hasil pengujian CBR dengan campuran limbah gipsum sebanyak 5% dan serbuk arang kayu 5% dapat dilihat pada tabel 4.11 dan gambar 4.8. perhitungan nilai CBR tanah lempung +5% LG +5% SAK dapat dilihat pada lampiran C.4.

Tabel 4.11 Hasil perhitungan nilai CBR (%) tanah lempung + 5% Limbah Gypsum + 5% Serbuk Arang Kayu

Jenis Sampel	Jumlah Tumbukan	No. Sampel	CBR		CBR rata-rata	
			Penetrasi		Penetrasi	
			0,1"	0,2"	0,1"	0,2"
Tanah Lempung + LG 5% + 5% SAK	10	1	8,690%	5,793%	8,822%	5,881%
		2	8,690%	5,793%		
		3	9,085%	6,057%		
	30	1	10,270%	6,847%	10,402%	6,935%
		2	10,270%	6,847%		
		3	10,665%	7,110%		
	65	1	12,640%	8,427%	12,903%	8,602%
		2	13,035%	8,690%		
		3	13,035%	8,690%		

Sumber : Pengolahan data, 2023



Sumber : Pengolahan data, 2023

Gambar 4.8 Grafik hasil pengujian nilai CBR pada tanah lempung beserta bahan tambah



Berdasarkan tabel diatas terlihat bahwa tiap sampel tanah lempung + 5% limbah *gypsum* + 5% Serbuk Arang Kayu dilakukan 3 kali pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) untuk mendapatkan nilai CBR rata-rata tiap pengujian berdasarkan jumlah tumbukan. Pada jumlah tumbukan 10 didapat nilai CBR rata-rata pada penetrasi 0,1” sebesar 8,822%. Untuk jumlah tumbukan 30 didapat nilai CBR rata-rata pada penetrasi 0,1” sebesar 10,402% dan jumlah tumbukan 65 didapat nilai CBR rata-rata pada penetrasi 0,1” sebesar 12,903%. Berdasarkan data tersebut jumlah tumbukan pada tanah lempung asli dapat memberikan kenaikan pada nilai CBR. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tanah lempung asli memiliki daya dukung yaitu sedang, dengan CBR rata-rata sebesar 12,903% masuk rentang 7-20 berdasarkan tabel 2.8 (Wesley, 2012).

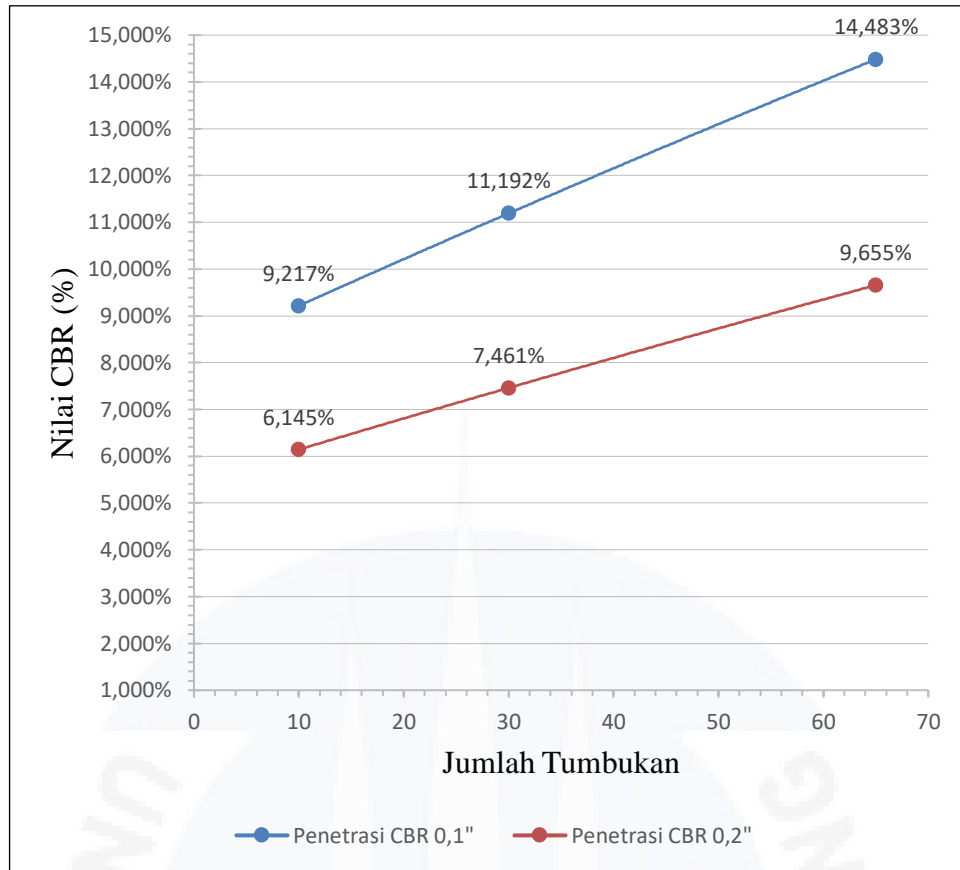
#### 4.1.7.5 Pengujian CBR Tanah Lempung + 5 % Limbah *Gypsum* + 7,5 % Serbuk Arang Kayu

