

## BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan dijelaskan hasil dan pembahasan penelitian Tugas Akhir yang telah dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Pengujian yang dilakukan berupa uji sifat fisik tanah, uji kepadatan tanah dan uji kuat geser langsung tanah serta *CBR* untuk mengetahui pengaruh penambahan zat tambah yaitu briket arang dan kapur.

### 5.1 Pengujian Kadar Air

Kadar air tanah ( $w$ ) merupakan perbandingan antara berat air dengan berat tanah kering. Pengujian kadar air bertujuan untuk mengetahui kadar air sampel tanah asli yang di uji. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut ini.

**Tabel 5.1 Hasil Pengujian Kadar Air**

Uraian	Simbol	Satuan	Hasil	
			Sampel 1	Sampel 2
Berat Cawan	$W_1$	gram	8,7	9,15
Berat Cawan + Tanah Basah	$W_2$	gram	22,18	20,33
Berat Cawan + Tanah Kering	$W_3$	gram	21,79	19,98
Berat Air	$W_w = W_2 - W_3$	gram	0,39	0,35
Berat Tanah Kering	$W_s = W_3 - W_1$	gram	13,09	10,83
Kadar Air	$w = (W_w / W_s) \times 100\%$	%	2,979	3,232
Kadar Air Rata-Rata	$W_{rata-rata}$	%	3,106	

Dari hasil pengujian kadar air diketahui bahwa sampel tanah pasir yang berada dari daerah Pantai Glagah, Kecamatan Temon, Kulon Progo, DIY rata-rata mengandung kadar air sebesar 3,106%.

## 5.2 Pengujian Berat

Berat volume tanah merupakan perbandingan antara berat tanah total termasuk air yang terkandung di dalamnya dengan volume tanah total. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berat volume sampel tanah uji. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut ini.

**Tabel 5.2 Hasil Pengujian Berat Volume**

Uraian	Rumus	Satuan	Hasil	
			Sampel 1	Sampel 2
Diameter Ring	d	cm	5,990	5,990
Tinggi Ring	t	cm	1,980	1,980
Volume Ring	V	cm <sup>3</sup>	55,797	55,797
Berat Ring	W <sub>1</sub>	gram	49,400	49,400
Berat Ring + Tanah Basah	W <sub>2</sub>	gram	154,530	157,020
Berat Tanah Basah	W <sub>3</sub> = W <sub>2</sub> - W <sub>1</sub>	gram	105,130	107,620
Berat Volume Tanah	γ	gram/cm <sup>3</sup>	1,884	1,929
Berat Volume Tanah Rata-Rata	γ <sub>rata-rata</sub>	gram/cm <sup>3</sup>	1,906	

Berdasarkan tabel diatas hasil pengujian berat volume tanah dapat diketahui bahwa nilai berat volume tanah sampel yang berasal dari Pantai Glagah, Temon, Kulon Progo, DIY rata-rata sebesar 1,906 gram/cm<sup>3</sup>.

## 5.3 Pengujian Berat Jenis

Berat jenis tanah adalah perbandingan antara berat butiran tanah dengan berat air dengan volume yang sama pada temperatur tertentu, biasanya diambil pada suhu 27,5°C. Pengujian berat jenis tanah bertujuan untuk mengetahui berat jenis sampel tanah uji. Hasil pengujian berat jenis tanah asli dapat dilihat pada Tabel 5.3 di bawah ini.

**Tabel 5.3 Hasil Pengujian Berat Jenis**

Uraian	Rumus	Satuan	Hasil	
			Sampel 1	Sampel 2
Berat Piknometer	$W_1$	gram	42,670	26,860
Berat Piknometer + Tanah Kering	$W_2$	gram	97,620	54,230
Berat Piknometer + Tanah Kering + Air Penuh	$W_3$	gram	183,230	97,390
Berat Piknometer + Air Penuh	$W_4$	gram	143,580	77,870
Suhu Air (t°C)		°	26,000	26,000
$\gamma_w$ pada suhu (t°C)		gram/cm <sup>3</sup>	0,9968	0,9968
$\gamma_w$ pada suhu (27.5°C)		gram/cm <sup>3</sup>	0,9964	0,9964
Berat Tanah Kering	$W_s = W_2 - W_1$	gram	54,950	27,370
A	$W_s + W_4$	gram	198,530	105,240
I	$A - W_3$	gram	15,300	7,850
Berat Jenis Tanah Pada Suhu (t°C)	$G_s(t^\circ C) = W_s / I$	-	3,592	3,487
Berat Jenis Tanah Pada Suhu (27.5°C)	$G_s(27.5^\circ C) = G_s(t^\circ C) \times (\gamma_w t^\circ C / \gamma_w t27.5^\circ C)$	-	3,593	3,488
Berat Jenis Tanah Rata-Rata Pada Suhu (27.5°C)	$G_s(27.5^\circ C)_{rata-rata}$	-	3,540	

Berdasarkan tabel diatas hasil pengujian berat jenis tanah asli dapat diketahui bahwa sampel tanah yang berasal dari Pantai Glagah, Temon, Kulon Progo, DIY memiliki nilai berat jenis rata-rata yaitu 3,540.

#### 5.4 Pengujian Analisis Saringan

Pengujian analisis saringan bertujuan untuk menentukan persentase ukuran butir tanah sampel benda uji yang tertahan saringan nomor 200. Hasil pengujian analisis saringan dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan 5.5 berikut ini.

**Tabel 5.4 Hasil Pengujian Analisis Saringan Tanah Asli Sampel 1**

Nomor Saringan	Diameter Saringan (mm)	Berat Tanah Tertahan (gram)	Berat Tanah Lolos (gram)	Persentase Tanah Tertahan (%)	Persentase Tanah Lolos (%)
1	25,4	0	200	0	100
1/2	13,2	0	200	0	100
3/8	9,5	0	200	0	100
1/4	6,7	0	200	0	100
4	4,75	0	200	0,000	100,000
10	2	0,05	199,950	0,025	99,975
20	0,85	0,14	199,810	0,070	99,905
40	0,425	9,2	190,610	4,600	95,305
60	0,25	81,67	108,940	40,835	54,470
140	0,106	107,64	1,300	53,820	0,650
200	0,075	0,77	0,53	0,385	0,265
pan		0,53	0	0,265	0
Jumlah		200		100	

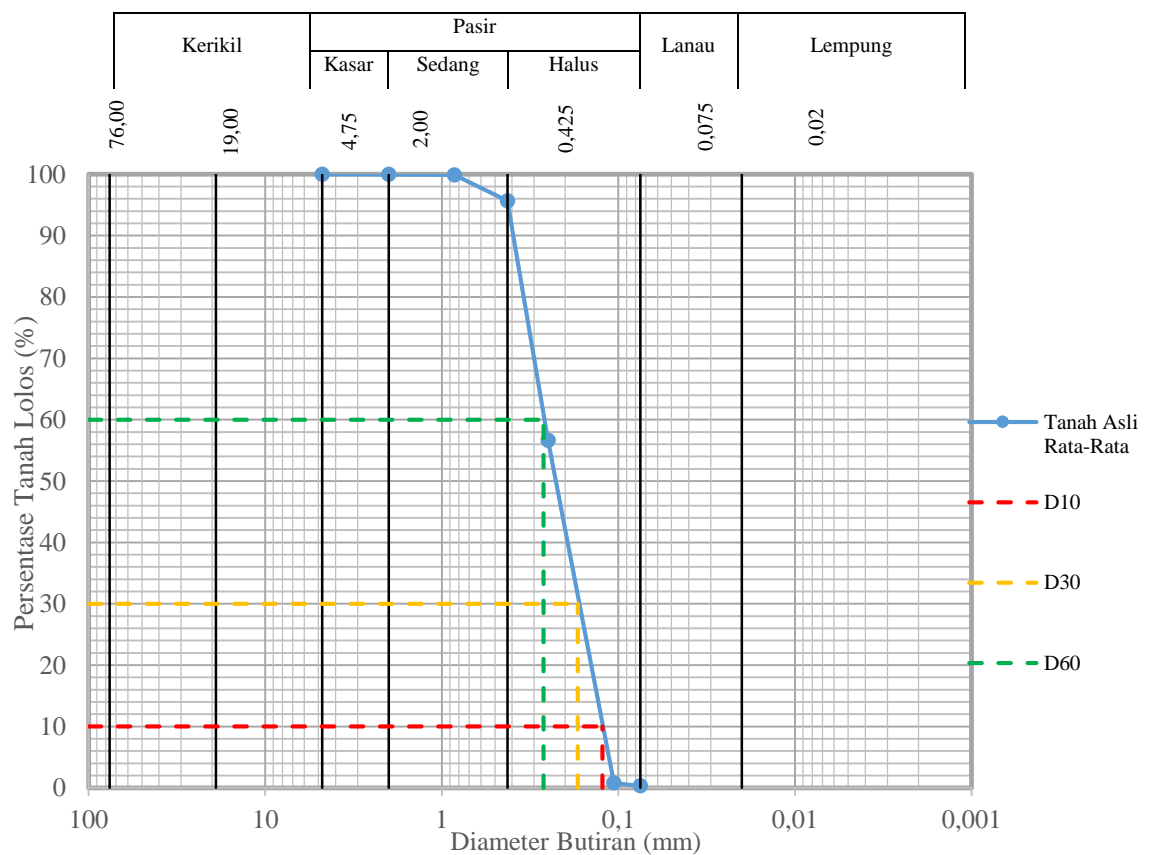
**Tabel 5.5 Hasil Pengujian Analisis Saringan Tanah Asli Sampel 2**

Nomor Saringan	Diameter Saringan (mm)	Berat Tanah Tertahan (gram)	Berat Tanah Lolos (gram)	Persentase Tanah Tertahan (%)	Persentase Tanah Lolos (%)
1	25,4	0	200	0	100
1/2	13,2	0	200	0	100
3/8	9,5	0	200	0	100
1/4	6,7	0	200	0	100
4	4,75	0	200,000	0,000	100,000
10	2	0,07	199,930	0,035	99,965
20	0,85	0,15	199,780	0,075	99,890
40	0,425	7,66	192,120	3,830	96,060
60	0,25	74,43	117,690	37,215	58,845
140	0,106	115,82	1,870	57,910	0,935
200	0,075	1,09	0,780	0,545	0,390
pan		0,78	0	0,390	0
Jumlah		200		100	

Berdasarkan hasil dari kedua sampel tersebut maka didapat analisis saringan seperti pada Tabel 5.6 serta dapat digambar grafik sesuai Gambar 5.1 berikut ini.

