

Tanah dalam pandangan teknik sipil adalah himpunan mineral, bahan organik dan endapan – endapan yang relative lepas yang terletak diatas batuan dasar (Hardiyatmo, H.C., 2006). Tanah merupakan material yang terdiri dari agregat (butiran) padat yang tersementasi satu sama lain dan dari bahan organik yang telah melapuk disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang – ruang kosong diantara partikel padat tersebut. (BRAJA M. Das, 1988)

Jenis ini sangat tergantung pada partikel – partikel yang paling dominan pada tanah tersebut. Dari segi mineral yang disebut tanah lempung adalah yang mempunyai partikel – partikel mineral tertentu yang menghasilkan sifat plastis pada tanah apabila dicampur dengan air, jadi dari segi mineral tanah dapat juga disebut bukan tanah lempung meskipun terdiri dari partikel – partikel yang sangat kecil. Jurnal Rancang Sipil Instuti Teknologi Medan 2012 (Cut Nuri Badariah)

Pada suatu perencanaan konstruksi jalan raya, lapisan tanah dasar merupakan lapisan paling bawah yang berfungsi untuk meneruskan beban dari lapis perkerasan , namun tidak selamanya lapisan tanah dasar mampu berfungsi dengan baik sebagai daya dukung. Hanya lapisan dengan klasifikasi baik dan stabil akan mampu berfungsi sebagai daya dukung dan memenuhi persyaratan teknis. Jurnal rekayasa 2009 (Indharmahadi adha).

Pada suatu daerah, dimana ruas jalan yang akan dibangun harus melalauai suatu kondisi lapisan tanah yang tidak stabil, maka metode stabilisasi tanah dengan bahan additive tertentu merupakan salah satu alternatif yang dapat digunakan dalam perencanaan konstruksi jalan raya. Berbagai penelitian telah dilakukan terhadap berbagai bahan additive yang digunakan dalam proses stabilisasi tanah, seperti semen, kapur, fly ash, bitumen, bahan kimia dan berbagai jenis material limbah industry, seperti bubuk

logam (Hosiya dan Mandal 1984), campuran abu terbang dan geosta (Hopsoro,1996) Menurut Kenzi (1979).Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan, semakin banyak metode yang dapat digunakan untuk memperbaiki kualitas tanah ekspansif dengan tingkat kembang susut tinggi. Salah satu metode yang sering digunakan adalah dengan penambahan aditif baik yang bersifat alami maupun kimia. Tindakan yang pernah dilakukan antara lain metode stabilisasi tanah dengan kapur dan abu sekam padi (Trisnayani, 2008), semen clean set (Santoso dan Winoto, 1991) dan geosta (Henry dan Hwie, 1997). Jurnal ilmiah Teknik sipil 2013 N. Ari Budiman.

I.3. Maksud dan Tujuan

Adapun Maksud dari penelitian yang dilakukan adalah : Untuk menganalisa perkuatan tanah lempung dengan bahan tambahan semen terhadap indeks plastisitas dan nilai CBR. juga untuk menganalisa seberapa besar pengaruh semen terhadap perkuatan tanah dasar lempung.

Adapun Tujuan Penelitian ialah Untuk mengetahui pengaruh tambahan semen terhadap indeks plastisitas dan nilai CBR, juga untuk menguji suatu bahan yang dapat mengurangi laju pengembangan dari tanah lempung.

I.4. Permasalahan

Permasalahan yang dirumuskan dalam penelitian ini adalah

1. Seberapa besar perubahan indeks plastisitas dan nilai CBR yang terjadi pada tanah lempung setelah distabilisasi dengan semen.
2. Apakah berpengaruh semen untuk stabilitas di tanah lempung.

1.5. Pembatasan Masalah

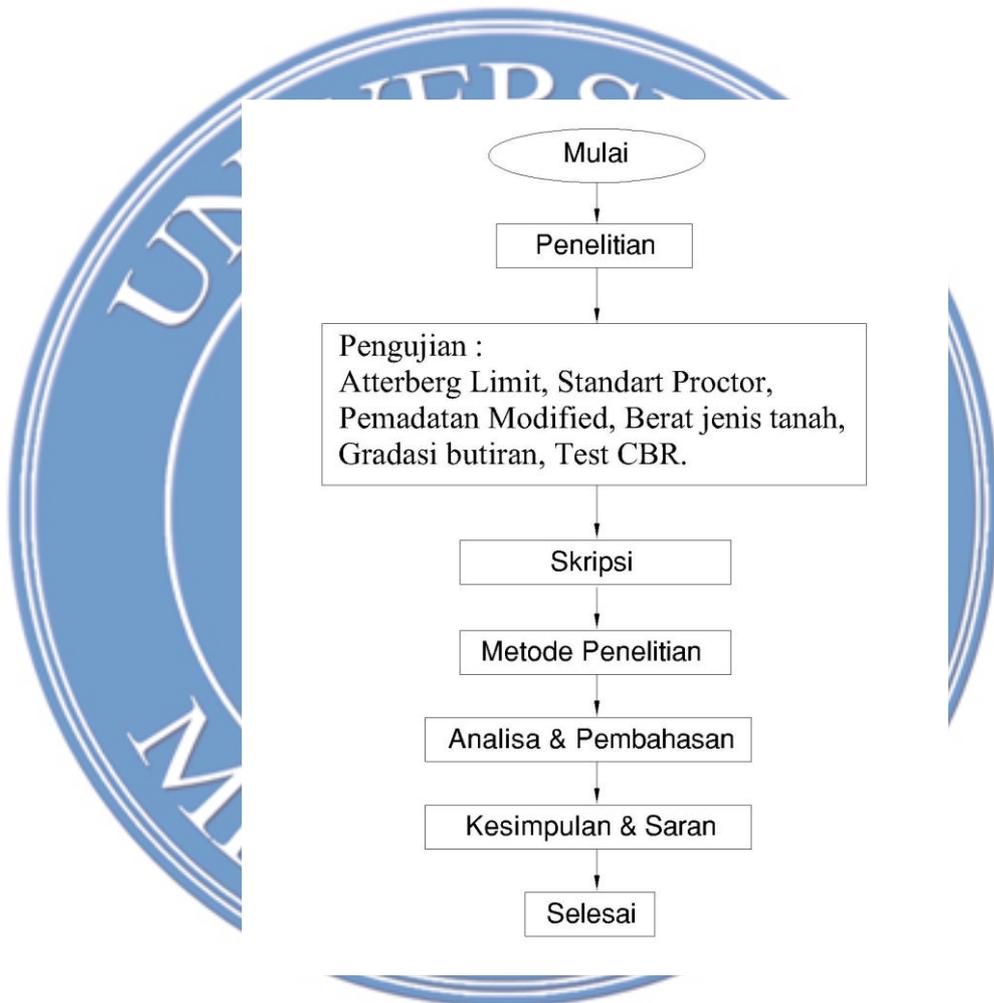
Adapun batasan masalah untuk penulis dalam penelitian ini adalah

1. Sifat-sifat kimia dari lempung ekspansif (mineral lempung) tidak diperiksa.

2. Nilai ekonomis dan pengaruh terhadap lingkungan tidak dibahas.

1.6. Kerangka Berpikir

Berikut Kerangka Berpikir dalam penelitian pada gambar 1.1 dibawah ini:



Gambar 1.1. Kerangka Berpikir

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanah

Tanah dalam pandangan teknik sipil adalah himpunan mineral, bahan organik dan endapan – endapan yang relatif lepas (*loose*) yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*) (Hardiyatmo, H.C. 2010, hal 1). Tanah merupakan material yang terdiri dari agregat (butiran) padat yang tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan – bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang – ruang kosong diantara partikel – partikel padat tersebut. (Braja M Das, 2002)

Tanah juga didefinisikan sebagai akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan. Diantara partikel – partikel tanah terdapat tanah ruang kosong yang disebut pori – pori yang berisi air dan udara. Ikatan yang lemah antara partikel – partikel tanah disebabkan oleh karbonat dan oksida yang tersenyawa diantara partikel – partikel tersebut, atau dapat juga disebabkan oleh adanya material organik. Bila hasil dari pelapukan tersebut berada pada tempat semula maka bagian ini disebut sebagai tanah sisa (*residu soil*). Hasil pelapukan terangkut ke tempat lain dan mengendap di beberapa tempat yang berlainan disebut tanah.bawaan (*transportation soil*). Media pengangkut tanah berupa gravitasi, angin, air, dan gletsyer. Pada saat akan berpindah tempat, ukuran dan bentuk partikel – partikel dapat berubah dan terbagi dalam beberapa rentang ukuran.

