

STABILISASI TANAH PADA LAHAN BEKAS TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR (TPA) SAMPAH DENGAN PEMANFAATAN SERBUK LIMBAH BOTOL KACA SEBAGAI BAHAN CAMPURAN

Indah Handayasari, S.T., M.T.
Jurusan Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknik – PLN
Email : indahhalim22@gmail.com

Siklus, S.T.
Jurusan Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknik – PLN

ABSTRAK

Sampah yang dihasilkan oleh kegiatan manusia dikumpulkan pada suatu wilayah tertentu yang disebut tempat pembuangan akhir (TPA) sampah. Sampah yang tertumpuk selama bertahun-tahun dengan volume yang besar akan mengalami proses dekomposisi secara *aerob* maupun *anaerob* diakibatkan aktifitas mikroorganisme. Proses dekomposisi akan menghasilkan air rembesan sampah (*leachate*) yang mengandung unsur kimiawi yang dapat menurunkan kualitas tanah. Kondisi tanah yang seperti ini kurang menguntungkan bagi tanah sebagai penopang konstruksi bangunan di atasnya sehingga diperlukan usaha perbaikan tanah. Salah satu usaha perbaikan tanah yaitu dengan memanfaatkan kembali limbah botol kaca. Limbah botol kaca yang dihancurkan menjadi serbuk kaca dapat berfungsi sebagai bahan pengisi (*filler*) dan bahan pengikat (*binder*) pada tanah dikarenakan serbuk kaca sendiri memiliki kandungan silika sebesar $\pm 72\%$. Dengan kandungan silika yang cukup besar pada serbuk kaca tersebut diharapkan dapat meningkatkan kekuatan tanah. Pada penelitian ini dilakukan pencampuran serbuk kaca terhadap sampel tanah TPA Semanan yang lokasinya terletak di samping Perumahan Taman Semanan Indah (TSI) Kelurahan Duri Kosambi Cengkareng Jakarta Barat. Variasi campuran serbuk kaca yang digunakan adalah 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dari berat kering tanah dengan lama pemeraman 0 hari, 7 hari, 10 hari dan 14 hari. Dari variasi campuran tanah TPA dengan serbuk kaca serta dengan variasi waktu pemeramannya didapatkan nilai persentase optimum penambahan serbuk kaca adalah pada tanah dengan campuran 5% serbuk kaca dan dengan lama pemeraman 7 hari. Dimana tanah dengan campuran 5% serbuk kaca dan lama pemeraman 7 hari memiliki nilai kadar air 28,5099%, *specific gravity* 2,5877, batas cair 54,1345%, batas plastis 27,0341%, batas susut 21,6221%, indeks plastisitas 27,1031%, *cohesion* 0,883 kg/cm² dan nilai *internal friction angle* ϕ sebesar 38° 8' 9,6". Berdasarkan hasil optimum penelitian yang dicapai menunjukkan bahwa dengan penambahan serbuk kaca pada tanah TPA sebagai bahan stabilisasi tanah mampu memperbaiki kualitas tanah TPA tersebut. Selain itu juga diharapkan dengan pemanfaatan serbuk kaca hasil pengelolaan limbah botol kaca ini dapat memberikan efek yang baik pada tindak penyelamatan lingkungan.

Kata kunci : stabilisasi, tanah TPA, serbuk kaca.

ABSTRACT

Waste generated by human activity in the form of industrial waste and household waste is collected in a particular region called landfills (TPA). Garbage is piled up over the years with a large volume will undergo a process of aerobic and anaerobic decomposition caused by the activity of microorganisms. The decomposition process will generate garbage seepage water (*leachate*) that contain chemical elements which can degrade the quality of the soil. Soil

conditions such as soil less favorable for supporting the construction of buildings on it, so the effort required soil improvement first. One of soil improvement efforts can be made to recover waste glass bottles. Waste glass bottles recycled in a manner destroyed into a glass powder can serve as a filling material (filler) and a binder on the ground because the silica glass powder contains a lot of $\pm 72\%$. With a large enough silica content in the glass powder is expected to increase the strength of the soil. In this study will be done mixing glass powder landfill soil samples Semanan whose location is located beside Semanan Taman Indah (TSI) housing, Village Duri Kosambi, Cengkareng, West Jakarta. Variations mixture of glass powder used was 0%, 5%, 10%, 15%, 20% of the dry weight of the soil with a long ripening 0 days, 7 days, 10 days and 14 days. Based of the various percentage landfill soil mixtures with glass powder and the ripening time variation obtained optimum percentage value addition of glass powder is on the ground with a mixture of 5% glass powder and the curing time of 7 days. Where the soil with a mixture of 5% glass powder and a long curing 7 days have water content 28,5099%, specific gravity 2,5877, liquid limit 54,1345%, plastic limit 27,0341%, shrinkage limit 21,6221%, the index plasticity 27,1031%, cohesion 0.883 kg/cm² and the value of internal friction angle ϕ at 38° 8' 9,6". From this research, the use of glass powder as a soil stabilization material capable of improving the quality of soil in landfill sites. It is also expected to use the results of the processing of waste glass bottles can give a good effect on saving the environment.

Keywords : stabilization, soil landfill, glass powder.

PENDAHULUAN

Sampah yang dihasilkan oleh kegiatan manusia baik berupa limbah industri maupun limbah rumah tangga dikumpulkan pada suatu wilayah tertentu yang disebut tempat pembuangan akhir (TPA) sampah. Sampah yang tertumpuk selama bertahun-tahun dengan volume yang besar akan mengalami proses dekomposisi secara *aerob* maupun *anaerob* diakibatkan aktifitas mikroorganisme. Proses dekomposisi akan menghasilkan air rembesan sampah (*leachate*) yang mengandung unsur kimiawi yang dapat menurunkan kualitas tanah. Tanah di lokasi TPA merupakan tanah campuran dari tanah asli di lokasi tersebut dengan sampah yang sudah terurai oleh aktifitas mikroorganisme. Karena proses pembentukannya ini, maka tanah di lokasi TPA termasuk dalam klasifikasi tanah organik (Tastan,dkk., 2011). Kondisi tanah yang seperti ini kurang menguntungkan bagi tanah sebagai penopang konstruksi bangunan di atasnya jika suatu saat lokasi tersebut digunakan untuk pembangunan. Oleh karena itu, diperlukan usaha perbaikan atau stabilisasi tanah terlebih dahulu.

Usaha untuk memperbaiki daya dukung tanah telah banyak dilakukan dengan berbagai cara, antara lain dilakukan dengan cara mekanis, kimiawi, bahkan dengan menggunakan teknologi khusus. Perbaikan tanah secara mekanis dilakukan dengan cara mengganti tanah asli dengan tanah lain yang mempunyai sifat mekanis yang lebih baik, sedangkan perbaikan tanah secara kimiawi dilakukan dengan cara menambahkan atau mencampurkan bahan stabilisasi kedalam tanah asli. Salah satu usaha perbaikan tanah secara kimiawi dapat dilakukan dengan memanfaatkan kembali limbah botol kaca. Limbah botol kaca ini termasuk limbah anorganik yang tidak bisa terurai oleh aktifitas mikroorganisme. Selain itu juga, limbah botol kaca mudah didapatkan dan harganya murah. Limbah botol kaca nantinya akan didaur ulang dengan cara dihancurkan sehingga menjadi serbuk kaca yang halus. Berdasarkan *Value-added utilisation of waste glass inconcrete research journal Tahun 2002*, serbuk kaca memiliki kandungan silika sebesar $\pm 72\%$ yang diharapkan dapat berfungsi sebagai bahan pengisi

(*filler*) pada rongga-rongga tanah dan bahan pengikat (*binder*) pada tanah. Pada penelitian ini dilakukan pencampuran serbuk kaca terhadap sampel tanah TPA Semanan yang lokasinya terletak di samping perumahan Taman Semanan Indah (TSI), Kelurahan Duri Kosambi, Cengkareng, Jakarta Barat. Variasi campuran serbuk kaca yang digunakan adalah 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dari berat kering tanah dengan lama pemeraman 0 hari, 7 hari, 10 hari dan 14 hari.

