

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Dalam melakukan penelitian ini, penulis menggunakannya sebagai referensi dan metode dalam rangka menyusun penelitian ini. Bagian tersebut dapat disimak pada tabel 2.1 yang memuat beberapa jurnal penelitian tanah yang berguna untuk mendukung jurnal yang peneliti susun :

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

NO	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Kesimpulan	Sumber
1	Andriani, Rina Yuliet dan Franky Leo Fernandez	Pengaruh Penggunaan Semen Sebagai Bahan Stabilisasi pada Tanah Lempung Daerah Lambung Bukit Terhadap Nilai CBR Tanah	Dengan menggunakan variasi semen 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat tanah kering dan pemeraman selama 3 hari, menghasilkan nilai maksimum CBR terdapat pada kadar penambahan semen 20% yaitu 64,138% meningkatkan dari CBR	Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil Tahun 2012

			tanah asli dengan nilai 8,204%	
2	Andri Suritno dan Akhmad Marzuko	Pengaruh Stabilisasi Kimiawi pada Tanah Gambut di Daerah Rawa Pening dengan Bahan Aditif DIFA dan Kapur Terhadap Nilai California Bearing Ratio (CBR)	Dengan menggunakan bahan tambah 5% kapur dan 0%, 1%, 2%, 3% dan 4% DIFA menghasilkan peningkatan pada nilai CBR berturut-turut sebesar 197,46%, 233,17%, 273,51%, 325,49% dari tanah asli	Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil Tahun 2017
3	Kamaluddin Lubis	Analisa Perkuatan Tanah dengan Menggunakan Semen Sebagai Bahan Tambahan dalam Meningkatkan Nilai CBR pada Tanah Lempung	Dengan menggunakan bahan tambah semen 5%, 15% dan 30% menghasilkan penurunan pada indeks plastisitas dari 30,28% menjadi 3,53%. Nilai CBR juga	Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil Tahun 2017

			mengalami peningkatan dari 5,17% menjadi 61,25% pada campuran 30% semen.	
4	Abdul Halim Muqorrobin, Muhammad Yusa dan Ferry Fatnanta	Stabilisasi Tanah Lempung Organik Menggunakan Semen dan DIFA <i>Soil Stabilizer</i>	Dengan variasi 5% semen + 1% DIFA SS dari berat kering tanah menghasilkan nilai CBR sebesar 22,02% dari tanah asli sebesar 6,16%.	Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil Tahun 2018
5	Nurlia Hashifah dan Muhammad Abdul Aziz Nurdhani	Pengaruh Penambahan DIFA <i>Soil Stabilizer</i> dan Semen Terhadap Stabilitas Tanah Lempung	Setiap penambahan campuran semen dan DIFA SS semakin meningkatkan nilai kuat tekan bebas dari 102,179 kPa pada hasil pengujian tanah asli	Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil Tahun 2019

			menjadi 727,278 kPa pada pengujian kuat tekan bebas tanah dengan campuran semen 12%	
6	Lyyo Yuhnardo dan Raden Ahmad Muflih	Pemanfaatan Bottom Ash dan DIFA Soil Stabilizer Terhadap Daya Dukung Lapisan Tanah Semen	Hasil pengujian CBR pada campuran tanah + <i>Bottom Ash</i> didapatkan nilai CBR optimum terdapat pada campuran 15% <i>Bottom Ash</i> dengan nilai CBR <i>Soaked</i> sebesar 4,485% sedangkan <i>Unsoaked</i> 19,004%. Sedangkan hasil pengujian <i>Bottom Ash</i> Optimum	Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil Tahun 2021

			15% + semen bervariasi + DIFA SS cenderung semakin meningkatkan nilai CBR pada campuran tanah-semen tersebut.	
--	--	--	---	--

2.2 Tanah

Braja M. Das (1995) menyatakan bahwa tanah adalah material yang terdiri dari agregat / butiran-butiran mineral padat yang tidak tersedimentasi satu dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut. Adapun nilai berat jenis tanah dapat dilihat di tabel 2.2 di bawah ini :

Tabel 2.2 Berat Jenis Tanah

No	Macam Tanah	Berat Jenis
1	Kerikil	2,65 - 2,68
2	Pasir	2,65 - 2,68
3	Lanau	2,62 - 2,68
4	Lempung organik	2,58 - 2,65
5	Lempung tak organik	2,68 - 2,75
6	Humus	1,37
7	Gambut	1,25 - 1,80

Dilihat dari tabel berat jenis tanah, maka tanah yang peneliti uji termasuk ke dalam jenis tanah lempung tak organik dengan nilai berat jenis sebesar 2,74. Tanah lempung juga memiliki permeabilitas yang rendah. Hal ini dapat kita lihat

dari kadar airnya <25%. Selain itu juga, tanah lempung tidak mampu menahan beban geser tanah dengan baik. Namun, peneliti mendapatkan bahwa tanah lempung yang diuji ini memiliki sifat plastisitas yang tinggi dan berbeda dengan karakteristik tanah lempung pada umumnya.

