

## BAB 4

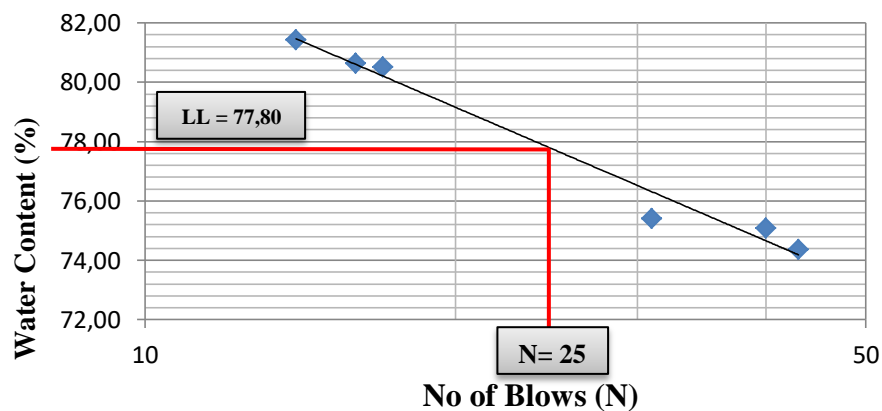
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Pengujian sifat fisik tanah

Pengujian sifat fisik tanah merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat fisik tanah dan mengklasifikasikan jenis tanah tersebut. Pengujian ini terdiri dari pengujian batas-batas atterberg, pengujian analisa saringan, dan pengujian berat jenis. Sampel tanah yang akan dilakukan pengujian berasal dari daerah Desa Gasing, Tanjung Api-Api, Kecamatan Talang Kelapa, Kabupaten Banyuasin, Sumatera Selatan. Berikut merupakan hasil dari setiap pengujian sifat fisik tanah asli, yaitu:

a) Pengujian batas-batas atterberg

Pengujian batas-batas atterberg terdiri dari pengujian batas cair dan pengujian batas plastis. Hasil pengujian dari kedua pengujian tersebut akan digunakan untuk menghitung nilai indeks plastisitas (PI). Hasil pengujian batas cair didapatkan nilai sebesar 77,80%, sedangkan pengujian batas plastis menghasilkan nilai 37,17%. Dari hasil pengujian batas cair dan batas plastis didapatkan nilai indeks plastisitas (PI) sebesar 40,63%. Nilai indeks plastisitas dari tanah asli tersebut dapat dikategorikan mempunyai potensi perubahan volume yang sangat tinggi. Hasil pengujian dari batas cair terdapat pada gambar 4.1. dan secara lebih lengkap hasil pengujian batas-batas atterberg dilampirkan pada lampiran 2.

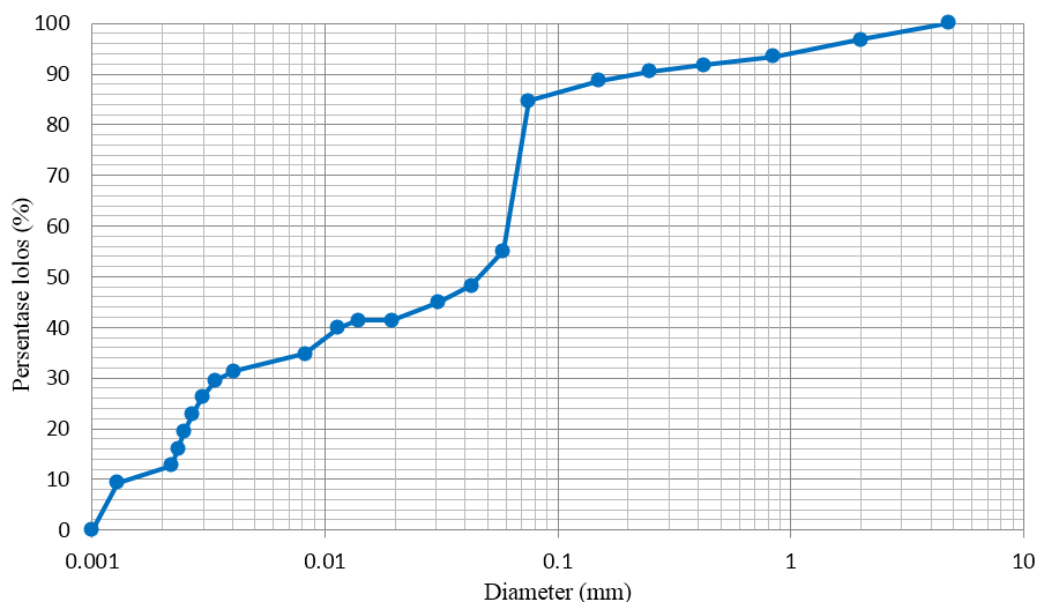


Gambar 4.1. Grafik pengujian batas cair

Pada gambar 4.1. diatas menunjukkan bahwa pada pukulan ke 25 menghasilkan nilai batas cair (LL) sebesar 77,80%. Nilai tersebut dapat dikategorikan sebagai tanah dengan kembang susut yang sangat tinggi.

b) Pengujian analisa butiran tanah

Pengujian analisa butiran tanah terbagi menjadi analisa butiran tanah mekanikal dan analisa butiran tanah hydrometer. Hasil pengujian analisa butiran tanah mekanikal didapatkan tanah yang lolos saringan No. 40 sebesar 91,74%. Sedangkan, untuk tanah yang lolos saringan No. 200 sebesar 84,7%. Grafik hasil analisa butiran tanah baik secara mekanikal maupun hydrometer ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2. Grafik analisa butiran tanah

c) Pengujian berat jenis

Pengujian berat jenis tanah dimaksudkan untuk mengetahui berat jenis dari butiran tanah. Pada pengujian ini didapatkan nilai berat jenis tanah asli sebesar 2,666. Nilai berat jenis dari tanah tersebut menunjukkan bahwa tanah asli merupakan jenis tanah lempung. Hasil dari pengujian berat jenis tanah asli terdapat pada lampiran 2.

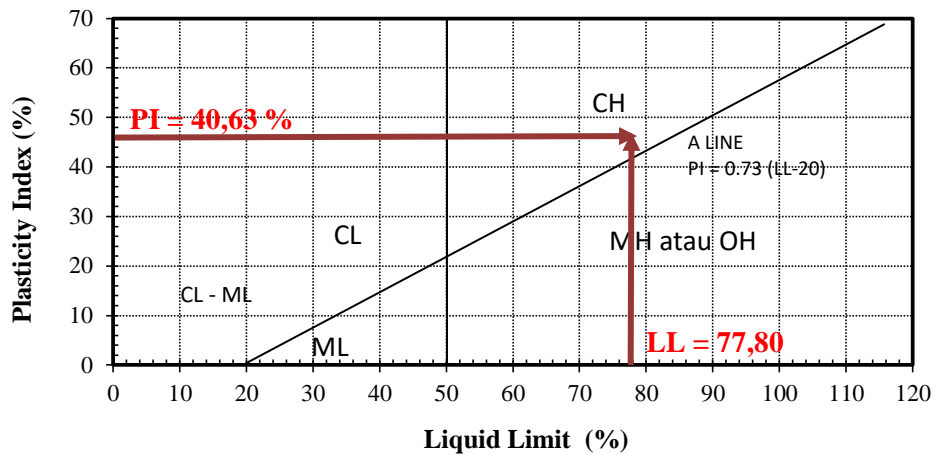
## **4.2. Sistem klasifikasi tanah**

Sistem klasifikasi tanah merupakan sistem yang digunakan untuk mengelompokkan tanah-tanah berdasarkan dengan perilaku umum dari tanah tersebut pada suatu kondisi fisis tertentu. Sistem klasifikasi tanah yang umumnya digunakan terdiri dari klasifikasi sistem USCS dan klasifikasi sistem AASHTO.