Proses penghancuran dalam pembentukan tanah dari batuan terjadi secara fisis atau kimiawi. Proses fisis antara lain berupa erosi akibat tiupan angin, pengikisan oleh air

dan *gletsyer*, atau perpecahan akibat pembekuan dan pencairan es dalam batuan sedangkan proses kimiawi menghasilkan perubahan pada susunan mineral batuan asalnya. Salah satu penyebabnya adalah air yang mengandung asam alkali, oksigen dan karbondioksida. Pelapukan kimiawi menghasilkan pembentukan kelompok-kelompok partikel yang berukuran koloid ($<0,002$ mm) yang dikenal sebagai mineral lempung.

Tanah lempung terdiri dari butir – butir yang sangat kecil (< 0.002 mm) dan menunjukkan sifat – sifat plastisitas dan kohesi. Kohesi menunjukkan kenyataan bahwa bagian – bagian itu melekat satu sama lainnya, sedangkan plastisitas adalah sifat yang memungkinkan bentuk bahan itu dirubah – rubah tanpa perubahan isi atau tanpa kembali ke bentuk aslinya, dan tanpa terjadi retakan – retakan atau terpecah – pecah (L.D Wesley, 1977). Tinjauan pustaka Teknik Sipil Usu 2010 (Fachri Ggazali)

Partikel lempung dapat berbentuk seperti lembaran yang mempunyai permukaan khusus. Karena itu, tanah lempung mempunyai sifat sangat dipengaruhi oleh gaya-gaya permukaan. Umumnya, terdapat kira-kira 15 macam mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung. Beberapa mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung yakni : *montmorillonite*, *illite*, *kaolinite*, dan *polygorskite* (Hardiyatmo.H.C. 1992, hal 14). Semua macam tanah secara umum terdiri dari tiga bahan, yaitu butiran tanahnya sendiri, serta air dan udara yang terdapat dalam ruangan antara butir - butir tersebut. Ruangan ini disebut pori (*voids*). Apabila tanah sudah benar - benar kering maka tidak akan ada air sama sekali dalam porinya, keadaan semacam ini jarang ditemukan pada tanah yang masih dalam keadaan asli di lapangan. Air hanya dapat dihilangkan sama sekali dari tanah apabila kita ambil tindakan khusus untuk maksud itu, misalnya dengan memanaskan di dalam oven (Wesley, L.D. 1977).

Peranan tanah ini sangat penting dalam perencanaan atau pelaksanaan bangunan karena tanah tersebut berfungsi untuk mendukung beban yang ada di atasnya, oleh karena itu tanah yang akan dipergunakan untuk mendukung konstruksi harus dipersiapkan terlebih dahulu sebelum dipergunakan sebagai tanah dasar (*Subgrade*).

2.2. Sifat – Sifat Umum Mineral lempung

Sifat yang khas dari tanah lempung adalah dalam keadaan kering dia akan bersifat keras, dan jika basah akan bersifat lunak plastis, dan kohesif, mengembang dan menyusut dengan cepat, sehingga mempunyai perubahan volume yang besar dan itu terjadi karena pengaruh air.

Sifat-sifat umum mineral lempung :

a. Hidrasi

Partikel mineral lempung biasanya bermuatan negatif sehingga partikel lempung hampir selalu mengalami hidrasi, yaitu dikelilingi oleh lapisan-lapisan molekul air dalam jumlah yang besar. Lapisan ini sering mempunyai tebal dua molekul dan disebut lapisan difusi, lapisan difusi ganda atau lapisan ganda adalah lapisan yang dapat menarik molekul air atau kation yang disekitarnya. Lapisan ini akan hilang pada temperature yang lebih tinggi dari 60° sampai 100° C dan akan mengurangi plastisitas alamiah, tetapi sebagian air juga dapat menghilang cukup dengan pengeringan udara saja.

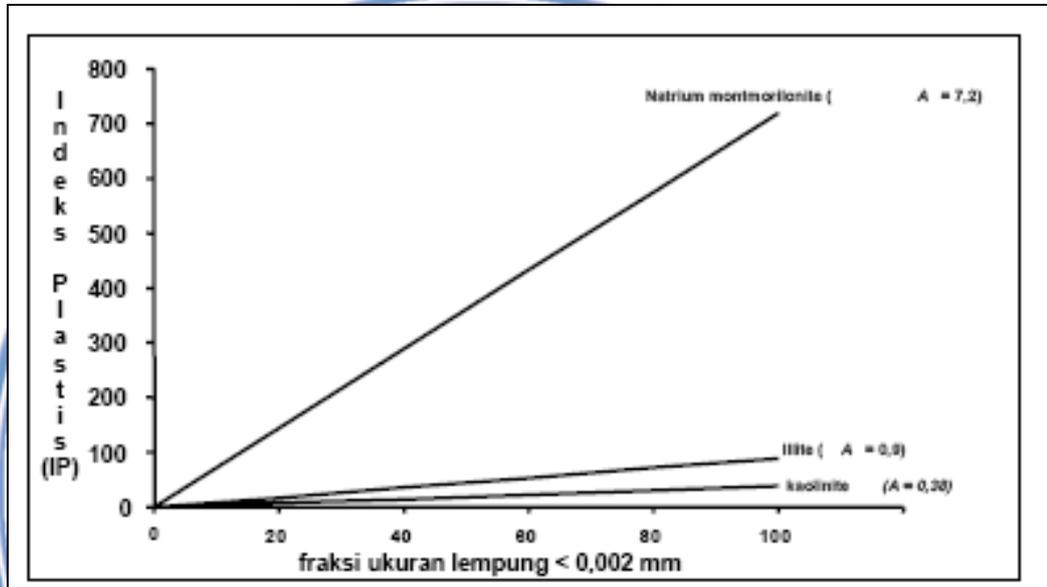
b. Aktivitas (A)

Hardiyatmo.H.C. (2010) hal.53 ketebalan air mengelilingi butiran tanah lempung tergantung dari macam mineralnya. Jadi, dapat diharapkan plastisitas tanah lempung tergantung dari :

1. Sifat mineral lempung yang ada pada butiran

2. Jumlah mineral

Berikut gambar Variasi indeks plastisitas dengan persen fraksi lempung ditunjukkan pada gambar 2.1 di bawah



ini.

