

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dari bahan-bahan organik yang telah melapuk disertai dengan zat cair dan zat gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat (Das, 1995).

Tanah adalah kumpulan-kumpulan dari bagian-bagian yang padat dan tidak terikat antara satu dengan yang lain (diantaranya mungkin material organik) rongga-rongga di antara material tersebut berisi udara dan air (Verhoef, 1994).

Tanah merupakan akumulasi partikel mineral atau ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan (Craig, 1991).

Tanah menurut teknik sipil dapat didefinisikan sebagai sisa atau produk yang dibawa dari pelapukan batuan dalam proses geologi yang dapat digali tanpa peledakan dan dapat ditembus dengan peralatan pengambilan contoh (*sampling*) pada saat pemboran (Hendarsin, 2000).

Menurut Bowles, tanah adalah campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut :

1. Berangkal (*boulders*), merupakan potongan batu yang besar, biasanya lebih besar dari 250 mm sampai 300 mm. Untuk kisaran antara 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles*).
2. Kerikil (*gravel*), partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm.
3. Pasir (*sand*), partikel batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5 mm, berkisar dari kasar (3-5 mm) sampai halus (kurang dari 1 mm).
4. Lanau (*silt*), partikel batuan berukuran dari 0,002 mm sampai 0,074 mm. Lanau dan lempung dalam jumlah besar ditemukan dalam deposit yang disedimentasikan ke dalam danau atau di dekat garis pantai pada muara sungai.
5. Lempung (*clay*), partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif.
6. Koloid (*colloids*), partikel mineral yang “diam” yang berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

B. Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda lapisan mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan sub kelompok berdasarkan pemakaiannya (Das, 1995).

Sistem klasifikasi tanah dimaksudkan untuk menentukan dan mengidentifikasi tanah dengan cara sistematis guna menentukan

kesesuaian terhadap pemakaian tertentu dan juga berguna untuk menyampaikan informasi mengenai kondisi tanah dari suatu daerah ke daerah lain dalam bentuk suatu data dasar. Klasifikasi tanah juga berfungsi untuk studi yang lebih terperinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan akan pengujian untuk menentukan sifat teknis seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi, dan sebagainya (Bowles, 1989).

Adapun sistem klasifikasi tersebut adalah sebagai berikut :

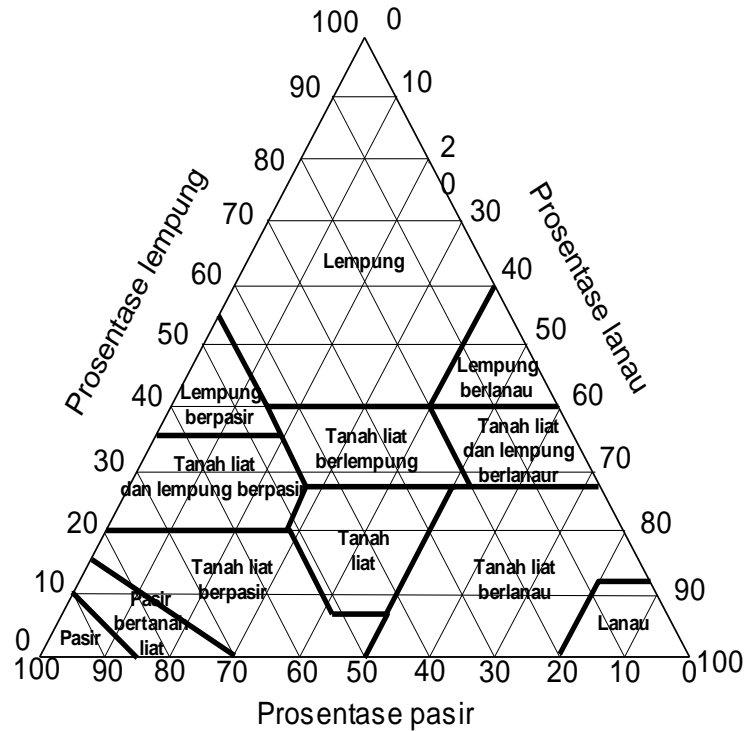
1. Klasifikasi Berdasarkan Tekstur dan Ukuran

Sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika dan klasifikasi internasional yang dikembangkan oleh Atterberg. Tekstur tanah dipengaruhi oleh ukuran tiap-tiap butir yang ada dalam tanah. Pada umumnya tanah asli merupakan campuran dari butir-butir yang mempunyai ukuran yang berbeda-beda. Sistem ini relatif sederhana karena hanya didasarkan pada sistem distribusi ukuran butiran tanah yang membagi tanah dalam beberapa kelompok, yaitu :

Pasir : Butiran dengan diameter 2,0–0,05 mm.

Lanau : Butiran dengan diameter 0,05–0,02 mm.

Lempung : Butiran dengan diameter lebih kecil dari 0,02 mm.



Gambar 1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Tekstur oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (sumber : Das, 1993).

Tabel 1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem Internasional

No.	Nama	Ukuran Butiran (mm)
1	Pasir kasar	2,0–0,63
2	Pasir medium	0,63–0,20
3	Pasir halus	0,20–0,063
4	Debu kasar Debu medium Debu halus	0,063–0,020 0,020–0,0063 0,0063–0,0020
5	Lempung/liat kasar Lempung/liat medium Lempung/liat halus	0,002–0,00063 0,0063–0,0002 < 0,0002

Sumber : M. Isa Darmawijaya (1997).