LANDASAN TEORI

A. Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah suatu proses pencampuran tanah dengan bahan tertentu untuk memperbaiki sifat-sifat fisik tanah atau suatu usaha untuk merubah dan memperbaiki sifat-sifat fisik tanah agar memenuhi syarat teknis tertentu. Proses stabilisasi tanah meliputi pencampuran tanah dengan tanah lain untuk memperoleh gradasi yang diinginkan, atau pencampuran tanah dengan menggunakan bahan tambah buatan pabrik sehingga sifat-sifat fisik tanah menjadi lebih baik. Untuk merubah sifat-sifat fisik tanah seperti kapasitas daya dukung tanah, kompresibilitas, permeabilitas, kemudahan pengerjaan di lapangan, potensi pengembangan serta sensitifitas terhadap perubahan kadar air dapat dilakukan dengan berbagai cara penanganan diantaranya yaitu : dari yang paling mudah seperti pemadatan sampai teknik yang lebih mahal seperti mencampur tanah dengan semen, kapur, abu terbang, injeksi semen (*grouting*), pemanasan dan lain-lain.

B. Stabilisasi Tanah Dengan Serbuk Kaca

Kaca merupakan salah satu limbah anorganik yang mempunyai kandungan silika yang tinggi (Tabel1). Kaca yang kaya kandungan silika dapat digunakan sebagai bahan untuk stabilisasi tanah secara kimiawi. Silika pada kaca dapat berfungsi sebagai bahan pengikat (*binder*) pada tanah, karena silika ini akan menghasilkan reaksi *pozzolanic* dengan tanah. Reaksi *pozzolanic* merupakan reaksi antara silika dan kalsium hidroksida bebas dengan tanah. Selain itu serbuk kaca memiliki ukuran yang sangat halus yang dapat berfungsi sebagai bahan pengisi (*filler*) pada rongga - rongga tanah.

Tabel 1. Komposisi Kimia Kaca Berbagai Warna

Komposisi	Kaca Bening	Kaca Coklat	Kaca Hijau
	Dalam Persen (%)		
SiO_2	72,42	72,21	72,38
Al_2O_3	1,44	1,37	1,49
TiO_2	0,035	0,041	0,04
Cr_2O_3	0,002	0,026	0,13
Fe_2O_3	0,07	0,26	0,29
CaO	11,50	11,57	11,26
MgO	0,32	0,46	0,54
Na_2O	13,64	13,75	13,52
K_2O	0,35	0,20	0,27
SO_3	0,21	0,10	0,07

Sumber : *Value-Added Utilisation Of Waste Glass InConcrete Research Journal*

C. Tanah Di Lokasi TPA

Tanah di lokasi TPA merupakan tanah campuran dari tiga jenis tanah, yaitu : tanah asli daerah tersebut, sampah yang terurai dan tanah yang dipergunakan untuk menutup setiap lapisan dari

sampah. Hal ini dikarenakan masih banyak TPA di perkotaan yang menggunakan sistem *open dumping* (OD). Pada sistem *open dumping*, sampah hanya ditumpuk pada suatu lokasi, dibiarkan terbuka tanpa pengaman dan ditinggalkan setelah lokasi tersebut penuh. Sampah yang ditumpuk tersebut akan mengalami proses dekomposisi secara *aerob* maupun *anaerob* diakibatkan aktifitas mikroorganisme. Proses dekomposisi akan menghasilkan air rembesan sampah (*leachate*) yang mengandung unsur kimiawi yang dapat menurunkan kualitas tanah. Karena proses pembentukannya ini, maka tanah di lokasi TPA termasuk dalam klasifikasi tanah organik (Tastan,dkk., 2011).

D. Pengujian Karakteristik Tanah

Pengujian Kadar Air Tanah

Kadar air tanah adalah perbandingan antara berat air yang dikandung tanah tersebut dengan berat keringnya dikalikan 100%. Percobaan/pengujian kadar air bertujuan untuk memeriksa banyaknya air dalam suatu contoh tanah yang dinyatakan dalam persen (%).

Perhitungan kadar air :

$$\text{Kadar air (w)} = \frac{\text{Berat air}}{\text{Berat tanah kering oven}} \times 100\%$$

$$w = \frac{WW - DW}{DW - TW} \cdot 100\% \quad \boxed{w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%}$$

Dimana : w = Kadar air (%)

WW = Berat tanah basah + berat cawan (gr)

DW = Berat tanah kering + berat cawan (gr)

TW = Berat cawan (gr)

Ww = Berat air (gr)

Ws = Berat tanah kering oven (gr)

Pengujian Berat Jenis Tanah (*Specivic Gravity*)

Percobaan/pengujian untuk menentukan berat jenis butir dari suatu contoh tanah yang merupakan hasil bagi antara berat contoh tanah kering oven dengan volume butir-butir tanah tersebut diatas. Besarnya volume butir-butir tanah diukur dengan air/air distilasi pada suhu 15⁰C.

Perhitungan berat jenis tanah :

$$\text{Berat jenis tanah} = \frac{\text{Berat butir tanah kering}}{\text{Volume butir tanah kering}}$$

$$\boxed{G_s = \frac{W_o}{W_o + W_a - W_b}}$$

Dimana :

Gs = Berat jenis butir tanah

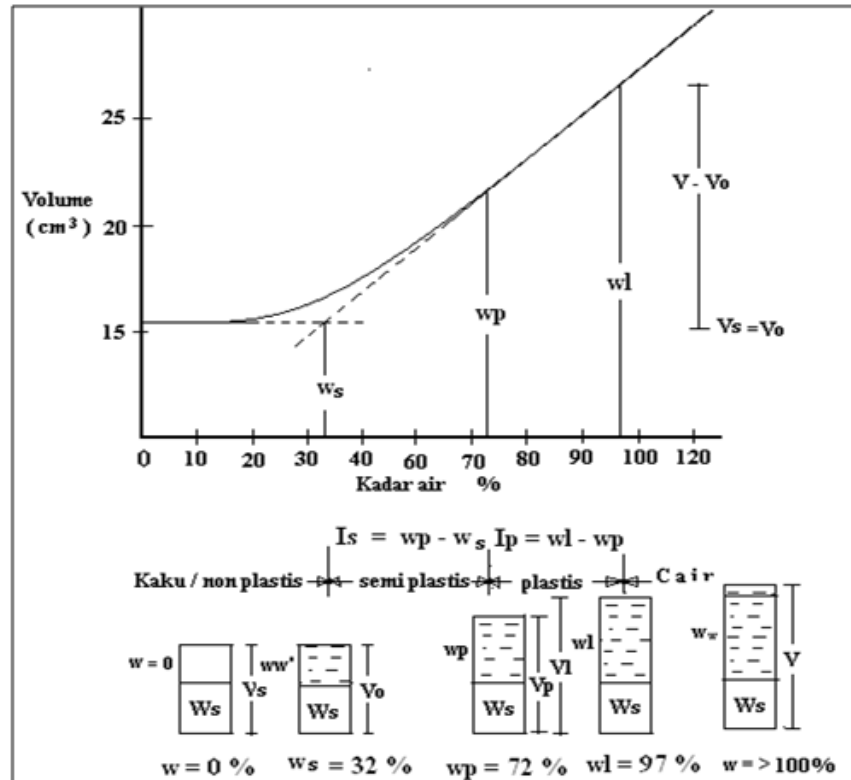
Wo = Berat tanah kering oven (gr)