**Tabel 5.6 Hasil Rata-Rata Pengujian Analisis Saringan Tanah Asli**

Nomor Saringan	Diameter Saringan (mm)	Persentase Tanah Lolos Sampel 1 (%)	Persentase Tanah Lolos Sampel 2 (%)	Persentase Tanah Lolos Rata-rata (%)
1	25,4	100,000	100,000	100
1/2	13,2	100,000	100,000	100
3/8	9,5	100,000	100,000	100
1/4	6,7	100,000	100,000	100
4	4,75	100,000	100,000	100
10	2	99,975	99,965	99
20	0,85	99,905	99,890	99,898
40	0,425	95,305	96,060	95,683
60	0,25	54,470	58,845	56,658
140	0,106	0,65	0,935	0,7925
200	0,075	0,265	0,39	0,3275
Pan		0,000	0,000	0,000

**Gambar 5.1 Grafik Analisis Saringan Tanah Asli**

Berdasarkan grafik analisis saringan maka diperoleh hasil data sebagai berikut ini sesuai dengan Tabel 5.7.

**Tabel 5.7 Fraksi Butiran Tanah Asli**

Uraian	Hasil	Satuan
Lolos # 200	0,327	%
Kerikil	0	%
Pasir	99,673	%
Lempung dan lanau	0,327	%
D <sub>10</sub>	0,123	mm
D <sub>30</sub>	0,17	mm
D <sub>60</sub>	0,265	mm
$C_u = D_{60} / D_{10}$	2,154	
$C_c = D_{30}^2 / (D_{10} \times D_{60})$	0,887	

Hasil pengujian analisis saringan dapat diketahui bahwa tanah sampel yang berasal dari Pantai Glagah, Temon, Kulon Progo, DIY terdiri dari pasir (99,673%) dan lanau (0,327%).

Dari hasil data diatas maka dapat diketahui karakteristik sampel tanah menurut klasifikasi metode *USCS* adalah sebagai berikut ini.

1. Hasil analisis saringan sampel tanah asli yaitu tanah berbutir kasar  $\geq 50\%$  butiran tertahan saringan nomor 200 (0,075 mm) dan pasir  $\geq 50\%$  lolos saringan nomor 4 (4,75 mm), pada sampel tanah ini 100% lolos saringan no 4. Penentuan divisi utama tanah dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut ini.

**Tabel 5.8 Penentuan Divisi Utama Tanah Metode *USCS***

Divisi Utama	Simbol	Nama Umum
Tanah berbutir kasar; 50% butiran tertahan saringan No. 200	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
	GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau
	GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung
Kerikil; 50% fraksi kasar tertahan saringan No. 4	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
	SP	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau
	SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung
Pasir; dengan butiran halus		
Pasir bersih (hanya pasir)		
Kerikil dengan Butiran halus		
Kerikil bersih (hanya kerikil)		

(Sumber: Hardiyatmo, 2012)

2. Berdasarkan persentase butiran halus yang didapat adalah 0,327%, nilai  $D_{10}$  adalah 0,123 mm,  $D_{30}$  adalah 0,17, dan nilai  $D_{60}$  adalah 0,265 mm, dapat dihasilkan nilai  $C_u$  (koefisien keseragaman) adalah  $2,54 < 6$  dan  $C_c$  (koefisien gradasi) adalah 0,887 tidak diantara 1 dan 3, maka termasuk dalam pasir bersih dengan pasir bergradasi buruk. Kriteria klasifikasi dapat dilihat pada tabel 5.9 berikut ini.

**Tabel 5.9 Kriteria Klasifikasi Tanah Metode USCS**

Kriteria Klasifikasi	
$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$	
$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3	
Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$	Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol
Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI > 7$	Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol
$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$	
$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3	
Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW	
Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$	Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol
Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI > 7$	Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol

(Sumber: Hardiyatmo, 2012)

3. Berdasarkan cara di atas maka dapat ditentukan hasil akhir klasifikasi tanah berdasarkan USCS yaitu SP yang dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut ini.

**Tabel 5.10 Hasil Klasifikasi Tanah Metode USCS**

Divisi Utama	Simbol	Nama Umum
Tanah berbutir kasar $\geq 50\%$ butiran terbuhan saringan No. 200 Pasir $\geq 50\%$ fraksi kasar lolos saringan No. 4	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
	SP	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau
	SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung

(Sumber: Hardiyatmo, 2012)

### 5.5 Pengujian Pemadatan Tanah (Proktor Standar)

Pengujian pemadatan tanah dilakukan untuk menentukan hubungan antara kadar air dan berat volume dengan cara memadatkan tanah di dalam silinder dengan menambahkan air sesuai variasi kemudian ditumbuk hingga mengalami penurunan berat volume tanah kering. Pengujian ini bertujuan untuk mencari nilai kadar air optimum (*OMC*) dan kepadatan maksimum (*MDD*) dari sampel tanah uji. Berikut ini pengaruh penambahan air terhadap berat volume dapat dilihat pada Tabel 5.11 dan Tabel 5.12.

**Tabel 5.11 Pengaruh Penambahan Air Terhadap Berat Volume Tanah Basah Sampel 1**

Uraian	Simbol	Satuan	1	2	3	4	5
Berat Sampel		gram	2000	2000	2000	2000	2000
Kadar Air Mula-Mula	w	%	0,154	0,154	0,154	0,154	0,154
Penambahan Air		%	0	5,0	10,0	15,0	20,0
Penambahan Air		ml	0	100	200	300	400
Berat Cetakan/ <i>Mold</i>		gram	1712	1712	1712	1712	1712
Berat Cetakan + Tanah Basah		gram	3647	3702	3800	3951	3991
Berat Tanah Basah		gram	1935	1990	2088	2239	2279
Berat Volume Tanah Basah	$\gamma$	gram/cm <sup>3</sup>	2,066	2,125	2,230	2,391	2,434

**Tabel 5.12 Pengaruh Penambahan Air Terhadap Berat Volume Tanah Basah Sampel 2**

Uraian	Simbol	Satuan	1	2	3	4	5
Berat Sampel		gram	2000	2000	2000	2000	2000
Kadar Air Mula-Mula	w	%	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225
Penambahan Air		%	0	5,0	10,0	15,0	20,0
Penambahan Air		ml	0	100	200	300	400
Berat Caetakan/ <i>Mold</i>		gram	1836	1836	1836	1836	1836
Berat Cetakan + Tanah Basah		gram	3792	3843	3962	4090	4109
Berat Tanah Basah		gram	1956	2007	2126	2254	2273
Berat Volume Tanah Basah	$\gamma$	gram/cm <sup>3</sup>	2,049	2,103	2,228	2,362	2,382

Hasil dari pengujian dan perhitungan proktor standar didapat kadar air serta berat volume tanah kering yang dapat dilihat pada Tabel 5.13 dan 5.14 seperti di bawah ini.



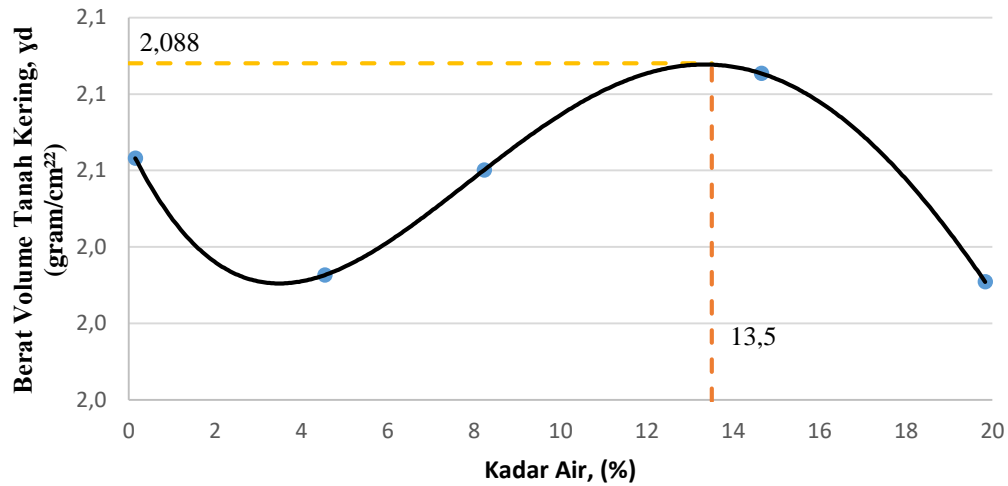
**Tabel 5.13 Data Hasil Pengujian Proktor Standar Sampel 1**

Uraian	Satuan	1		2		3		4		5	
		a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Berat Cawan	gram	8,8	8,87	8,81	8,96	9	8,98	9,2	9,17	9,34	8,89
Berat Cawan + Tanah Basah	gram	15,11	15,61	14,45	14,12	15,53	13,52	14,75	14,28	15,69	24,68
Berat Cawan + Tanah Kering	gram	15,1	15,6	14,2	13,9	15,04	13,17	14,07	13,6	14,67	21,99
Berat Air	gram	0,01	0,01	0,25	0,22	0,49	0,35	0,68	0,68	1,02	2,69
Berat Tanah Kering	gram	6,3	6,73	5,39	4,94	6,04	4,19	4,87	4,43	5,33	13,1
Kadar Air	%	0,159	0,149	4,638	4,453	8,113	8,353	13,963	15,350	19,137	20,534
Kadar Air Rata-Rata	%	0,154		4,546		8,233		14,656		19,836	
Berat Volume Tanah Kering	gram/cm <sup>3</sup>	2,063		2,033		2,060		2,085		2,031	