Gambar. 2.1. Variasi indeks plastisitas dengan persen fraksi lempung
Sumber : Hariyatmo. H.C, Mekanika Tanah 1 hal 53, 2010

Bila ukuran butiran semakin kecil, maka luas permukaan butiran akan semakin besar. Pada konsep Atterberg, jumlah air yang tertarik oleh permukaan partikel tanah akan akan bergantung pada jumlah partikel lempung yang ada di dalam tanah. Berdasarkan alasan ini, skempton (1953) mendefenisikan aktivitas sebagai perbandingan antara indeks plastisitas dengan persen fraksi ukuran lempung atau dinyatakan $A=PI/C$

Dengan C adalah presentase berat fraksi ukuran lempung (ukuran butiran <math>< 0.002\text{mm}</math> atau

Gambar di atas mengklasifikasikan mineral lempung berdasarkan nilai aktivitasnya, yaitu :

Montmorillonite : Tanah lempung dengan nilai aktivitas (A) $\geq 7,2$

Illite : Tanah lempung dengan nilai aktivitas (A) $\geq 0,9$ dan $< 7,2$

Kaolinite : Tanah lempung dengan nilai aktivitas (A) $\geq 0,38$ dan $< 0,9$

Polygorskite : Tanah lempung dengan nilai aktivitas (A) $< 0,38$

Swelling Potensial atau kemampuan mengembang tanah dipengaruhi oleh nilai aktivitas tanah. Setiap tanah lempung memiliki nilai aktivitas yang berbeda-beda. mengidentifikasi tingkat aktivitas tanah dalam 4 kelompok, yaitu :

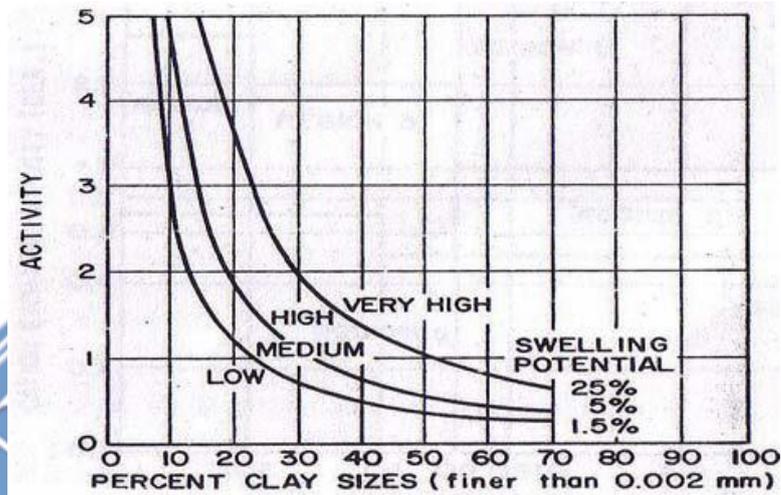
Low/Rendah : Tanah yang memiliki nilai *Swelling Potensial* $\leq 1,5$ %

Medium/Sedang: Tanah yang memiliki nilai *Swelling Potensial* $>1,5$ % dan $\leq 5\%$

High/Tinggi : Tanah yang memiliki nilai *Swelling Potensial* >5 % dan $\leq 25\%$

Very High/sangat Tinggi : Tanah yang memiliki nilai *Swelling Potensial* >25 %

Berikut gambar Hubungan antara persentase butiran lempung dengan aktivitas ditunjukkan pada gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar.2.2. Hubungan antara persentase butiran lempung dengan aktivitas
 Sumber. Tinjauan pustaka Teknik Sipil

c. Flokulasi dan Disversi

Apabila mineral lempung terkontaminasi dengan substansi yang tidak mempunyai bentuk tertentu atau tidak berkrystal (amorphus) maka daya negatif netto, ion-ion H^+ di dalam air, gaya Van der Waals, dan partikel berukuran kecil akan bersama-sama tertarik dan bersinggungan atau bertabrakan di dalam larutan tanah dan air. Beberapa partikel yang tertarik akan membentuk *flok (flock)* yang berorientasi secara acak, atau struktur yang berukuran lebih besar akan turun dari larutan itu dengan cepatnya dan membentuk sendimen yang sangat lepas. Flokulasi larutan dapat dinetralisir dengan menambahkan bahan-bahan yang mengandung asam (ion H^+), sedangkan penambahan bahan-bahan alkali akan mempercepat flokulasi. Lempung yang baru saja berflokulasi dengan mudah tersebar kembali dalam larutan semula apabila digoncangkan, tetapi apabila telah lama terpisah penyebarannya menjadi lebih sukar karena adanya gejala *thixotropic (Thixopic)*, dimana kekuatan didapatkan dari lamanya waktu.

d. Pengaruh Zat Cair

Fase air yang berada di dalam struktur tanah lempung adalah air yang tidak murni secara kimiawi. Pada pengujian di laboratorium untuk batas Atterberg, ASTM

menentukan bahwa air suling ditambahkan sesuai dengan keperluan. Pemakaian air suling yang relatif bebas ion dapat membuat hasil yang cukup berbeda dari apa yang didapatkan dari tanah di lapangan dengan air yang telah terkontaminasi. Air berfungsi sebagai penentu sifat plastisitas dari lempung. Satu molekul air memiliki muatan positif dan muatan negatif pada ujung yang berbeda (*dipolar*). Fenomena hanya terjadi pada air yang molekulnya dipolar dan tidak terjadi pada cairan yang tidak dipolar seperti karbon tetraklorida (CCl_4) yang jika dicampur lempung tidak akan terjadi apapun.

e. Sifat Kembang Susut (*Swelling*)

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 : Tipe dan jumlah mineral yang ada di dalam tanah. Kadar air. Susunan tanah. Konsentrasi garam dalam air pori. Sementasi. Adanya bahan organik, dll.

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

2.3. Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Plastisitas dan CBR Tanah Lempung

a. Faktor Lingkungan

Tanah dengan plastisitas tinggi dalam keadaan kadar air rendah atau hisapan yang tinggi akan menarik air lebih kuat dibanding dengan tanah yang sama dengan kadar air 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.

b. 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. Sistem gaya internal kimia – listrik ini harus dalam keadaan seimbang antara gaya luar dan hisapan matrik. Apabila susunan kimia air tanah berubah sebagai akibat adanya perubahan komposisi maupun keluar masuknya air tanah, keseimbangan gaya – gaya dan jarak antar partikel akan membentuk keseimbangan baru. Perubahan jarak antar partikel ini disebut sebagai proses kembang – susut.

c. 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.(Tinjauan pustaka Teknik Sipil)

2.3.1 Faktor – faktor yang mempengaruhi kepadatan tanah dasar

Nilai CBR sangat bergantung kepada proses pemadatan. Sub grade dipadatkan hingga mencapai kepadatan kering maksimum, dan membentuk profil sesuai yang direncanakan. Faktor – faktor yang mempengaruhi kepadatan material sub grade adalah : Karakteristik material tanah dasar, Kadar air material tanah dasar Jenis alat pemadat yang digunakan, Massa (berat) alat pemadat yang tergantung pada lebar roda dan pelat dasarnya, Ketebalan lapisan material yang dipadatkan, Jumlah lintasan alat pemadat yang diperlukan

2.4. Stabilisasi Tanah Lempung Sebagai *Subgrade* dengan Menggunakan Semen

Untuk mendapatkan kondisi tanah yang memenuhi spesifikasi yang disyaratkan disebut stabilisasi tanah. Memperbaiki sifat - sifat tanah dapat dilakukan dengan cara, yaitu cara pemadatan (secara teknis), mencampur dengan tanah lain, mencampur dengan semen, kapur atau belerang (secara kimiawi), pemanasan dengan temperature tinggi, dan lain sebagainya. Metode atau cara memperbaiki sifat – sifat tanah ini juga sangat bergantung pada lama waktu pemeraman, hal ini disebabkan karena didalam proses perbaikan sifat – sifat tanah terjadi proses kimia dimana memerlukan waktu untuk zat kimia yang ada didalam aditif untuk bereaksi

- a. Persyaratan Material Tanah Dasar

Material yang digunakan untuk tanah dasar harus memenuhi ketentuan sesuai dengan spesifikasi. Material berplastisitas tinggi golongan A-7-6 tidak boleh digunakan sebagai lapisan tanah dasar (*Pengendalian Mutu Pekerjaan Tanah, Balai Geoteknik Jalan, hal 37*). Menurut AASHTO, tanah berplastisitas tinggi termasuk golongan A-7-6. Kelas A-7-6 adalah jenis tanah kelepungan berplastisitas tinggi dengan tingkatan umum “sedang sampai jelek”.