Wa = Berat piknometer penuh dengan air pada T⁰ C (gr)

Wb = Berat piknometer + berat contoh + sisa air dalam piknometer pada T⁰ C (gr)

Pengujian Konsistensi Tanah (*Atterberg Limit Test*)

Pengujian batas-batas kadar air tanah pada keadaan tertentu atau batas-batas konsistensi (*atterberg limit test*) terdiri dari pengujian batas cair (*liquid limit test*), pengujian batas plastis (*plastic limit test*) dan pengujian batas susut (*shrinkage limit test*), seperti yang diuraikan dalam gambar di bawah ini :



Gambar 1. Batas-Batas Konsistensi Tanah

Pengujian Kuat Geser Langsung (*Direct Shear Test*)

Tanah bila diberi beban vertikal maka kekuatan geser antara tanah akan berangsur-angsur bertambah sesuai dengan bertambahnya beban vertikal tersebut. Setiap tanah mempunyai parameter masing-masing dan mempunyai kekuatan lekat/lengket yang disebut kohesi (C) dan sudut geser dalamnya (ϕ). Parameter ini dipakai untuk perencanaan dalam perhitungan pondasi dan untuk menentukan sudut kemiringan talut ataupun kemantapan lereng bendung. Parameter-parameter kekuatan tanah tersebut merupakan kemampuan perlawanan tanah terhadap tegangan geser yang diberikan secara langsung dari pengujian *direct shear test*.

Rumus pengujian kuat geser tanah langsung (*direct shear test*):

$$\tau' = c' + \sigma' \times \text{tg} \phi'$$

Dimana :

τ' = adalah hasil kekuatan tegangan geser efektif (kg/cm^2)

ϕ' = adalah hasil sudut geser dalam tanah pada kondisi tegangan efektif (" - " - ")

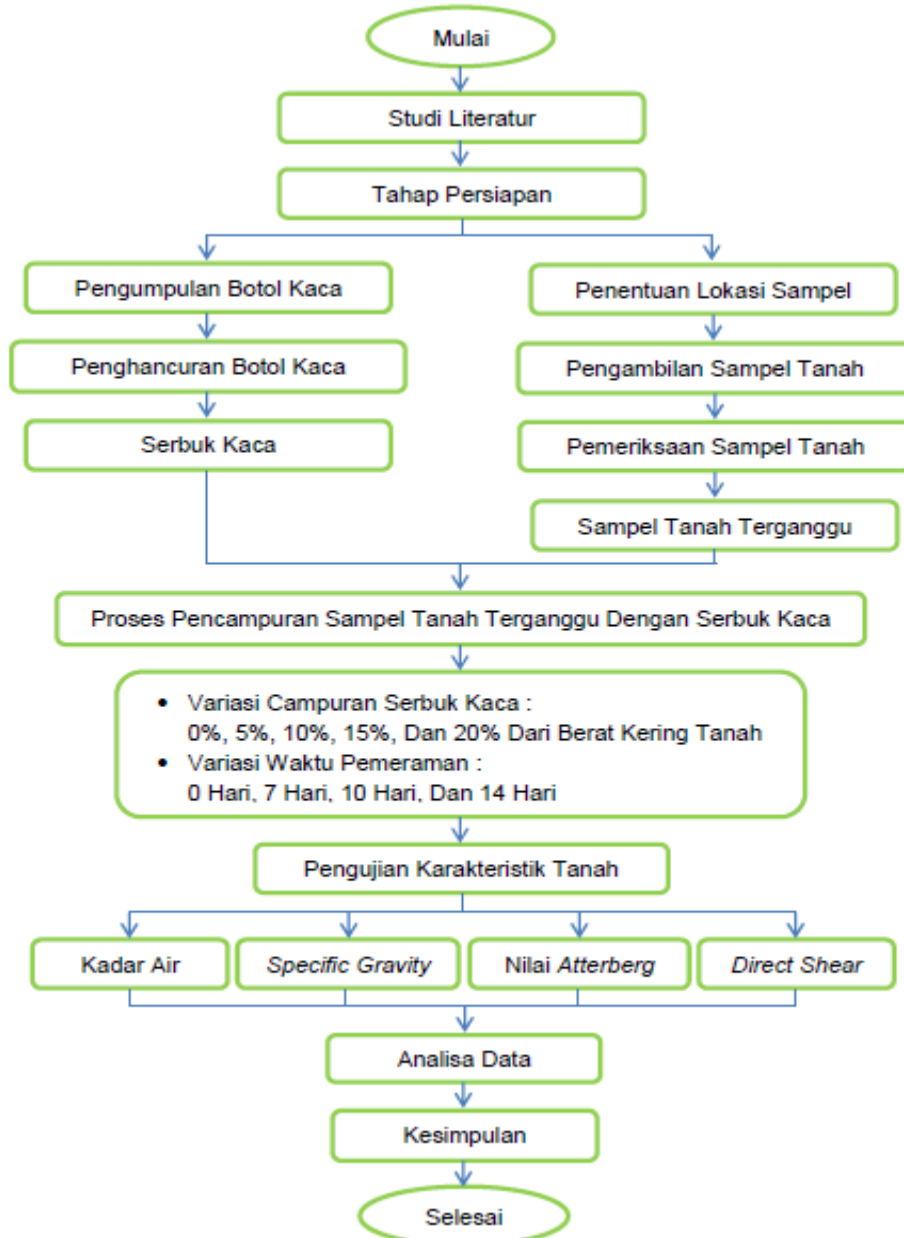
c' = adalah hasil kohesi tanah dalam kondisi tegangan efektif (kg/cm^2)

σ' = adalah tegangan normal efektif ($\sigma - \mu$) (kg/cm^2)

METODE PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian

Skema diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Diagram Alir Penelitian

Tahapan Penelitian

Adapun tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

A. Studi Literatur

Pada tahapan ini, dikumpulkan referensi yang menunjang penulisan tentang stabilisasi tanah dengan menggunakan serbuk kaca.

B. Pengumpulan Dan Pengolahan Limbah Botol Kaca

Limbah botol kaca bening yang dikumpulkan dari berbagai tempat. Setelah botol kaca terkumpul kemudian dibersihkan dengan cara dicuci dan dikeringkan kemudian diolah dengan cara dihancurkan menggunakan *los angeles machine*. Hasil limbah botol kaca yang sudah berbentuk serbuk kemudian dengan ayakan no.200 yang berdiameter 0,075 mm untuk mendapatkan serbuk kaca yang halus.