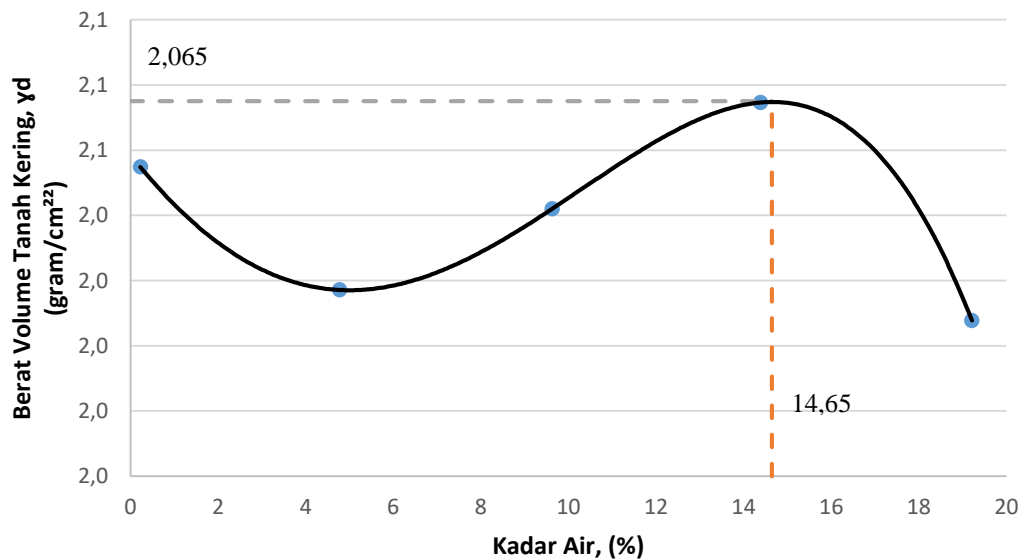
**Tabel 5.14 Data Hasil Pengujian Proktor Standar Sampel 2**

Uraian	Satuan	1		2		3		4		5	
		a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Berat Cawan	gram	8,9	9,0	13,0	12,8	12,8	13,1	13,3	12,8	12,6	12,6
Berat Cawan + Tanah Basah	gram	12,35	15,35	17,02	18,22	19,26	17,05	20,70	17,31	20,70	18,95
Berat Cawan + Tanah Kering	gram	12,34	15,34	16,84	17,97	18,70	16,70	19,77	16,74	19,38	17,94
Berat Air	gram	0,01	0,01	0,18	0,25	0,56	0,35	0,93	0,57	1,32	1,01
Berat Tanah Kering	gram	3,41	6,35	3,84	5,15	5,86	3,61	6,45	3,97	6,74	5,36
Kadar Air	%	0,293	0,157	4,687	4,854	9,556	9,695	14,419	14,358	19,585	18,843
Kadar Air Rata-Rata	%	0,225		4,771		9,626		14,388		19,214	
Berat Volume Tanah Kering	gram/cm <sup>3</sup>	2,045		2,007		2,032		2,065		1,998	

Berdasarkan hasil pengujian proktor standar diatas maka dapat digambar grafik hubungan antara kadar air dan berat volume tanah kering, sehingga didapat kadar air optimum dan berat volume kering maksimum. Grafik hasil pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 5.2 dan Gambar 5.3 di bawah ini.



**Gambar 5.2 Grafik Hasil Pengujian Proktor Standar Sampel 1**



**Gambar 5.3 Grafik Hasil Pengujian Proktor Standar Sampel 2**

Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat nilai kadar air optimum dan berat volume tanah kering seperti pada Tabel 5.15 berikut ini.

**Tabel 5.15 Data Hasil Pengujian Proktor Standar Tanah Asli**

Uraian	Simbol	Satuan	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Kadar Air Optimum	$w_{opt}$	%	13,5	14,65	14,075
Berat Volume Tanah Kering	$\gamma_d$	gram/cm <sup>3</sup>	2,088	2,065	2,077

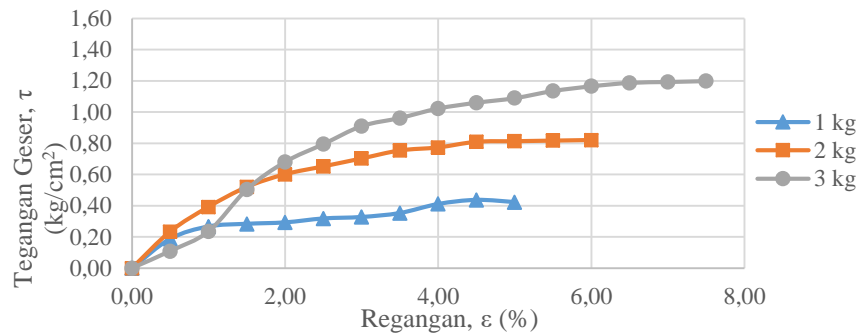
Hasil pengujian proktor standar dapat diketahui bahwa sampel tanah rata-rata di Pantai Glagah, Temon, Kulon Progo, DIY memiliki kadar air optimum 14,75%, berat volume tanah kering 14,075 gram/cm<sup>3</sup>, dan berdasarkan bentuk grafik termasuk dalam jenis tanah pasir gradasi buruk.

## 5.6 Pengujian Geser Langsung (*Direct Shear Test*)

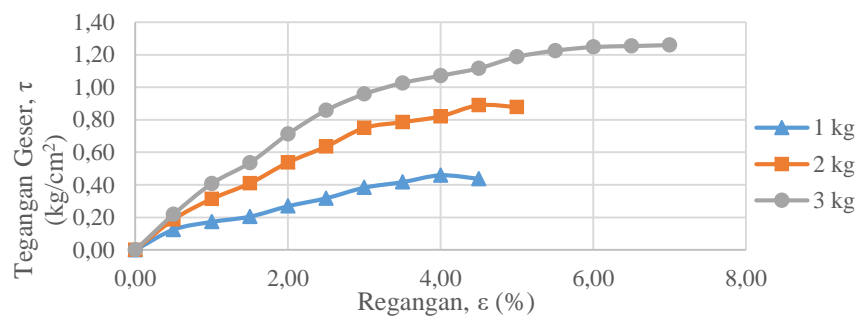
Tujuan pengujian kuat geser langsung adalah untuk menentukan besar parameter geser langsung. Parameter geser tanah terdiri atas sudut geser dalam ( $\phi$ ), dan kohesi ( $c$ ). Pengujian ini dilakukan pada tanah asli dan tanah asli yang telah ditambah bahan stabilisasi berupa limbah arang briket dan kapur. Proporsi penambahan limbah arang briket sebesar 1%, 3%, dan 5%, serta proporsi kapur 2% dari berat tanah kering. Sampel benda uji yang ditambah bahan stabilisasi dilakukan masa pemeraman selama 1 hari, 3 hari, dan 7 hari. Setiap bahan uji pada pengujian geser langsung menggunakan 2 sampel, setiap sampel menggunakan 3 benda uji untuk 3 pembebanan yaitu 1kg, 2kg, dan 3kg.

### 5.6.1 Pengujian Geser Langsung Tanah Asli

Hasil pengujian geser langsung pada sampel tanah asli tanpa penambahan limbah arang briket dan kapur dapat dilihat pada Lampiran 6 dan untuk grafik hubungan antara tegangan geser dan regangan dapat dilihat pada Gambar 5.4 untuk sampel 1 dan Gambar 5.5 untuk sampel 2 berikut ini.



**Gambar 5.4 Grafik Hubungan Tegangan Geser dan Regangan Tanah Asli Sampel 1 Pengujian Geser Langsung**



**Gambar 5.5 Grafik Hubungan Tegangan Geser dan Regangan Tanah Asli Sampel 2 Pengujian Geser Langsung**

Dari grafik diatas dapat diperoleh tegangan normal dan tegangan geser maksimum untuk setiap beban. Hasil tegangan normal dan tegangan geser maksimum tanah asli dapat dilihat pada Tabel 5.16 dan Tabel 5.17 berikut ini.

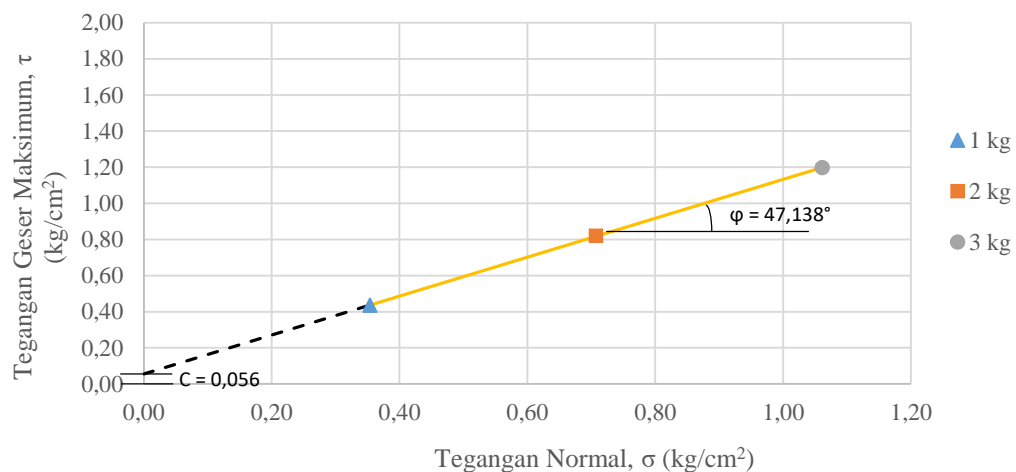
**Tabel 5.16 Nilai Tegangan Normal dan Tegangan Geser Maksimum Tanah Asli Sampel 1**