Berikut adalah hasil pengujian CBR dengan campuran sebanyak 5% limbah gipsum dan serbuk arang kayu 7,5% dapat dilihat pada tabel 4.12 dan gambar 4.9. perhitungan nilai CBR tanah lempung +5% LG +7,5% SAK dapat dilihat pada lampiran C.5.

Tabel 4.12 Hasil perhitungan nilai CBR (%) tanah lempung + 5% Limbah *Gypsum* + 7,5% Serbuk Arang Kayu

Jenis Sampel	Jumlah Tumbukan	No. Sampel	CBR		CBR rata-rata	
			Penetrasi		Penetrasi	
			0,1"	0,2"	0,1"	0,2"
Tanah Lempung + LG 5% + 7,5% SAK	10	1	9,085%	6,057%	9,217%	6,145%
		2	9,085%	6,057%		
		3	9,480%	6,320%		
	30	1	11,060%	7,373%	11,192%	7,461%
		2	11,060%	7,373%		
		3	11,455%	7,637%		
	65	1	14,220%	9,480%	14,483%	9,655%
		2	14,615%	9,743%		
		3	14,615%	9,743%		

Sumber : Pengolahan data, 2023



Sumber : Pengolahan data, 2023

Gambar 4.9 Grafik hasil pengujian nilai CBR pada tanah lempung beserta bahan tambah

Berdasarkan tabel diatas terlihat bahwa tiap sampel tanah lempung + 5% limbah *gypsum* + 7,5% Serbuk Arang Kayu dilakukan 3 kali pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) untuk mendapatkan nilai CBR rata-rata tiap pengujian berdasarkan jumlah tumbukan. Pada jumlah tumbukan 10 didapat nilai CBR rata-rata pada penetrasi 0,1" sebesar 9,217%. Untuk jumlah tumbukan 30 didapat nilai CBR rata-rata pada penetrasi 0,1" sebesar 11,192% dan jumlah tumbukan 65 didapat nilai CBR rata-rata pada penetrasi 0,1" sebesar 14,483%. Berdasarkan data tersebut jumlah tumbukan pada tanah lempung asli dapat memberikan kenaikan pada nilai CBR. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tanah lempung asli memiliki daya dukung yaitu sedang, dengan CBR rata-rata sebesar 14,483% masuk rentang 7-20 berdasarkan tabel 2.8 (Wesley, 2012).

#### **4.1.7.6 Perbandingan Pengujian CBR Masing-Masing Sampel**

Tabel dibawah ini merupakan perbandingan nilai CBR pada tanah lempung asli beserta dengan campuran serbuk arang kayu pada kadar 2,5%, 5% dan 7,5% serta limbah gipsum dengan kadar konstan sebanyak 5%. Data nilai CBR dapat dilihat pada tabel 4.13.