C. Pengambilan Sampel Tanah

Sampel tanah yang diambil adalah tanah TPA Semanan pada kedalaman 0,5 m – 1 m. Jumlah yang diperlukan untuk setiap pengujian bisa dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Jumlah Tanah Yang Diperlukan

No.	Pengujian	Jumlah Tanah (kg)
1	Kadar Air	3,5
2	<i>Specific Gravity</i>	10,2
3	<i>Atterberg</i>	20,4
4	<i>Direct Shear</i>	102
Total Tanah		136,1

Sumber : Hasil perhitungan

D. Proses Pembuatan Sampel

Jumlah sampel yang dibuat untuk penelitian ini sebanyak 171 buah dengan variasi campuran serbuk kaca yang digunakan adalah 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dari berat kering tanah dengan lama pemeraman 0 hari, 7 hari, 10 hari dan 14 hari.

Tabel 3. Sampel Tanah Yang Diperlukan

No.	Variasi Campuran	Pemeraman	Variabel Pengujian			
			Jumlah Sampel Tanah Yang Diperlukan			
			Kadar Air	<i>Specific Gravity</i>	<i>Atterberg</i>	<i>Direct Shear</i>
1	Tanah Asli + 0 % Serbuk Kaca	0 Hari	3	3	1	4
	Tanah Asli + 5 % Serbuk Kaca		2	3	1	4
	Tanah Asli + 10 % Serbuk Kaca		2	3	1	4
	Tanah Asli + 15 % Serbuk Kaca		2	3	1	4
	Tanah Asli + 20 % Serbuk Kaca		2	3	1	4
2	Tanah Asli + 5 % Serbuk Kaca	7 Hari	2	3	1	4
	Tanah Asli + 10 % Serbuk Kaca		2	3	1	4
	Tanah Asli + 15 % Serbuk Kaca		2	3	1	4
	Tanah Asli + 20 % Serbuk Kaca		2	3	1	4
3	Tanah Asli + 5 % Serbuk Kaca	10 Hari	2	3	1	4
	Tanah Asli + 10 % Serbuk Kaca		2	3	1	4
	Tanah Asli + 15 % Serbuk Kaca		2	3	1	4
	Tanah Asli + 20 % Serbuk Kaca		2	3	1	4
4	Tanah Asli + 5 % Serbuk Kaca	14 Hari	2	3	1	4
	Tanah Asli + 10 % Serbuk Kaca		2	3	1	4
	Tanah Asli + 15 % Serbuk Kaca		2	3	1	4
	Tanah Asli + 20 % Serbuk Kaca		2	3	1	4
Total Sampel Tanah Yang Diperlukan			35	51	17	68
Total Sampel Tanah Keseluruhan			171			

Sumber : Hasil perhitungan

E. Pengujian Karakteristik Tanah

Pada tahapan ini dilakukan pengujian karakteristik sampel tanah TPA Semanan dan tanah campuran untuk analisis stabilisasi ditinjau dari nilai kadar air, *specific gravity*, *atterberg* dan *direct shear*.

F. Tahapan Pengolahan Dan Analisa Data

Pada tahapan ini dilakukan pengolahan data dan analisa terhadap hasil dari pengolahan data.

G. Tahapan Pegambilan Kesimpulan

Setelah semua data selesai diolah dan dianalisa, barulah kemudian diambil kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

HASIL

Hasil Uji Sifat Fisik Tanah TPA Dengan Bahan Campuran Serbuk Kaca

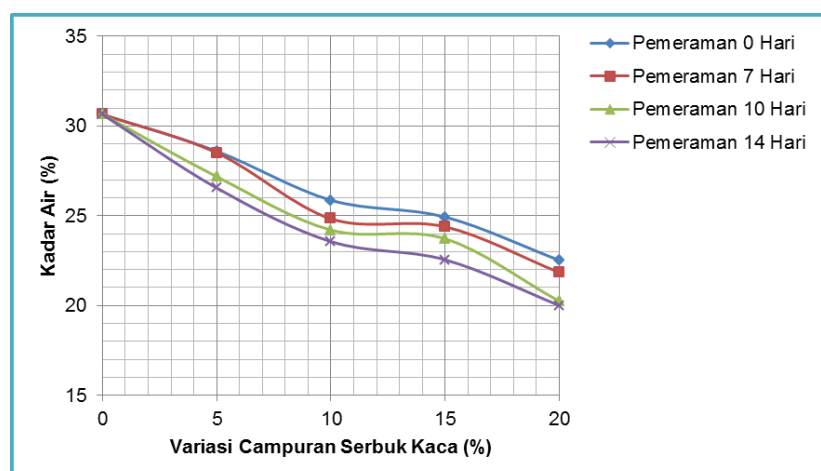
A. Kadar Air Tanah

Perhitungan untuk pengujian nilai kadar air tanah TPA yang dicampur dengan 0% 0%, 5%, 10%, 15%, 20% serbuk kaca dari berat kering tanah dengan lama pemeraman 0 hari, 7 hari, 10 hari dan 14 hari dengan masing- masing sebanyak 2 buah sampel dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4. Nilai Kadar Air

No.	Variasi Campuran	Nilai Kadar Air (%)			
		Pemeraman 0 Hari	Pemeraman 7 Hari	Pemeraman 10 Hari	Pemeraman 14 Hari
1	Tanah Asli + 0 % Serbuk Kaca	30,6485	30,6485	30,6485	30,6485
2	Tanah Asli + 5 % Serbuk Kaca	28,5967	28,5099	27,1801	26,5480
3	Tanah Asli + 10 % Serbuk Kaca	25,8691	24,8361	24,2070	23,5640
4	Tanah Asli + 15 % Serbuk Kaca	24,9313	24,3883	23,7222	22,5525
5	Tanah Asli + 20 % Serbuk Kaca	22,5215	21,8429	20,2361	20,0043

Sumber : Hasil perhitungan



Gambar 3. Hubungan Nilai Kadar Air Dengan Penambahan Variasi Persentase Serbuk Kaca Dan Lama Waktu Pemeraman

Berdasarkan hasil pengolahan data yang dilakukan menunjukkan semakin besar persentase penambahan serbuk kaca dan semakin lama waktu pemeramannya, maka kadar air dari tanah tersebut akan semakin turun. Kadar air tanah tertinggi terdapat pada sampel tanah dengan campuran 0% serbuk kaca (tanah asli TPA) dengan lama waktu pemeraman 0 hari, 7 hari, 10 hari dan 14 hari sebesar 30,6485%. Untuk kadar air terendah terdapat pada sampel tanah dengan campuran 20% serbuk kaca dan dengan lama waktu pemeraman 14 hari sebesar 20,0043%.