Penggesean	Simbol	Satuan	Sampel 1		
			I	II	III
Beban Normal		kg	1	2	3
Tegangan Normal	$\sigma$	kg/cm <sup>2</sup>	0,354	0,707	1,061
Tegangan Geser Maksimum	$\tau$	kg/cm <sup>2</sup>	0,437	0,821	1,199

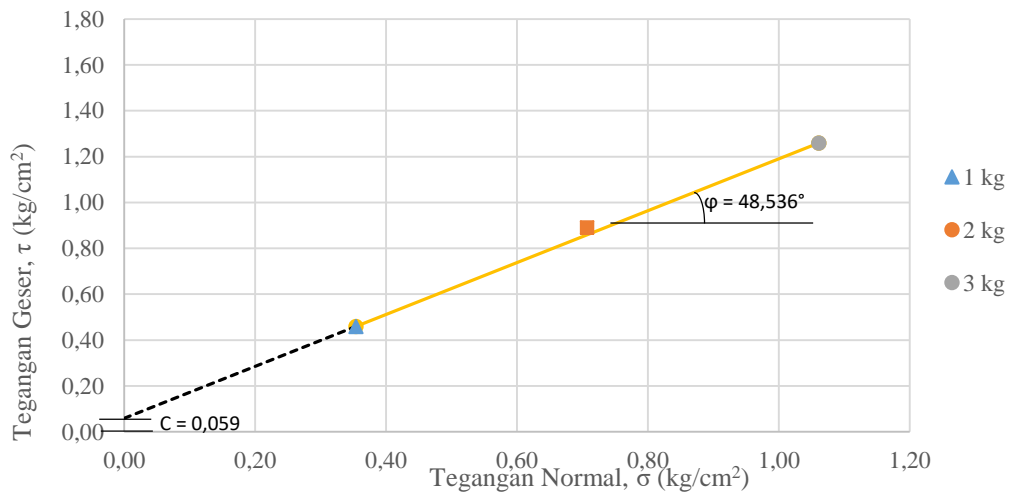
**Tabel 5.17 Nilai Tegangan Normal dan Tegangan Geser Maksimum Tanah Asli Sampel 2**

Penggesean	Simbol	Satuan	Sampel 2		
			I	II	III
Beban Normal		kg	1	2	3
Tegangan Normal	$\sigma$	kg/cm <sup>2</sup>	0,354	0,707	1,061
Tegangan Geser Maksimum	$\tau$	kg/cm <sup>2</sup>	0,459	0,890	1,260

Dari tabel diatas maka dapat diperoleh grafik hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser maksimum yang dapat digunakan untuk mencari kohesi dan sudut geser dalam secara grafis. Hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser maksimum dari tanah asli dapat dilihat pada Gambar 5.6 dan Gambar 5.7 berikut ini.



**Gambar 5.6 Grafik Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser Maksimum Tanah Asli Sampel 1 Pengujian Geser Langsung**



**Gambar 5.7 Grafik Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser Maksimum Tanah Asli Sampel 2 Pengujian Geser Langsung**

Dari grafik diatas maka didapatkan nilai kohesi dan sudut geser dalam tanah asli. Hasil dari pengujian geser langsung dapat dilihat pada Tabel 5.18 berikut ini.

**Tabel 5.18 Hasil Pengujian Geser Langsung Tanah Asli**

Pengujian Geser langsung	Satuan	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Sudut Geser Dalam	°	47,138	48,536	47,837
Kohesi	kg/cm	0,056	0,059	0,058

#### 5.6.2 Pengujian Geser Langsung Tanah Asli dengan Penambahan Limbah Arang Briket dan Kapur Pemeraman 1 Hari

Pengujian geser langsung tanah dengan penambahan limbah arang briket dan kapur dengan lama pemeraman selama 1 hari didapatkan hasil seperti pada Tabel 5.19 berikut ini.

**Tabel 5.19 Hasil Pengujian Geser Langsung Tanah Asli dengan Limbah Arang Briket dan Kapur Pemeraman 1 Hari**

Variasi	Parameter kuat Geser Tanah	
	Sudut Geser Dalam	Kohesi
	°	kg/cm <sup>2</sup>
Tanah Asli + 1% Limbah Arang Briket	47,908	0,063
Tanah Asli + 3% Limbah Arang Briket	48,052	0,078
Tanah Asli + 5% Limbah Arang Briket	48,094	0,118
Tanah Asli + 1% Limbah Arang Briket + 2% Kapur	48,017	0,090
Tanah Asli + 3% Limbah Arang Briket + 2% Kapur	48,118	0,122
Tanah Asli + 5% Limbah Arang Briket + 2% Kapur	48,471	0,152

#### 5.6.3 Pengujian Geser Langsung Tanah Asli dengan Penambahan Limbah Arang Briket dan Kapur Pemeraman 3 Hari

Pengujian geser langsung tanah dengan penambahan limbah arang briket dan kapur dengan lama pemeraman selama 3 hari didapatkan hasil seperti pada Tabel 5.20 berikut ini.

**Tabel 5.20 Hasil Pengujian Geser Langsung Tanah Asli dengan Limbah Arang Briket dan Kapur Pemeraman 3 Hari**

Variasi	Parameter kuat Geser Tanah	
	Sudut Geser Dalam	Kohesi
	°	kg/cm <sup>2</sup>
Tanah Asli + 1% Limbah Arang Briket	48,606	0,149
Tanah Asli + 3% Limbah Arang Briket	48,817	0,187
Tanah Asli + 5% Limbah Arang Briket	49,280	0,229
Tanah Asli + 1% Limbah Arang Briket + 2% Kapur	49,316	0,166
Tanah Asli + 3% Limbah Arang Briket + 2% Kapur	49,579	0,214
Tanah Asli + 5% Limbah Arang Briket + 2% Kapur	50,440	0,297

#### 5.6.4 Pengujian Geser Langsung Tanah Asli dengan Penambahan Limbah Arang Briket dan Kapur Pemeraman 7 Hari

Pengujian geser langsung tanah dengan penambahan limbah arang briket dan kapur dengan lama pemeraman selama 7 hari didapatkan hasil seperti pada Tabel 5.21 berikut ini.

**Tabel 5.21 Hasil Pengujian Geser Langsung Tanah Asli dengan Limbah Arang Briket dan Kapur Pemeraman 7 Hari**

Variasi	Parameter kuat Geser Tanah	
	Sudut Geser Dalam	Kohesi
	°	kg/cm <sup>2</sup>
Tanah Asli + 1% Limbah Arang Briket	49,874	0,332
Tanah Asli + 3% Limbah Arang Briket	50,380	0,355
Tanah Asli + 5% Limbah Arang Briket	50,698	0,388
Tanah Asli + 1% Limbah Arang Briket + 2% Kapur	50,547	0,503
Tanah Asli + 3% Limbah Arang Briket + 2% Kapur	50,855	0,558
Tanah Asli + 5% Limbah Arang Briket + 2% Kapur	51,893	0,712

#### 5.6.5 Rekapitulasi Hasil Pengujian Geser Langsung

Rekapitulasi hasil pengujian geser langsung tanah asli dan tanah asli dengan penambahan bahan stabilisasi berupa limbah arang briket dapat dilihat pada Tabel 5.22 berikut ini.

**Tabel 5.22 Rekapitulasi Hasil Pengujian Geser Langsung**

Pemeraman	Variasi	Parameter Kuat Geser Tanah	
		Sudut Geser Dalam	Kohesi
		°	kg/cm <sup>2</sup>
	Tanah Asli	47,837	0,058
1 Hari	Tanah Asli + 1% Limbah Arang Briket	47,908	0,063
	Tanah Asli + 3% Limbah Arang Briket	48,052	0,078
	Tanah Asli + 5% Limbah Arang Briket	48,094	0,118
	Tanah Asli + 1% Limbah Arang Briket + 2% Kapur	48,017	0,090
	Tanah Asli + 3% Limbah Arang Briket + 2% Kapur	48,118	0,122
	Tanah Asli + 5% Limbah Arang Briket + 2% Kapur	48,471	0,152
3 Hari	Tanah Asli + 1% Limbah Arang Briket	48,606	0,149
	Tanah Asli + 3% Limbah Arang Briket	48,817	0,187
	Tanah Asli + 5% Limbah Arang Briket	49,280	0,229
	Tanah Asli + 1% Limbah Arang Briket + 2% Kapur	49,316	0,166
	Tanah Asli + 3% Limbah Arang Briket + 2% Kapur	49,579	0,214
	Tanah Asli + 5% Limbah Arang Briket + 2% Kapur	50,440	0,297
7 Hari	Tanah Asli + 1% Limbah Arang Briket	49,874	0,332
	Tanah Asli + 3% Limbah Arang Briket	50,380	0,355
	Tanah Asli + 5% Limbah Arang Briket	50,698	0,388
	Tanah Asli + 1% Limbah Arang Briket + 2% Kapur	50,547	0,503
	Tanah Asli + 3% Limbah Arang Briket + 2% Kapur	50,855	0,558
	Tanah Asli + 5% Limbah Arang Briket + 2% Kapur	51,893	0,712