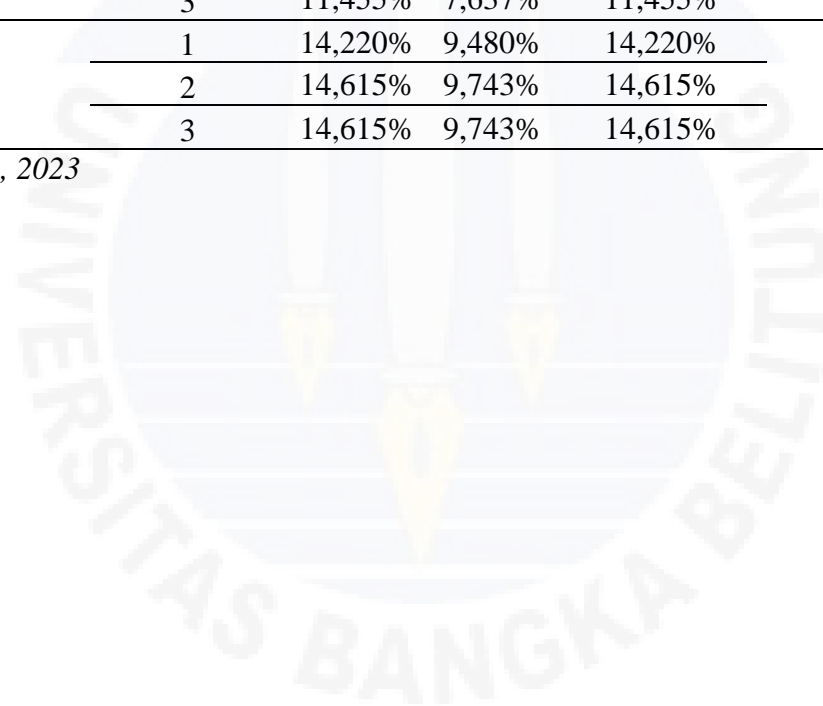
Tabel 4.13 Perbandingan Pengujian CBR pada Masing-Masing Sampel

Jenis Sampel	Jumlah Tumbukan	No. Sampel	CBR (%)		Nilai CBR yang digunakan (%)	Nilai CBR rata-rata (%)
			Penetrasi			
			0,1"	0,2"		
Tanah Lempung	10	1	5,135%	3,423%	5,135%	5,267%
		2	5,135%	3,423%	5,135%	
		3	5,530%	3,687%	5,530%	
	30	1	6,320%	4,213%	6,320%	6,583%
		2	6,715%	4,477%	6,715%	
		3	6,715%	4,477%	6,715%	
	65	1	9,480%	6,320%	9,480%	9,612%
		2	9,480%	6,320%	9,480%	
		3	9,875%	6,580%	9,875%	
Tanah Lempung + LG 5%	10	1	5,530%	3,870%	5,530%	5,662%
		2	5,530%	3,870%	5,530%	
		3	5,925%	3,950%	5,925%	
	30	1	7,110%	4,740%	7,110%	7,373%
		2	7,505%	5,003%	7,505%	
		3	7,505%	5,003%	7,505%	
	65	1	9,875%	6,583%	9,875%	10,007%
		2	9,875%	6,583%	9,875%	
		3	10,270%	6,847%	10,270%	

