

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Stabilisasi Menggunakan Abu Cangkang Sawit (ACS)

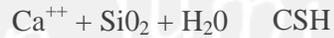
Abu sawit merupakan sisa dari hasil pembakaran cangkang dan serat sawit di dalam tungku pembakaran (Boiler) pada suhu 700-800° C. Propertis tanah kohesif diubah dengan penambahan abu sawit sehingga pemadatan akan menghasilkan derajat kompaksi yang tinggi disamping terjadi pula ikatan antara bahan pengikat dan partikel tanah kohesif (Nugroho dkk, 2013). Penggunaan abu sawit sebagai bahan stabilisasi tanah dapat menambah nilai kuat tekan tanah, meningkatkan kuat geser tanah dan menurunkan nilai indeks plastis sebesar 14,2 persen dengan menambahkan abu sawit hingga 20 persen pada tanah (Edison, 2003). Abu cangkang sawit merupakan bahan *pozzolanic*, yaitu material utama pembentuk semen, yang mengandung senyawa silika oksida (SiO_2) aktif. Berikut adalah komposisi kimia abu cangkang sawit.

Tabel 3.1 Komposisi Kimia Abu Cangkang Sawit (Endriani, 2012)

Unsur/Senyawa	Abu Cangkang Sawit (%)
Silika (SiO_2)	67,4
Kalsium Oksida (CaO)	1,5422
Magnesium Oksida (MgO)	3,024
Besi Oksida (Fe_2O_3)	0,0014
Alumunium Karbonat (Al_2O_3)	10,9985

Abu cangkang sawit yang mengandung SiO_2 (67,4%) dan CaO (1,54%) jika berdiri sendiri sebagai bahan tambah tidak akan meningkatkan kuat geser tanah secara signifikan, karena kandungan CaO tidak cukup untuk terjadinya

sementasi (terbentuknya CSH, dan CAH) maupun terjadinya reaksi posolanik (terbentuknya CASH). Maka dengan penambahan (CaCO_3) dapat mengikat silika dengan baik dan meningkatkan stabilisasi tanah. Berikut adalah rumus kimia terbentuknya CSH dan CASH:



3.2 Klasifikasi Tanah

Menurut Braja M. Das (1998), sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Umumnya, klasifikasi tanah didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisis saringan dan plastisitas.

Pada penelitian ini dipakai Sistem Klasifikasi Tanah *Unified (Unified Soil Classification System)* untuk menentukan jenis tanah yang akan digunakan. Sistem ini dikembangkan oleh *Cassagrande* yang pada garis besarnya membagi tanah atas tiga kelompok, yaitu :

1. Tanah berbutir kasar, jika kurang dari 50% lolos saringan no. 200. Secara visual tanah berbutir kasar dapat dilihat oleh mata.
2. Tanah berbutir halus, jika lebih dari 50% lolos saringan no. 200. Secara visual tanah berbutir halus tidak dapat dilihat oleh mata.
3. Tanah organik, dapat dikenal dari warna, bau, dan sisa-sisa tumbuhan yang terkandung didalamnya.

Tabel Sistem Klasifikasi Tanah *Unified* adalah sebagai berikut:

Table 3.2 Tabel Sistem Klasifikasi Tanah *Unified**

Divisi utama		Simbol kelompok	Nama jenis	
Tanah Berbutir Kasar Lebih dari 50% butiran tertahan pada ayakan No. 200	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan pada ayakan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus.
		Kerikil dengan 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.	
	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos ayakan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus.
			SP	Pasir bergradasi-buruk dan pasir berkerikil, sedikit taua sama sekali tidak mengandung butiran halus.
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau.
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung.
	Tanah Berbutir Halus 50% atau lebih lolos ayakan No.200	Lanau dan Lempung Batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung
			CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung “kurus” (lean clays).
OL			Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah.	
Lanau dan Lempung Batas cair lebih dari 50%		MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis.	
		CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung “gemuk” (fat clays).	
		OH	Lempung anorganik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi.	
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi		PT	Peat (gambut), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi.	