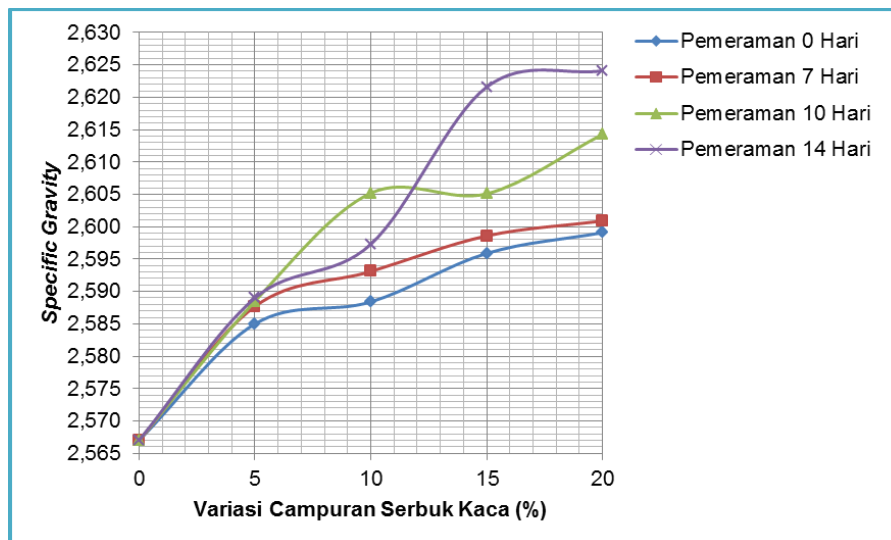
B. Berat Jenis Tanah (*Specivic Gravity*)

Perhitungan untuk pengujian berat jenis (*Specivic Gravity*) tanah TPA yang dicampur dengan 0% 0%, 5%, 10%, 15%, 20% serbuk kaca dari berat kering tanah dengan lama pemeraman 0 hari, 7 hari, 10 hari dan 14 hari dengan masing- masing sebanyak 3 buah sampel dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 5. Nilai Baerat Jenis (*Specific Gravity*)

No.	Variasi Campuran	Nilai <i>Specific Gravity</i>			
		Pemeraman 0 Hari	Pemeraman 7 Hari	Pemeraman 10 Hari	Pemeraman 14 Hari
1	Tanah Asli + 0 % Serbuk Kaca	2,5670	2,5670	2,5670	2,5670
2	Tanah Asli + 5 % Serbuk Kaca	2,5850	2,5877	2,5885	2,5890
3	Tanah Asli + 10 % Serbuk Kaca	2,5884	2,5931	2,6052	2,5973
4	Tanah Asli + 15 % Serbuk Kaca	2,5959	2,5986	2,6051	2,6216
5	Tanah Asli + 20 % Serbuk Kaca	2,5991	2,6009	2,6143	2,6241

Sumber : Hasil perhitungan



Gambar 4. Hubungan Nilai *Specific Gravity* Dengan Penambahan Variasi Persentase Serbuk Kaca Dan Lama Waktu Pemeraman

Berdasarkan hasil pengolahan data yang dilakukan menunjukkan semakin banyak persentase penambahan serbuk kaca dan semakin lama waktu pemeramannya maka nilai berat jenis (*specific gravity*) akan semakin naik. Nilai berat jenis (*specific gravity*) tertinggi terdapat pada sampel tanah dengan campuran 20% serbuk kaca dan dengan lama waktu pemeraman 14 hari sebesar 2,6241. Sedangkan nilai berat jenis (*specific gravity*) terendah terdapat pada sampel tanah dengan campuran 0% serbuk kaca dan dengan lama waktu pemeraman 0 hari, 7 hari, 10

hari dan 14 hari (tanah asli TPA) sebesar 2,5670. Kenaikan nilai *specific gravity* biasanya diikuti dengan kenaikan nilai berat isi tanah (γ_t). Semakin besar nilai *specific gravity* maka semakin baik mutu dari tanah tersebut.

C. Konsistensi Tanah (*Atterberg Limit Test*)

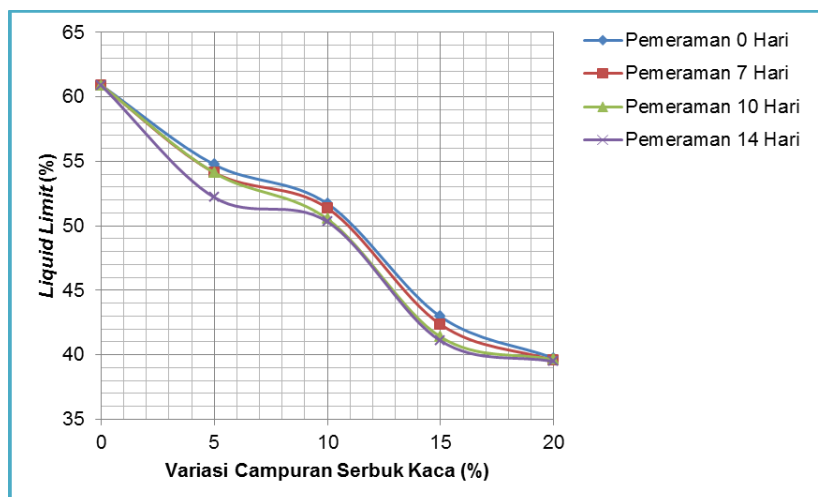
Perhitungan untuk pengujian konsistensi tanah (*Specivic Gravity*) tanah TPA yang dicampur dengan 0% 0%, 5%, 10%, 15%, 20% serbuk kaca dari berat kering tanah dengan lama pemeraman 0 hari, 7 hari, 10 hari dan 14 hari dengan masing- masing sebanyak 1 buah sampel dapat dilihat sebagai berikut :

Batas Cair (*Liquid Limit*) :

Tabel 6. Batas Cair Tanah (*Liquid Limit*)

No.	Variasi Campuran	<i>Liquid Limit (%)</i>			
		Pemeraman 0 Hari	Pemeraman 7 Hari	Pemeraman 10 Hari	Pemeraman 14 Hari
1	Tanah Asli + 0 % Serbuk Kaca	60,9135	60,9135	60,9135	60,9135
2	Tanah Asli + 5 % Serbuk Kaca	54,7490	54,1345	54,1160	52,2085
3	Tanah Asli + 10 % Serbuk Kaca	51,7170	51,3725	50,5285	50,3185
4	Tanah Asli + 15 % Serbuk Kaca	42,9555	42,3440	41,3830	41,0745
5	Tanah Asli + 20 % Serbuk Kaca	39,7380	39,5485	39,6110	39,4650

Sumber : Hasil perhitungan



Gambar 5. Hubungan Nilai Batas Cair Tanah Dengan Penambahan Variasi Persentase Serbuk Kaca Dan Lama Waktu Pemeraman

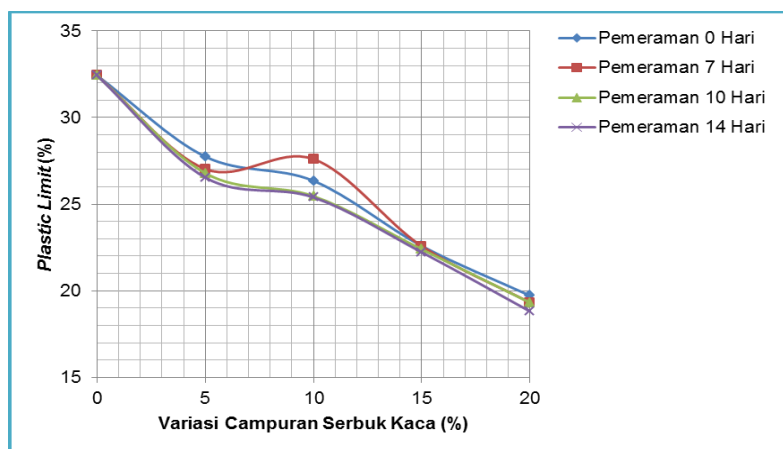
Penambahan serbuk kaca dapat menurunkan batas cair tanah. Nilai batas cair tanah tertinggi terdapat pada sampel tanah dengan campuran 0% serbuk kaca dan dengan lama waktu pemeraman 0 hari, 7 hari, 10 hari dan 14 hari (tanah asli TPA) sebesar 60,9135%. Sedangkan nilai batas cair tanah terendah terdapat pada sampel tanah dengan campuran 20% serbuk kaca dan dengan lama waktu pemeraman 14 hari sebesar 39,4650%. Tanah yang memiliki batas cair yang tinggi biasanya mempunyai sifat teknik yang buruk, yaitu kekuatannya rendah.