Batasan kelas A-7-6 antara lain :

- Lolos saringan no 200 > 36%
- Batas cair > 41%
- Indeks plastisitas > LL-30

Apabila material tanah dasar tidak memenuhi spesifikasi di atas, maka tanah tersebut terlebih dahulu harus distabilisasi sebelum dilakukan proses pekerjaan berikutnya. Berikut tabel Persentase analisis butiran tanah ditunjukkan pada tabel 2.1 di bawah ini

Tabel 2.1 . Persentase analisis butiran tanah

Kriteria Tanah	Analisis butiran tanah (%)
Pasir	19,48
Lanau	33,93
Lempung	46,59

Sumber. Das, Braja M, (1985), “*Mekanika Tanah, Jilid 1*”

b. Persyaratan Semen Sebagai Stabilisasi tanah

Diartikan sebagai pencampuran antara tanah yang telah dihancurkan, semen dan air, yang kemudian dipadatkan sehingga menghasilkan suatu material baru disebut Tanah – Semen dimana kekuatan, karakteristik deformasi, daya tahan terhadap air, cuaca dan sebagainya dapat disesuaikan dengan kebutuhan untuk perkerasan jalan, pondasi bangunan dan jalan, aliran sungai dan lain-lain (Kezdi, 1979 : 108)

Semen adalah material yang mempunyai sifat-sifat adhesif dan kohesif sebagai perekat yang mengikat fragmen-fragmen mineral menjadi suatu kesatuan yang kompak. Semen dikelompokkan ke dalam 2 (dua) jenis yaitu semen hidrolis dan semen non-hidrolis. Semen hidrolis adalah suatu bahan pengikat yang mengeras jika bereaksi dengan air serta menghasilkan produk yang tahan air. Contohnya seperti semen *portland*, semen putih dan sebagainya, sedangkan semen non-hidrolis adalah semen yang tidak dapat stabil dalam air. Semen *Portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara mencampurkan batu kapur yang mengandung kapur (CaO) dan lempung yang mengandung silika (SiO₂), oksida alumina (Al₂O₃) dan oksida besi (Fe₂O₃) dalam oven dengan suhu kira-kira 145°C sampai menjadi klinker. Klinker ini dipindahkan, digiling sampai halus disertai penambahan 3-5% gips untuk mengendalikan waktu pengikat semen agar tidak berlangsung terlalu cepat (Aman Subakti, 1994).

Dalam semen Portland ini terdapat susunan senyawa semen yang berfungsi sebagai berikut :

1. C₃S = 3 CaO.SiO₂ (Trikalsium Silikat) mempunyai andil yang besar terhadap fungsi sebagai perekat dan dapat mengeras jika bereaksi dengan air sehingga dapat meningkatkan kekuatan tekan
2. C₂S = 2 CaO.SiO₂ (Dikalsium Silikat) berfungsi sama dengan C₃S

3. $C_3A = 3 CaO \cdot Al_2O_3$ (Tri kalsium Aluminat) dalam semen *portland* tidak berfungsi sebagai perekat. Senyawa ini hanya berfungsi sebagai fluks (bahan pelebur) sewaktu masih ada dalam tungku pembakaran, sehingga akan mudah terbentuk senyawa C_3S dan C_2S
4. $C_4AF = 4 CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ (Tetra Alumina ferrit) berfungsi sama seperti C_3A serta andil terhadap warna semen.
5. Gips = $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ berfungsi sebagai retarder atau memperlambat waktu pengerasan tepung semen *portland* bila bercampur dengan air.
6. Selain itu terdapat komposisi kimia lain seperti : $C = CaO$, Na_2O , K_2O dalam jumlah yang kecil

2.4.1 Proses kimia stabilisasi tanah dengan Semen

Tahapan proses kimia pada stabilisasi tanah menggunakan semen adalah sebagai berikut:

- a. Absorpsi air dan reaksi pertukaran ion;

Bila Semen Portland ditambahkan pada tanah, ion kalsium Ca^{++} dilepaskan melalui proses hidrolisa dan pertukaran ion berlanjut pada permukaan partikel-partikel lempung, Butiran lempung dalam kandungan tanah berbentuk halus dan bermuatan negatif. Ion positif seperti ion hidrogen (H^+), ion sodium (Na^+), ion kalsium (K^+), serta air yang berpolarisasi, Dari reaksi-reaksi kimia tersebut di atas, maka reaksi utama yang berkaitan dengan kekuatan ialah hidrasi dari A-lit ($3CaO \cdot SiO_2$) dan B-lit ($2CaO \cdot SiO_2$), sehingga membentuk kalsium silikat dan kalsium aluminat yang mengakibatkan kekuatan tanah meningkat.

- b. Reaksi pozolan

semuanya melekat pada permukaan butiran lempung. Dengan reaksi ini partikel-partikel lempung menggumpal sehingga mengakibatkan konsistensi tanah menjadi lebih baik.

c. Reaksi pembentukan kalsium silikat dan kalsium aluminat;

Secara umum hidrasi adalah sebagai berikut:



Reaksi antara silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) halus yang terkandung dalam tanah lempung dengan kandungan mineral reaktif, sehingga dapat bereaksi dengan kapur dan air. Hasil reaksi adalah terbentuknya kalsium silikat hidrat seperti: tobermorit, kalsium aluminat hidrat $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ dan gehlenit hidrat $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ yang tidak larut dalam air. Pembentukan senyawa-senyawa ini berlangsung lambat dan menyebabkan tanah menjadi lebih keras, lebih padat dan lebih stabil.

d. Bahan Renolith

Renolith merupakan bahan cair yang berfungsi memperbaiki kondisi tanah dasar. Bahan renolith yang penggunaannya dibantu dengan semen. Renolith akan meningkatkan elastisitas, meningkatkan kekuatan tanah, menutupi pori-pori tanah sehingga tanah menjadi lebih kedap air. Tanah yang bisa diperbaiki secara optimal adalah tanah yang memiliki CBR minimal 6%. Berikut Desain campuran Semen - Renolith untuk Berbagai Jenis Tanah ditunjukkan pada tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2.2. Desain campuran Semen - Renolith untuk Berbagai Jenis Tanah

AASHTO soil classification	ASTM Soil classification	Typical percentage of cement to aggregate weight	Typical percentage of Renolit to cement weight	Typical percentage of OMC to aggregate weight (Approximatety)
A-1-a	GW, GP, GM,	3-5	5	6%

	SW, SP, SM			
A-1-b	GM, GP, SM,SP	5-8	5	6%
A-2	GM, GC, SM, SC	5-9	5-7	10% - 15%
A-3	SP	7-11	10	10%
A-4	CL, ML	7-12	10	12%
A-5	ML,MH,CH	10-13	10-12	12%
A-6	CL,CH	10-15	10-12	10% - 12%
A-7	MH, CH	10-16	10-12	10% - 12%

Sumber : Das, Braja M, (1985), "Mekanika Tanah, Jilid 1",

Kondisi yang akan terjadi dari stabilisasi menggunakan semen antara lain :

1. Meningkatkan kekakuan tanah dasar untuk merehabilitasi tanah yang telah ada
2. Mengurangi PI dari perkerasan semula dan material tanah dasar
3. Meningkatkan stabilitas volume untuk lapisan paling atas dari material yang dipilih
4. Memodifikasi lapisan subbase untuk meningkatkan kekakuan perkeras

Berikut Kelebihan stabilisasi dengan semen ditinjau dari tiap *properties* pada tabel 2.3 di bawah ini.