Tanah pada dasarnya adalah campuran partikel-partikel yang terdiri atas sebagian atau seluruh material sebagai berikut :

1. Berangkal adalah potongan batu besar yang berukuran lebih besar dari 250 mm, sedangkan batu yang berukuran antara 150- 250 mm dengan fragmen yang disebut kerakal / *cobbles*.
2. Kerikil /*gravel*, ukurannya berkisar mulai dari 5 mm-150 mm
3. Pasir /*sand*, ukurannya berkisar mulai dari 0,0074 mm - 5 mm
4. Lanau / *silt*, ukurannya berkisar mulai dari 0,002mm - 0,0074 mm
5. Lempung / *clay*, ukurannya <0,002 mm
6. Koloid / *colloids*, partikel yang diam, berukuran <0,001 mm

2.3 Klasifikasi Tanah

Braja M. Das (1995) mengemukakan bahwa sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi memiliki sifat yang sama kedalam kelompok-kelompok atau sub-kelompok tertentu berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi tanah memberikan bahan yang mudah untuk menjelaskan secara singkat tentang sifat-sifat umum tanah tanpa penjelasan secara terperinci. Sebagian besar klasifikasi tanah untuk tujuan rekayasa yang didasarkan pada sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastisitas. Walaupun saat ini terdapat berbagai sistem klasifikasi tanah, akan tetapi tidak ada satupun dari sistem-sistem tersebut yang menjelaskan bagaimana cara pemakaiannya secara tegas. Hal ini dikarenakan sifat-sifat tanah yang bervariasi.

Ada 2 sistem yang masyhur dalam mengklasifikasikan tanah yaitu *American Association of State Highway Transportation Officials* (AASHTO) dan sistem klasifikasi *Unified*.

2.3.1 Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi ini lahir dan mulai berkembang pada tahun 1929. Sistem ini juga telah melalui pembaharuan. Adapun pembaharuan yang menjadi standar dalam sistem klasifikasi ini ialah yang disetujui oleh *Comitee On Classification of Materials On Subgrade and Granular Type Road Of The Highway Research Board* (ASTM Standard NO. D-3282, AASHTO Metode M-145).

Pada sistem klasifikasi ini, AASHTO membagi partikel tanah menjadi 7 kelompok dimana partikel yang tidak lolos ayakan NO.200 sebesar $< 35\%$ berasal dari gugus A1-A3. Dan gugus dari partikel tanah yang butirannya lolos $>35\%$ pada ayakan NO.200 itu berasal dari gugus A4-A7. Dimana sebagian besar dari gugus tersebut berasal dari jenis tanah lempung dan lanau.

1. Ukuran Butiran

Kerikil : bagian dari partikel tanah yang ukuran diameternya berkisar hingga 75 mm / 3 inchi dan tertahan pada ayakan NO.20 (ukuran 2 mm)

Pasir : bagian dari partikel tanah yang lolos ayakan NO.10 (ukuran 2 mm) dan tertahan pada ayakan NO.200 (0,075 mm)

Lanau dan Lempung : bagian dari partikel tanah yang lolos ayakan Nomor 200

2. Plastisitas

Berlanau : Penamaan ini dipakai apabila indeks plastisitas tanah sebesar 10 atau kurang dari itu

Berlempung : Penamaan ini dipakai apabila indeks plastisitas tanah sebesar 11 atau lebih dari itu

3. Apabila batuan yang ditemukan pada saat uji klasifikasi tanah berukuran >75 mm, maka batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu dengan catatan persentase batuan yang dikeluarkan harus dicatat.

Perhatikan bahwa A-8, gambut dan rawang ditentukan dengan klasifikasi visual dan tidak diperlihatkan dalam tabel.