*Menurut ASTM (1982)

(Sumber: Braja M.Das (1995), Mekanika Tanah, Jilid I. Hal 71, Erlangga, Surabaya)

3.4 Hubungan Antar Fase

Tanah mempunyai dua sampai tiga fase yang berbeda tergantung keadaan tanahnya, berikut contoh keadaan tanah dan jumlah fasenya:

- 1) Tanah benar-benar kering mempunyai dua fase, yaitu partikel padat dan udara pengisi pori.
- 2) Tanah jenuh sempurna mempunyai dua fase, yaitu partikel padat dan air pori.
- 3) Tanah jenuh sebagian mempunyai tiga fase, yaitu partikel padat, udara pori, dan air pori.

3.3.1 Kadar air

Kadar air (w) adalah perbandingan antara massa air dengan massa padat dalam tanah, yaitu:

$$w = \frac{M_w}{M_s} \times 100\% \text{ atau } = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (3.1)$$

Keterangan :

w = Kadar Air (%)

W_w = berat air (gr)

W_s = Berat butiran Tanah (gr)

3.3.2 Berat volume basah

Berat volume basah adalah perbandingan antara berat butiran tanah termasuk air dan udara (W) dengan volume total tanah (V) yaitu:

$$xb = \frac{w}{v} \quad (3.2)$$

Dengan $W = W_w + W_s + W_a$ ($W_a = 0$). Bila ruang udara terisi air seluruhnya ($V_a = 0$), maka tanah menjadi jenuh.

3.3.3 Berat volume kering

Berat volume kering adalah perbandingan antara berat butiran (W_s) dengan volume total tanah (V), yaitu:

$$\chi_d = \frac{W_s}{V} \quad (3.3)$$

3.3.4 Berat jenis tanah (*specific gravity*)

Berat spesifik atau berat jenis tanah (G_s) adalah perbandingan antara berat volume butiran padat (χ_s) dengan berat volume air (χ_w) pada temperatur 4 ° C.

$$G_s = \frac{\chi_s}{\chi_w} \quad (3.4)$$

Nilai-nilai berat jenis dari berbagai jenis tanah diberikan dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 3.3 Pembagian Jenis Tanah Berdasarkan Berat Jenis

Type Tanah	Gs
Sand (Pasir)	2,65 – 2,67
Silty Sand (Pasir Berlanau)	2,67 – 2,70
Inorganic Clay (Lempung Inorganik)	2,70 – 2,80
Soil with mica or iron	2,75 – 3,00
Gambut	< 2
Humus Soil	1,37
Grafel	> 2,7

(Sumber: L. D. Wesley, Mektan, Cetakan IV hal. 5, Tabel 1.1, Badan Penerbit Pekerjaan Umum)

3.4 Batas Konsistensi Tanah

Apabila tanah dicampur dengan air sampai dengan keadaan cair, kemudian dibiarkan sampai keadaan kering, maka tanah akan melewati beberapa fase. Hal ini biasa disebut dengan batas-batas *Atterberg*.

Batas-batas konsistensi tanah terdiri dari :

1. Batas cair (*Liquid Limit* = LL) = W_L

Didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas daerah plastis.

2. Batas plastis/kenyal (*Plastic Limit* = PL) = W_P

Didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi plastis, yaitu kadar air pada saat tanah digulung-gulung dan terjadi retak pada diameter $\pm 3,20$ mm. Nilai W_P dapat dihitung dengan rumus:

$$W_p = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (3.5)$$

Dengan: W_w = Berat Air

W_s = Berat Tanah Kering

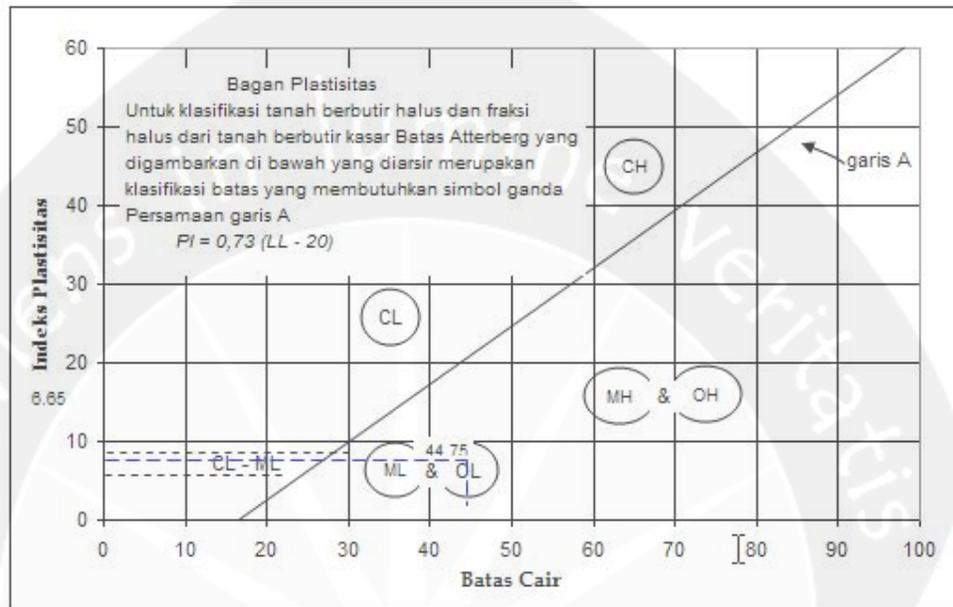
Hubungan nilai indeks plastisitas dengan sifat tanah sebagai berikut:

Tabel 3.4 Hubungan Nilai PI dengan Sifat, Macam Tanah dan Kohesi

PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Non plastis	Pasir	Non kohesif
< 7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif sebagian
7 - 17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
> 17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesif

(Sumber : Dr. Ir. Hary Christiady Hardiyatmo M.Eng, DEA (2002), Mekanika Tanah I edisi 4, hal. 48, Gajah Mada University Press, Yogyakarta)

Berikut ini merupakan gambar bagan plastisitas untuk klasifikasi tanah berbutir halus dengan indeks plastisitas dan batas cair.



(Sumber: Braja M. Das (1995), Mekanika Tanah, Jilid I. Hal 72, Erlangga, Surabaya)

3.5 Parameter Kekuatan Geser Tanah

Parameter kekuatan geser tanah terdiri dari kohesi (c), sudut geser-dalam (ϕ), modulus geser (G), dan modulus elastis (E) tanah. Pengujian laboratorium untuk menentukan parameter kekuatan geser tanah meliputi hal-hal sebagian berikut:

1) *Direct Shear Test*

Merupakan metode yang paling tua untuk menentukan parameter kekuatan tanah. Metode ini sering dipakai untuk menentukan parameter tanah kepasiran (*non-cohesive*).

1) *Unconfined Compression Test*

Merupakan metode yang sangat sederhana dan metode ini hanya akurat untuk mendapatkan kekuatan geser tanah lempung jenuh (*saturated clays*) dalam keadaan *undrained*.

3.6 Kepadatan Tanah di Laboratorium

Pemadatan adalah suatu proses memadatnya partikel tanah sehingga terjadi pengurangan volume udara dan volume air dengan memakai cara mekanis. Kepadatan tanah tergantung banyaknya kadar air, jika kadar air tanah sedikit maka tanah akan keras begitu pula sebaliknya bila kadar air banyak maka tanah akan menjadi lunak atau cair. Pemadatan yang dilakukan pada saat kadar air lebih tinggi daripada kadar air optimumnya akan memberikan pengaruh terhadap sifat tanah.

Pemadatan tanah di laboratorium dilakukan dengan cara pengujian standar yang disebut dengan uji proktor, dengan cara suatu palu dijatuhkan dari ketinggian tertentu beberapa lapisan tanah di dalam sebuah mold. Dengan dilakukannya pengujian pemadatan tanah ini, maka akan terdapat hubungan antara kadar air dengan berat volume. Derajat kepadatan tanah diukur dari berat volume keringnya, hubungan berat volume kering (ρ_d), berat volume basah (ρ_b), dan kadar air (w) dinyatakan dengan persamaan :

$$\rho_d = \rho_b (1 + w) \quad (3.6)$$

Derajat pemadatan suatu tanah diukur dalam berat volume kering.