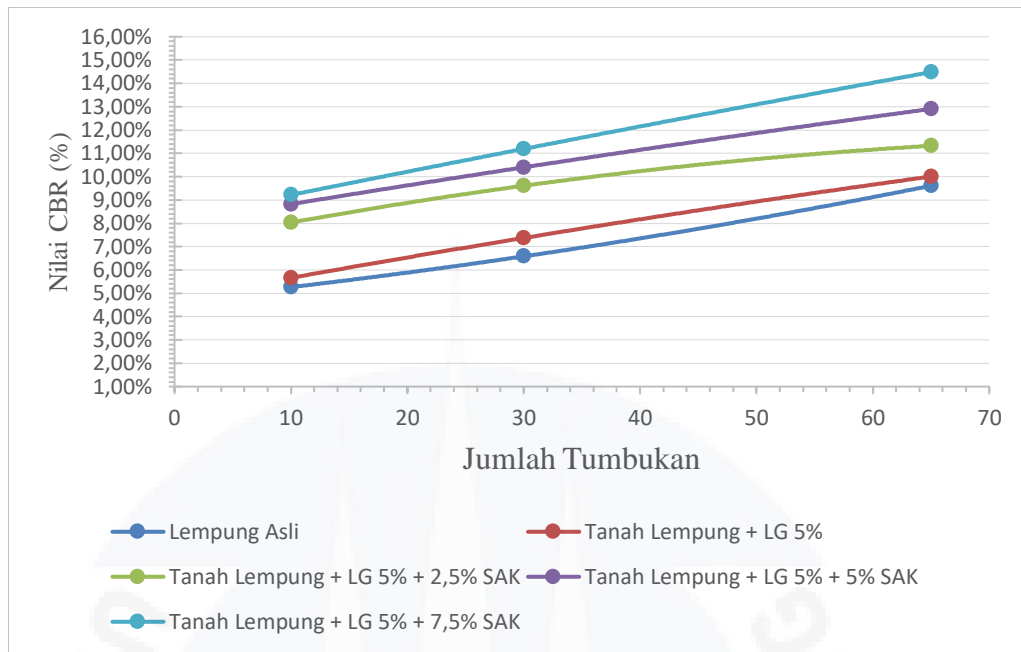
Jenis Sampel	Jumlah Tumbukan	No. Sampel	CBR (%)		Nilai CBR yang digunakan (%)	Nilai CBR rata-rata (%)
			Penetrasi			
			0,1"	0,2"		
Tanah Lempung + LG 5% + SAK 2,5%	10	1	7,900%	5,267%	7,900%	8,032%
		2	7,900%	5,267%	7,900%	
		3	8,295%	5,530%	8,295%	
	30	1	9,480%	6,320%	9,480%	9,612%
		2	9,480%	6,320%	9,480%	
		3	9,875%	6,583%	9,875%	
	65	1	11,060%	7,373%	11,060%	11,323%
		2	11,455%	7,637%	11,455%	
		3	11,455%	7,637%	11,455%	
Tanah Lempung + LG 5% + SAK 5%	10	1	8,690%	5,793%	8,690%	8,822%
		2	8,690%	5,793%	8,690%	
		3	9,085%	6,057%	9,085%	
	30	1	10,270%	6,847%	10,270%	10,402%
		2	10,270%	6,847%	10,270%	
		3	10,665%	7,110%	10,665%	
	65	1	12,640%	8,427%	12,640%	12,903%
		2	13,035%	8,690%	13,035%	
		3	13,035%	8,690%	13,035%	
Tanah Lempung + LG 5% + SAK 7,5%	10	1	9,085%	6,057%	9,085%	9,217%
		2	9,085%	6,057%	9,085%	
		3	9,480%	6,320%	9,480%	

Jenis Sampel	Jumlah Tumbukan	No. Sampel	CBR (%)		Nilai CBR yang digunakan (%)	Nilai CBR rata-rata (%)
			Penetrasi			
			0,1"	0,2"		
	30	1	11,060%	7,373%	11,060%	11,192%
		2	11,060%	7,373%	11,060%	
		3	11,455%	7,637%	11,455%	
	65	1	14,220%	9,480%	14,220%	14,483%
		2	14,615%	9,743%	14,615%	
		3	14,615%	9,743%	14,615%	

*Sumber : Pengolahan data, 2023*



Berdasarkan data pada tabel 4.13 dapat dilihat nilai CBR pada penetrasi 0,1 inch dan 0,2 inch. Grafik perbandingan nilai CBR pada penetrasi 0,1” setiap kadar campuran dapat dilihat pada Gambar 4.10 sebagai berikut



Sumber : Pengolahan data, 2023

Gambar 4.10 Grafik kenaikan hasil pengujian nilai CBR pada tanah lempung beserta bahan tambah