Klasifikasi umum	Bahan-bahan (35% atau kurang melalui No. 200)							Bahan-bahan lanau-lempung (Lebih dari 35% melalui No. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Klasifikasi kelompok	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5; A-7-6:
Analisis saringan: Persen melalui: No. 10 No. 40 No. 200	50 maks. 30 maks. 15 maks.	50 maks. 25 maks.	51 maks. 10 maks.	35 maks.	35 maks.	35 maks.	35 maks.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Karakteristik fraksi melalui No. 40 Batas cair: Indeks plastisitas	6 maks.		N.P.	40 maks. 10 maks.	41 min. 10 maks.	40 maks. 11 min.	41 maks. 10 maks.	40 maks. 10 maks.	41 min. 10 maks.	40 maks. 10 min.	41 min. 11 min.
Indeks kelompok	0		0	0			4 maks.	8 maks.	12 maks.	16 maks.	20 maks.
Jenis-jenis bahan pendukung utama	Fragmen batuan, kerikil, dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir berlanau atau berlempung				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Tingkatan umum sebagian tanah dasar	Sangat baik baik sampai baik							sedang sampai buruk			

Untuk : A-7-5 : PI LL - 30 NP = Non plastis
Untuk : A-7-6 : PI LL - 30

Gambar 2.1 Sistem Klasifikasi AASHTO

2.3.2 Sistem Klasifikasi *Unified Soil Classification System (USCS)*

Sistem ini ditemukan oleh Profesor Arthur Cassagrande pada tahun 1942. Awal mulanya sistem ini digunakan untuk pekerjaan pembuatan lapangan terbang yang digagas oleh *The Army Corps. Of Engineer* selama Perang Dunia II. Namun, seiring perkembangan zaman, sistem ini juga dapat digunakan untuk keperluan lainnya.

Pada sistem ini, tanah terbagi menjadi 2 gugus besar yaitu :

1. Tanah berbutir kasar (*Coarse Grained Soil*) yaitu berupa kerikil dan pasir dimana <math>< 50\%</math> dari berat contoh tanah lolos ayakan nomor 200. Adapun kerikil itu diberi simbol G (*gravel*) sedangkan pasir diberi simbol S (*sand*).
2. Tanah berbutir halus (*Fine Grained Soil*) yaitu berupa butiran tanah halus dimana >math>> 50\%</math> dari berat contoh tanah lolos ayakan nomor 200. Pada gugus kecil ini, lanau anorganik diberi simbol (M), lempung anorganik diberi simbol (C), sedangkan O untuk simbol dari tanah lanau organik dan lempung organik.

Selain itu, adapula simbol PT disematkan untuk tanah gambut, *muck*, dan tanah dengan kadar organik yang tinggi.

Sistem klasifikasi USCS dapat dilihat seperti di bawah ini :

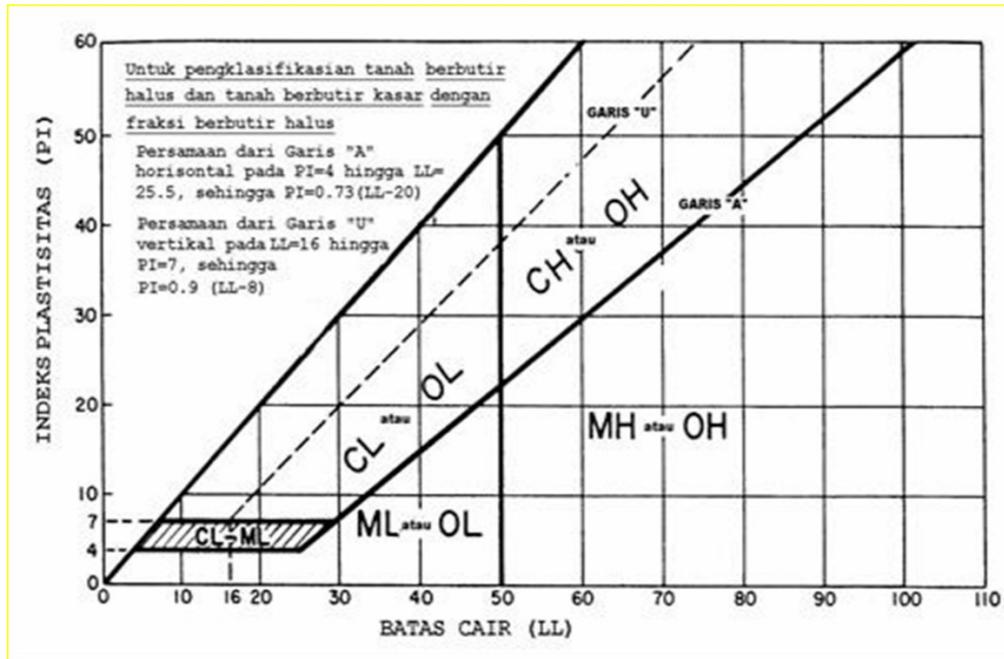
Divisi		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria Klasifikasi	
Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar (saringan no. 4 (4,75 mm))	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
		GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.		
	Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol	
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		
	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 60$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ atau 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
			SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	
Pasir bersih kandungan butiran halus		SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol	
		SC	Pasir berlanau, campuran pasir-lempung		

Klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus; Kurang dari 50% lolos saringan no. 200; GM, GP, SW, SP. Lebih dari 12% lolos saringan no. 200; GM, GC, SM, SC. 5% - 12% lolos saringan no. 200; Batasan klasifikasi yang mempunyai simbol dobel

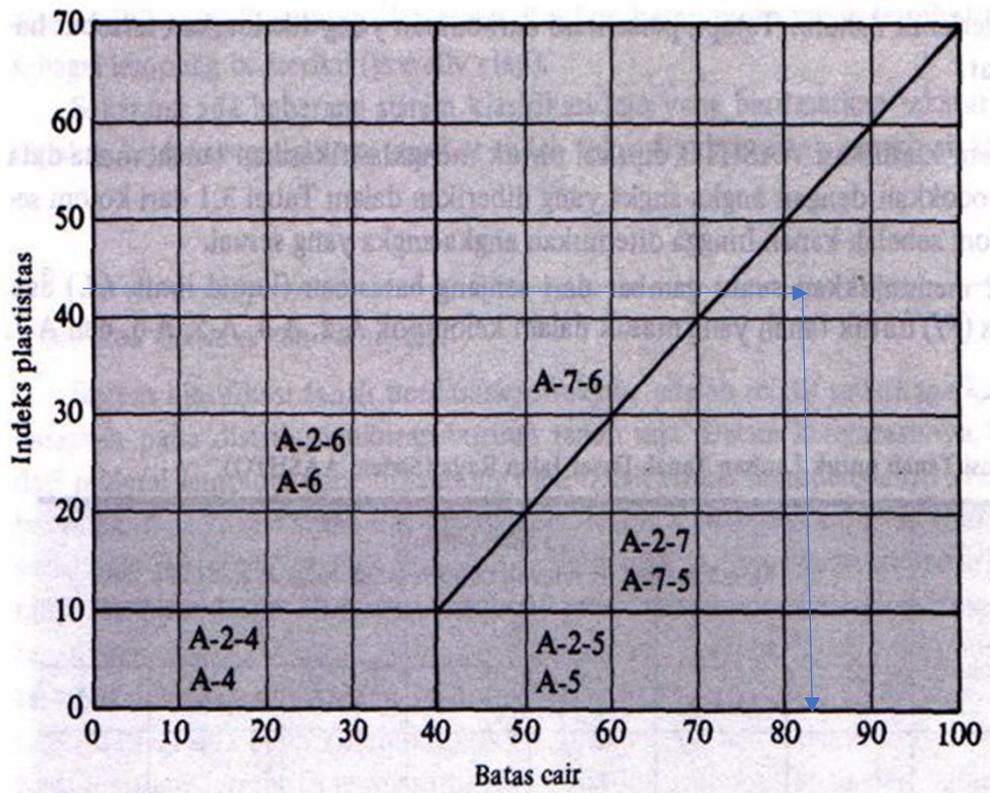
Gambar 2.2 Sistem Klasifikasi USCS

Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm))	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau bertempung	<p>Diagram plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar. Batas afterberg yang termasuk dalam daerah yang arsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol.</p> <p>Batas Cair LL (%) Garis A: $PI = 0,73 (LL - 20)$</p>
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ('clean clays')	
	Lanau dan lempung batas cair > 50%	OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
		MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis.	
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ('fat clays')	
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
Tanah dengan organik tinggi			Gambut ('peat'), dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat ASTM Designation D-2488

Gambar 2.3 Sistem Klasifikasi USCS dengan Grafik



Gambar 2.4 Sistem Klasifikasi USCS-Cassagrande



Gambar 2.5 Sistem Klasifikasi USCS-AASHTO

2.3.2.1 Simbol-simbol dalam Klasifikasi USCS

GW : *Gravel Well Graded* (Kerikil bergradasi baik)