2. Sistem Klasifikasi AASHTO

Dalam sistem ini tanah dikelompokkan menjadi tujuh kelompok besar yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang termasuk dalam golongan A-1,

A-2, dan A-3 masuk dalam tanah berbutir dimana 35% atau kurang dari jumlah tanah yang lolos ayakan No. 200. Sedangkan tanah yang masuk dalam golongan A-4, A-5, A-6, dan A-7 adalah tanah lempung atau lanau. A-8 adalah kelompok tanah organik yang bersifat tidak stabil sebagai lapisan struktur jalan raya, maka revisi terakhir oleh AASHTO diabaikan (Sukirman, 1992).

Tabel 2. Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO

Klasifikasi umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
Klasifikasi kelompok	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisis ayakan (% lolos) No.10 No.40 No.200	Maks 50 Maks 30 Maks 15	Maks 50 Maks 25	Min 51 Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40 Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 6		NP	Maks 40 Maks 10	Min 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 41
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						

Klasifikasi umum	Tanah berbutir (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)			
Klasifikasi kelompok	A-4	A-5	A-6	A-7
Analisis ayakan (% lolos) No.10 No.40 No.200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40 Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 40 Maks 10	Maks 41 Maks 10	Maks 40 Maks 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau		Tanah Berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek			

Sumber : Das (1995).

Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria dibawah ini :

a. Ukuran butiran

Kerikil adalah bagian tanah yang lolos ayakan diameter 75 mm dan tertahan pada ayakan No. 200. Pasir adalah tanah yang lolos ayakan No.10 (2 mm) dan tertahan ayakan No. 200 (0,075 mm). Lanau dan lempung adalah yang lolos ayakan No. 200.

b. Plastisitas

Tanah berlanau mempunyai indeks plastis sebesar 10 atau kurang. Tanah berlempung bila indeks plastisnya 11 atau lebih.

c. Bila dalam contoh tanah yang akan diklasifikasikan terdapat batuan yang ukurannya lebih besar dari 75 mm, maka batuan tersebut harus dikeluarkan dahulu tetapi persentasenya harus tetap dicatat.

Data yang akan didapat dari percobaan laboratorium telah ditabulasikan pada **Tabel 2**. Kelompok tanah yang paling kiri kualitasnya paling baik, makin ke kanan semakin berkurang kualitasnya.

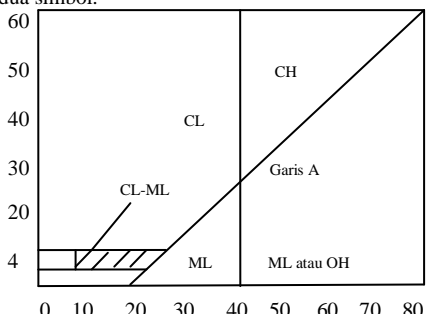
3. Sistem Klasifikasi *Unified*

Sistem klasifikasi *Unified* pada mulanya diperkenalkan oleh Prof. Arthur Cassagrande pada tahun 1942 untuk dipergunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan terbang selama Perang Dunia II. Sistem ini disempurnakan oleh *United Bureau of Reclamation* pada tahun 1952.

Sistem ini mengelompokkan tanah ke dalam tiga kelompok besar, yaitu:

1. Tanah berbutir kasar (*Coarse-Grained-Soil*), yaitu tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200.
2. Tanah berbutir halus (*Fine-Grained-Soil*), yaitu tanah dimana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200.
3. Tanah organik yang dapat dikenal dari warna, bau, dan sisa tumbuh-tumbuhan yang terkandung di dalamnya.

Tabel 3. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem *Unified*

Divisi Utama		Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi		
Tanah berbutir kasar \geq 50% butiran tertahan saringan No. 200	Kerikil $50\% \geq$ fraksi kasar tertahan saringan No. 4	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW		
		GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus			
		Kerikil dengan Butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol	
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		
		Pasir \geq 50% fraksi kasar lolos saringan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
				SP	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
	Pasir dengan butiran halus		SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol	
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung		
	Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200		Lanau dan lempung batas cair \leq 50%	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	Diagram Plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas <i>Atterberg</i> yang termasuk dalam daerah yang di arsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol. 
				CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (<i>lean clays</i>)	
		OL		Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah		
		Lanau dan lempung batas cair \geq 50%	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis		
CH			Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (<i>fat clays</i>)			
OH			Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi			
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi		PT	<i>Peat</i> (gambut), <i>muck</i> , dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488		

Sumber : Hary Christady, 1996.

C. Tanah Lempung

1. Definisi Tanah Lempung

Tanah lempung terdiri dari berbagai golongan tekstur yang agak susah dicirikan secara umum. Sifat fisika tanah lempung umumnya terletak di antara sifat tanah pasir dan liat. Pengolahan tanah tidak terlampau berat, sifat merembeskan airnya sedang dan tidak terlalu melekat.