Pada saat pemadatan air berfungsi sebagai pelunak (*softening agent*). Pada mulanya saat kadar air 0% berat volume sama dengan berat volume kering. Jika kadar air bertambah maka berat volume akan bertambah pula, tapi pada batas tertentu (OMC dan MDD) apabila kadar air ditambah lagi berat volume akan menurun. Hal ini disebabkan apabila sudut padat diberi air lagi partikel tanah akan bergerak dan rongga akan diisi air. Untuk menghitung kepadatan relative (R), digunakan rumus:

$$R = (x_d / MDD) \times 100\% \quad (3.7)$$

Dengan:

R : Kepadatan *relative*

d : Berat volume kering

MDD : Kepadatan kering maksimum

Untuk mengetahui berat volume kering maksimum, dilakukan uji laboratorium *proctor standard*. Faktor – faktor yang mempengaruhi adalah :

1. Jenis tanah
2. Kadar air
3. Cara pemadatan
4. Energy pemadatan (frekuensi pemadatan)

Ada dua cara pemadatan berdasarkan jumlah pukulan yang dilaksanakan yaitu:

1. Pemadatan *modified*. Pemadatan ini menggunakan penumbuk (berat 4,5 kg dan diameter 5,08 cm), tinggi jatuh 45 cm, dan pemadatan dilaksanakan dalam 5 lapis. Digunakan pada pekerjaan-pekerjaan lapangan terbang dan jalan raya.

2. Pemadatan *standard*. Pemadatan ini menggunakan penumbuk standard (berat 2,5 kg dan diameter 5,08 cm), tinggi jatuh 30 cm, dan pemadatan dilaksanakan dalam 3 lapis. Biasanya digunakan untuk pekerjaan bendungan, tanggul, saluran, dan pekerjaan pondasi.

3.6.1 Faktor – faktor yang mempengaruhi kepadatan tanah dasar

Faktor – faktor yang mempengaruhi kepadatan material *sub grade* adalah :

1. Karakteristik material tanah dasar.
2. Kadar air material tanah dasar.
3. Jenis alat pemadat yang digunakan.
4. Massa (berat) alat pemadat yang tergantung pada lebar roda dan pelat.
5. Ketebalan lapisan material yang dipadatkan.
6. Jumlah lintasan alat pemadat yang diperlukan.

3.6.2 Penentuan kadar optimum air

Untuk mengetahui kadar air yang optimum pada tanah, maka dilakukan pengujian pemadatan proktor standar, pengujian tersebut dilakukan dengan pemadatan sampel tanah basah (pada kadar air terkontrol) dalam suatu cetakan dengan jumlah lapisan tertentu. Setiap lapisan dipadatkan dengan sejumlah tumbukan yang ditentukan dengan penumbuk dengan massa dan tinggi jatuh tertentu. Apabila diketahui berat tanah basah didalam cetakan yang volumenya diketahui, maka berat isi basah dapat langsung dihitung :

$$x_b = (W_w - W_s) / V \quad (3.8)$$

dengan :

b = berat isi basah

V = volume cetakan

W_w = berat air (*weight of water*)

W_s = berat butir-butir padat (*weight of solid*)

Kadar air yang menyatakan berat unit kering yang maksimal disebut kadar air optimum (Dunn dkk, 1980). Untuk tanah berbutir halus dalam mendapatkan kadar air optimum diperoleh dari angka batas plastisnya.

3.7 California Bearing Ratio (CBR)

Metode ini mula-mula diciptakan oleh O. J. Porter, kemudian dikembangkan oleh *California State Highway Department*. Pada tahap selanjutnya dikembangkan dan dimodifikasi oleh *United State Army Corps of Engineers*. CBR adalah perbandingan beban penetrasi pada suatu bahan (*test load*) dengan beban dan bahan standar (*standard load*) pada penetrasi dan kecepatan pembebanan yang sama dan dinyatakan dalam persentase.

Uji CBR dilakukan di lapangan dan di laboratorium. Uji yang dilakukan di lapangan dilaksanakan setelah subgrade selesai dimampatkan dan pengukuran di laboratorium dikaitkan dengan percobaan pemampatan atau CBR design. Harga CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar (daya dukung bahan/tanah) dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100% dalam memikul beban. Harga CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100% dalam memikul beban. CBR menunjukkan nilai relatif kekuatan tanah, semakin tinggi kepadatan

tanah maka nilai CBR akan semakin tinggi. Walaupun demikian, tidak dibenarkan apabila tanah dasar dipadatkan dengan kadar air rendah supaya mendapat nilai CBR yang tinggi, karena kadar air kemungkinan tidak akan konstan pada kondisi ini.