SP : *Sand Poorly Graded* (Pasir bergradasi buruk)

ML : *Moam Low Plasticity* (lanau berplastisitas rendah) dengan batas cair *Liquid Limit* $< 50\%$

CH : *Clay High Plasticity* (lempung berplastisitas tinggi, $LL > 50\%$)

Tanah berbutir kasar ditandai dengan simbol gugus seperti : GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM, dan SC. Sedangkan tanah berbutir halus ditandai dengan simbol ML, CL, OL, ME, CH, dan OH didapat dari metode menggambar batas cair dan indeks plastisitas tanah tersebut pada grafik plastisitas tanah (Casagrande,1948).

2.4 Tanah Lempung

Lempung adalah jenis partikel tanah yang mempunyai ukuran lebih kecil dari pasir dan lebih besar dari lempung. Lempung dapat membentuk endapan yang mengapung di permukaan cairan maupun dapat juga tenggelam di dasar cairan. Partikel ini berukuran lebih kecil atau sama dengan 0,002 mm.

2.4.1 Sifat Fisik Tanah Lempung

Tanah lempung ini bersifat kurang plastis, lebih mudah ditembus dengan air, memiliki daya dukung yang sangat rendah, nilai kuat gesernya rendah, kapilaritas tinggi, kerapatan relatif rendah, sulit dipadatkan.

2.5 Stabilisasi Tanah Lempung

Stabilisasi tanah merupakan suatu metode yang digunakan untuk memperbaiki mutu tanah dasar atau meningkatkan mutu tanah dasar yang cukup baik. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan kemampuan daya dukung tanah dasar terhadap konstruksi yang dibangun di atasnya.

Ada 2 metode yang dapat digunakan untuk stabilisasi tanah yaitu :

1. Stabilisasi Tanah Mekanik

Metode ini umumnya diujikan dengan mencampur berbagai jenis tanah. Namun perlu diperhatikan bahwa pengambilan sampel tanah hendaknya bertempat di lokasi yang saling berdekatan agar ekonomis. Gradasi dari campuran tanah tersebut harus sesuai dengan spesifikasi tanah yang telah ditentukan

2. Stabilisasi Tanah Kimiawi

Metode ini dilakukan dengan cara menambahkan *stabilizing agents* pada tanah yang diujikan. *Stabilizing agents* ini dapat berupa *Portland cement (PC)*, *fly ash*, kapur, bitumen, dan lain-lain

Selain dua metode ini, stabilisasi tanah juga dapat diujikan dengan cara pemadatan atau pemampatan tanah di lapangan, perbaikan dengan metode perkuatan yaitu dengan memasang bahan lain pada lapisan tanah seperti geotekstil, perbaikan tanah dengan menggunakan drainase, pencampuran lapisan dalam, dan dapat juga menggunakan metode penurunan air tanah dengan pemompaan.

2.6 DIFA Soil Stabilizer

DIFA *soil stabilizer* adalah bahan aditif yang berguna untuk mengisi rongga-rongga udara pada ikatan *soil-cement*. DIFA SS juga dapat digunakan untuk meningkatkan daya dukung tanah, menstabilkan tanah, dan dapat digunakan juga untuk keperluan dalam membangun jalan raya dan konstruksi bangunan sipil lainnya. Pada dasarnya, DIFA SS ini terbuat dari mineral-mineral anorganik yang memiliki sifat teknik, dan mempunyai nilai kuat tekan bebas dan CBR (*California Bearing Ratio*) yang lebih baik dibandingkan ikatan semen-tanah standar.

2.6.1 Keunggulan DIFA *Soil Stabilizer*

Penambahan DIFA *soil stabilizer* pada ikatan semen-tanah ini memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan dengan tanpa tambahan bahan aditif tersebut. Diantara keunggulan pemanfaatan DIFA *soil stabilizer* yaitu :

1. Dapat memadatkan (solidifikasi) dan menstabilkan (stabilisasi) tanah secara fisik dan kimiawi
2. Dapat mengisi rongga-rongga udara pada ikatan semen-tanah dengan baik
3. Hemat biaya konstruksi dan perawatan
4. Hemat waktu dan lebih efisien dalam pengerjaannya
5. Sangat cocok untuk diterapkan sebagai bahan lapisan pondasi atas dan lapisan pondasi bawah.