### **4.2.1. Klasifikasi sistem USCS**

Klasifikasi sistem USCS merupakan sistem yang mengelompokkan jenis tanah berdasarkan oleh ukuran butir dan gradasi butirannya. Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam klasifikasi tanah pada sistem ini, yaitu persentase butiran yang lolos saringan No. 200, persentase fraksi kasar yang lolos saringan No. 40, koefisien keseragaman dan gradasi ( $C_u$  dan  $C_c$ ) untuk tanah 0-12% lolos saringan No. 200, dan batas cair serta indeks plastisitas untuk tanah lolos saringan No. 40.

Hasil pengujian yang lolos saringan No. 200 dari pengujian sebelumnya didapatkan bahwa  $>50\%$  sebesar 84,7%. Dari hasil tersebut dinyatakan tanah merupakan lanau atau lempung. Tahap berikutnya merupakan hasil dari pengujian batas cair. Nilai dari pengujian batas cair sebesar  $>50\%$  yaitu 77,80%. Setelah itu, klasifikasi tanah dapat dilanjutkan berdasarkan dari gambar 4.1. Parameter yang digunakan pada gambar 4.1. merupakan indeks plastisitas dan batas cair. Nilai indeks plastisitas dan batas cair dari pengujian batas-batas atterberg sebesar 40,63% dan 77,80%. Kedua nilai dari parameter tersebut dimasukkan ke dalam grafik dan didapatkan hasil bahwa tanah asli merupakan jenis tanah CH. Jenis tanah CH adalah tanah lempung organik dengan plastisitas yang tinggi atau lempung gemuk. Berikut merupakan grafik klasifikasi tanah dengan sistem USCS sebagai berikut:



Gambar 4.3. Grafik klasifikasi tanah sistem USCS

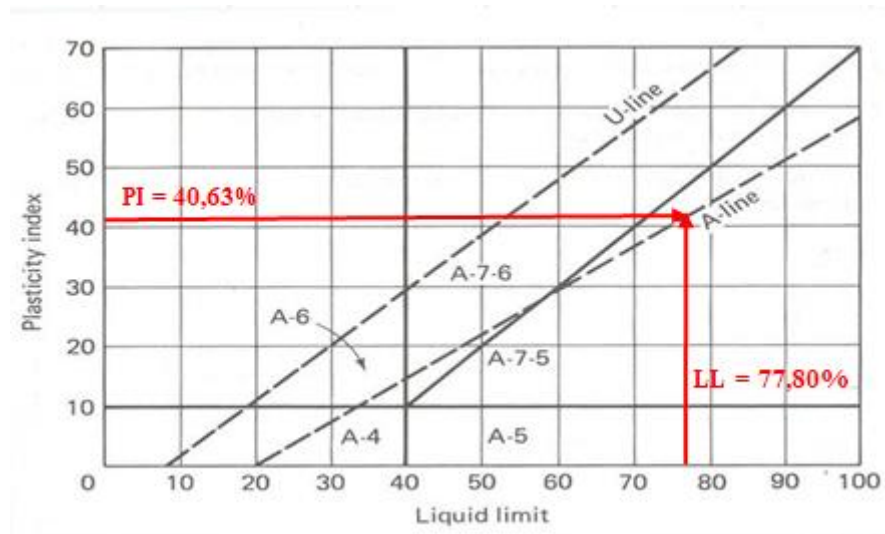
#### 4.2.2. Klasifikasi sistem AASHTO

Klasifikasi sistem AASHTO adalah sistem yang mengklasifikasikan tanah menjadi delapan kelompok. Delapan kelompok tersebut, yaitu A-1 sampai A-8. Tahapan penggolongan klasifikasi sistem AASHTO adalah dengan menggunakan data-data hasil pengujian sebelumnya yang dicocokkan dengan parameter yang terdapat pada tabel 4.1 yang dimulai dari bagian kiri ke bagian kanan. Parameter yang ditinjau adalah tanah yang lolos saringan No. 10, No. 40, No.200, nilai batas cair dan nilai indeks plastisitas (PI). Parameter yang cocok berdasarkan hasil klasifikasi tanah sistem AASHTO adalah tanah yang lolos saringan No. 200 sebesar 84,70% dengan syarat minimal 36%. Selain itu, nilai batas cair yang sebesar 77,80% yang mempunyai syarat minimal 41% dan nilai indeks plastisitas yaitu sebesar 40,63% dengan minimal 11%. Hasil klasifikasi tanah sistem AASHTO didapatkan bahwa parameter yang cocok terdapat pada kelompok A-7. Kelompok A-7 merupakan tanah dengan jenis lanau-lempung. Berikut merupakan hasil pengklasifikasian sistem AASHTO berdasarkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. Hasil klasifikasi tanah sistem AASHTO

Klasifikasi Umum	Material granuler (<35% lolos saringan no.200)							Tanah-tanah lanau-lempung (>35% lolos saringan no.200)			
Klasifikasi Kelompok	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5 A-7-6
<b>Analisis saringan (% lolos)</b>	50										
<b>2.00 mm (no.10)</b>	max	50	51								
<b>0.42 mm (no. 40)</b>	30	max	min	35max	35ma	35	35	36	36	36	36 min
<b>0.075 mm (no. 200)</b>	max	25	10		x	max	max	min	min	min	
	15	max	max								
	max										
<b>Sifat fraksi lolos saringan no. 40</b>											
<b>Batas cair (LL)</b>				40 max	41	40	41	40	41	40	41 min
	6 max	6 max	N.P.	10 max	min	max	min	max	min	max	11 min
<b>Index plastis (PI)</b>					10	11	11	10	10	11	
					max	min	min	max	max	min	
<b>Indeks Kelompok (G)</b>	0		0	0		4 maks		8	12	16	20
								maks	maks	maks	maks
<b>Tipe material yang pokok pada umumnya</b>	Pecahan batu, kerikil, dan pasir		Pasir halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir				Tanah berlanau	Tanah berlempung		
<b>Penilaian umum sebagai tanah dasar</b>	Sangat baik sampai baik							Sedang sampai buruk			