Batas Plastis (*Plastic Limit*) :

Tabel 7. Batas Plastis Tanah (*Plastic Limit*)

No.	Variasi Campuran	<i>Plastic Limit (%)</i>			
		Pemeraman 0 Hari	Pemeraman 7 Hari	Pemeraman 10 Hari	Pemeraman 14 Hari
1	Tanah Asli + 0 % Serbuk Kaca	32,4334	32,4334	32,4334	32,4334
2	Tanah Asli + 5 % Serbuk Kaca	27,7490	27,0341	26,7950	26,5408
3	Tanah Asli + 10 % Serbuk Kaca	26,3491	27,6065	25,4634	25,3919
4	Tanah Asli + 15 % Serbuk Kaca	22,5854	22,5783	22,3937	22,2252
5	Tanah Asli + 20 % Serbuk Kaca	19,7221	19,3183	19,3168	18,8129

Sumber : Hasil perhitungan



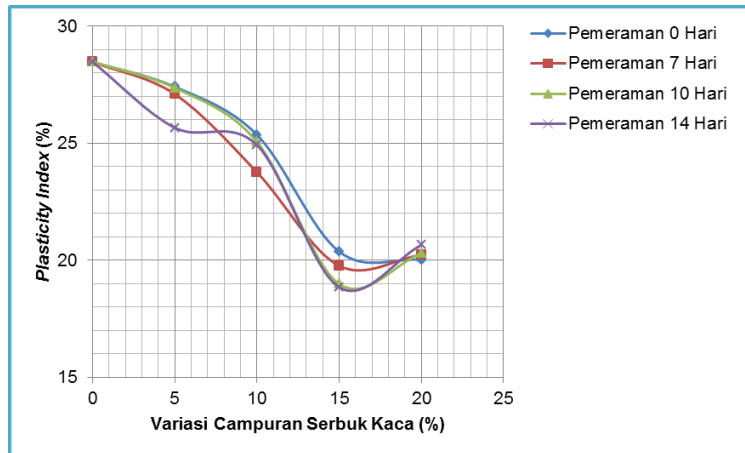
Gambar 6. Hubungan Nilai Batas Plastis Tanah Dengan Penambahan Variasi Persentase Serbuk Kaca Dan Lama Waktu Pemeraman

Nilai batas plastis tanah berhubungan dengan pekerjaan pemadatan tanah di lapangan. Semakin kecil nilai batas plastis tanah maka semakin sulit pengerjaannya di lapangan, karena jika nilai plastisnya rendah maka tanah tersebut akan sulit untuk dipadatkan. Nilai batas plastis terkecil terdapat pada sampel tanah dengan campuran 20% serbuk kaca dan dengan lama waktu pemeraman 14 hari sebesar 18,8129%. Batas cair dan batas plastis tanah berguna untuk menentukan angka indeks plastisitas. Angka indeks plastisitas merupakan pengurangan nilai batas cair tanah dengan nilai batas plastis tanah. Nilai indeks plastisitas menjadi semakin kecil seiring dengan bertambahnya kadar serbuk kaca yang dicampur. Penurunan indeks plastisitas tanah ini terjadi karena semakin berkurangnya nilai batas cair dan batas plastis pada tanah.

Tabel 8. Indeks Plastisitas Tanah

No.	Variasi Campuran	<i>Plasticity Index (%)</i>			
		Pemeraman 0 Hari	Pemeraman 7 Hari	Pemeraman 10 Hari	Pemeraman 14 Hari
1	Tanah Asli + 0 % Serbuk Kaca	28,4801	28,4801	28,4801	28,4801
2	Tanah Asli + 5 % Serbuk Kaca	27,4144	27,1031	27,3710	25,6677
3	Tanah Asli + 10 % Serbuk Kaca	25,3679	23,7660	25,0651	24,9266
4	Tanah Asli + 15 % Serbuk Kaca	20,3701	19,7657	18,9893	18,8493
5	Tanah Asli + 20 % Serbuk Kaca	20,0159	20,2302	20,2942	20,6521

Sumber : Hasil perhitungan



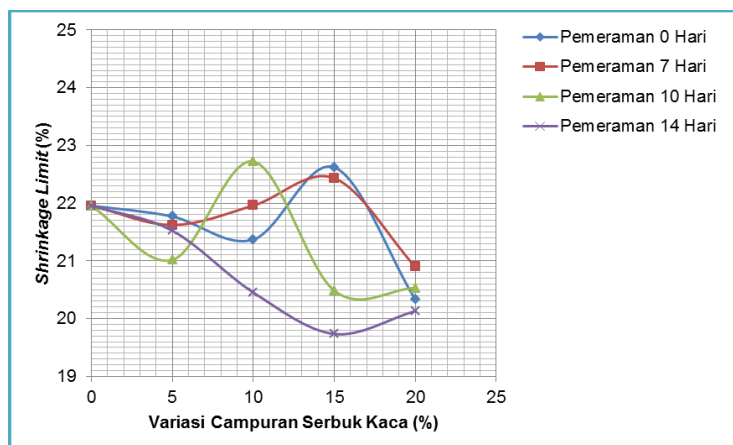
Gambar 7. Hubungan Nilai Indeks Plastisitas Dengan Penambahan Variasi Persentase Serbuk Kaca Dan Lama Waktu Pemeraman

Batas Susut (*Shrinkage Limit*) :

Tabel 9. Batas Susut Tanah (*Shrinkage Limit*)

No.	Variasi Campuran	<i>Shrinkage Limit</i> (%)			
		Pemeraman 0 Hari	Pemeraman 7 Hari	Pemeraman 10 Hari	Pemeraman 14 Hari
1	Tanah Asli + 0 % Serbuk Kaca	21,9571	21,9571	21,9571	21,9571
2	Tanah Asli + 5 % Serbuk Kaca	21,7698	21,6221	21,0175	21,5243
3	Tanah Asli + 10 % Serbuk Kaca	21,3699	21,9585	22,7230	20,4540
4	Tanah Asli + 15 % Serbuk Kaca	22,6212	22,4337	20,4861	19,7355
5	Tanah Asli + 20 % Serbuk Kaca	20,3312	20,8993	20,5314	20,1320

Sumber : Hasil perhitungan



Gambar 8. Hubungan Nilai Indeks Plastisitas Dengan Penambahan Variasi Persentase Serbuk Kaca Dan Lama Waktu Pemeraman

Batas susut tanah merupakan suatu keadaan dimana pengurangan volume kadar air selanjutnya tidak menurunkan volume tanah tersebut. Penambahan serbuk kaca pada tanah secara umum dapat menurunkan batas susut tanah, namun dari hasil pengujian ada beberapa sampel tanah yang batas susutnya naik.