Warna tanah pada tanah lempung tidak dipengaruhi oleh unsur kimia yang terkandung di dalamnya, karena tidak adanya perbedaan yang dominan dimana kesemuanya hanya dipengaruhi oleh unsur Natrium saja yang paling mendominasi. Semakin tinggi plastisitas, grafik yang dihasilkan pada masing-masing unsur kimia belum tentu sama. Hal ini disebabkan karena unsur-unsur warna tanah dipengaruhi oleh nilai *Liquid Limit* (LL) yang berbeda-beda (Marindo, 2005 dalam Afryana, 2009).

Tanah lempung merupakan partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi di dalam tanah yang kohesif (Bowles, 1991).

Tanah lempung merupakan tanah yang berukuran mikroskopis sampai dengan sub mikroskopis yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan, tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering dan bersifat plastis pada kadar air sedang. Pada kadar air lebih tinggi lempung bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak (Das, 1995).

2. Kriteria Tanah Lempung

Suatu tanah dapat digolongkan sebagai tanah lempung jika memenuhi syarat sebagai berikut :

- a. Mengandung 30% pasir, 40% butiran-butiran ukuran lanau, dan 30% butiran-butiran ukuran lempung.
- b. Butiran yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm) berdasarkan ASTM standar dan berukuran $< 0,002$ mm.
- c. Suatu bahan yang hampir seluruhnya terdiri dari pasir, tetapi ada yang mengandung sejumlah lempung.

3. Jenis Mineral Lempung

a. *Kaolinite*

Kaolinite merupakan anggota kelompok *kaolinite serpentin*, yaitu *hidrus alumino silikat* dengan rumus kimia $Al_2 Si_2O_5(OH)_4$. Kekokohan sifat struktur dari partikel *kaolinite* menyebabkan sifat-sifat plastisitas dan daya pengembangan atau menyusut *kaolinite* menjadi rendah.

b. *Illite*

Illite adalah mineral bermika yang sering dikenal sebagai *mika tanha* dan merupakan mika yang berukuran lempung. Istilah *illite* dipakai untuk tanah berbutir halus, sedangkan tanah berbutir kasar disebut *mika hidrus*.

Rumus kimia *illite* adalah $K_y Al_2 (Fe_2 Mg_2 Mg_3) (Si_4 Al_y) O_{10} (OH)_2$.

c. *Montmorilonite*

Mineral ini memiliki potensi plastisitas dan mengembang atau menyusut yang tinggi sehingga bersifat plastis pada keadaan basah dan keras pada keadaan kering. Rumus kimia *montmorilonite* adalah $\text{Al}_2\text{Mg}(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$.

4. Sifat Tanah Lempung

Tanah lempung lunak mempunyai karakteristik yang khusus diantaranya daya dukung yang rendah, kemampatan yang tinggi, indeks plastisitas yang tinggi, kadar air yang relatif tinggi, dan mempunyai gaya geser yang kecil. Kondisi tanah seperti itu akan menimbulkan masalah jika dibangun konstruksi di atasnya.

Tanah lempung adalah tanah yang mempunyai partikel mineral tertentu yang menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air (Grim, 1953 dalam Darmady, 2009).

Mineral lempung merupakan senyawa *aluminium silikat* yang kompleks yang terdiri dari satu atau dua unit dasar, yaitu *silica tetrahedral* dan *aluminium octahedral*. *Silicon* dan *aluminium* mungkin juga diganti sebagian dengan unsur lain yang disebut dengan substitusi isomorfis.

Sifat-sifat yang dimiliki tanah lempung adalah sebagai berikut (Hardiyatmo, 1999) :

- a. Ukuran butir halus, kurang dari 0,002 mm.
- b. Permeabilitas rendah.
- c. Kenaikan air kapiler tinggi.
- d. Bersifat sangat kohesif.
- e. Kadar kembang susut yang tinggi.
- f. Proses konsolidasi lambat.

Tanah butiran halus khususnya tanah lempung akan banyak dipengaruhi oleh air. Sifat pengembangan tanah lempung yang dipadatkan akan lebih besar pada lempung yang dipadatkan pada kering optimum daripada yang dipadatkan pada basah optimum. Lempung yang dipadatkan pada kering optimum relatif kekurangan air, oleh karena itu lempung ini mempunyai kecenderungan yang lebih besar untuk meresap air sebagai hasilnya adalah sifat mudah mengembang (Hardiyatmo, 1999).

Selain itu juga lempung mempunyai sifat *thixotrophyl*, yaitu tanah yang mengalami kehilangan kekuatan setelah diremas, kemudian akan dapat kembali sebagian dari kekuatan yang hilang itu, ini disebabkan karena adanya air terserap (*absorb water*) di sekeliling permukaan dari partikel lempung.

D. *Ionic Soil Stabilizer 2500 (ISS 2500)*

Ionic Soil Stabilizer 2500 (ISS 2500) merupakan suatu bahan kimia sebagai zat *additive* untuk bahan stabilisasi tanah yang baru dikembangkan. ISS 2500 adalah stabilisator tanah secara elektrokimia dan dapat meningkatkan bahan kelas bawah untuk suatu konstruksi jalan. Menurut spesifikasi pabrik, ISS 2500 dapat mengurangi biaya konstruksi jalan sampai 75% untuk pengaplikasian pada jalan tanah atau jalan kerikil, permukaan jalan, jalan perkotaan ataupun pedesaan, dan jalan-jalan pada area pertambangan maupun perkebunan.