Tabel 2.3. Kelebihan stabilisasi dengan semen ditinjau dari tiap *properties*

<i>Properties</i>	Kelebihan
<i>Plasticity</i>	Indeks plastisitas akan berkurang, ini diakibatkan karena pengurangan Batas Cair dan peningkatan Batas Plastis.
<i>Moisture density relationship</i>	Hasil dari reaksi antara semen dengan lempung adalah perubahan yang substansial pada berat isi. Perubahan berat isi mencerminkan keadaan tanah yang baru dan ini adalah bukti bahwa terjadi perubahan fisik pada tanah selama masa perawatan
<i>Swell potensial</i>	Potensi pengembangan tanah dan pengembangan tekanan akan berkurang selama masa perawatan
<i>Drying</i>	Semen sangat membantu pengeringan tanah yang basah. Kondisi ini memungkinkan untuk segera melakukan pemadatan

<i>Strenght properties</i>	UCS dan CBR tanah lempung yang distabilisasi dengan semen akan mengalami peningkatan yang sangat besar. Kondisi ini akan semakin meningkat apabila kemudian dikombinasikan dengan bahan adiktif lain nya.
<i>Water resistance</i>	Lempung yang distabilisasi dengan semen akan menghasilkan lapisan yang kedap air dan menghalangi penetrasi dari kadar air tanah.

Sumber : AustStab Technical Note, cement stabilisation practice, 2008

2.5. Sistem Klasifikasi Tanah

2.5.1 Sistem Klasifikasi Unified

(Hardiyatmo, H.C., 2010, hal 1). Pada system unified, suatu tanah diklasifikasikan kedalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika lebih dari 50% tinggal didalam saringan nomor 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau lempung) jika lebih dari 50% lewat saringan nomor 200. Selajutnya tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan subkelompok. Simbol – sibol yang digunakan tersebut adalah

G = kerikil (*gravel*)

S = pasir (*sand*)

C = lempung (*clay*)

M = lanau (*silt*)

O = lanau atau lempung organik (*organic silt or clay*)

Pt = tanah gambut dan tanah organik tinggi (*peat and highly organic clay*)

W = gradasi baik (*well graded*)

P = gradasi buruk (*poor graded*)

H = plastisitas tinggi (*high plasticity*)

L = plastisitas rendah (*low plasticity*)

Prosedur untuk menentukan klasifikasi tanah sistem *Unified* adalah sebagai berikut :

a. Menentukan tanah apakah berupa butiran halus atau butiran kasar secara visual atau dengan cara menyaringnya dengan saringan nomor 200.

b. Jika tanah berupa butiran kasar :

1. Menyaring tanah tersebut dan menggambarkan grafik distribusi butirannya
2. Menentukan persen butiran lolos saringan no.4. Bila persentase butiran yang lolos $\leq 50\%$, klasifikasikan tanah tersebut sebagai kerikil. Bila persentase yang lolos $> 50\%$, klasifikasikan tanah tersebut sebagai pasir.
3. Menentukan jumlah butiran yang lolos saringan no.200 jika prosentase butiran yang lolos $\leq 5\%$, pertimbangkan bentuk grafik distribusi dengan menghitung C_u dan C_c . Jika termasuk bergradasi baik, maka klasifikasikan sebagai GW (bila berkerikil) atau SW (bila pasir). Jika termasuk bergradasi buruk, klasifikasikan sebagai GP (bila berkerikil) atau SP (bila pasir).
4. Jika prosentase butiran tanah yang lolos saringan no.200 di antara 5 sampai dengan 12%, tanah akan mempunyai simbol dobel dan mempunyai sifat keplastisan (GW-GM, SW-SM, dan sebagainya).
5. Jika prosentase butiran tanah lolos saringan no.200 $> 12\%$, harus diadakan pengujian batas-batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tertinggal dalam saringan no.40. Kemudian, dengan menggunakan diagram plastisitas, tentukan klasifikasinya (GM, GC, SM, SC, GM-GC atau SM-SC).

c. Jika tanah berbutir halus :

1. Menguji batas-batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no.40. Jika batas cair lebih dari

50%, klasifikasikan sebagai H (plastisitas tinggi) dan jika kurang dari 50%, klasifikasikan sebagai L (plastisitas rendah).

2. Untuk H (plastisitas tinggi), jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas di bawah garis A, tentukan apakah tanah organik (OH) atau anorganik (MH). Jika plotnya jatuh di atas garis A, klasifikasikan sebagai CH.

3. Untuk L (plastisitas rendah), jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas di bawah garis A dan area yang diarsir, tentukan klasifikasi tanah tersebut sebagai organik (OL) atau anorganik (ML) berdasar warna, bau, atau perubahan batas cair dan batas plastisnya dengan mengeringkannya di dalam oven. Berikut tabel Sistem klasifikasi tanah Unified pada tabel 2.4 di bawah ini:

Tabel 2.4. Sistem klasifikasi tanah Unified

Prosedur Klasifikasi		Symbol	Nama Jenis	Identifikasi Lab	
Tanah Berbutir Kasar (Lebih dari 50% tertahan pada ayakan No. 200 / ϕ 0.075 mm)	Kerikil (lebih dari 50% tertahan pada ayakan No. 4 / ϕ 4.75 mm)	Kerikil Mumu (Tanpa - sedikit butir halus)	GW	Kerikil bergradasi baik, kerikil bercampur sedikit pasir tanpa / tak ada butir halus	CU = D ₆₀ /D ₁₀ = 1 - 4 CC = D ₃₀ /D ₁₀ = 1-3
		Kerikil Bergradasi Buruk (Tanpa - sedikit butir halus)	GP	Kerikil bergradasi buruk, kerikil bercampur pasir mengandung sedikit butir halus	Tidak memenuhi syarat CU maupun CC untuk GW
		Kerikil Berbutir Halus (Terdapat sejumlah butir halus)	GM	Kerikil berlanau, kerikil mengandung pasir - lanau bergradasi buruk	Indek Plastisitas kurang dari 7
		Kerikil Berlempung (Terdapat sejumlah butir halus)	GC	Kerikil berlempung, kerikil mengandung pasir dan lempung bergradasi buruk	Indek Plastisitas lebih dari 7
	Pasir (lebih dari 50% lolos pada ayakan No. 4 / ϕ 4.75 mm)	Pasir Bersih (Tanpa / sedikit butir halus)	SW	Pasir bergradasi baik, Pasir dengan sedikit pasir tanpa butir halus	CU = D ₆₀ /D ₁₀ \geq 6 CC = D ₃₀ /D ₁₀ = 1-3
			SP	Pasir bergradasi buruk, dengan sedikit butir halus	Tidak memenuhi syarat CU maupun CC SW
		Pasir Berbutir Halus (Terdapat sejumlah butir halus)	SM	Pasir berlanau, pasir bercampur lanau lanau bergradasi buruk	Indeks Plastisitas lebih dari 7 Rasio indeks plastisitas PI dan batas cair LL < 2.25
			SC	Pasir berlempung, pasir bercampur lempung bergradasi buruk	Indeks plastisitas lebih dari 7 Rasio indeks plastisitas PI dan batas cair LL > 2.25