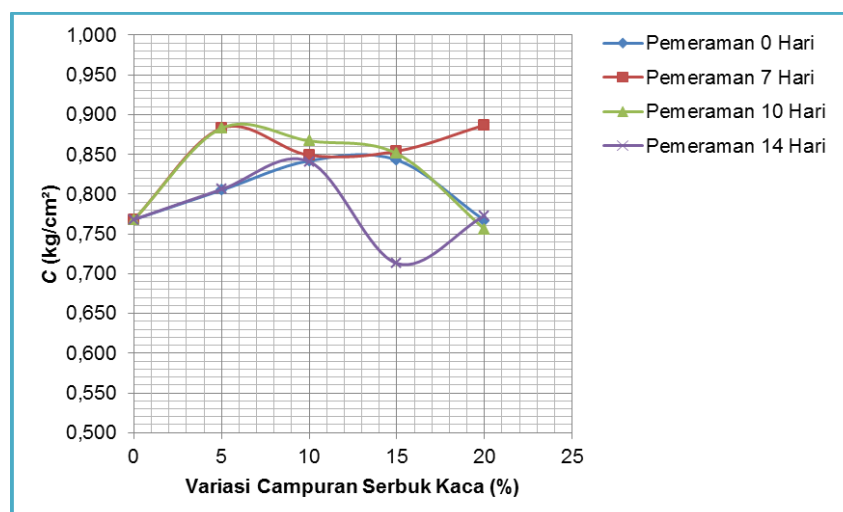
D. Kuat Geser Langsung (*Direct Shear Test*)

Pengujian *direct shear* bertujuan untuk mengetahui nilai *cohesion* (C) dan nilai *internal friction angle* ϕ . Kedua nilai ini merupakan unsur yang sangat penting untuk menentukan daya dukung pondasi. Semakin besar nilai *cohesion* (C) dan nilai *internal friction angle* ϕ , maka daya dukung pondasi tersebut akan semakin tinggi (berdasarkan teori daya dukung Terzaghi). Penambahan serbuk kaca dan lama pemeraman sangat berpengaruh kepada nilai C dan ϕ . Secara umum, semakin banyak penambahan serbuk kaca maka nilai C dan ϕ akan semakin besar. Akan tetapi pada penambahan serbuk kaca dengan variasi 20% nilai C dan ϕ menjadi turun, hal ini disebabkan karena kadar serbuk kaca yang sudah melawati batas. Nilai C terbesar terdapat pada sampel tanah dengan campuran 20% serbuk kaca dan dengan lama waktu pemeraman 7 hari yaitu sebesar $0,887 \text{ kg/cm}^2$ dan nilai ϕ terbesar terdapat pada sampel tanah dengan campuran 5% serbuk kaca dan dengan lama waktu pemeraman 7 hari sebesar $38^\circ 8' 9,6''$ (dapat dilihat pada Tabel 4.7). Hubungan nilai nilai C dan ϕ dengan penambahan variasi persentase serbuk kaca dan lama waktu pemeraman dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.

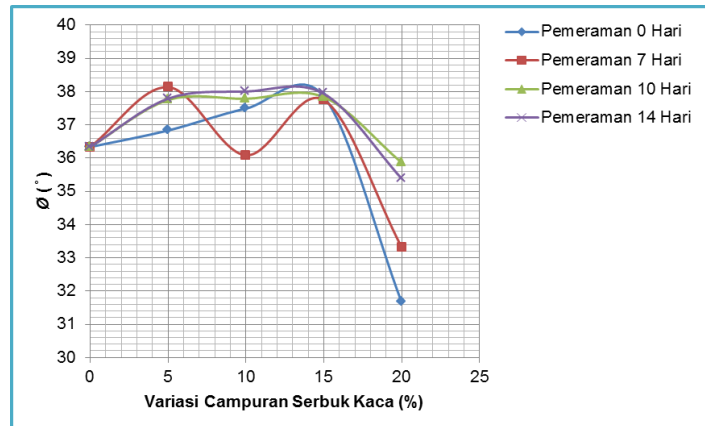
Tabel 10. Nilai *Cohesion* dan *Internal Friction Angle*

No.	Variasi Campuran	Pemeraman 0 Hari		Pemeraman 7 Hari		Pemeraman 10 Hari		Pemeraman 14 Hari	
		C(kg/cm ²)	Internal Friction Angle (ϕ)	C(kg/cm ²)	Internal Friction Angle (ϕ)	C(kg/cm ²)	Internal Friction Angle (ϕ)	C(kg/cm ²)	Internal Friction Angle (ϕ)
1	Tanah Asli + 0 % Serbuk Kaca	0,768	36° 20' 6''	0,768	36° 20' 6''	0,768	36° 20' 6''	0,768	36° 20' 6''
2	Tanah Asli + 5 % Serbuk Kaca	0,805	36° 49' 48''	0,883	38° 8' 9,6''	0,883	37° 44' 52,8''	0,806	37° 47' 20,4''
3	Tanah Asli + 10 % Serbuk Kaca	0,842	37° 29' 24''	0,849	36° 5' 9,6''	0,867	37° 47' 9,6''	0,841	38° 0' 7,2''
4	Tanah Asli + 15 % Serbuk Kaca	0,843	37° 51' 18''	0,854	37° 44' 56,4''	0,851	37° 50' 9,6''	0,713	37° 56' 20,4''
5	Tanah Asli + 20 % Serbuk Kaca	0,767	31° 39' 36''	0,887	33° 19' 4,8''	0,756	35° 51' 43,2''	0,773	35° 23' 6''

Sumber : Hasil perhitungan



Gambar 8. Hubungan Nilai *Cohesion* (C) Dengan Penambahan Variasi Persentase Serbuk Kaca Dan Lama Waktu Pemeraman



Gambar 10. Hubungan Nilai ϕ Dengan Penambahan Variasi Persentase Serbuk Kaca Dan Lama Waktu Pemeraman

Persentase Optimum Serbuk Kaca Dalam Peningkatan Sifat Fisik Tanah

Untuk menentukan nilai persentase optimum serbuk kaca dalam hal peningkatan sifat fisik tanah dilakukan dengan menggunakan teori daya dukung tanah Terzaghi. Teori Terzaghi hanya berlaku untuk pondasi langsung yang tidak terlalu dalam. Selain itu juga teori menyatakan bahwa tanah yang memiliki daya dukung yang baik adalah tanah yang memiliki nilai cohesion (C) dan sudut perlawanan geser (ϕ) yang besar (nilai lebar pondasi dan dalam pondasi dianggap sama). Akan tetapi ada beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan seperti nilai kadar air, *specific gravity*, batas cair, batas plastis dan batas susut. Semua nilai dari faktor-faktor ini tergantung kepada banyaknya penambahan serbuk kaca dan lama waktu pemeraman. Untuk menentukan persentase optimum campuran serbuk kaca ditinjau dari tanah yang memiliki nilai C , ϕ dan *specific gravity* yang besar, hal ini dikarenakan semakin besar nilai ketiga faktor tersebut maka kualitas tanah akan semakin baik. Sementara untuk nilai kadar air, batas cair dan batas plastis diambil nilai yang tidak terlalu tinggi (berada dalam kategori sedang), dikarenakan jika nilai kadar air, batas cair dan batas plastis terlalu tinggi atau terlalu rendah maka akan sulit untuk pekerjaannya dilapangan.