ISS 2500 terbuat dari pertukaran ion semacam getah pohon (*resin*) damar berbentuk minyak larut air dan merupakan bahan yang 100% organik, didapat dari kombinasi belerang dan asam-asam penyangga yang dikombinasikan sebagai bi-sulfit, dimana bahan aktif terlarut yang termasuk di dalamnya adalah $\pm 20\%$ merupakan asam. ISS 2500 merupakan larutan kimia yang tidak beracun (*non-toxic*) dan tidak menimbulkan ancaman bagi pasokan air bawah tanah ataupun flora dan fauna apabila dipergunakan sesuai dengan keperluan dan prosedur yang disarankan.

ISS 2500 dapat diaplikasikan pada sebagian besar jenis tanah yang dijumpai pada pembangunan jalan dengan hasil uji tanah yang direkomendasikan. ISS 2500 bekerja dengan baik untuk tanah tipe A-2-4, A-2-6, A-4, A-5, A-6 dan A-7. ISS 2500 dapat digunakan untuk menggantikan material pada bagian *base*, *subbase*, dan *subgrade* dari suatu konstruksi jalan.

Formulanya dirancang untuk meningkatkan bahan kelas rendah pada tanah lempung atau tanah laterit, sehingga material-material yang buruk tidak perlu dibuang tetapi cukup distabilisasi saja dengan ISS 2500 sehingga dapat menghemat biaya penggantian dan pembuangan material. Penggunaan ISS 2500 menciptakan daya tahan tanah yang kuat terhadap perubahan iklim dan beban-beban dinamis pada tanah. Berdasarkan tes lapangan oleh pihak internal, peningkatan kekuatan lapisan tanah tidak hanya terjadi karena pemadatan, tetapi juga karena perbaikan sifat-sifat fisik material seperti indeks plastisitas, angka modulus, dan penyusutan linier. Perbaikan dengan ISS 2500 melepaskan air yang diserap oleh partikel tanah, meminimalkan ruang pori (*void*), dan memungkinkan partikel yang akan dipadatkan dengan kepadatan lebih besar sehingga dapat meningkatkan kekuatan geser tanah dan kekuatan bantalan lapisan. ISS 2500 secara permanen mengubah kepadatan tanah maksimum yang diizinkan dan mencegah penyerapan kembali air (*reabsorbtion*). Reaksi yang ditimbulkan setelah penambahan ISS 2500 merupakan reaksi elektrokimia yang permanen dan tidak dapat diubah.



Gambar 2. Kondisi Tanah Asli Sebelum Stabilisasi Menggunakan ISS 2500

Pada **Gambar 2** dapat dilihat kondisi tanah asli sebelum dilakukan stabilisasi dengan menggunakan ISS 2500, yaitu pori-pori tanah terisi dengan air yang

terjebak di dalamnya. Air yang terjebak ini, dapat mempengaruhi nilai daya dukung tanah menjadi menurun.

Sedangkan kondisi tanah yang telah distabilisasi dengan menggunakan ISS 2500 dapat dilihat pada **Gambar 3**. Air yang terjebak dalam pori-pori tanah akan dilepaskan oleh ISS 2500 dan kemudian bahan ini menggantikan air dalam pori-pori tanah sekaligus mengikat antar partikel tanah.



Gambar 3. Kondisi Tanah Asli Setelah Stabilisasi Menggunakan ISS 2500

Keuntungan yang didapatkan dari penggunaan ISS 2500 antara lain :

1. Meningkatkan standar jalan, ISS 2500 mengurangi cacat normal pada suatu konstruksi jalan seperti alur, lubang, lumpur, dan debu.
2. Menghemat biaya, karena hanya membutuhkan upaya persiapan dan konstruksi yang seminimal mungkin untuk pembuatan jalan.
3. Mudah dalam pengaplikasian, karena hanya cukup disemprotkan dengan alat semprot yang sederhana dan tidak memerlukan peralatan khusus.
4. Pemeliharaan jalan yang mudah dan terjangkau, karena dilakukan seperti pada permukaan jalan biasa tanpa memerlukan keahlian khusus dan hanya menggunakan peralatan-peralatan standar.

5. Tidak membutuhkan masa perawatan (*curing period*), karena jalan dapat langsung segera dibuka untuk lalu lintas setelah distabilisasi dengan ISS 2500.

ISS 2500 dapat diaplikasikan pada tanah sebagai permukaan jalan (*surface*) langsung tanpa ada lapisan apapun seperti agregat kasar maupun aspal. Biasa digunakan pada jalan perkebunan maupun pedesaan dengan material yang sulit didapat.