Sumber: Brockenbrough dkk. 2003

2.5.2 Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials Classification) berguna untuk menentukan kualitas tanah dalam perencanaan timbunan jalan, subbase, dan subgrade. Sistem klasifikasi AASHTO membagi tanah ke dalam 8 kelompok, A-1 sampai A-7 termasuk sub – sub kelompok. Tanah – tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus – rumus empiris. (H.C.Hardiyatmo Hal.43)

Sistem ini didasarkan pada kriteria sebagai berikut :

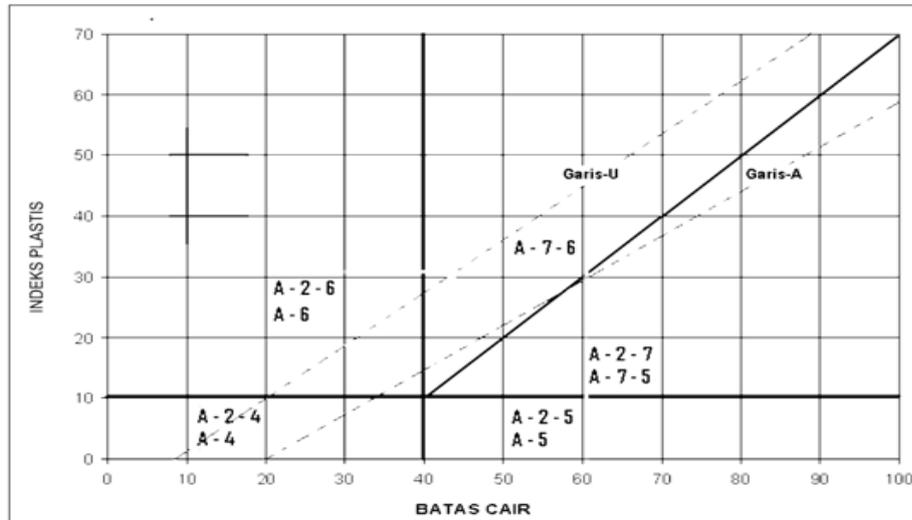
1. Ukuran butir, dibagi menjadi kerikil, pasir, lanau, dan lempung.

Kerikil : bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75 mm dan tertahan pada ayakan diameter 2 mm.

Pasir : bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 2 mm dan tertahan pada ayakan diameter 0,0075 mm.

Lanau & Lempung : bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 0,0075 mm.

2. Plastisitas, nama berlanau dipakai apabila bagian – bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas (IP) sebesar 10 atau kurang. Nama berlempung dipakai bila bagian – bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas sebesar 11 atau lebih. Berikut gambar Nilai – nilai batas Atterberg untuk sub kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7 pada gambar 2.3 di bawah ini:



Gambar 2.3. Nilai – nilai batas Atterberg untuk sub kelompok A-4, A-5,A-6, dan A-7
(Sumber: Hardiyatmo H.C. 1992 Mekanika Tanah 1, Hal 44)

3. Apabila batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) ditemukan dalam contoh tanah yang akan diuji maka batuan – batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu, tetapi persentasi dari batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat. Pengujian yang dijadikan patokan untuk mengklasifikasi adalah sama dengan sistem klasifikasi tanah *Unified* yaitu analisis saringan dan batas-batas Atterberg. Dan untuk mengevaluasi pengelompokan lebih lanjut digunakan indeks kelompok/*group index* (GI), dengan persamaan :

$$GI = (F-35)[0,2 + 0,005 (LL-40)] + 0,01 (F-15)(PI-10) \text{ (Persamaan 2.2)}$$

GI = indeks kelompok / *group index*

F = persen butiran lolos saringan no.200 (0,0075 mm)

LL = batas cair

PI = indeks plastisitas

Bila indeks kelompok (GI) semakin tinggi, maka tanah semakin berkurang ketepatan penggunaannya. Tanah granular diklasifikasikan ke dalam A-1 sampai A-3. Tanah A-1 merupakan tanah granular bergradasi baik, sedangkan A-3 adalah pasir

bersih bergradasi buruk. Tanah berbutir halus diklasifikasikan dari A-4 sampai A-7, yaitu tanah lempung lanau.

Berikut adalah contoh pengklasifikasian tanah menurut sistem AASHTO tabel 2.5 dibawah ini :

Tabel 2.5. Persentase butiran lolos dari masing – masing ayakan

Diameter Butiran	% Butiran Lolos
2,0 (saringan no 10)	100
0,075 (saringan no.200)	75
0,05	65
0,005	33
0,002	18

Sumber: (Hardiyatmo H.C. 1992 Mekanika Tanah 1)

Data tanah lainnya, LL = 54%, PI = 23%. Penyelesaian dari data di atas dengan sistem klasifikasi AASHTO adalah sebagai berikut :

F = 75%, karena lebih besar dari 35% lolos saringan no.200, maka tanah termasuk jenis lanau atau lempung.

LL = 54%, kemungkinan dapat dikelompokkan A-5 (41% minimum), A-7-5 atau A-7-6 (41% minimum).

PI = 23%, untuk A-5, PI maksimum 10%. Jadi kemungkinan tinggal salah satu, yaitu A-7-5 atau A-7-6.

Untuk membedakan keduanya, dihitung $PL = LL - PI = 54 - 23 = 31$, lebih besar dari 30. Jadi dihitung indeks kelompoknya.

$$GI = (75 - 35) (0,2 + 0,005 (54 - 40)) + 0,01 (75 - 15) (23 - 10) = 19 \text{ (dibulatkan)}$$

Mengingat $PL > 30\%$, maka tanah diklasifikasikan A-7-5.

Berikut tabel Sistem klasifikasi AASHTO pada tabel 2.6 di bawah ini:

Tabel 2.6. Sistem klasifikasi AASHTO

Klasifikasi umum	Tanah lempung – lumpur (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7.5* A-7.6†
Klasifikasi kelompok				
Analisis ayakan (% lolos) No. 20 No. 40 No. 200				
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40 Batas cair (LL) Indeks plastisitas (PI)	Min 36	Min 36	Min 35	Min 36
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Pembelian sebagai bahan tanah dasar	Bisa sampai jelek			