Berdasarkan data yang terdapat pada tabel 4.13 dan gambar 4.10 dapat dilihat perbandingan nilai CBR masing-masing kadar campuran 2,5%, 5%, 7,5% SAK dan 5% LG Nilai CBR pada masing-masing campuran mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar campuran serbuk arang kayu yang juga ditambahkan limbah gipsium dengan kadar yang konstan. Nilai CBR mengalami kenaikan dikarenakan limbah gipsium dan serbuk arang kayu dapat memperbaiki nilai CBR tanah lempung dan membantu dalam memproses karena keduanya memiliki sifat yang sama-sama menguntungkan. Dari hasil penelitian berdasarkan wesley (2012) nilai CBR tanah lempung asli sebesar 9,612% masuk klasifikasi sedang dengan rentang nilai 7% - 20%, tanah asli + 5% limbah gypsum dengan nilai CBR 10,007% masuk klasifikasi sedang dengan rerntang nilai 7-20%, tanah lempung + 5% limbah gypsum + 2,5% arang kayu dengan nilai CBR 11,323% masuk klasifikasi sedang dengan rentang nilai 7-20%, tanah lempung + 5% limbah gypsum + 5% arang kayu dengan nilai CBR 12,903% masuk klasifikasi sedang

dengan rentang nilai 7-20%, tanah lempung + 5% limbah gypsum + 7,5% arang kayu dengan nilai CBR 14,483% masuk klasifikasi sedang dengan rentang nilai 7-20%.

Kandungan limbah Gypsum yang mengandung kalsium sulfat yang mempengaruhi nilai CBR berperan sebagai pengikat partikel-partikel tanah lempung dan mengurangi daya plastisitas tanah serta meningkatkan kekuatan tanah dalam kondisi kering. Reaksi antara gypsum dan tanah akan membentuk ikatan hidroksil kalsium yang stabil yang membantu mengurangi sifat lempung yang cenderung menyusut dan mengembang karena perubahan kelembapan. Penambahan gypsum dapat mengurangi sensitivitas terhadap perubahan kadar air dan membantu mengurangi potensi tanah untuk mengalami deformasi atau keruntuhan.

Penambahan serbuk arang kayu juga mempengaruhi nilai CBR karena memiliki sifat porositas yang tinggi yang untuk menyerap dan mengikat air dalam tanah. ketika serbuk arang kayu ditambahkan ke tanah lempung dapat membantu mengurangi kelembapan tanah, sehingga mengurangi plastisitas tanah. Dengan memperbaiki sifat-sifat tanah lempung melalui penambahan limbah gypsum dan serbuk arang kayu nilai CBR tanah dapat meningkat. Dari penelitian ini, diperoleh hasil yaitu tanah lempung dicampur berupa bahan tambah serbuk arang kayu dengan persentase bahan tambah dengan uji CBR rendaman menunjukkan hasil yang meningkat di tabel 4.13

#### **4.1.7.7 Perbandingan Persentase Kenaikan Nilai CBR Tanah**

##### **Lempung pada Campuran Limbah Gypsum dan Serbuk Arang**

##### **Kayu**

Kenaikan nilai CBR dihitung untuk mengetahui seberapa besar persentase kenaikan nilai CBR tanah lempung asli dengan campuran pada masing-masing pukulan. Untuk persentase kenaikan nilai CBR tanah lempung, dengan bahan limbah *gypsum* dan serbuk arang kayu terhadap tanah lempung asli dengan masing-masing persentase campuran berdasarkan pukulan dan persentase kadar campuran dapat dilihat pada tabel 4.14 sebagai berikut.



Tabel 4.14 Perbandingan persentase kenaikan nilai CBR

Jenis sampel	Nilai CBR (%)			Persentase kenaikan nilai CBR campuran terhadap tanah lempung asli		
	Jumlah pukulan			Jumlah pukulan		
	10	30	65	10	35	65
TLA	5,267	6,583	9,612	-	-	-
TLA + 5% LG	5,662	7,373	10,007	7,4995	12,001	4,109
TLA + 5% LG + 2,5% SAK	8,032	9,612	11,323	52,497	46,012	17,801
TLA + 5% LG + 5% SAK	8,822	10,402	12,903	67,496	58,013	34,238
TLA + 5% LG + 7,5% SAK	9,217	11,192	14,483	74,995	70,014	50,676