#### 5.6.6 Pengaruh Bahan Stabilisasi terhadap Parameter Kuat Geser Tanah pada Tanah Asli

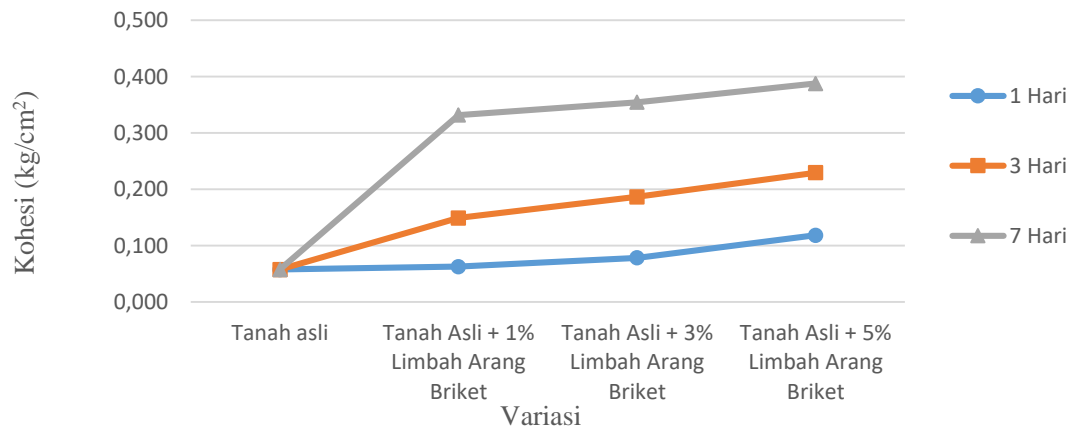
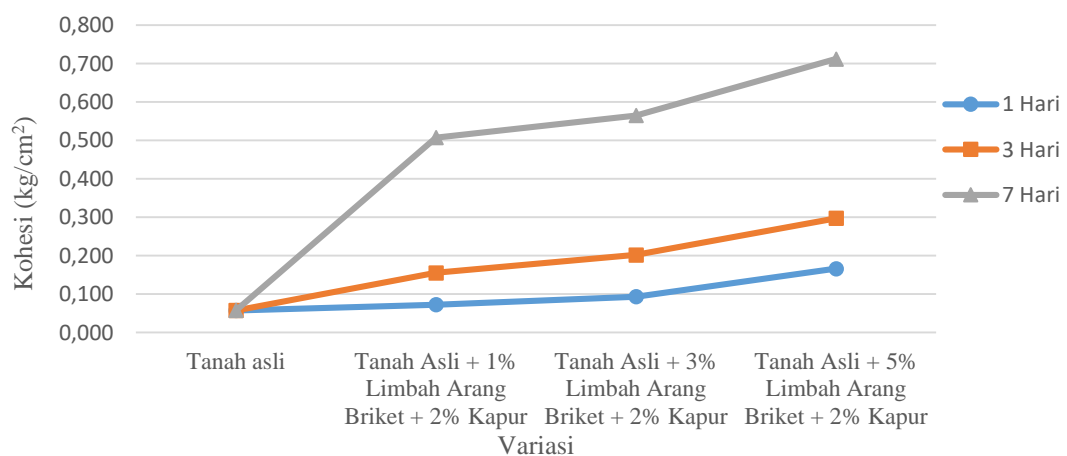
##### 1. Kohesi

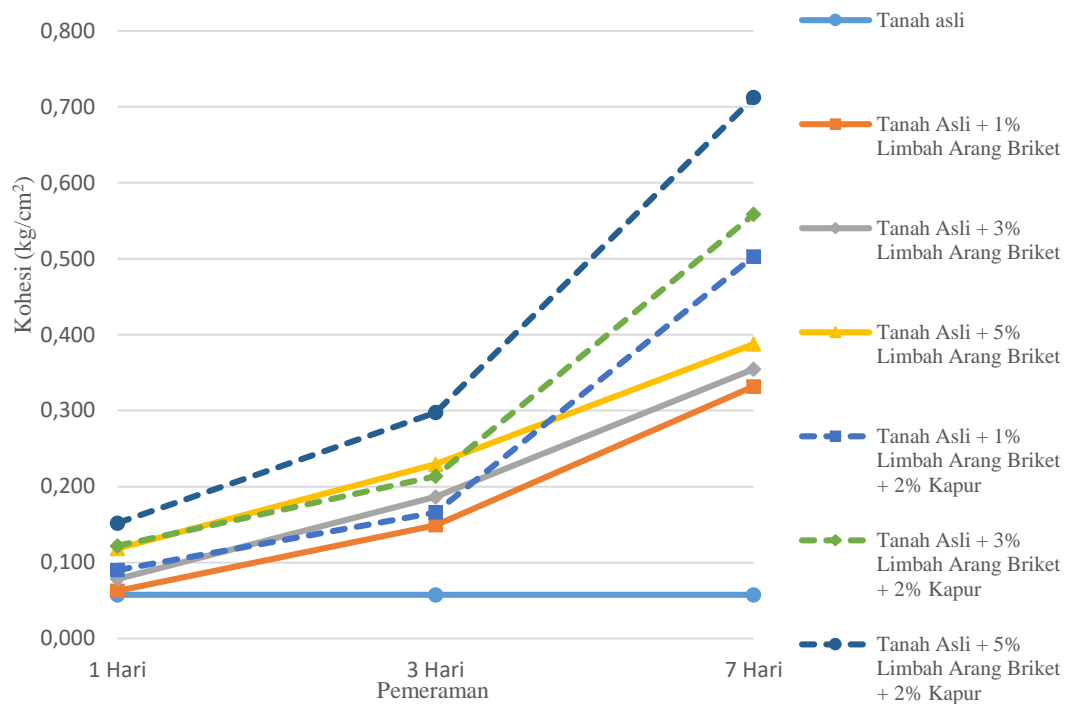
Pengaruh penambahan bahan stabilisasi berupa limbah arang briket dan kapur pada tanah asli terhadap kohesi dapat dilihat pada Tabel 5.23, Gambar 5.8, Gambar 5.9, dan Gambar 5.10 berikut ini



**Tabel 5.23 Pengaruh Variasi Bahan Stabilisasi Terhadap Nilai Kohesi**

Variasi	kohesi kg/cm <sup>2</sup>		
	Pemeraman		
	1 Hari	3 Hari	7 Hari
Tanah asli	0,058	0,058	0,058
Tanah Asli + 1% Limbah Arang Briket	0,063	0,149	0,332
Tanah Asli + 3% Limbah Arang Briket	0,078	0,187	0,355
Tanah Asli + 5% Limbah Arang Briket	0,118	0,229	0,388
Tanah Asli + 1% Limbah Arang Briket + 2% Kapur	0,090	0,166	0,503
Tanah Asli + 3% Limbah Arang Briket + 2% Kapur	0,122	0,214	0,558
Tanah Asli + 5% Limbah Arang Briket + 2% Kapur	0,152	0,297	0,712

**Gambar 5.8 Grafik Pengaruh Penambahan Limbah Arang Briket Terhadap Nilai Kohesi Pada Pengujian Geser Langsung****Gambar 5.9 Grafik Pengaruh Penambahan Limbah Arang Briket + Kapur Terhadap Nilai Kohesi Pada Pengujian Geser Langsung**



**Gambar 5.10 Grafik Pengaruh Pemeraman pada Variasi Sampel Terhadap Nilai Kohesi Pada Pengujian Geser Langsung**

Berdasarkan Gambar 5.8 sampel tanah asli ditambah dengan limbah arang briket mengalami kenaikan kohesi, didapatkan nilai kohesi tanah asli + 1% limbah arang briket pemeraman 1 hari  $0,063 \text{ kg/cm}^2$ , 3 hari  $0,149 \text{ kg/cm}^2$ , 7 hari  $0,332 \text{ kg/cm}^2$ ; nilai kohesi tanah asli + 3% limbah arang briket pemeraman 1 hari  $0,078 \text{ kg/cm}^2$ , 3 hari  $0,187 \text{ kg/cm}^2$ , 7 hari  $0,355 \text{ kg/cm}^2$ ; dan nilai kohesi tanah asli + 5% limbah arang briket pemeraman 1 hari  $0,118 \text{ kg/cm}^2$ , 3 hari  $0,229 \text{ kg/cm}^2$ , 7 hari  $0,388 \text{ kg/cm}^2$ .

Berdasarkan Gambar 5.9 sampel tanah asli ditambah dengan limbah arang karbit + 2% kapur juga mengalami kenaikan kohesi, didapatkan nilai kohesi tanah asli + 1% limbah arang briket + 2% kapur pemeraman 1 hari  $0,090 \text{ kg/cm}^2$ , 3 hari  $0,166 \text{ kg/cm}^2$ , 7 hari  $0,503 \text{ kg/cm}^2$ ; nilai kohesi tanah asli + 3% limbah arang briket + 2% kapur pemeraman 1 hari  $0,122 \text{ kg/cm}^2$ , 3 hari  $0,214 \text{ kg/cm}^2$ , 7 hari  $0,558 \text{ kg/cm}^2$ ; dan nilai kohesi tanah asli + 5% limbah arang briket + 2% kapur pemeraman 1 hari  $0,152 \text{ kg/cm}^2$ , 3 hari  $0,297 \text{ kg/cm}^2$ , 7 hari  $0,712 \text{ kg/cm}^2$ .

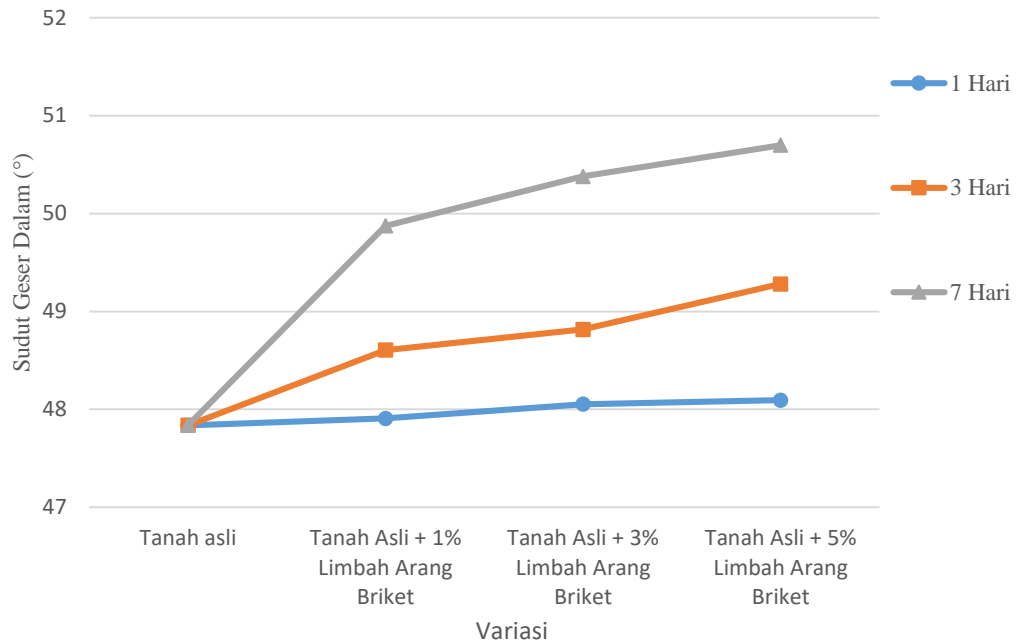
Berdasarkan Gambar 5.10 diatas setiap penambahan limbah arang briket dan kapur memberikan dampak kenaikan pada nilai kohesi. Nilai kohesi tertinggi dengan bahan tambah hanya limbah arang briket terjadi pada variasi sampel tanah asli + 5% limbah arang briket dengan lama pemeraman 7 hari, kohesi tanah asli yang semula  $0,058 \text{ kg/cm}^2$  naik 668,96% menjadi  $0,388 \text{ kg/cm}^2$  dan dengan tambahan limbah arang briket serta 2% kapur terjadi peningkatan pada variasi tanah asli + 5% limbah arang briket + 2% kapur dengan lama pemeraman 7 hari, kenaikan kohesi dari tanah asli sebesar 1227,59% menjadi  $0,712 \text{ kg/cm}^2$ . Peningkatan yang terjadi pada setiap pengujian tersebut menunjukkan bahwa terjadi reaksi antara tanah asli dengan bahan stabilisasi yaitu limbah arang briket dan kapur sehingga dapat digunakan untuk meningkatkan nilai kohesi pada tanah pasir.