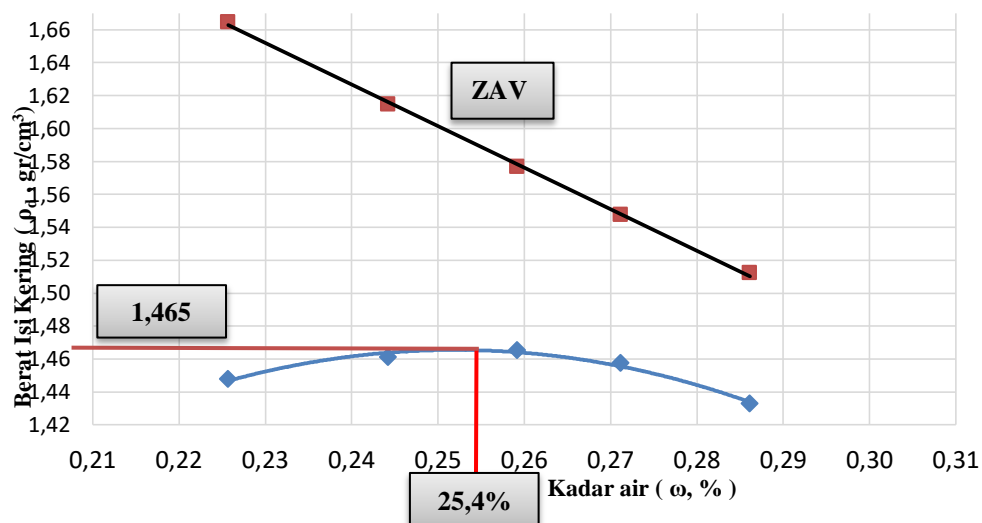
Berdasarkan hasil klasifikasi sistem AASHTO untuk tanah yang termasuk pada kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7. Kelompok tersebut diklasifikasikan kembali menggunakan grafik pada gambar 4.4. Hasil klasifikasi sebelumnya menunjukkan bahwa tanah termasuk pada kelompok A-7 sehingga tahapan klasifikasi tanah dilanjutkan gambar 4.4. Parameter yang digunakan pada grafik tersebut merupakan nilai batas cair dengan nilai 77,80% dan indeks plastisitas sebesar 40,63%. Kedua nilai tersebut di plot pada grafik dan menunjukkan hasil bahwa tanah asli berdasarkan klasifikasi sistem AASHTO termasuk pada kelompok A-7-5. Hasil klasifikasi sistem AASHTO lanjutan berdasarkan grafik ditunjukkan pada gambar 4.4. sebagai berikut:



Gambar 4.4. Grafik klasifikasi tanah sistem AASHTO

### 4.3. Pengujian pemadatan tanah standar

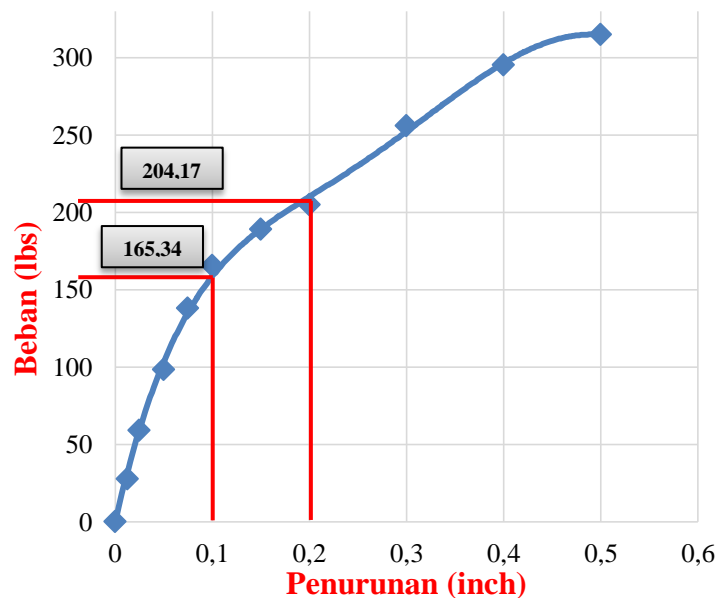
Pengujian pemadatan tanah standar adalah pengujian yang mempunyai tujuan untuk mendapatkan nilai kadar air optimum dan berat volume kering maksimum pada tanah. Hasil dari pengujian pemadatan tanah standar pada tanah asli menghasilkan nilai kadar air optimum tanah asli sebesar 25,4% dan nilai berat volume kering sebesar  $1,465 \text{ gr/cm}^3$ . Grafik dari pengujian pemadatan tanah standar pada tanah asli terdapat pada gambar 4.5. dan hasil lengkap dari pengujian pemadatan tanah standar pada tanah asli dilampirkan pada lampiran 4.



Gambar 4.5. Grafik pengujian pemadatan tanah standar

#### 4.4. Pengujian CBR *soaked* tanpa campuran

Pengujian CBR *soaked* merupakan pengujian untuk menentukan nilai CBR dan pengembangan volume pada tanah tersebut. Nilai CBR adalah nilai perbandingan antara beban penetrasi suatu bahan terhadap bahan standard dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Sedangkan, nilai pengembangan volume didapatkan dari hasil perbandingan antara perubahan tinggi selama perendaman terhadap tinggi benda uji semula. Hasil pengujian CBR *soaked* tanpa campuran didapatkan sebesar 5,51% dan nilai pengembangan volume sebesar 1,99%. Grafik dari hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 4.5. serta hasil pengujian CBR *soaked* tanpa campuran dilampirkan pada lampiran 5.



Gambar 4.6. Grafik pengujian CBR *soaked* tanah asli

Hasil dari pengujian CBR *soaked* tanpa campuran di atas menunjukkan bahwa tanah asli termasuk dalam kategori tandus (*poor to fair*), yaitu sebesar 5,51%. Nilai CBR dapat dikategorikan sebagai jenis tandus jika nilai CBR 3% - 7%, sedangkan untuk kategori sangat tandus (*very poor*) mempunyai nilai CBR 0% - 3%. Oleh karena itu, dari hasil nilai CBR *soaked* tanah asli tersebut sampel tanah perlu dilakukan perbaikan.

Tabel 4.2. Rekapitulasi hasil pengujian tanah asli

No.	Identifikasi tanah	Hasil pengujian
1	Berat jenis tanah (Gs)	2,666
2	Batas cair (LL)	77,80%
3	Batas plastis (PL)	37,17%
4	Indeks plastisitas (IP)	40,63%
5	Tanah lolos saringan No.40 (<0,425 mm)	91,74%
6	Tanah lolos saringan No.200 (<0,075 mm)	84,70%
7	Klasifikasi tanah menurut AASHTO	A-7-5
8	Klasifikasi tanah menurut USCS	CH
9	Kadar air optimum ( $w_{opt}$ )	25,4%
10	Berat volume kering maksimum ( $\rho_d$ maks)	1,465 gr/cm <sup>3</sup>
11	<i>California bearing ratio (CBR) soaked</i>	5,51%
12	Nilai pengembangan	1,99%

#### 4.5. Pengujian unsur kimia abu limbah pabrik kertas

Pengujian unsur kimia ini dimaksudkan untuk mengetahui kandungan unsur kimia seperti silika, kalsium, dan lainnya yang terdapat pada abu limbah pabrik kertas. Pengujian ini dilakukan di Baristand Industri Palembang (Balai Riset dan Standarisasi Industri Palembang). Metode uji yang dilakukan untuk mengetahui unsur kimia berupa silika ( $\text{SiO}_2$ ) adalah gravimetri. Sedangkan unsur kimia Ca, MgO, dan Fe berupa metode AAS. Hasil pengujian unsur kimia abu limbah pabrik kertas (tabel 4.3.)