2.6.2 Penentuan Dosis Semen *Portland* dan DIFA *Soil Stabilizer*

Jenis semen yang digunakan dalam pencampuran dengan DIFA SS berasal dari jenis *Portland Pozzoland Cement (PCC)*, *Ordinary Portland Cement (OPC)*, atau berasal dari *Portland Cement Type I*. Bahan yang digunakan lainnya dalam pencampuran dengan difa soil stabilizer adalah air dan tanah dengan ukuran diameter butirannya < 75 mm dengan $< 50\%$ lolos ayakan nomor 200.

Komposisi umum pada pencampuran bahan-bahan tersebut yaitu semen dengan kadar berkisar antara 8-15% dari berat kering tanah sedangkan DIFA SS umumnya berkisar antara 2-2,5% dari berat semen.

(Sumber : *Persentasi DIFA SS, 2018*)

2.7 Semen *Portland*

Dikutip dari Kamus Besar Bahasa Indonesia, semen adalah serbuk atau tepung yang terbuat dari kapur dan material lainnya yang dipakai untuk membuat beton, merekatkan batu bata, ataupun membuat tembok. Semen ini memiliki sifat *adhesive* dan *cohesive* yang mampu mengikat bahan-bahan lainnya apabila ditambah dengan air.

Semen terbagi menjadi 2 jenis berdasarkan daya ikatnya yaitu :

1. Semen hidraulis

Adalah semen yang mampu mengeras dalam air dan menghasilkan padatan yang stabil. Oleh karena itu, jenis bahan ini bersifat cepat mengeras dalam air, tidak larut dalam air, dan dapat stabil mengeras walau dalam air. Contoh semen hidraulis diantaranya : semen *Portland*, semen campur, semen khusus, dan sebagainya.

2. Semen non-hidraulis

Jenis semen ini tidak dapat mengeras dan tak stabil ketika berada didalam air. Diantara jenis semen ini seperti : lime. Jenis semen ini bereaksi ketika limestone dipanaskan pada suhu 850°C. CaCO_3 dari *limestone* akan melepas CO_2 dari udara dan kemudian membentuk CaO . Hasil dari pemanasan semen ini ialah Ca(OH)_2 dalam partikel butiran halus namun tak dapat mengeras dalam air. Sebaliknya, apabila senyawa tersebut kembali direaksikan dengan CO_2 , maka akan menghasilkan CaCO_3 kembali.

2.8 Fly Ash

Fly Ash merupakan material yang berasal dari hasil pembakaran batubara. *Fly Ash* juga disebut dengan abu terbang dikarenakan beratnya yang ringan dan beterbangan pada saat pembakaran batubara. Abu terbang ini tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen, namun dengan kehadiran air dan penambahan semen, maka zat yang terkandung didalam abu terbang yaitu oksida silika (SiO_2) akan bereaksi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) yang terbentuk dari proses hidrasi semen.

Abu batubara ini dapat digunakan sebagai bahan campur tanah semen dengan tujuan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah. Fungsi abu batubara digunakan sebagai bahan pengisi dalam campuran tanah semen yang akan berguna untuk memperkuat nilai kohesi tanah dan mengurangi nilai porositas tanah.

2.8.1 Sifat Fisik Fly Ash

Menurut ACI COMMITTEE 226, dijelaskan bahwa *fly ash* memiliki butiran yang halus dan lolos ayakan nomor 325 sebesar 45 milimikron 5-27% . *Fly ash* ini umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Abu terbang memiliki densitas 2,23 gr/cm³ dengan kadar air sekitar 4%. *Fly ash* memiliki specific gravity antara 2,115 – 2,6 dan berwarna abu-abu kehitaman. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batubara bituminous lebih kecil dari 0,075 mm. *Fly Ash* memiliki luas area spesifiknya 170-1000 m²/kg. Ukuran partikel rata-rata abu terbang jenis sub bituminous 0,01 mm-0,015 mm, luas permukaannya 1-2 m²/gram dengan bentuk partikelnya *mostly spherical* yaitu sebagian besar berbentuk bola sehingga menghasilkan kelecakan yang lebih baik (Nugroho, P dan Antoni : 2007).