E. Laporan Komposisi Kimia dan Uji Toksisitas ISS 2500

Hasil pengujian terhadap komposisi kimia ISS 2500 telah dilakukan di laboratorium yang telah terakreditasi secara internasional dan sesuai dengan *International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC)*. Untuk laporan analisis kimia berdasarkan SGS South Africa (Pty) Ltd *Agricultural & Food Services (SANAS Accredited Laboratory T0114) SGS Reference No. 2712* tanggal 30 November 2000 adalah sebagai berikut :

Tabel 4. Analisis Laporan Kimia

<i>Analysis Performed</i>	<i>Units</i>	<i>Method</i>	<i>Result</i>
<i>Pesticides</i>			
<i>Organo Chlorides</i>	P/ND	PAM (304)	ND
<i>Organo Phospates</i>	P/ND	PAM (304)	ND
<i>Carbamates</i>	P/ND	PAM (401)	ND
<i>Pyrethroids</i>	P/ND	PAM (304)	ND
<i>Organo Compounds</i>			
PAHs	µg/L	APHA 6440B	ND
VOCs	µg/L	APHA 6200C	ND

P = Present/Positive ND = None Detected

Sedangkan untuk tingkat toksisitas ISS 2500 berdasarkan SANAS *Accredited Laboratory* T0045 *Analysis Report* 2000/1352 (H2) pada tanggal 4 Desember 2000, yaitu sebagai berikut :

Tabel 5. Laporan Tingkat Toksisitas

<i>Acute toxicity test</i> (US EPA 1991)	<i>Method Number</i>	<i>% Survival</i>
24-hour <i>Daphnia pulex</i>	1.1.2.04.1	100
48-hour <i>Daphnia pulex</i>	1.1.2.04.1	95
96-hour <i>Poecila reticulata</i>	1.1.2.05.1	95

ISS 2500 5ml : 5L

ISS 2500 memenuhi persyaratan untuk dianggap aman bagi lingkungan jika ditangani sesuai dengan prosedur yang ditetapkan oleh produsen serta tidak akan menimbulkan bahaya apapun untuk kesehatan atau lingkungan.

F. Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah secara prinsip adalah suatu tindakan atau usaha yang dilakukan guna menaikkan kekuatan tanah, mempertahankan kekuatan gesernya, dan mendapatkan sifat-sifat yang diinginkan dari tanah sehingga sesuai untuk proyek pembangunan. Faktor yang sangat penting dalam penentuan tebal perkerasan yang dibutuhkan pada suatu jalan aspal (*flexible pavement*) atau pondasi suatu gedung adalah tanah dasar. Apabila tanah dasar merupakan tanah lempung yang mempunyai kuat dukung yang rendah dan sangat sensitif terhadap perubahan kadar air, akan menyebabkan ketidakstabilan jalan atau pondasi gedung tersebut. Oleh karena itu diperlukan perbaikan atau stabilisasi pada tanah tersebut.

Tanah yang akan digunakan pada suatu proyek bangunan teknik sipil (pondasi gedung, perkerasan jalan) harus memiliki sifat-sifat fisik maupun teknis yang baik. Namun kenyataan menunjukkan bahwa tidak semua tanah dalam kondisi aslinya memiliki sifat-sifat yang diinginkan.

Apabila tanah bersifat sangat lepas atau sangat mudah tertekan, permeabilitas yang terlalu tinggi, dan sifat-sifat lain yang tidak diinginkan sehingga tidak sesuai untuk proyek pembangunan, maka tanah tersebut harus distabilisasi.

Stabilisasi dapat dikelompokkan berdasarkan empat jenis klasifikasi utama, yaitu :

1. Fisiomekanikal, contohnya dengan melakukan pemadatan.
2. Granulometrik, contohnya dengan pencampuran tanah berkualitas buruk dan tanah dengan kualitas yang lebih baik.
3. Fisiokimia, contohnya pencampuran tanah dengan semen, kapur, atau aspal.
4. Elektrokimia, contohnya dengan menggunakan bahan kimia sebagai zat *additive*.

Stabilisasi tanah dapat terdiri dari satu atau kombinasi dari pekerjaan-pekerjaan :

1. Mekanis, yaitu pemadatan dengan berbagai jenis pemadatan mekanis, seperti mesin gilas, benda berat yang dijatuhkan, pemanasan, dan sebagainya.

2. Bahan pencampur (*additive*), seperti kerikil untuk tanah kohesif, lempung untuk tanah berbutir dan pencampur kimia seperti semen, gamping, abu batu bara, dan lain–lain (Bowles, 1989).

Salah satu usaha stabilisasi yaitu dengan pemadatan untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan pemakaian energi mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel.

Tujuan pemadatan adalah untuk memperbaiki sifat–sifat teknis massa tanah.

Beberapa keuntungan yang didapatkan :

1. Mengurangi penurunan permukaan tanah.
2. Menambah kuat geser tanah.
3. Mengurangi kompresibilitas.
4. Mengurangi permeabilitas.
5. Mengurangi penyusutan (Bowles, 1989).

G. Stabilisasi Tanah dengan *Ionic Soil Stabilizer 2500*

Metode stabilisasi yang banyak digunakan adalah stabilisasi mekanis dan stabilisasi kimiawi. Stabilisasi mekanis yaitu menambah kekuatan dan kuat dukung tanah dengan cara perbaikan struktur dan perbaikan sifat-sifat mekanis tanah, sedangkan stabilisasi kimiawi yaitu menambah kekuatan dan kuat dukung tanah dengan jalan mengurangi atau menghilangkan sifat-sifat teknis tanah yang kurang menguntungkan dengan cara mencampur tanah dengan bahan kimia seperti semen, kapur atau *pozzolan* serta bahan *additive* lain.