Tabel 4.3. Hasil pengujian unsur kimia abu limbah pabrik kertas

Unsur Kimia	Persentase
MgO	0,93%
Silica (SiO <sub>2</sub> )	0,86%
Fe	0,30%
Ca	0,12%

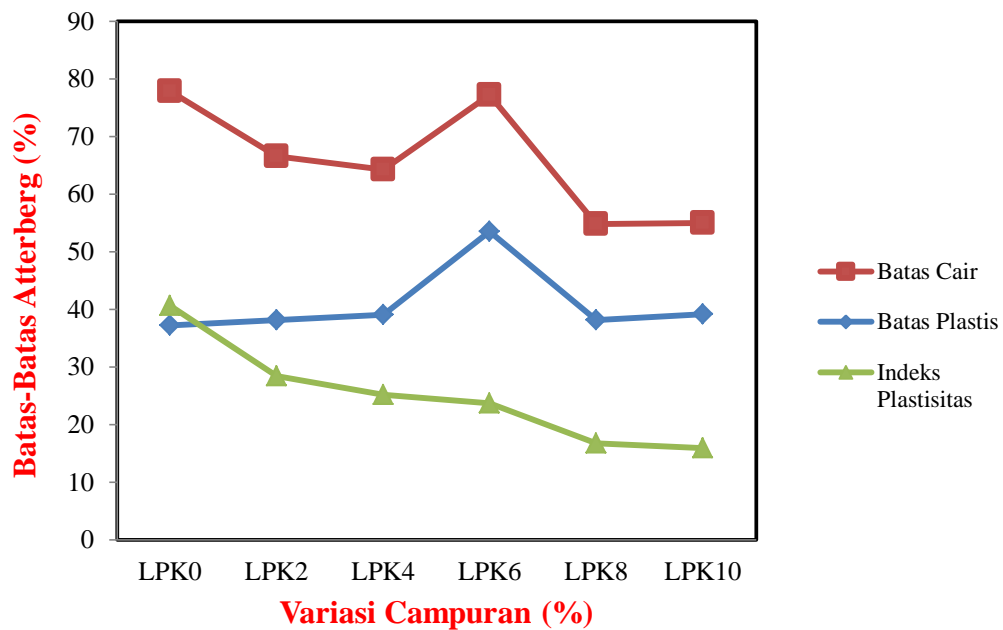
Hasil pengujian di atas menunjukkan bahwa persentase kandungan yang terbesar pada abu limbah pabrik kertas tersebut adalah MgO. Kandungan MgO pada abu limbah pabrik kertas yang sebesar 0,930%. Sedangkan persentase terbesar selanjutnya yaitu kandungan silika (SiO<sub>2</sub>) yang sebesar 0,860%. Unsur silika (SiO<sub>2</sub>) berperan sebagai unsur yang mengisi rongga-rongga dalam tanah.

#### 4.6. Pengujian batas-batas atterberg dengan campuran

Pada pengujian batas-batas atterberg ini dilakukan dengan mencampurkan abu limbah pabrik kertas dengan variasi campuran 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10%. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh abu limbah pabrik kertas terhadap sifat kembang susut dari sampel tanah yang diuji. Nilai kembang susut dari tanah didapatkan dari nilai indeks plastisitas (IP) yang bergantung pada hasil pengujian batas cair dan pengujian batas plastis. Berikut merupakan hasil pengujian batas-batas atterberg terdapat pada tabel 4.4. dan grafik 4.7.

Tabel 4.4. Hasil pengujian batas-batas atterberg dengan campuran

No	Variasi Campuran	Batas Cair	Batas Plastis	Indeks Plastisitas (IP) ( % )
		(LL) ( % )	(PL) ( % )	
1	LPK0	77,80	37,17	40,63
2	LPK2	66,50	38,08	28,42
3	LPK4	64,20	39,05	25,15
4	LPK6	77,20	53,49	23,71
5	LPK8	54,80	38,12	16,68
6	LPK10	55,00	39,09	15,91



Gambar 4.7. Grafik pengujian batas-batas atterberg dengan campuran

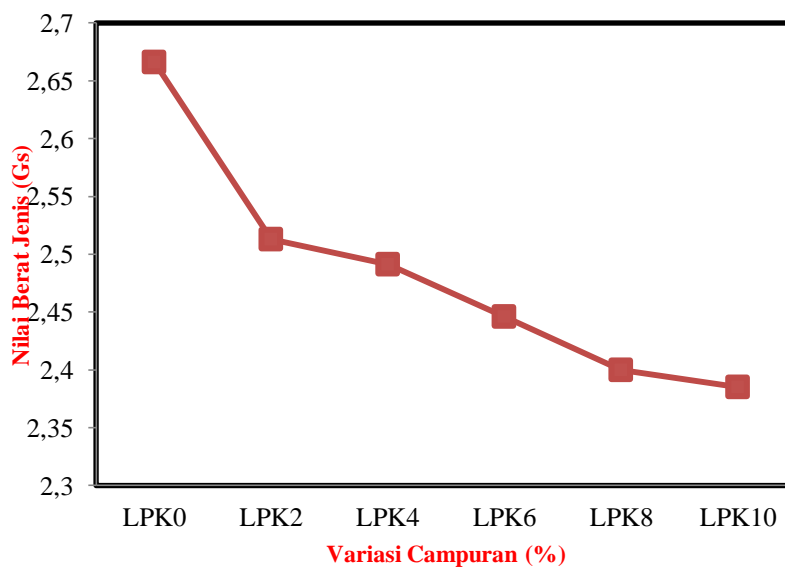
Hasil pengujian batas-batas atterberg di atas menunjukkan bahwa nilai indeks plastisitas (IP) dengan campuran abu limbah pabrik kertas mengalami penurunan dari nilai indeks plastisitas (IP) tanah asli yang sebesar 40,63%. Nilai penurunan tersebut menghasilkan bahwa semakin besar persentase campuran yang diberikan pada tanah, maka nilai indeks plastisitas semakin menurun. Nilai indeks plastisitas yang paling maksimum dari lima persentase campuran tersebut adalah sebesar 15,91% pada variasi LPK10. Nilai indeks plastisitas sebesar 15,91% tersebut dapat digolongkan pada nilai kembang susut yang rendah. Dari hasil pengujian batas-batas atterberg di atas, maka potensi perubahan volume berubah dari kategori yang sangat tinggi menjadi rendah.

#### 4.7. Pengujian berat jenis dengan campuran

Pengujian berat jenis ini dilakukan dengan sampel yang berupa tanah dan variasi campuran abu limbah pabrik kertas. Pengujian ini dilakukan untuk menggambarkan garis *zero air void* (ZAV) terhadap pengujian pemadatan tanah standar. Hasil pengujian berat jenis dengan campuran ditunjukkan pada tabel 4.5. dan gambar 4.8.