* Untuk A-7.5, $PI \leq LL - 30$
† Untuk A-7.6, $PI > LL - 30$

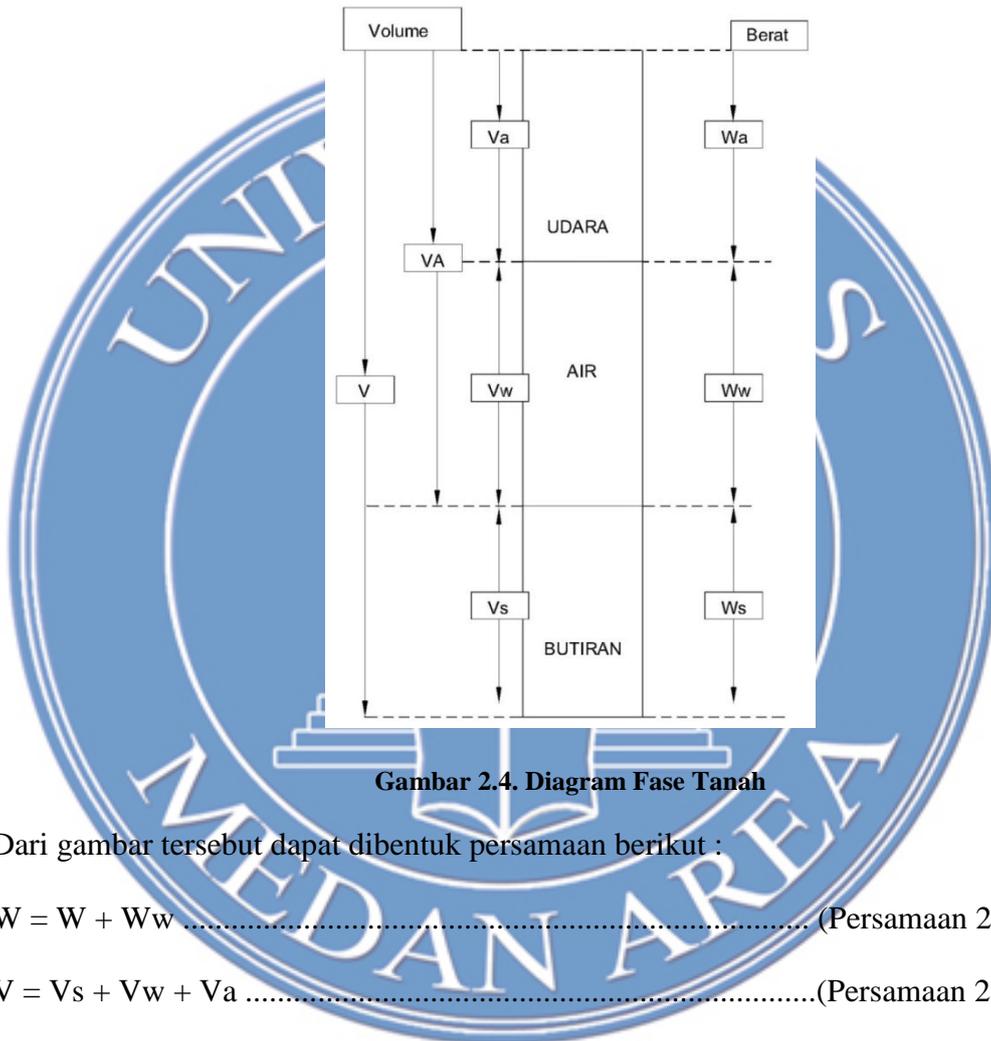
Sumber: Das, Braja M, (1985), "Mekanika Tanah, Jilid 1",

2.6 Sifat Fisik Tanah

2.6.1 Hubungan Antara Butiran, Air dan Udara dalam Tanah

Tanah merupakan komposisi dari dua atau tiga fase yang berbeda. Tanah yang benar-benar kering terdiri dari dua fase yang disebut butiran dan udara pengisi pori, tanah yang jenuh juga terdiri dari dua fase yaitu butiran dan air pori sedangkan tanah yang jenuh sebagian terdiri dari tiga fase yaitu butiran, udara pori dan air pori. Berat udara dianggap sama dengan nol.

Komponen-komponen tanah dapat digambarkan dalam suatu diagram fase, seperti terlihat pada gambar 2.4 berikut ini :



Gambar 2.4. Diagram Fase Tanah

Dari gambar tersebut dapat dibentuk persamaan berikut :

$$W = W + W_w \dots\dots\dots (Persamaan 2.3)$$

$$V = V_s + V_w + V_a \dots\dots\dots (Persamaan 2.4)$$

$$V_v = V_w + V_a \dots\dots\dots (Persamaan 2.5)$$

dengan :

W_s = berat butiran padat. (m3)

W_w = berat air. (m3)

V_s = volume butiran padat (m3)

V_w = volume air. (m3)

V_a = volume udara (m3)

V_v = volume pori (m3)

Istilah-istilah umum yang dipakai untuk hubungan berat adalah kadar air (*moisture content*) dan berat volume (*unit waight*). Definisi dari istilah-istilah tersebut adalah sebagai berikut :

a. Kadar Air (W)

Kadar air (W) atau water content didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dengan berat butir padat dari volume tanah yang diselidiki.

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \% \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.6})$$

b. Berat Volume Tanah

$$\gamma_s = \frac{W_w + W_s}{V} \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.7})$$

c. Berat Volume Tanah Kering

$$\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1+w} \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.8})$$

d. Berat Jenis (Specific Gravity, Gs)

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.9})$$

• Berat Isi

Cara menentukan berat isi tanah adalah dengan mengukur berat sejumlah tanah yang isinya diketahui. Untuk tanah asli biasanya dipakai sebuah cincin yang dimasukkan ke dalam tanah sampai terisi penuh, kemudian atas dan bawahnya diratakan dan cincin serta tanahnya ditimbang. Apabila ukuran cincin serta beratnya diketahui, maka berat isi dapat ditimbang langsung.

Misalnya :

Berat cincin + tanah = W2 (m3)

Berat cincin = W1 (m3)

Berat tanah = W2 – W1

$$\text{Isi cincin} = 1$$

$$\text{Jumlah berat isi} = \frac{W_2 + W_1}{1}$$

Untuk tanah yang tidak asli, misalnya pada percobaan pemadatan, maka tanah dipadatkan di dalam suatu alat cetak yang isinya diketahui. Setelah permukaan atasnya diratakan, maka cetakan serta tanah ditimbang dan berat isi tanah dapat langsung dihitung.

• Kadar Air

Untuk menentukan kadar air sejumlah tanah ditempatkan dalam krus (kaleng kecil) yang beratnya (W_1) diketahui sebelumnya. Krus dengan tanah ditimbang (W_2) dan kemudian dimasukkan dalam oven yang temperaturnya 105°C untuk masa waktu 24 jam. Kemudian krus dan tanah tersebut ditimbang kembali (W_3)

Dengan demikian

$$\text{berat air} = W_2 - W_3 \text{ (m3)}$$

$$\text{Berat tanah kering} = W_3 - W_1 \text{ (m3)}$$

$$\text{Kadar air} = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \dots\dots\dots (\text{persamaan 2.10})$$

• Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Untuk percobaan ini dipakai piknometer (pycnometer or volumetric flask), yaitu sebuah botol yang isinya diketahui dengan tepat.

Cara melakukan percobaan adalah sebagai berikut :

1. Piknometer dikeringkan dan ditimbang (W_1).
2. Sejumlah tanah yang telah dikeringkan dan lolos saringan no. 40 dimasukkan kedalam picnometer dan ditimbang (W_2).
3. Air disuling ditambag pada picnometer sampai setengah penuh. Udara yang masih ada di dalam tanah tersebut dikeluarkan dengan cara memanaskan piknometer atau

memakai pompa / vacuum. Setelah tidak ada lagi udara di dalam tanah maka piknometer diisi air sampai penuh dan dimasukkan dalam constant temperature bath sampai mencapai temperatur yang seragam. Permukaan luar piknometer dikeringkan dengan teliti dan piknometer ditimbang(W3). 4. Air dengan tanah dikeluarkan dari piknometer, lalu piknometer dibersihkan dan diisi air suling saja sampai penuh, dan dimasukkan lagi dalam constant temperature bath. Kemudian bagian luar piknometer dikeringkan dan ditimbang (W4).

Dengan demikian, Berat tanah = $W2 - W1$

Berat air = $W4 - W1$ = isi piknometer

Berat air pada waktu piknometer mengandung tanah dan air = $(W3 - W2)$

Berat air yang mengganti tanah = $(W4 - W1) - (W3 - W2)$ = Isi contoh

Maka berat jenis = $\frac{W2 - W1}{(W4 - W1) - (W3 - W2)}$ (Persamaan 2.11)

Adapun satuan dan nilainya biasa untuk berat isi, kadar air, dan berat jenis adalah sebagai berikut :

Berat isi tanah ditentukan dalam gr/cm^3 (sama dengan ton/m^3). Nilai berat isi pada tanah asli jarang lebih kecil daripada $1,2 kg/cm^3$ atau lebih besar daripada $2,5 kg/cm^3$. Nilai paling biasa adalah dari 1,6 sampai $2,0 kg/cm^3$. Berat isi kering ditentukan dengan satuan yang sama yaitu gr/cm^3 , nilainya berkisar antara 0,6 sampai 2,4. Kadar air tanah selalu dinyatakan dalam persen dan nilainya dapat berkisar dari 0 % sampai 300 %. Pada tanah dalam keadaan aslinya kadar air biasanya adalah dari 15 % hingga 100 %. Berat jenis tanah dinyatakan sebagai bilangan saja. Nilainya rata – rata adalah sebesar 2,65 dengan variasi yang agak kecil, yaitu jarang di bawah 2,4 atau di atas 2,8.