## 2. Sudut Geser Dalam

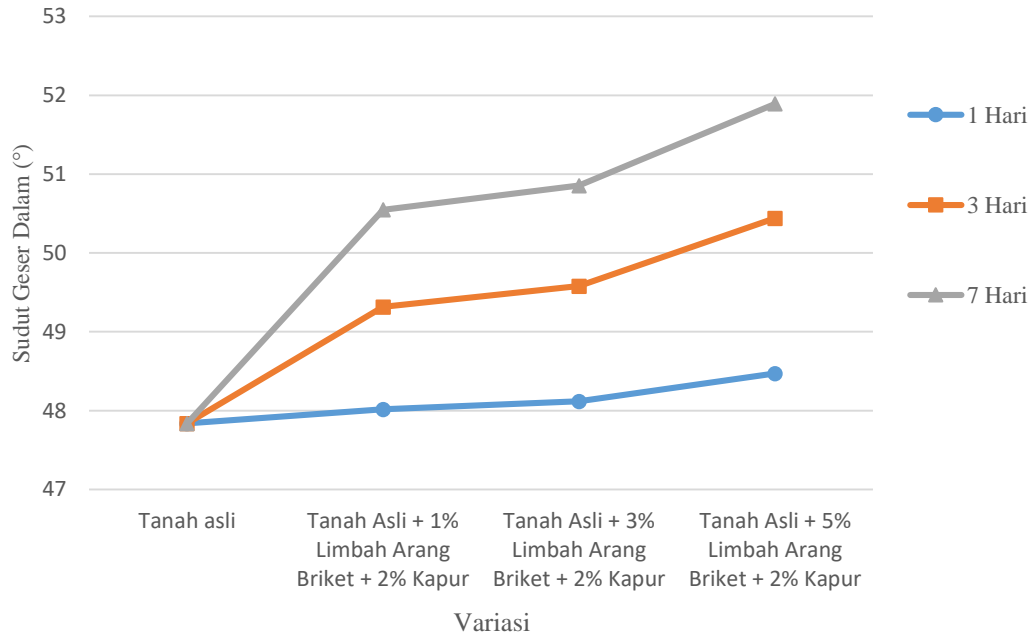
Pengaruh penambahan bahan stabilisasi berupa limbah arang briket dan kapur pada tanah asli terhadap sudut geser dalam dapat dilihat pada Tabel 5.24, Gambar 5.11, Gambar 5.12, dan Gambar 5.13 berikut ini.

**Tabel 5.24 Pengaruh Variasi Bahan Stabilisasi Terhadap Nilai Sudut Geser Dalam**

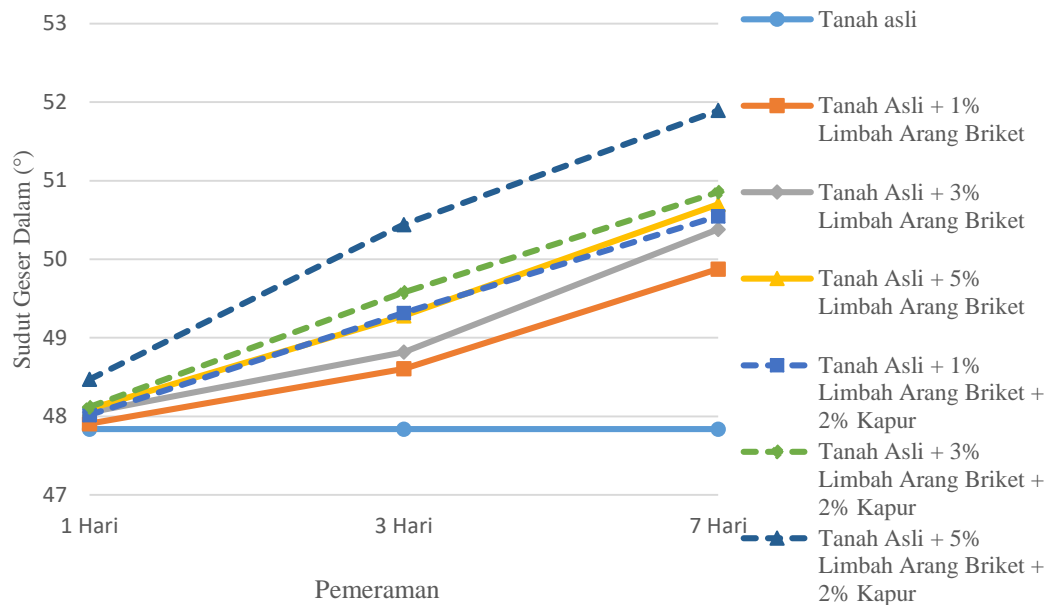
Variasi	Sudut Geser Dalam		
	°		
	Pemeraman		
	1 Hari	3 Hari	7 Hari
Tanah asli	47,837	47,837	47,837
Tanah Asli + 1% Limbah Arang Briket	47,908	48,606	49,874
Tanah Asli + 3% Limbah Arang Briket	48,052	48,817	50,380
Tanah Asli + 5% Limbah Arang Briket	48,094	49,280	50,698
Tanah Asli + 1% Limbah Arang Briket + 2% Kapur	48,017	49,316	50,547
Tanah Asli + 3% Limbah Arang Briket + 2% Kapur	48,118	49,579	50,855
Tanah Asli + 5% Limbah Arang Briket + 2% Kapur	48,471	50,440	51,893



**Gambar 5.11 Grafik Pengaruh Penambahan Limbah Arang Briket Terhadap Nilai Sudut Geser Dalam Pada Pengujian Geser Langsung**



**Gambar 5.12 Grafik Pengaruh Penambahan Limbah Arang Briket + 2% Kapur Terhadap Nilai Sudut Geser Dalam Pada Pengujian Geser Langsung**



**Gambar 5.13 Grafik Pengaruh Pemeraman Pada Variasi Sampel Terhadap Nilai Sudut Geser Dalam Pengujian Geser Langsung**

Berdasarkan Gambar 5.11 sampel tanah asli ditambah dengan limbah arang briket mengalami peningkatan nilai sudut geser dalam didapatkan pada tanah asli + 1% limbah arang briket pemeraman 1 hari 47,908°, 3 hari 48,606°, 7 hari 49,874°; nilai sudut geser dalam tanah asli + 3% limbah arang briket pemeraman 1 hari 48,052°, 3 hari 48,817°, 7 hari 50,380°; dan nilai sudut geser dalam tanah asli + 5% limbah arang briket pemeraman 1 hari 48,094°, 3 hari 49,280°, dan 7 hari 50,698°.

Berdasarkan Gambar 5.12 sampel tanah asli ditambah dengan limbah arang briket + 2% kapur mengalami peningkatan pada nilai sudut geser dalam didapatkan pada tanah asli + 1% limbah arang briket + 2% kapur pemeraman 1 hari 48,017°, 3 hari 49,316°, 7 hari 50,547°; nilai sudut geser dalam tanah asli + 3% limbah arang briket + 2% kapur pemeraman 1 hari 48,118°, 3 hari 49,579°, 7 hari 50,855°; dan nilai sudut geser dalam tanah asli + 5% limbah arang briket + 2% kapur pemeraman 1 hari 48,471°, 3 hari 50,440°, dan 7 hari 51,983°.

Berdasarkan Gambar 5.13 diatas setiap penambahan limbah arang briket dan kapur memberikan dampak peningkatan nilai sudut geser dalam pada semua variasi sampel. Peningkatan terbesar nilai sudut geser dalam dengan penambahan hanya limbah arang briket terjadi pada sampel tanah asli + 5% limbah arang briket dengan

pemeraman selama 7 hari yaitu menjadi  $50,698^\circ$  dari  $47,837^\circ$  pada tanah asli. Kenaikan terbesar nilai sudut geser dalam terjadi pada sampel tanah asli + 5% limbah arang briket + 2% kapur dengan pemeraman selama 7 hari yaitu menjadi  $51,893^\circ$  dari  $47,873^\circ$  pada tanah asli.