Tabel 4.5. Hasil pengujian berat jenis dengan variasi campuran

No	Variasi Campuran	Berat Jenis ( % )
1	LPK2	2,513
2	LPK4	2,491
3	LPK6	2,446
4	LPK8	2,400
5	LPK10	2,385
6	Abu Limbah Pabrik Kertas	2,346



Gambar 4.8. Grafik pengujian berat jenis dengan campuran

Hasil pengujian berat jenis yang ditunjukkan pada grafik diatas menjelaskan bahwa berat jenis campuran antara tanah dan abu limbah pabrik kertas mengalami penurunan. Semakin banyak abu limbah pabrik kertas yang ditambahkan, maka nilai berat jenisnya semakin menurun. Ini dapat terjadi karena berat jenis dari abu limbah pabrik kertas yang lebih kecil dari berat jenis tanah asli. Nilai berat jenis untuk abu limbah pabrik kertas sebesar 2,346 (Lampiran 2).

#### 4.8. Pengujian pemadatan tanah standar dengan campuran

Pengujian pemadatan tanah standar dengan campuran mempunyai hasil yang sama dengan hasil pengujian pemadatan tanah standar tanah asli. Pengujian ini menghasilkan nilai kadar air optimum dan berat volume kering maksimum.

Hasil kadar air optimum digunakan sebagai kadar air untuk pengujian CBR *soaked* dengan campuran abu limbah pabrik kertas. Berikut merupakan hasil dari pengujian pemadatan tanah standar dengan campuran (tabel 4.6.)

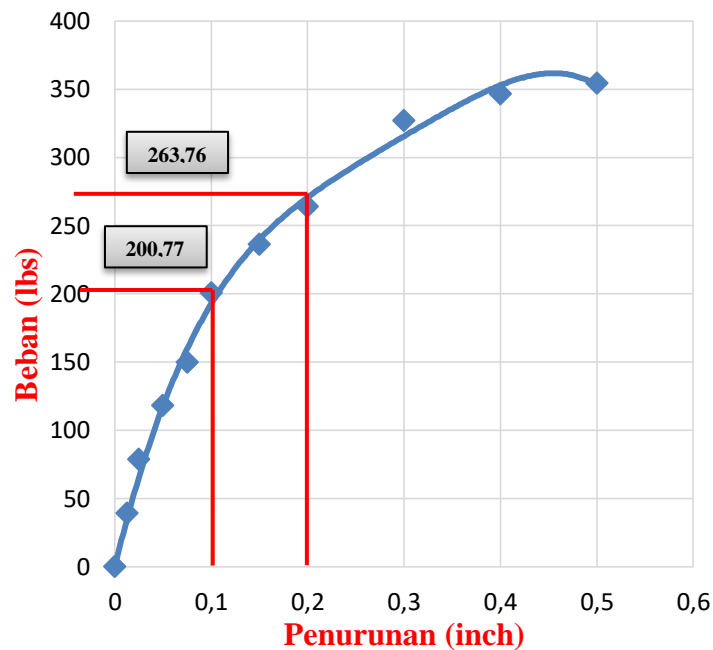
Tabel 4.6. Hasil pengujian pemadatan tanah standar dengan campuran

No	Variasi Campuran	Kadar Air Optimum ( $w_{opt}$ ) (%)	Berat Volume Kering Maksimum ( $\rho_d$ maks) ( $gr/cm^3$ )
1	LPK0	25,4	1,465
2	LPK2	26,0	1,425
3	LPK4	27,2	1,378
4	LPK6	27,6	1,330
5	LPK8	28,5	1,221
6	LPK10	29,3	1,184

Hasil pengujian pemadatan tanah standar dengan campuran menunjukkan bahwa nilai kadar air optimum mengalami kenaikan dari nilai kadar air optimum tanah asli yang sebesar 25,4%. Hasil tersebut memperlihatkan semakin besar variasi campuran abu limbah pabrik kertas yang diberikan, maka semakin bertambah nilai kadar air optimum. Sedangkan untuk hasil berat volume kering berbanding terbalik dengan persentase campuran. Semakin besar variasi campuran yang diberikan, maka semakin kecil nilai berat volume kering yang dihasilkan.

#### 4.9. Pengujian CBR *soaked* dengan campuran

Pengujian CBR *soaked* dengan campuran merupakan pengujian dengan menggunakan bahan campuran abu limbah pabrik kertas. Bahan campuran tersebut mempunyai lima variasi, yaitu 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% dari berat tanah. Setiap variasi campuran tersebut mempunyai masa perawatan 0 hari, 3 hari, dan 7 hari. Secara lebih lengkap, hasil dari setiap pengujian CBR *soaked* disajikan pada lampiran 10. Berikut merupakan salah satu grafik hasil pengujian CBR *soaked* dengan persentase LPK2 dan masa perawatan 3 hari terdapat di gambar 4.9.



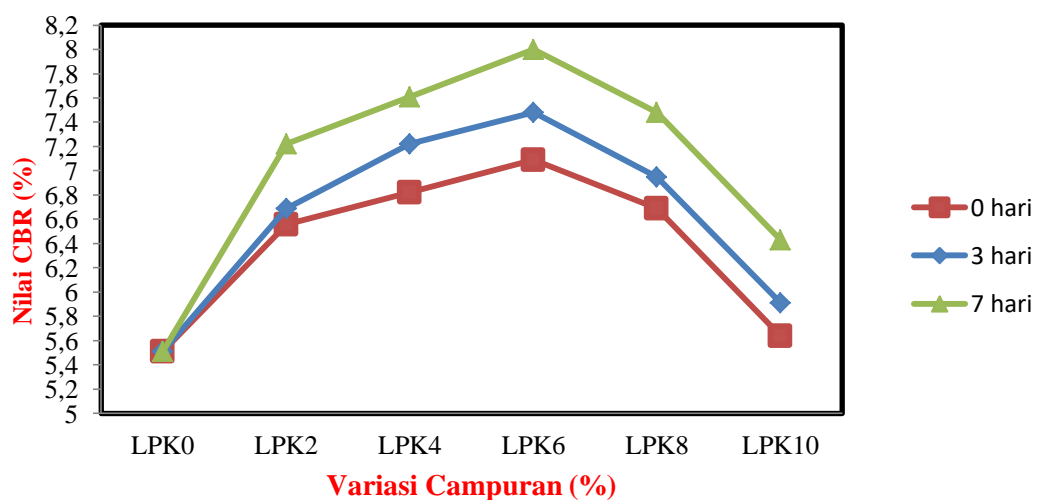
Gambar 4.9. Grafik pengujian CBR *soaked* dengan variasi campuran 2% dan masa perawatan 3 hari

Hasil pengujian CBR *soaked* pada grafik di atas, yaitu dengan persentase campuran LPK2 dan masa perawatan 3 hari didapatkan nilai sebesar 6,69%. Berdasarkan dari nilai CBR *soaked* dengan campuran tersebut, didapatkan bahwa nilai CBR tersebut mengalami kenaikan dari nilai CBR *soaked* tanah asli yang mempunyai nilai sebesar 5,51%. Secara lebih lengkap, seluruh hasil pengujian CBR *soaked* dan nilai pengembangan dengan campuran serta masa perawatan (tabel 4.7.)