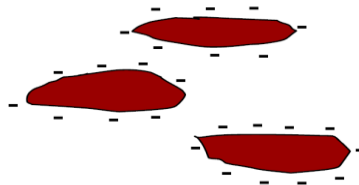
Stabilisasi tanah dengan menggunakan ISS 2500 merupakan jenis stabilisasi dengan klasifikasi elektrokimia, yaitu stabilisasi tanah dengan menggunakan bahan *additive*. Pencampuran tanah dan ISS 2500 dilaksanakan dengan cara mencairkan bahan ISS 2500 dengan 100 ml sampai 200 ml air agar tidak terlalu kental dengan perbandingan yang akan ditentukan apabila telah didapatkan data berat volume kering dari uji pemadatan. Perbandingan ini didapatkan dari spesifikasi produk yang disarankan oleh produsen bahan tersebut. Setelah dilakukan pencampuran air dengan ISS 2500, kemudian cairan dicampur dengan sampel tanah yang dihamparkan dengan cara disiramkan dan kemudian dilakukan pemadatan.

Tidak seperti pencampuran tanah dengan kapur maupun semen yang sukar dilakukan karena tanah akan mengalami proses penggumpalan, proses pencampuran tanah dengan ISS 2500 tidak sulit karena bahan *additive* berbentuk cairan sehingga mudah menyatu dengan tanah. Hal ini merupakan salah satu keuntungan dari pemakaian ISS 2500 sebagai bahan stabilisasi tanah yang merupakan keunggulan produk yang ditonjolkan dari pihak produsen.

Mekanisme kerja ISS 2500 pada partikel tanah adalah sebagai berikut :

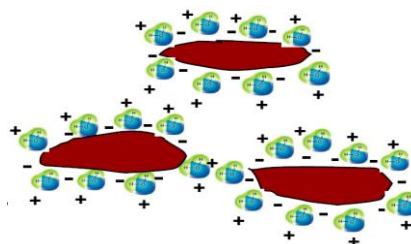
1. Tanah lempung dan lanau memiliki partikel-partikel halus yang secara mikroskopis terlihat seperti lempengan-lempengan pelat dengan susunan yang beraturan yang mengandung ion positif (kation) pada permukaannya dan ion negatif (anion) pada bagian tepinya. Dalam kondisi kering, ikatan antar ion pada bagian tepi cukup kuat untuk

membentuk tanah lempung dalam satu kesatuan, tetapi sangat rentan terhadap penyerapan air.



Gambar 4. Kondisi Tanah Lempung pada Saat Kering

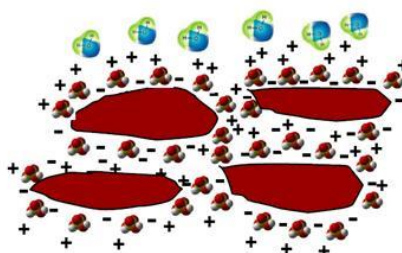
2. Karena komposisi mineralogi ini membuat tanah lempung memiliki kelebihan ion negatif yang akan menarik banyak ion positif dari air apabila tanah bereaksi dengan air. Hal ini akan menyebabkan air menjadi pekat dan melekat pada partikel tanah yang beraksi sebagai pelumas antar partikel tanah lempung yang menghalangi terjadinya pemadatan tanah, sehingga tanah lempung tidak cocok untuk konstruksi jalan.



Gambar 5. Kondisi Tanah Lempung pada Saat Basah

3. Dengan komposisi kimianya, ISS 2500 mempunyai potensi pertukaran ion yang sangat besar. Ketika sedikit kadar ISS 2500 dicampurkan dengan air, maka ISS 2500 akan mengionisasi air dengan mengaktifkan ion H^+ dan OH^- . Kemudian dengan kuat akan melakukan penukaran

muatan elektiknya dengan partikel tanah sehingga bagian tepi tanah menjadi memiliki ion positif yang memaksa air yang melekat pada partikel tanah untuk memecahkan ikatan elektrokimianya dengan partikel tanah sehingga menjadi air bebas yang akan dibuang atau dialirkan dari tanah lempung melalui gaya gravitasi maupun proses penguapan.



Gambar 6. Proses Pengikatan Ionik ISS 2500 dengan Partikel Tanah

Setelah partikel air terpisah dari partikel tanah melalui proses elektrokimia yang tidak dapat diubah, antar partikel tanah akan menyatu dan saling mengikat. Kemudian dengan proses pemadatan, akan membuat kepadatan massa tanah menjadi lebih besar dan menghilangkan semua pori (*void*) yang ada yang menyebabkan tanah menjadi lebih kedap air.

Stabilisasi tanah dengan menggunakan ISS 2500 tidak membutuhkan alat yang terlalu khusus, tetapi cukup dengan peralatan standar pembangunan jalan saja.

H. California Bearing Ratio (CBR)

CBR (*California Bearing Ratio*) merupakan perbandingan antara beban yang dibutuhkan untuk penetrasi contoh tanah sebesar 0,1” atau 0,2”. Jadi harga

CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR 100% dalam memikul beban lalu lintas (Sukirman, 1992).

1. Penetrasi 0,1" (0,254 cm)

$$\text{CBR (\%)} = \frac{P1}{1000} \times 100\%$$

2. Penetrasi 0,2" (0,508 cm)

$$\text{CBR (\%)} = \frac{P2}{1500} \times 100\%$$

dengan :

P1 : tekanan uji pada penetrasi 0,1" (g/cm^3).