Tabel 11. Penentuan Persentase Optimum Campuran

No.	Variasi Campuran	Pemeraman	Kadar Air (%)	Specific Gravity	Batas Cair (%)	Batas Plastis (%)	Batas Susut (%)	Indeks Plastisitas (%)	Kohesi (C) kg/cm ²	Sudut Perlawanan Geser (ϕ)
1	Tanah Asli + 0 % Serbuk Kaca	0 Hari	30,6485	2,5670	60,9135	32,4334	21,9571	28,4801	0,768	36° 20' 6"
2	Tanah Asli + 5 % Serbuk Kaca		28,5967	2,5850	54,7490	27,7490	21,7698	27,4144	0,805	36° 49' 48"
3	Tanah Asli + 10 % Serbuk Kaca		25,8691	2,5884	51,7170	26,3491	21,3699	25,3679	0,842	37° 29' 24"
4	Tanah Asli + 15 % Serbuk Kaca		24,9313	2,5959	42,9555	22,5854	22,6212	20,3701	0,843	37° 51' 18"
5	Tanah Asli + 20 % Serbuk Kaca		22,5215	2,5991	39,7380	19,7221	20,3312	20,0159	0,767	31° 39' 36"
6	Tanah Asli + 0 % Serbuk Kaca	7 Hari	30,6485	2,5670	60,9135	32,4334	21,9571	28,4801	0,768	36° 20' 6"
7	Tanah Asli + 5 % Serbuk Kaca		28,5099	2,5877	54,1345	27,0341	21,6221	27,1031	0,883	38° 8' 9,6"
8	Tanah Asli + 10 % Serbuk Kaca		24,8361	2,5931	51,3725	27,6065	21,9585	23,7660	0,849	36° 5' 9,6"
9	Tanah Asli + 15 % Serbuk Kaca		24,3883	2,5986	42,3440	22,5783	22,4337	19,7657	0,854	37° 44' 56,4"
10	Tanah Asli + 20 % Serbuk Kaca		21,8429	2,6009	39,5485	19,3183	20,8993	20,2302	0,887	33° 19' 4,8"
11	Tanah Asli + 0 % Serbuk Kaca	10 Hari	30,6485	2,5670	60,9135	32,4334	21,9571	28,4801	0,768	36° 20' 6"
12	Tanah Asli + 5 % Serbuk Kaca		27,1801	2,5885	54,1160	26,7950	21,0175	27,3710	0,883	37° 44' 52,8"
13	Tanah Asli + 10 % Serbuk Kaca		24,2070	2,6052	50,5285	25,4634	22,7230	25,0651	0,867	37° 47' 9,6"
14	Tanah Asli + 15 % Serbuk Kaca		23,7222	2,6051	41,3830	22,3937	20,4861	18,9893	0,851	37° 50' 9,6"
15	Tanah Asli + 20 % Serbuk Kaca		20,2361	2,6143	39,6110	19,3168	20,5314	20,2942	0,756	35° 51' 43,2"
16	Tanah Asli + 0 % Serbuk Kaca	14 Hari	30,6485	2,5670	60,9135	32,4334	21,9571	28,4801	0,768	36° 20' 6"
17	Tanah Asli + 5 % Serbuk Kaca		26,5480	2,5890	52,2085	26,5408	21,5243	25,6677	0,806	37° 47' 20,4"
18	Tanah Asli + 10 % Serbuk Kaca		23,5640	2,5973	50,3185	25,3919	20,4540	24,9266	0,841	38° 0' 7,2"
19	Tanah Asli + 15 % Serbuk Kaca		22,5525	2,6216	41,0745	22,2252	19,7355	18,8493	0,713	37° 56' 20,4"
20	Tanah Asli + 20 % Serbuk Kaca		20,0043	2,6241	39,4650	18,8129	20,1320	20,6521	0,773	35° 23' 6"

Setelah ditinjau dari semua faktor diatas (dapat dilihat pada Tabel 11.) maka tanah yang dapat mewakili nilai persentase optimum penambahan serbuk kaca adalah tanah dengan campuran 5% serbuk kaca dan dengan lama pemeraman 7 hari. Dimana tanah dengan campuran 5% serbuk kaca dan lama pemeraman 7 hari memiliki kadar air 28,5099%, *specific gravity* 2,5877, batas cair 54,1345%, batas plastis 27,0341%, batas susut 21,6221%, indeks plastisitas 27,1031%, *cohesion* 0,883kg/cm² dan nilai *internal friction angle* ϕ sebesar 38° 8' 9,6''.

KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil uji sifat fisik tanah TPA Semanan memiliki kadar air 30,6485%, *specific gravity* 2,5670, batas cair 60,9135%, batas plastis 32,4334%, batas susut 21,9571%, indeks plastisitas 28,4801%, *cohesion* 0,768 kg/cm² dan nilai *internal friction angle* ϕ sebesar 36° 20' 6''.
2. Dari variasi campuran serbuk kaca 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dari berat kering tanah dengan lama pemeraman 0 hari, 7 hari, 10 hari dan 14 hari, didapatkan nilai persentase optimum penambahan serbuk kaca adalah pada tanah dengan campuran 5% serbuk kaca dan dengan lama pemeraman 7 hari. Dimana tanah dengan campuran 5% serbuk kaca dan lama pemeraman 7 hari memiliki nilai kadar air 28,5099%, *specific gravity* 2,5877, batas cair 54,1345%, batas plastis 27,0341%, batas susut 21,6221%, indeks plastisitas 27,1031%, *cohesion* 0,883 kg/cm² dan nilai *internal friction angle* ϕ sebesar 38° 8' 9,6''.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J. E., 1991, *Sifat-Sifat Fisis Dan Geoteknik Tanah*, Penerbit : Erlangga, Jakarta.
- Craig, R. F., 1994, *Mekanika Tanah*, Penerbit : Erlangga, Jakarta.
- Das, Braja M., 1988, *Mekanika Tanah*, Penerbit : Erlangga, Jakarta.
- Fakultas Teknik Sipil Dan Lingkungan, 2010, *Diktat Pengelolaan Sampah*, ITB, Bandung.
- Foth, Henry D., 1994, *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*, Penerbit : Erlangga, Jakarta.
- Laboratorium Mekanika Tanah, 2014, *Petunjuk Praktikum Mekanika Tanah*, Sekolah Tinggi Teknik - PLN, Jakarta.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 19/PRT/M/2012
- Shayan, Ahmad, 2002, *Value-Added Utilisation Of Waste Glass InConcrete Research Journal*, IABSE Symposium, Melbourne.
- Sudjianto, Agus T., 2012, *Stabilisasi Landfill Dengan Fly Ash*, Jurnal Widya Teknika Vol.20 No.2; Oktober 2012, ISSN 1411-0660: 1-8.
- Tastan, E. O., Edil, T. B., Benson, C. H., dan Aydileks, A H., 2011, *Stabilization Of Organic Soils With Fly Ash*, Journal of Geotechnical and Enviromental Engineering, ASCE.
- Tchobanoglous, George, Thiesen, Hilary dan Vigil, Samuel, 1993, *Integrated Solid Waste Management Enginering Principles And Management Issues*. Mc Graw-Hill, Inc, New York, USA.
- Wesley, L. D., 1997, *Mekanika Tanah*, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
- <http://www.enviro.bppt.go.id/Berita/Data/25052010.html>.