Tabel 4.7. Rekapitulasi hasil nilai CBR *soaked* dan nilai pengembangan dengan variasi campuran dan masa perawatan

Variasi Campuran	Masa Perawatan ( hari )	Nilai CBR <i>Soaked</i> ( % )		Nilai CBR <i>Soaked</i> ( % )	Nilai Pengembangan ( % )
		0,1''	0,2''		
LPK0	-	5,51	4,55	5,51	1,99
LPK2	0	6,56	5,69	6,56	1,29
	3	6,69	5,86	6,69	1,00
	7	7,22	6,39	7,22	0,83
LPK4	0	6,82	5,95	6,82	1,18
	3	7,22	6,04	7,22	0,84
	7	7,61	6,21	7,61	0,46
LPK6	0	7,09	6,21	7,09	1,05
	3	7,48	6,56	7,48	0,84
	7	8,00	6,74	8,00	0,43
LPK8	0	6,69	5,95	6,69	0,88
	3	6,95	6,21	6,95	0,82
	7	7,48	6,39	7,48	0,64
LPK10	0	5,64	5,16	5,64	0,71
	3	5,91	4,81	5,91	0,50
	7	6,43	5,51	6,43	0,44

Berikut merupakan grafik hubungan antara variasi campuran dan nilai CBR *soaked* serta masa perawatan yang dilakukan pada gambar 4.10.

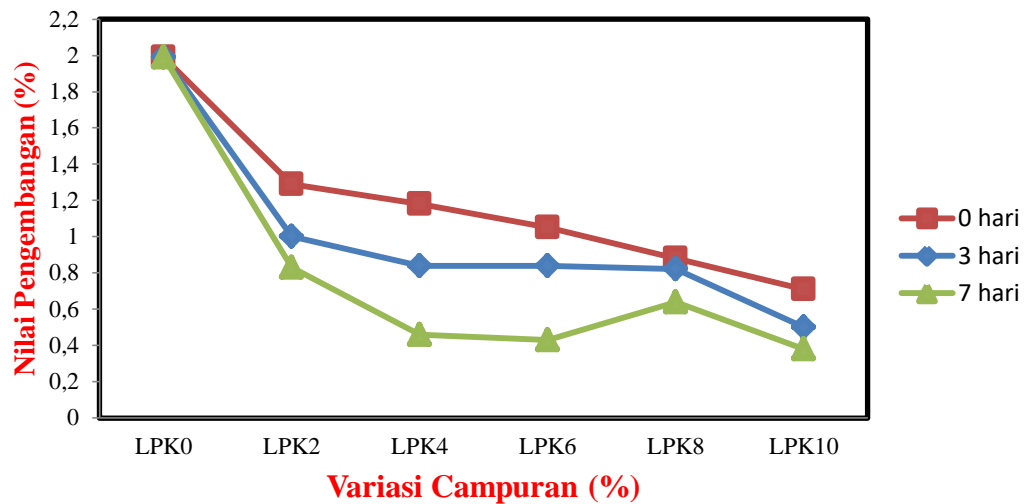


Gambar 4.10. Grafik nilai CBR *soaked* campuran dengan masa perawatan 0 hari, 3 hari, dan 7 hari

Hasil pengujian CBR *soaked* dengan campuran diatas menunjukkan bahwa abu limbah pabrik kertas dapat mempengaruhi nilai CBR *soaked*. Nilai CBR *soaked* pada setiap variasi campuran mengalami kenaikan yang relatif besar dari nilai CBR *soaked* tanah asli yaitu sebesar 5,51% setelah dicampurkan dengan abu limbah pabrik kertas. Semakin besar persentase campuran yang diberikan, maka semakin besar nilai CBR *soaked* yang dihasilkan. Dari seluruh hasil pengujian CBR *soaked* didapatkan bahwa nilai maksimum yang didapatkan sebesar 8,00% pada variasi LPK6 dan masa perawatan 7 hari. Nilai CBR *soaked* yang sebesar 8,00% dapat termasuk dalam kategori cukup baik, karena mempunyai nilai CBR di antara 7% - 20%.

Hasil pengujian CBR *soaked* berdasarkan dari masa perawatan 0 hari, 3 hari, dan 7 hari didapatkan bahwa semakin lama masa perawatan yang dilakukan juga akan mempengaruhi kenaikan nilai CBR *soaked*. Pada masa perawatan 0 hari, nilai maksimum yang dihasilkan sebesar 7,09% pada variasi LPK6. Untuk masa perawatan 3 hari, nilai CBR *soaked* maksimum pada persentase LPK6 dengan nilai sebesar 7,48%. Sedangkan perawatan 7 hari menghasilkan nilai CBR *soaked* sebesar 8,00% pada persentase campuran LPK6. Dari seluruh hasil pengujian CBR *soaked* berdasarkan masa perawatan didapatkan bahwa nilai maksimum pada variasi LPK6. Sedangkan pada persentase LPK8 dan LPK10 mengalami penurunan yang relatif kecil, yaitu kurang lebih 0,5% dari nilai CBR *soaked* 6%.

Berikut merupakan grafik hasil pengembangan dari lima variasi campuran serta masa perawatan yang dilakukan ditunjukkan pada gambar 4.11.



Gambar 4.11. Grafik hasil pengembangan volume dengan masa perawatan 0 hari, 3 hari, dan 7 hari

Hasil pengembangan volume dengan campuran didapatkan dari pengujian CBR *soaked*, yaitu selisih perubahan tinggi selama dilakukan perendaman dengan tinggi awal benda uji yang dinyatakan dalam persen. Berdasarkan dari hasil pengujian CBR *soaked* menunjukkan bahwa hasil pengembangan volume semakin mengalami penurunan setelah dicampurkan dengan abu limbah pabrik kertas. Selain dari persentase campuran, faktor yang mempengaruhi hasil pengembangan volume adalah masa perawatan. Masa perawatan yang semakin lama juga menghasilkan nilai pengembangan volume yang semakin menurun. Hasil pengembangan volume maksimum berdasarkan pada variasi campuran dan masa perawatan didapatkan nilai sebesar 0,43% yaitu pada variasi LPK6 dengan masa perawatan 7 hari.

#### 4.10. Persentase perubahan nilai CBR *soaked*

Persentase perubahan nilai CBR *soaked* merupakan nilai perubahan yang didapat antara nilai CBR *soaked* dengan campuran abu limbah pabrik kertas dengan nilai CBR *soaked* tanpa campuran yang dinyatakan dalam persen. Persentase perubahan tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Perubahan (\%)} = \frac{\text{Nilai CBR tanah campuran} - \text{Nilai CBR tanah asli}}{\text{Nilai CBR tanah asli}} \times 100\%$$