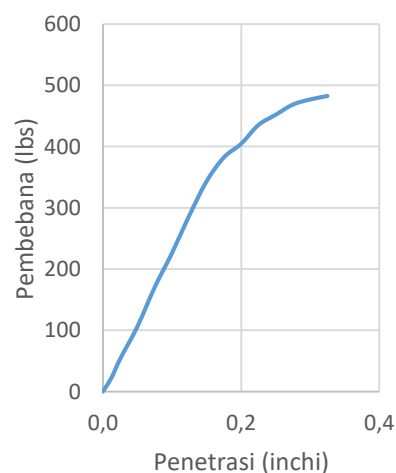
Peningkatan yang terjadi pada nilai geser dalam setiap nilai kohesi dan sudut geser dalam sampel pengujian tersebut menunjukkan bahwa terjadi reaksi antara tanah asli dengan bahan stabilisasi yaitu limbah arang briket dan kapur sehingga dapat digunakan untuk meningkatkan parameter kuat geser pada tanah pasir.

### 5.7 Pengujian *California Bearing Ratio (CBR)*

Pengujian *CBR* dilakukan hanya pada sampel tanah asli dan sampel tanah yang telah distabilisasi yang memiliki kohesi paling tinggi pada bahan tambah limbah arang briket dan limbah arang briket + kapur saat pengujian geser langsung, dan hasilnya variasi sampel tanah yang digunakan adalah tanah asli + 5% limbah arang briket dan tanah asli + 5% limbah arang briket + 2% kapur dengan lama pemeraman selama 7 hari. Pengujian *CBR* dilakukan pada kondisi tidak direndam (*unsoaked*) dan direndam (*soaked*).

#### 5.7.1 *CBR* Tidak Direndam (*Unsoaked*)

Hasil pengujian ini pada tanah asli *unsoaked* dilakukan dengan 1 sampel. Grafik *CBR* tanah asli *unsoaked* dapat dilihat pada Gambar 5.14.



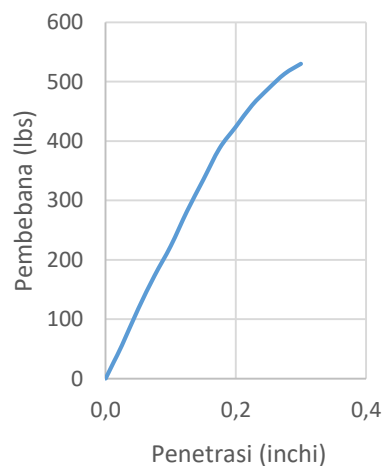
**Gambar 5.14 Grafik Pengujian *CBR* Sampel 1 Tanah Asli *Unsoaked***

Berdasarkan grafik diatas maka didapatkan hasil nilai *CBR Unsoaked* pada sampel tanah yang dapat dilihat pada Tabel 5.25 berikut ini

**Tabel 5.25 Nilai *CBR* Tanah Asli *Unsoaked* Sampel 1**

Tanah Asli	Nilai <i>CBR</i> (%)	
	0,1"	0,2"
Sampel 1	7,53	8,99

Dari nilai *CBR* diatas dapat diketahui nilai *CBR* 0,2" lebih besar dari 0,1" maka dilakukan pengujian ulang, dan hasil uji ulang atau sampel 2 dapat dilihat pada grafik Gambar 5.15 berikut ini.



**Gambar 5.15 Grafik Pengujian *CBR* Sampel 2 Tanah Asli *Unsoaked***

Berdasarkan grafik diatas maka didapatkan nilai *CBR Unsoaked* pada sampel 2 dapat dilihat pada Tabel 5.26 berikut ini

**Tabel 5.26 Nilai *CBR* Tanah Asli *Unsoaked* Sampel 2**

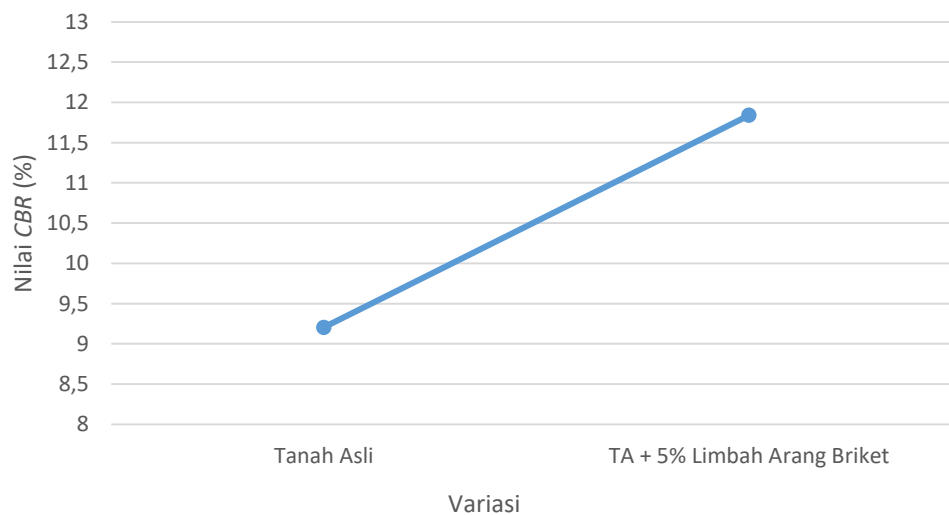
Tanah Asli	Nilai <i>CBR</i> (%)	
	0,1"	0,2"
Sampel 2	7,44	9,42

Berdasarkan SNI 1744:2012 setelah dilakukan pengujian ulang maka nilai *CBR* yang dipakai adalah pada terbesar yaitu pada penetrasi 0,2” dengan nilai rata-rata sebesar 9,21%. Hasil pengujian *CBR* tanah campuran *unsoaked* pemeraman 7 hari penambahan stabilisasi berupa arang briket dan kapur dapat dilihat pada Tabel 5.27 berikut ini.

**Tabel 5.27 Nilai *CBR* Sampel Tanah dengan Bahan Stabilisasi *Unsoaked***

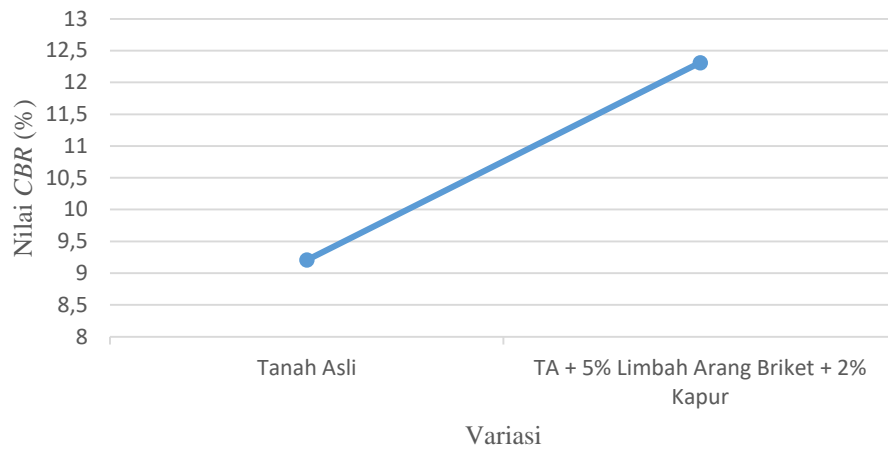
Variasi	Nomor Sampel	Nilai <i>CBR</i>	
		%	
TA + 5% Arang Briket	1	11,78	11,84
	2	11,90	
TA + 5% Arang Briket + 2% Kapur	1	12,21	12,31
	2	12,40	

Berdasarkan tabel diatas maka dapat dibuat grafik pengaruh antara sampel tanah asli dengan variasi sampel tanah yang telah distabilisasi dengan lama pemeraman 7 hari *unsoaked* seperti pada Gambar 5.16, Gambar 5.17, dan Gambar 5.18.

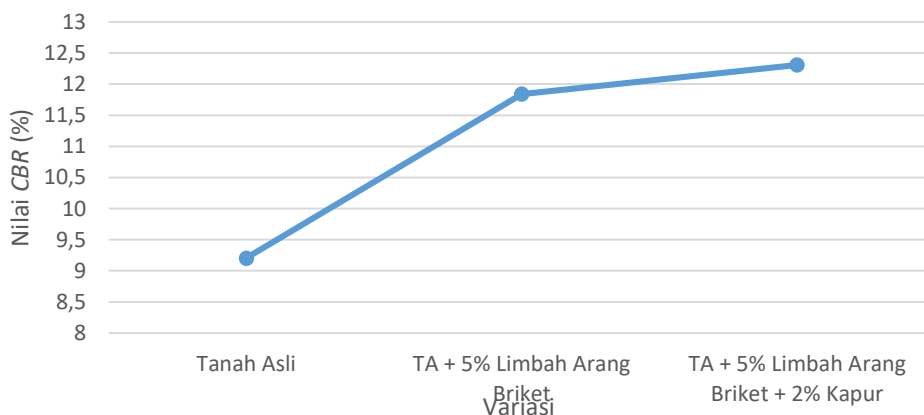


**Gambar 5.16 Grafik Pengaruh Penambahan Limbah Arang Briket Terhadap Nilai *CBR Unsoaked***





**Gambar 5.17 Grafik Pengaruh Penambahan Limbah Arang Briket + Kapur Terhadap Nilai CBR Unsoaked**

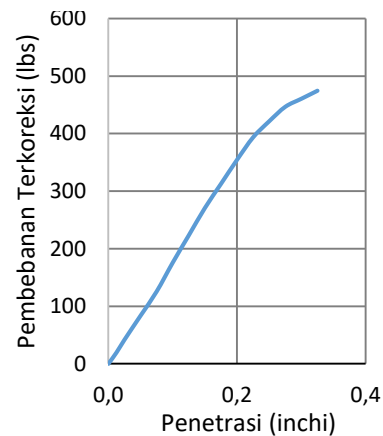


**Gambar 5.18 Grafik Pengaruh Variasi Sampel Terhadap Nilai CBR Unsoaked**

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui dengan penambahan limbah arang briket dapat meningkatkan nilai *CBR unsoaked* yang semula 9,21% menjadi 11,84% pada tanah asli + 5% limbah arang briket pemeraman 7 hari, dan menjadi 12,31% pada variasi tanah asli + 5% limbah arang briket + 2% kapur.