Sumber : Pengolahan data, 2023

Contoh perhitungan persentase kenaikan nilai CBR campuran limbah gipsium dan serbuk arang kayu terhadap CBR tanah lempung asli pada 10 pukulan, perhitungan dilakukan dengan rumus yang sama untuk setiap tumbukan.

$$\% \text{Kenaikan} = \frac{\text{CBR Campuran} - \text{CBR Tanah Lempung Asli}}{\text{CBR Tanah Lempung Asli}} \times 100 \%$$

$$\% \text{ Kenaikan TLA} + 5\% \text{ LG} + 2,5\% \text{ SAK} \text{ 10 pukulan} =$$

$$\frac{8,032 - 5,267}{5,267} \times 100 \% = 52,497\%$$

Berdasarkan tabel 4.15 dari tanah lempung asli dengan campuran 5% limbah gipsium dan 2,5% serbuk arang kayu, persentase kenaikan nilai CBR terhadap tanah lempung asli nilai tertinggi terdapat pada 10 pukulan yaitu sebesar 52,497%. Kenaikan persentase campuran 5% limbah gipsium dan 5% serbuk arang kayu nilai tertinggi juga terdapat pada 10 pukulan dengan nilai sebesar 67,496%. Dan kenaikan persentase 5% limbah gipsium dan 7,5% serbuk arang kayu nilai tertinggi juga terdapat pada 10 pukulan dengan nilai 74,995%. Berikut ini adalah grafik

perbandingan antara nilai CBR dan variasi kadar campuran berdasarkan jumlah pukulan.

Perhitungan persentase kenaikan nilai CBR dihitung menggunakan data persentase kenaikan nilai CBR campuran terhadap tanah lempung asli. Berikut adalah perhitungan persentase kenaikan nilai pada kadar campuran 5% limbah gipsum + 2,5% serbuk arang kayu dengan kadar campuran 5% limbah gipsum + 5% serbuk arang kayu menggunakan nilai CBR 10 pukulan.

$$\% \text{Kenaikan} = \frac{67,496 - 52,497}{52,497} \times 100 \% = 28,571\%$$

Perhitungan persentase kenaikan nilai pada kadar campuran 5% limbah gipsum + 5% serbuk arang kayu dengan kadar campuran 5% limbah gipsum + 7,5% serbuk arang kayu menggunakan nilai CBR 10 pukulan.

$$\% \text{Kenaikan} = \frac{74,995 - 67,496}{67,496} \times 100 \% = 11,110\%$$

#### **4.1.7.8 Hasil nilai CBR tanah terhadap daya dukung *subgrade* jalan**

Nilai CBR tanah digunakan untuk mengukur tingkat daya dukung tanah dan menentukan kemampuan subgrade untuk mendukung beban lalu lintas dan beban struktural jalan. Korelasi antara nilai CBR tanah dan subgrade jalan sangat penting dalam perencanaan dan desain jalan yang aman dan tahan lama. Semakin tinggi nilai CBR dari tanah subgrade, semakin baik daya dukungnya, dan ini dapat menghasilkan subgrade yang lebih kuat dan stabil untuk jalan. Berikut tabel 4.15 hasil nilai subgrade jalan.

Tabel 4.15 Nilai DDT *subgrade* jalan

Jenis Sampel	Jumlah Tumbukan	No. Sampel	CBR (%)		Nilai CBR yang digunakan (%)	Nilai CBR rata-rata (%)	Nilai DDT <i>Subgrade</i> jalan
			Penetrasi				
			0,1"	0,2"			
Tanah Lempung	10	1	5,135%	3,423%	5,135%	5,267%	4,803
		2	5,135%	3,423%	5,135%		
		3	5,530%	3,687%	5,530%		
	30	1	6,320%	4,213%	6,320%	6,583%	5,219
		2	6,715%	4,477%	6,715%		
		3	6,715%	4,477%	6,715%		
	65	1	9,480%	6,320%	9,480%	9,612%	5,926
		2	9,480%	6,320%	9,480%		
		3	9,875%	6,580%	9,875%		
Tanah Lempung + LG 5%	10	1	5,530%	3,870%	5,530%	5,662%	4,938
		2	5,530%	3,870%	5,530%		
		3	5,925%	3,950%	5,925%		
	30	1	7,110%	4,740%	7,110%	7,373%	5,431
		2	7,505%	5,003%	7,505%		
		3	7,505%	5,003%	7,505%		
	65	1	9,875%	6,583%	9,875%	10,007%	6,001
		2	9,875%	6,583%	9,875%		
		3	10,270%	6,847%	10,270%		
Tanah Lempung + LG 5% + SAK 2,5%	10	1	7,900%	5,267%	7,900%	8,032%	5,591
		2	7,900%	5,267%	7,900%		
		3	8,295%	5,530%	8,295%		