P2 : tekanan uji pada penetrasi 0,2" (g/cm^3).

Dari kedua nilai perhitungan tersebut digunakan nilai terbesar.

Menurut AASHTO T-193-74 dan ASTM D-1883-73, *California Bearing Ratio* adalah perbandingan antara beban penetrasi suatu beban terhadap beban standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama.

Menurut Soedarmo dan Purnomo (1997), berdasarkan cara mendapatkan contoh tanah, CBR dapat dibagi atas :

1. CBR lapangan (CBR *inplace* atau *field* CBR).
2. CBR lapangan rendaman (*undisturbed soaked* CBR).
3. CBR rencana titik (*laboratory* CBR).

1. CBR Lapangan

CBR lapangan disebut juga CBR *inplace* atau *field* CBR dengan kegunaan sebagai berikut :

- Untuk mendapatkan nilai CBR asli di lapangan, sesuai dengan kondisi tanah dasar saat itu. CBR lapangan umumnya digunakan untuk perencanaan tebal lapisan perkerasan yang lapisan tanah dasarnya sudah tidak akan dipadatkan lagi. Pemeriksaan dilakukan dalam kondisi kadar air tanah tinggi (musim penghujan) atau dalam kondisi terburuk yang mungkin terjadi.
- Untuk mengontrol apakah kepadatan yang diperoleh sudah sesuai dengan yang diinginkan. Pemeriksaan seperti ini umumnya tidak digunakan, dan lebih sering menggunakan pemeriksaan yang lain seperti *sand cone*, dan lain sebagainya.

Pemeriksaan dilakukan dengan meletakkan piston pada kedalaman dimana nilai CBR hendak ditentukan, lalu dipenetrasi dengan menggunakan beban yang dilimpahkan melalui gandar truk.

2. CBR Lapangan Rendaman

CBR lapangan rendaman disebut juga *undisturbed soaked* CBR. Berfungsi untuk mendapatkan besarnya nilai CBR asli di lapangan pada keadaan jenuh air, dan tanah mengalami pengembangan (*swelling*) yang maksimum. Pemeriksaan dilaksanakan pada kondisi tanah dasar tidak dalam keadaan jenuh air. Metode ini biasanya digunakan untuk menentukan daya dukung tanah di daerah yang lapisan tanah dasarnya

sudah tidak akan dipadatkan lagi, terletak di daerah yang badan jalannya sering terendam air pada musim hujan dan kering pada musim kemarau.

Pemeriksaan dilakukan dengan mengambil contoh tanah dalam *mold* yang ditekan masuk ke dalam tanah mencapai kedalaman yang diinginkan. *Mold* berisi contoh tanah dikeluarkan dan direndam dalam air selama beberapa hari sambil di ukur pengembangannya (*swelling*). Setelah pengembangan tak lagi terjadi baru dilaksanakan pemeriksaan besarnya CBR.

3. CBR Rencana Titik

CBR rencana titik biasanya disebut juga CBR laboratorium atau *design* CBR. Adapun tanah dasar (*subgrade*) yang diperiksa merupakan tanah dasar jalan raya baru yang berasal dari tanah asli, tanah timbunan, atau tanah galian yang sudah dipadatkan sampai mencapai kepadatan 95% (kepadatan maksimum). Dengan demikian daya dukung tanah dasar tersebut merupakan nilai kemampuan lapisan tanah memikul beban setelah tanah tersebut dipadatkan.

Berarti nilai CBR rencana titik adalah nilai CBR yang diperoleh dari contoh tanah yang dibuatkan mewakili keadaan tanah tersebut setelah dipadatkan. Karena pemeriksaan dilaksanakan di laboratorium, maka disebut juga CBR laboratorium.

Pemeriksaan CBR laboratorium dilaksanakan dengan dua macam metode yaitu CBR laboratorium rendaman (*soaked design CBR*) dan CBR

laboratorium tanpa rendaman (*unsoaked design* CBR) (Sukirman, 1992). Hal yang membedakan pada dua macam metode tersebut adalah contoh tanah atau benda uji sebelum dilakukan pemeriksaan CBR.

Uji CBR metode rendaman adalah untuk mengasumsikan keadaan hujan atau saat kondisi terjelek di lapangan yang akan memberikan pengaruh penambahan air pada tanah yang telah berkurang airnya, sehingga akan mengakibatkan terjadinya pengembangan (*swelling*) dan penurunan kuat dukung tanah (Wikoyah, 2006).

Untuk metode CBR rendaman, contoh tanah di dalam cetakan direndam dalam air sehingga air dapat meresap dari atas maupun dari bawah dengan permukaan air selama perendaman harus tetap kemudian benda uji yang direndam telah siap untuk diperiksa.

Sedangkan untuk metode CBR tanpa rendaman, contoh tanah dapat langsung diperiksa tanpa dilakukan perendaman (ASTM D-1883-87).