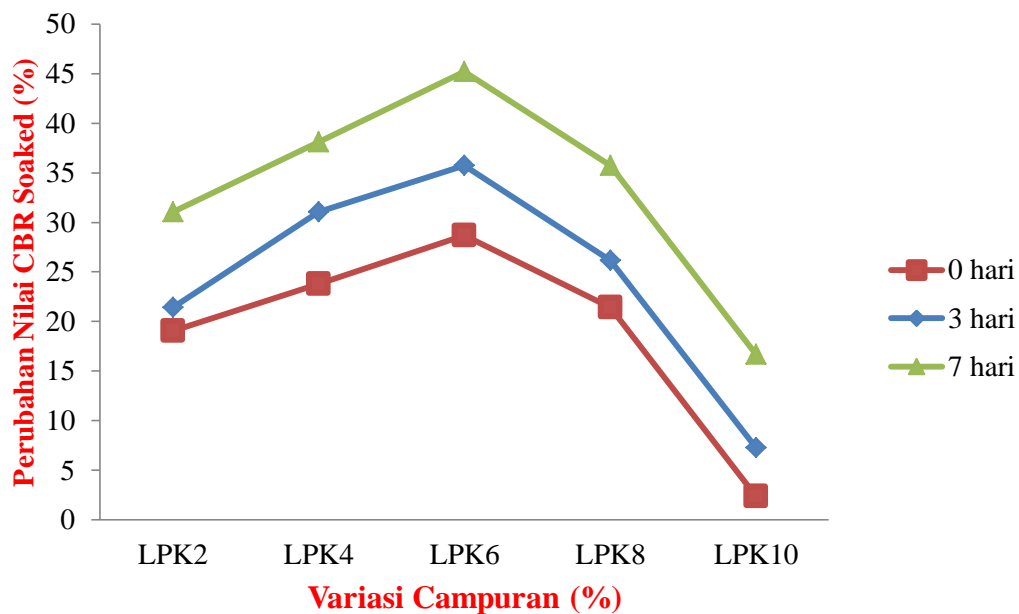


Berikut merupakan salah satu contoh penjabaran hasil persentase perubahan nilai CBR soaked dengan variasi campuran 2% dan masa perawatan 3 hari, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Perubahan (\%)} &= \frac{6,82 - 5,51}{5,51} \times 100\% \\ &= 21,416\% \end{aligned}$$

Tabel 4.8. Rekapitulasi perubahan nilai CBR *soaked*

No	Variasi Campuran	Perubahan Nilai CBR <i>Soaked</i> (%)		
		Masa Perawatan		
		0 hari	3 hari	7 hari
1	LPK2	19,056	21,416	31,034
2	LPK4	23,775	31,034	38,113
3	LPK6	28,675	35,753	45,191
4	LPK8	21,416	26,134	35,753
5	LPK10	2,359	7,260	16,697



Gambar 4.12. Grafik perubahan nilai CBR *soaked* campuran dengan masa perawatan 0 hari, 3 hari, dan 7 hari

Dari hasil perhitungan nilai perubahan CBR soaked terhadap nilai CBR tanah asli didapatkan bahwa persentase perubahan terbesar terdapat pada variasi campuran LPK6 dan masa perawatan 7 hari. Persentase perubahan nilai CBR

*soaked* tersebut sebesar 45,191% dari nilai CBR *soaked* tanah asli. Sedangkan untuk nilai perubahan terkecil dihasilkan pada variasi LPK10 dengan masa perawatan 0 hari, yaitu sebesar 2,359%.

#### 4.11. Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah dasar (DDT) adalah salah satu faktor yang digunakan pada nomogram penetapan indeks tebal perkerasan (ITP). Faktor-faktor yang mempengaruhi daya dukung tanah yaitu jenis tanah, tingkat kepadatan, kadar air, kondisi drainase, dan lain-lain. Secara analitis nilai dari daya dukung tanah dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

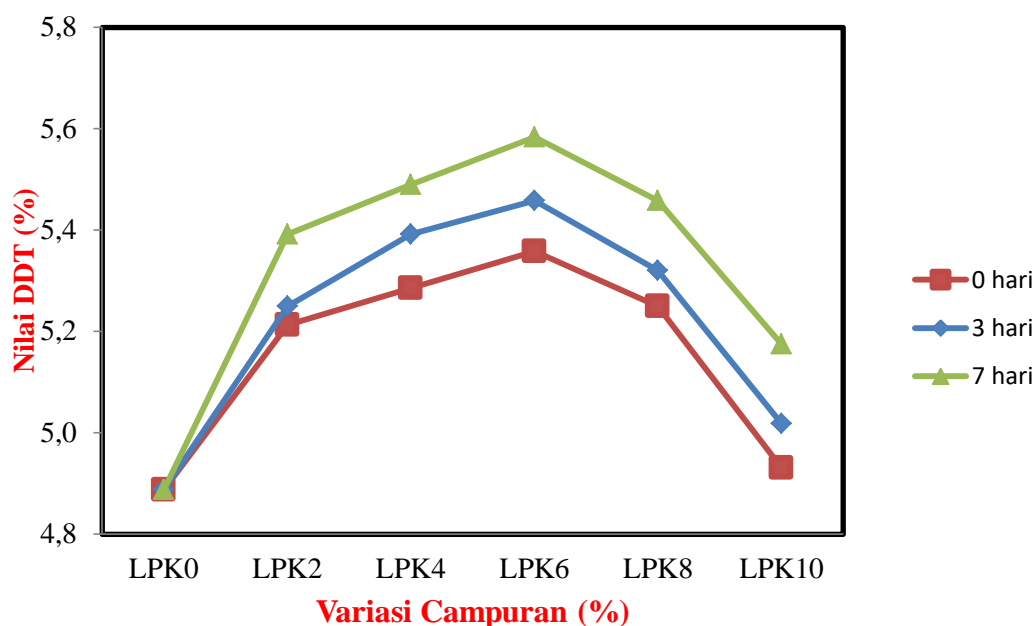
$$DDT = (4,3 \log (\text{nilai CBR})) + 1,7$$

Salah satu contoh penjabaran nilai daya dukung tanah, yaitu pada variasi campuran 2% dan masa perawatan 3 hari sebagai berikut:

$$\begin{aligned} DDT &= (4,3 \log (\text{nilai } 6,69)) + 1,7 \\ &= 5,249 \end{aligned}$$

Tabel 4.9. Rekapitulasi nilai daya dukung tanah

No	Variasi Campuran	Nilai Daya Dukung Tanah (DDT)		
		Masa Perawatan		
		0 hari	3 hari	7 hari
1	LPK0	4,887	4,887	4887
2	LPK2	5,213	5,249	5,392
3	LPK4	5,285	5,392	5,490
4	LPK6	5,358	5,458	5,583
5	LPK8	5,249	5,321	5,458
6	LPK10	4,931	5,018	5,175



Gambar 4.13. Grafik nilai daya dukung tanah dengan masa perawatan 0 hari, 3 hari, dan 7 hari

Dari tabel rekapitulasi nilai daya dukung tanah (DDT), didapatkan nilai daya dukung tanah (DDT) maksimum pada variasi LPK6 dengan masa perawatan 7 hari yaitu sebesar 5,583. Nilai daya dukung tanah (DDT) tersebut dapat dikatakan sebagai daya dukung tanah dasar yang baik, karena mempunyai nilai CBR  $>5\%$ . Berdasarkan hasil tersebut, abu limbah pabrik kertas mempunyai pengaruh yang baik terhadap nilai daya dukung tanah.