2.8.2 Sifat Kimiawi Fly Ash

Sifat kimia dari *fly ash* ini dipengaruhi oleh jenis batubara yang dibakar, teknik penyimpanan, dan penanganannya. Pembakaran batubara lignit dan sub-bituminous menghasilkan abu terbang dengan kalsium dan magnesium oksida lebih banyak daripada jenis bituminous. Komponen utama *fly ash* batubara adalah silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃), besi oksida (Fe₂O₃), kalsium oksida (CaO), magnesium, potassium, sodium, titanium, dan belerang dalam jumlah yang sedikit.

2.9 Prosedur Pengujian Laboratorium

Untuk mendapatkan nilai pada setiap pengujian, hal yang harus dilakukan adalah mengikuti prosedur-prosedur pengujian yang berpedoman pada buku panduan baik jurnal maupun acuan standar umum pengujian seperti AASHTO, USCS, ASTM, maupun SNI.

2.9.1 Pengujian Indeks Propertis Tanah

1. Berat jenis tanah G_s (*specific gravity*)

Berat jenis tanah merupakan rasio atau perbandingan antara berat volume tanah dengan berat volume air. Secara matematis, berat jenis tanah G_s dirumuskan seperti dibawah ini :

$$G_s = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)}$$

Dimana :

W_1 = Berat piknometer (gram)

W_2 = Berat piknometer + tanah kering (gram)

W_3 = Berat piknometer + tanah + air (gram)

W_4 = Berat piknometer + air (gram)

2. Pengujian batas-batas konsistensi (*Atterberg Limits*)

Pengujian ini memberikan gambaran tentang konsistensi tanah. Pada pengujian ini berhubungan dengan kondisi pengembangan (*swelling*) dan penyusutan (*shrinkage*).

Adapun nilai-nilai yang harus dicari yaitu :

a. Batas Cair (*liquid limit*)

Pengujian ini untuk mencari nilai kadar air pada saat tanah mulai berubah dari fase cair menjadi plastis atau sebaliknya

Langkah-langkah pengujian batas cair :

1. Tentukan kadar air masing-masing dan kemudian gambarkan ke dalam bentuk grafik.
2. Buatlah garis lurus melalui titik-titik hasil pengujian.
3. Kadar air didapatkan pada ketukan 25 kali sebagai atas cairnya.

b. Batas Plastis (*plasticity limit*)

Pengujian ini digunakan untuk menentukan besarnya nilai kadar air pada saat tanah berubah fase dari plastis menuju padat atau sebaliknya.

c. Indeks Plastisitas (*plasticity index*)

Merupakan selisih dari batas cair dengan batas plastis.

Indeks plastisitas = Batas Cair - Batas Plastis

2.9.2 Pengujian Sifat Mekanis Tanah

1. Pengujian Pemadatan (*compaction*)

Merupakan proses pengujian yang dilakukan untuk memadatkan butiran tanah antara satu dengan yang lain sehingga partikel tanah cenderung rapat dan saling berdekatan. Pengujian ini juga berguna untuk mengurangi nilai kompresibilitas dan permeabilitas tanah. Adapun nilai kadar air optimum yang didapat dari pengujian ini digunakan untuk penelitian uji kuat tekan bebas tanah. Metode yang digunakan pada saat pemadatan tanah ialah *Standard Compaction Test*. Pemadatan tanah ini juga dapat menemukan nilai berat kering maksimum.

Secara matematis, nilai-nilai yang didapat pada pengujian ini seperti :

- a. Berat Isi Basah = $\frac{\text{Berat Tanah}}{\text{Volume Tanah}}$
- b. Berat Isi Kering = $\frac{\text{Berat Isi Basah}}{100 + \text{kadar air sebenarnya}} \times 100\%$
- c. Berat = Berat Isi Kering x Volume
- d. Volume Tanah Kering = $\frac{\text{Berat Tanah Kering}}{G_s}$
- e. $ZAV = \frac{G_s \times Y_w}{1 + W/100} \times G_s$

2. Kuat Tekan Bebas Tanah (*Unconfined Compression Test*)

Secara definisi, kuat tekan bebas adalah besarnya gaya aksial per satuan luas pada saat sampel tanah mengalami keruntuhan atau pada saat regangan aksial mencapai 20% (pilihlah yang lebih dahulu tergapai). Tegangan aksial yang diterapkan diatas benda uji berangsur-angsur ditambah hingga benda uji mengalami keruntuhan.

Secara matematis, qu dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$q_u = \sigma_3 + \Delta\sigma^f$$

Dimana :

Tegangan normal pada saat kondisi tertentu (σ)