I. Sifat Pengembangan Tanah (*Swelling*)

Tanah lempung lunak merupakan jenis tanah ekspansif. Tanah ekspansif merupakan tanah yang mempunyai karakteristik yang unik. Pada kondisi kering tanah ekspansif mengalami susut dan menjadi sangat keras seperti batu, sedangkan pada kondisi basah tanah ekspansif merupakan tanah yang mempunyai potensi pengembangan yang besar. Proses pengembangan tanah (*swelling*) pada prinsipnya adalah peristiwa perubahan volume yang akan terus berlangsung sepanjang tahun seiring dengan perubahan musim.

Tanah lempung dengan kandungan mineral *montmorillonite* yang besar, mempunyai sifat ketidakstabilan yang tinggi. Hal ini disebabkan karena mineral *montmorillonite* terdiri dari lapisan-lapisan unit *silica-aluminum-silica* yang dipisahkan oleh ion H_2O yang sangat mudah lepas dan sangat tidak stabil. Pada kondisi tergenang, air dapat dengan mudah masuk ke dalam sela antar lapisan ini sehingga tanah mengembang, sedangkan pada saat musim kemarau, air diantara lapisan mengering sehingga tanah menyusut.

Mineral *montmorillonite* pada tanah lempung akan mengikat molekul-molekul air dengan tiga proses, yaitu :

- a. Kutub positif molekul dipolar air akan langsung saling menarik dengan permukaan lempung yang bermuatan negatif.
- b. Air diikat oleh lempung melalui ikatan hidrogen (hidrogen ditarik oksigen atau *hydroxyl* lainnya yang berada di permukaan partikel lempung).
- c. Permukaan partikel lempung yang bermuatan negatif menarik kation yang mengapung di air (*diffuse double layer*).

Selanjutnya proses ikatan adalah hidrogen yang paling dominan dengan demikian proses *diffuse double layer* yang terbentuk menunjukkan kemampuan mineral lempung menarik partikel air. Dengan kata lain bahwa partikel lempung dengan permukaan partikel lebih besar akan cenderung memiliki kemampuan tersebut, hal ini hanya dimiliki oleh partikel lempung dengan *specific surface* yang besar.

Perilaku kembang susut tanah ekspansif adalah akibat dari perubahan kadar air yang dikandung dan jenis mineral yang sangat kuat menyerap air,

sehingga dapat terindikasi pada tanah lempung akan bersifat ekspansif pada nilai Indeks Plastisnya $> 35\%$. Mineral lempung, ukuran butiran tanah, kadar air, dan indeks plastisitas sangat berpengaruh pada potensi pengembangan tanah lempung. Peningkatan persentase ukuran butiran berdasarkan fraksi lempung (0,002 mm) dan indeks plastisitas pada berbagai mineral lempung akan meningkatkan persentase potensial pengembangan (Chen, 1975 dalam Wikoyah, 2006).

Penelitian Holtz dan Seed dalam Herina (2005), menyatakan kadar air awal merupakan pengendali besarnya kembang susut tanah. Tanah lunak yang sangat kering dengan kadar air dibawah 15% dengan mudah akan berkembang susut, karena jika ada air yang diserap, kelembabannya dapat naik sampai 35%, sedangkan tanah dengan kadar air 30% mengindikasikan bahwa hampir semua ekspansi mineral sudah terjadi, sehingga kemungkinan terjadinya perpindahan mineral sangat kecil. Pengendalian kadar air sangat membantu dalam menjaga kestabilan tanah, penambahan material yang dapat mengikat ekspansi mineral *montmorillonite* meningkatkan daya dukung dan kestabilan tanah.

Swelling Potential atau kemampuan mengembang tanah dipengaruhi oleh nilai aktivitas tanah. Setiap tanah lempung memiliki nilai aktivitas yang berbeda-beda, yang diidentifikasi tingkat aktivitas tanah dalam empat kelompok, yaitu :

- *Low* / Rendah : Tanah yang memiliki nilai *Swelling Potential* $\leq 1,5\%$.
- *Medium* / Sedang : Tanah yang memiliki nilai *Swelling Potential* $> 1,5\%$

sampai $\leq 5\%$.

- *High / Tinggi* : Tanah yang memiliki nilai *Swelling Potential* $> 5\%$ sampai $\leq 25\%$.
- *Very High / Sangat Tinggi* : Tanah yang memiliki nilai *Swelling Potential* $> 25\%$.

Tabel 6. Potensi Pengembangan Berbagai Nilai Indeks Plastisitas

Indeks Plastisitas (PI)	Potensi Pengembangan
0–15	Rendah
10–20	Sedang
20–35	Tinggi
> 35	Sangat Tinggi

Sumber : Chen, 1975 (dalam Warsiti, 1998).

Tanah-tanah yang banyak mengandung lempung mengalami perubahan volume ketika kadar air berubah. Perubahan itulah yang membahayakan bangunan. Tingkat pengembangan secara umum bergantung pada beberapa faktor, yaitu :

- 1) Tipe dan jumlah mineral yang ada di dalam tanah.
- 2) Kadar air.
- 3) Susunan tanah.
- 4) Konsentrasi garam dalam air pori.
- 5) Sementasi.
- 6) Adanya bahan organik, dan lain-lain.

Secara umum sifat kembang susut tanah lempung tergantung pada sifat plastisitasnya, semakin plastis mineral lempung semakin potensial untuk menyusut dan mengembang (Usman, 2008).