Jenis Sampel	Jumlah Tumbukan	No. Sampel	Nilai CBR yang digunakan (%)			Nilai CBR rata-rata (%)	Nilai DDT Subgrade jalan
			CBR (%)				
Tanah Lempung + LG 5% + SAK 2,5%	30	1	9,480%	6,320%	9,480%	9,612%	5,926
		2	9,480%	6,320%	9,480%		
		3	9,875%	6,583%	9,875%		
	65	1	11,060%	7,373%	11,060%	11,323%	6,232
		2	11,455%	7,637%	11,455%		
		3	11,455%	7,637%	11,455%		
Tanah Lempung + LG 5% + SAK 5%	10	1	8,690%	5,793%	8,690%	8,822%	5,766
		2	8,690%	5,793%	8,690%		
		3	9,085%	6,057%	9,085%		
	30	1	10,270%	6,847%	10,270%	10,402%	6,074
		2	10,270%	6,847%	10,270%		
		3	10,665%	7,110%	10,665%		
65	1	12,640%	8,427%	12,640%	12,903%	6,476	
	2	13,035%	8,690%	13,035%			
	3	13,035%	8,690%	13,035%			
Tanah Lempung + LG 5% + SAK 7,5%	10	1	9,085%	6,057%	9,085%	9,217%	5,848
		2	9,085%	6,057%	9,085%		
		3	9,480%	6,320%	9,480%		
	30	1	11,060%	7,373%	11,060%	11,192%	6,210
		2	11,060%	7,373%	11,060%		
		3	11,455%	7,637%	11,455%		

Jenis Sampel	Jumlah Tumbukan	No. Sampel	CBR (%)		Nilai CBR yang digunakan (%)	Nilai CBR rata-rata (%)	Nilai DDT Subgrade jalan
	65	1	14,220%	9,480%	14,220%	14,483%	6,692
		2	14,615%	9,743%	14,615%		
		3	14,615%	9,743%	14,615%		

Sumber: Pengolahan Data, 2023

Berikut adalah contoh perhitungan nilai CBR campuran limbah *gypsum* dan serbuk arang kayu terhadap nilai CBR *subgrade* jalan pada persentase campuran tanah lempung + 5% LG pada pukulan 65.

$$\begin{aligned} \text{DDT} &= 4,3 \text{ Log } (10,007) + 1.7 \\ &= 6,001 \% \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel 4.16 dari nilai CBR subgrade jalan dengan campuran 5% limbah gipsium dan 7,5% serbuk arang kayu nilai CBR subgrade jalan tertinggi terdapat pada 65 pukulan yaitu sebesar 6,692%. Dalam Analisa komponen Bina Marga sebagai salah satu metode untuk merencanakan perkerasan lentur jalan raya daya dukung tanah dasar (DDT), daya dukung tanah dasar pada perkerasan lentur ditunjukkan dengan nilai CBR (*California Bearing Ratio*) berupa besarnya persentasi. Makin besar angka persentasi angka CBR maka daya dukung tanah untuk *subgrade* jalan semakin baik. Dalam penelitian ini didapatkan nilai angka CBR tertinggi sebesar 6,692% termasuk kedalam kategori sedang jika dilihat dari standar Lapisan Perkerasan Jalan, maka dari itu tanah lempung yang sudah ditambahkan bahan tambah dalam penelitian ini masih dapat digunakan karena tidak termasuk kedalam kategori nilai CBR buruk yaitu dibawah 5%.