#### 4.12. Pembahasan

Penelitian ini menggunakan sampel tanah yang berasal dari daerah Desa Gasing, Tanjung Api-Api, Kecamatan Talang Kelapa, Kabupaten Banyuasin, Sumatera Selatan. Hasil pengujian sifat fisik tanah didapatkan bahwa sampel tanah merupakan jenis tanah lempung ekspansif. Tanah lempung ekspansif merupakan jenis tanah yang mempunyai potensi kembang susut yang tinggi. Nilai kembang susut yang tinggi tersebut didapatkan berdasarkan dari hasil pengujian batas-batas atterberg, yaitu nilai batas cair dan nilai indeks plastisitas (IP). Hasil pengujian batas cair didapatkan sebesar 77,80% yang menunjukkan bahwa mempunyai potensi perubahan volume yang sangat tinggi, yaitu nilai batas cair (LL)  $>70\%$ . Sedangkan untuk nilai indeks plastisitas dihasilkan sebesar 40,63%

yang berdasarkan kategori juga memiliki potensi perubahan volume yang sangat tinggi dengan nilai indeks plastisitas (IP) >35%.

Bahan campuran yang berupa abu limbah pabrik kertas dilakukan pengujian batas-batas atterberg. Hasil pengujian batas-batas atterberg menunjukkan bahwa abu limbah pabrik kertas mempunyai potensi untuk menurunkan nilai kembang susut pada sampel tanah. Hal itu dapat dilihat berdasarkan hasil pengujian batas-batas atterberg dengan campuran yang mengalami penurunan dari sampel tanah asli sebesar 40,63% ke 15,91% dengan variasi campuran LPK10 abu limbah pabrik kertas. Nilai indeks plastisitas yang mengalami penurunan tersebut sama dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Onyelow (2017) dengan nilai tanah asli sebesar 21,85% menjadi 12,76% pada variasi campuran 10%. Penurunan nilai indeks plastisitas (IP) dapat terjadi karena abu limbah pabrik kertas mempunyai butiran-butiran yang sangat halus sehingga bahan campuran tersebut mengisi rongga-rongga dari sampel tanah. Oleh karena itu, potensi kembang susut pada tanah menjadi berkurang.

Pengujian pemadatan tanah standar dengan campuran menghasilkan nilai kadar air optimum dan nilai berat volume kering maksimum. Nilai kadar air optimum mengalami peningkatan dari nilai kadar air optimum tanpa campuran yang sebesar 25,4%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar persentase variasi yang diberikan, maka semakin meningkat pula nilai kadar air optimum. Sedangkan untuk nilai berat volume kering maksimum berbanding terbalik dengan nilai kadar air optimum. Nilai berat volume kering maksimum dengan campuran menunjukkan penurunan terhadap nilai berat volume kering maksimum tanpa campuran, yaitu dengan nilai 1,465 gr/cm<sup>3</sup>. Semakin besar variasi campuran, maka nilai berat volume kering semakin mengalami penurunan. Hasil penurunan pada berat volume kering maksimum sebanding dengan penurunan nilai berat jenis dengan campuran. Hasil pengujian berat jenis juga menunjukkan bahwa semakin besar persentase campuran, maka nilai berat jenis semakin mengalami penurunan. Hasil pengujian kadar air optimum yang mengalami kenaikan dan nilai penurunan pada berat volume kering maksimum tersebut sebanding dengan hasil pengujian yang dilakukan oleh Dharan R Barani (2016).

Hasil pengujian CBR *soaked* dengan campuran menunjukkan bahwa abu limbah pabrik kertas dapat menaikkan nilai CBR *soaked* dengan cukup baik. Persentase variasi campuran dan masa perawatan dari sampel uji juga berpengaruh terhadap nilai CBR *soaked*. Nilai CBR *soaked* maksimum didapatkan pada variasi campuran LPK6 dengan masa perawatan 7 hari, yaitu dengan nilai sebesar 8,00%. Persentase maksimum pada variasi campuran 6% ini sama dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Dharan (2016) yang menghasilkan nilai CBR 18,6%. Perbedaan nilai CBR yang dihasilkan pada penelitian terdahulu disebabkan oleh karakteristik abu limbah pabrik kertas yang berbeda. Pada penelitian Dharan (2016) abu limbah pabrik kertas didapatkan dari SPB *Paper Mill* di Erode dan mempunyai nilai berat jenis sebesar 1,65. Selain itu, persentase unsur kimia pada abu limbah pabrik kertas tersebut sebesar 62,39% untuk kalsium, 23,25% silika, 2,46% MgO, dan 0,77% Fe. Sedangkan pada penelitian ini abu limbah pabrik kertas diambil dari PT. Tanjung Enim Lestari Pulp & Paper dengan nilai berat jenis sebesar 2,346. Abu limbah pabrik kertas ini mempunyai kandungan unsur kimia dengan persentase untuk MgO sebesar 0,93%, 0,86% untuk silika, 0,30% Fe dan 0,12% kalsium.

Nilai CBR *soaked* yang mengalami peningkatan tersebut dapat terjadi karena bahan campuran yang berupa abu limbah pabrik kertas mempunyai fungsi sebagai pengisi rongga-rongga dari sampel tanah. Pencampuran abu limbah pabrik kertas menyebabkan kepadatan dari tanah tersebut meningkat. Seiring dengan meningkatnya daya ikat antar butiran tanah, sehingga nilai CBR juga meningkat. Selain itu, reaksi antar butiran tanah dengan unsur kalsium dan silika yang terdapat pada abu limbah pabrik kertas juga mempengaruhi peningkatan nilai CBR *soaked*. Nilai CBR *soaked* mengalami kenaikan dari variasi LPK2 sampai dengan LPK6 campuran abu limbah pabrik kertas. Sedangkan pada persentase LPK8 dan LPK10 mengalami penurunan hasil CBR *soaked*. Nilai CBR *soaked* yang mengalami penurunan disebabkan oleh berkurangnya volume tanah akibat banyaknya abu limbah pabrik kertas yang mengisi pori-pori tanah. Selain itu, kadar air yang semakin meningkat dapat menyebabkan kepadatan menurun karena pori-pori tanah terisi penuh dengan air sehingga tanah tidak dapat dipadatkan dengan maksimal. Oleh sebab itu, hasil penetrasi pengujian CBR *soaked*

mengalami penurunan. Faktor lain yang mempengaruhi nilai CBR *soaked* adalah lama masa perawatan. Hasil pengujian CBR *soaked* menunjukkan bahwa semakin lama waktu perawatan yang diberikan, maka nilai CBR semakin mengalami peningkatan. Kondisi tersebut disebabkan oleh kandungan unsur kimia yang terdapat pada abu limbah pabrik kertas membutuhkan waktu untuk bereaksi dengan sampel tanah.

Bahan campuran abu limbah pabrik kertas juga berpengaruh pada hasil pengembangan pada uji CBR *soaked*. Nilai pengembangan terkecil terdapat pada variasi LPK6 dengan masa perawatan 7 hari yaitu sebesar 0,43%. Hasil pengembangan menunjukkan bahwa penambahan abu limbah pabrik kertas menyebabkan nilai pengembangan semakin menurun. Hasil penurunan tersebut disebabkan oleh abu limbah pabrik kertas yang mengikat pori-pori pada butiran tanah sehingga menghalangi proses masuknya air ke dalam tanah dan nilai pengembangan menjadi menurun. Nilai pengembangan yang semakin menurun berbanding terbalik dengan nilai CBR yang mengalami kenaikan. Semakin menurun nilai pengembangan, maka nilai CBR *soaked* mengalami kenaikan.