### 5.7.2 CBR Direndam (*Soaked*)

Pengujian ini dilakukan pada tanah asli yang diperam selama 7 hari dan direndam selama 4 hari. Grafik *CBR* sampel 1 dapat dilihat pada Gambar 5.19 berikut ini.



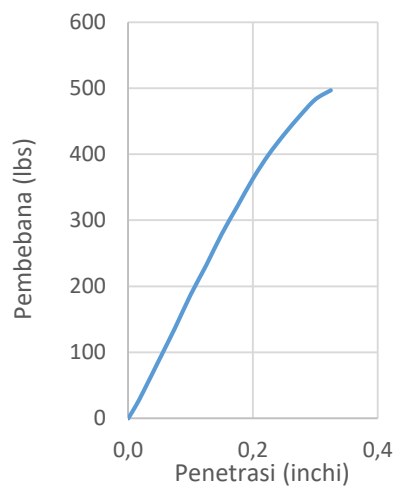
**Gambar 5.19 Grafik Pengujian CBR Sampel 1 Tanah Asli Soaked**

Berdasarkan grafik diatas maka didapatkan hasil nilai *CBR* pada sampel 1, yang dapat dilihat pada Tabel 5.28 berikut ini.

**Tabel 5.28 Nilai CBR Tanah Asli Soaked Sampel 1**

Tanah Asli	Nilai CBR (%)	
	0,1"	0,2"
Sampel 1	7,53	7,87

Dari nilai *CBR* diatas dapat diketahui nilai *CBR* 0,2" lebih besar dari 0,1" maka dilakukan pengujian ulang, dan hasil uji ulang atau sampel 2 dapat dilihat pada grafik Gambar 5.20 berikut ini.



**Gambar 5.20 Grafik Pengujian CBR Sampel 2 Tanah Asli Soaked**

Berdasarkan grafik diatas maka didapatkan hasil nilai *CBR* pada sampel 2, yang dapat dilihat pada Tabel 5.29 berikut ini.

**Tabel 5.29 Nilai *CBR* Tanah Asli *Soaked* Sampel 2**

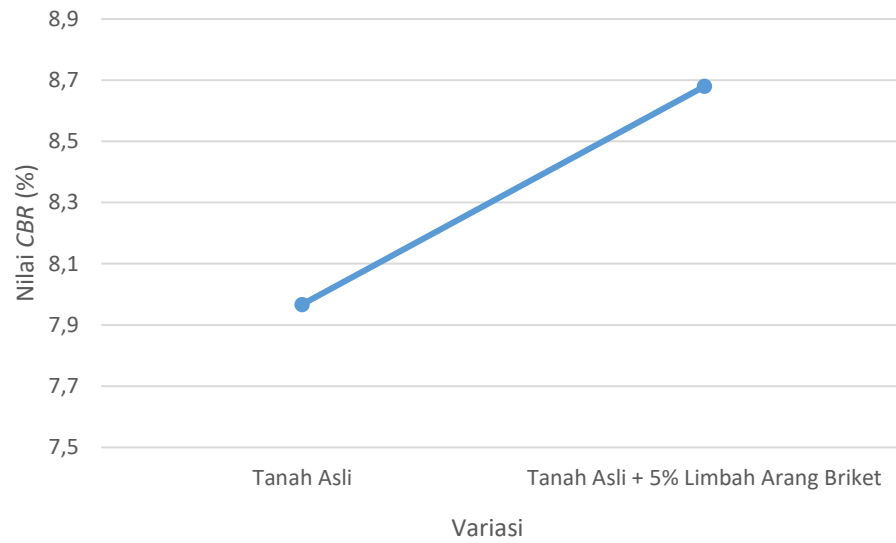
Tanah Asli	Nilai <i>CBR</i> (%)	
	0,1"	0,2"
Sampel 2	6,23	8,06

Berdasarkan SNI 1744:2012 setelah dilakukan pengujian ulang maka nilai *CBR* yang dipakai adalah pada terbesar yaitu pada penetrasi 0,2" dengan nilai rata-rata sebesar 7,97%. Hasil pengujian *CBR* tanah campuran pemeraman 7 hari dengan penambahan bahan stabilisasi berupa arang briket dan kapur pada pengujian *CBR soaked* ditunjukkan pada Tabel 5.30 berikut ini.

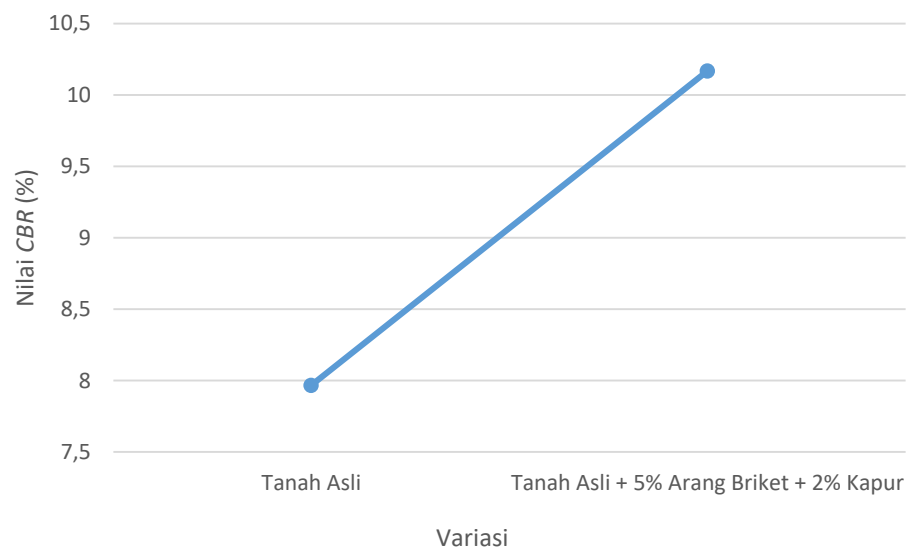
**Tabel 5.30 Nilai *CBR* Sampel Tanah dengan Bahan Stabilisasi *Soaked***

Variasi	Nomor Sampel	Nilai <i>CBR</i>	
		%	
TA + 5% Arang Briket	1	8,37	8,68
	2	8,99	
TA + 5% Arang Briket + 2% Kapur	1	10,54	10,17
	2	9,80	

Berdasarkan tabel diatas maka dapat dibuat grafik pengaruh antara sampel tanah asli dengan variasi sampel tanah yang telah distabilisasi dengan lama pemeraman 7 hari + *soaked* 4 hari seperti pada Gambar 5.21, Gambar 5.21, dan Gambar 5.23.



**Gambar 5.21 Grafik Pengaruh Penambahan Limbah Arang Briket Terhadap Nilai *CBR Soaked***



**Gambar 5.22 Grafik Pengaruh Penambahan Limbah Arang Briket + Kapur Terhadap Nilai *CBR Soaked***



**Gambar 5.23 Grafik Pengaruh Variasi Sampel Terhadap Nilai *CBR Soaked***

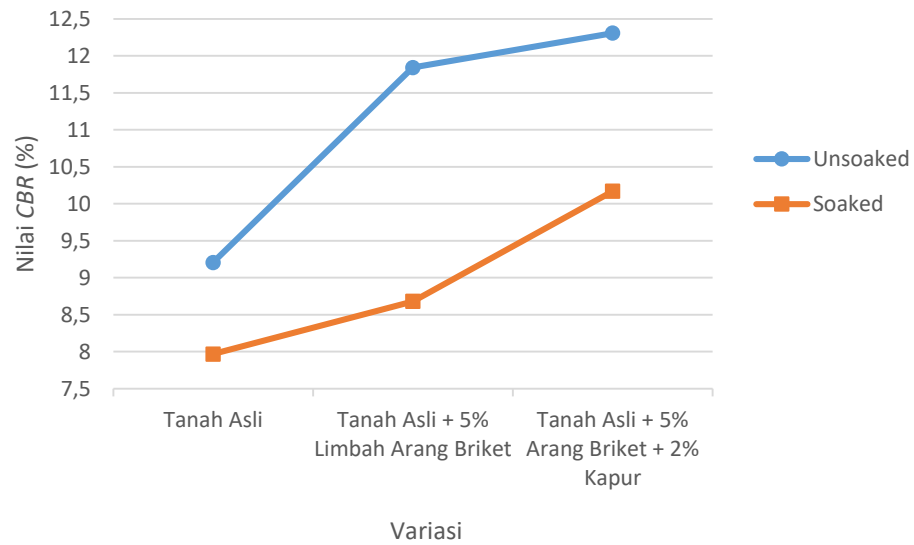
Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui dengan penambahan limbah arang briket dapat meningkatkan nilai *CBR soaked* yang semula 7,97% menjadi 8,68% pada tanah asli + 5% limbah arang briket pemeraman 7 hari, dan menjadi 10,17% pada variasi tanah asli + 5% limbah arang briket + 2% kapur.

### 5.7.3 Rekapitulasi Nilai *CBR*

Rekapitulasi hasil pengujian *CBR* dengan lama pemeraman 7 hari pada tanah asli dan tanah asli dengan penambahan bahan stabilisasi berupa limbah arang briket dapat dilihat pada Tabel 5.31 dan grafik pengaruh bahan stabilisasi terhadap nilai *CBR* baik *unsoaked* maupun *soaked* dapat dilihat pada Gambar 5.24 berikut ini.

**Tabel 5.31 Rekapitulasi Nilai *CBR***

Sampel Pengujian	Nilai <i>CBR</i> (%)	
	<i>Unsoaked</i>	<i>Soaked</i>
Tanah Asli	9,21	7,97
Tanah Asli + 5% Limbah Arang Briket	11,84	8,68
Tanah Asli + 5% Arang Briket + 2% Kapur	12,31	10,17



**Gambar 5.24 Grafik Pengaruh Variasi Sampel Terhadap Nilai CBR**

Berdasarkan grafik diatas limbah arang briket serta kapur dapat menambah nilai CBR baik *unsoaked* maupun *soaked*, hal ini disebabkan terjadinya suatu reaksi antara tanah pasir dengan bahan stabilisasi.