$$CBR = \frac{\text{Test load}}{\text{Standart load}} \times 100\% \quad (3.9)$$

Tujuan dari percobaan ini adalah untuk menentukan nilai CBR dari suatu tanah yang dilakukan di laboratorium, sehingga dapat diketahui nilai daya dukung tanah dalam kepadatan maksimum. Apabila nilai CBR suatu tanah cukup besar, berarti nilai daya dukung tanah tersebut juga besar.

$$\text{Pada penetrasi 0,1 inci.} \quad CBR = \frac{\text{Tekanan dikoreksi}}{1000} \times 100 \quad (3.10)$$

$$\text{Pada penetrasi 0,1 inci.} \quad CBR = \frac{\text{Tekanan dikoreksi}}{1500} \times 100 \quad (3.11)$$

Tabel 3.5 Klasifikasi Tanah Berdasarkan CBR

CBR	General Rating	Uses	Classification System
			Unified
0 - 3	Very poor	Subgrade	OH, CH, MH, OL
3 - 7	Poor to fair	Subgrade	OH,CH, MH, OL
7 - 20	Fair	Subbase	OL, CL, ML, SC, SM, SP
20 - 50	Good	Base, sub base	GM, GC, SW, SM, SP, GI
>50	Excellent	Base, sub base	GW, GM

(Sumber: Braja M.Das.(1995), Mekanika Tanah Jilid I, hal. 71, Erlangga, Surabaya)

➤ **Faktor – faktor yang mempengaruhi plastisitas dan CBR tanah lempung (clay)**

Selain sangat dipengaruhi oleh banyaknya kadar air yang terkandung dalam tanah lempung, nilai CBR tanah lempung juga sangat dipengaruhi oleh

berbagai faktor berikut ini :

1. Faktor Lingkungan

Tanah dengan plastisitas tinggi dalam keadaan kadar air rendah atau hisapan yang tinggi akan menarik air lebih kuat disbanding dengan tanah yang sama dengan kadar air tinggi yang lebih tinggi. Perubahan kadar air pada zona aktif dekat permukaan tanah, akan menentukan besarnya plastisitas. Pada zona ini terjadi perubahan kadar air dan volume yang lebih besar. Variasi peresapan dan penguapan mempengaruhi perubahan kedalaman zona aktif. Keberadaan fasilitas seperti drainase, irigasi, dan kolam akan memungkinkan tanah memiliki akses terhadap sumber air. Keberadaan air pada fasilitas tersebut akan mempengaruhi perubahan kadar air tanah. Selain itu vegetasi seperti pohon, semak, dan rumput menghisap air tanah dan menyebabkan terjadinya perbedaan kadar air pada daerah dengan vegetasi berbeda.

2. Karakteristik Material

Plastisitas yang tinggi terjadi akibat adanya perubahan sistem tanah dengan air yang mengakibatkan terganggunya keseimbangan gaya-gaya di dalam struktur tanah. Gaya tarik yang bekerja pada partikel yang berdekatan yang terdiri dari gaya elektrostatis yang bergantung pada komposisi mineral, serta gaya Van der Waals yang bergantung pada jarak antar permukaan partikel. Partikel lempung pada umumnya berbentuk pelat pipih dengan permukaan bermuatan listril negatif dan ujung-ujungnya bermuatan positif. Muatan negatif ini diseimbangkan oleh kation air tanah yang terikat pada permukaan pelat oleh suatu gaya listrik.

3. Kondisi Tegangan

Tanah yang terkonsolidasi berlebih bersifat lebih ekspansif dibandingkan tanah yang terkonsolidasi normal, untuk angka pori yang sama. Proses pengeringan – pembasahan yang berulang cenderung mengurangi potensi pengembangan sampai suatu keadaan yang stabil. Besarnya pembebanan akan menyeimbangkan gaya antar partikel sehingga akan mengurangi besarnya pengembangan. Ketebalan dan lokasi kedalaman lapisan tanah ekspansif mempengaruhi besarnya potensi kembang – susut dan yang paling besar terjadi apabila tanah ekspansif yang terdapat pada permukaan sampai dengan kedalaman zona aktif.