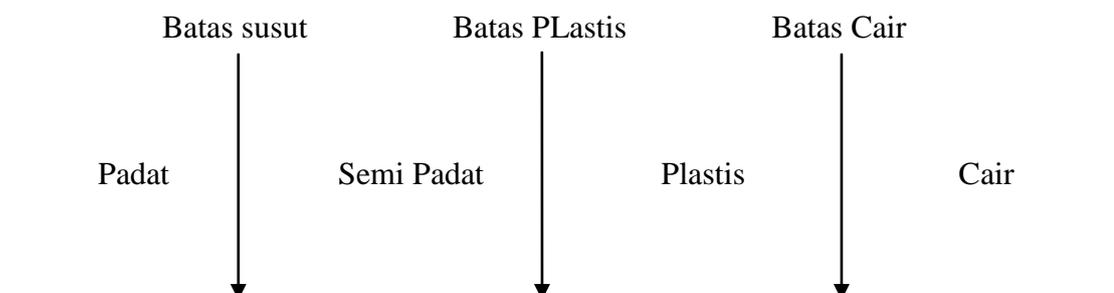
2.7 Batas – Batas Atterberg

Suatu hal yang penting pada tanah berbutir halus adalah sifat plastisitasnya. Plastisitas disebabkan oleh adanya partikel mineral lempung dalam tanah. Istilah plastisitas menggambarkan kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk volume yang konstan tanpa retak – retak dan remuk.

Bergantung pada kadar air, tanah dapat berbentuk cair, plastis, semi padat, atau padat. Kedudukan fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu disebut konsistensi. Konsistensi bergantung pada gaya tarik antara partikel mineral lempung. Sembarang pengurangan kadar air menghasilkan berkurangnya tebal lapisan kation yang menyebabkan bertambahnya gaya partikel. Bila tanah dalam kedudukan plastis, besarnya jaringan gaya antar partikel akan sedemikian hingga partikel bebas menggelincir antara satu dengan yang lain, dengan kohesi yang tetap terpelihara. Pengurangan kadar air menghasilkan pengurangan volume tanah.

Atterberg (1911), memberikan cara untuk menggambarkan batas – batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar air tanah. Batas – batas tersebut adalah batas cair (liquid limit), batas plastis (plastic limit), dan batas susut (shrinkage limit).

Kedudukan Batas-batas konsistensi untuk tanah kohesif ditunjukkan pada gambar 2.5 berikut ini:



Gambar 2.5. Batas – batas Atterberg

Sumber : (Hardiyatmo, H.C. 2010, Mekanika Tanah 1 Hal 48)

2.7.1 Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair (LL), didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair plastis, yaitu batas atas yang untuk nilai-nilai di atasnya dari daerah plastis.

2.7.2 Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis (PL) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu presentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak retak ketika digulung.

2.7.3 Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks Plastisitas (PI) merupakan interval kadar air, yaitu tanah masih bersifat plastis. Karena itu, indeks plastis menunjukkan sifat keplastisitas tanah. Jika tanah mempunyai PI tinggi, maka tanah mengandung banyak butiran lempung. Jika PI rendah, seperti lanau, sedikit pengurangan kadar air berakibat tanah menjadi kering. Batasan mengenai indeks plastisitas, sifat, macam tanah, dan kohesi diberikan oleh Atterberg terdapat dalam table.

Tabel 2.7. Sifat – sifat tanah ditinjau dari nilai indeks plastisitas

Kedudukan Sifat – sifat tanah ditinjau dari nilai indeks plastisitas ditunjukkan pada tabel 2.7 berikut ini

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 : (Hardiyatmo, H.C, 2010, *Mekanika Tanah 1, Hal 52*)

2.7.4. Indeks Cair (*Liquidity Index*)

Kadar air tanah asli relative pada kedudukan plastis dan cair dapat didefinisikan oleh *index cair (Liquidity)*, Lidan dinyatakan menurut persamaan :

$$LI = \frac{w_N - PL}{LL - PL} = \frac{w_N - PL}{PI}$$

2.8 Pengujian Pemadatan Tanah (*Proctor Standar*)

Pemadatan merupakan usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah yaitu dengan mengeluarkan udara pada pori-pori tanah yang biasanya menggunakan energi mekanis. Dilapangan, uasaha pemadatan dihubungkan dengan jumlah gilasan dari mesin gilas, atau hal lain yang prinsipnya sama untuk suatu volume tanah tertentu. Di laboratorium menggunakan pengujian compaction test (Modified), dengan cara suatu palu dijatuhkan dari ketinggian tertentu beberapa lapis tanah di dalam sebuah mold. Dengan dilakukan pengujian pemadatan tanah ini maka akan menghasilkan hubungan antara kadar air dengan berat volume.

Tujuan pemadatan adalah untuk memadatkan tanah dalam keadaan kadar air optimum, sehingga udara dalam pori-pori tanah akan keluar.

Beberapa keuntungan yang didapatkan dengan adanya pemadatan ini adalah

1. Meningkatkan kekuatan tanah.
2. Memperkecil pengaruh air terhadap tanah.

3. Berkurangnya penurunan permukaan (*subsidence*), yaitu gerakan vertikal didalam massa tanah itu sendiri akibat berkurangnya angka pori.
4. Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air. Derajat kepadatan tanah diukur dari berat volume keringnya, hubungan berat volume kering (γ_d), berat volume basah (γ_b) dan kadar air (w) dinyatakan dengan persamaan :

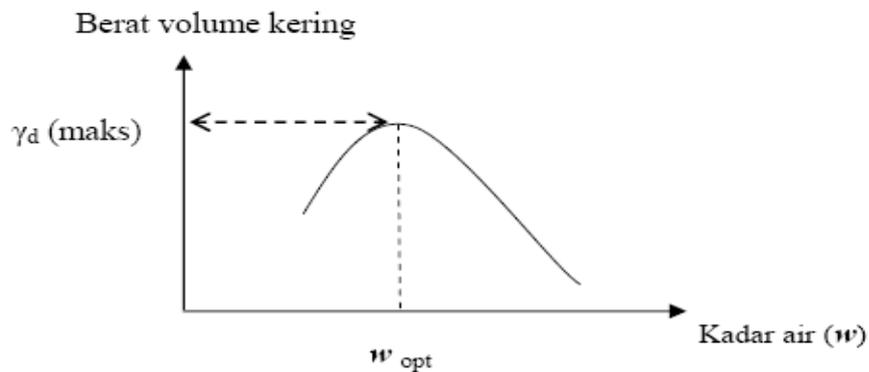
$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{w+1} \dots \dots \dots \text{(Persamaan 2.1)}$$

2.8.1. Penentuan Kadar Air Optimum

Untuk mengetahui kadar air yang optimum pada tanah, maka dilakukan pengujian pemadatan modified, pengujian tersebut dilakukan dengan pemadatan sampel tanah basah (pada kadar air terkontrol) dalam suatu cetakan dengan jumlah 5 lapisan. Setiap lapisan dipadatkan dengan 56 tumbukan yang ditentukan dengan penumbuk dengan massa 5 kg dan tinggi jatuh 45.72 cm. Energi pemadatan sebesar 592,57 kilo Joule/m³.

Kadar air yang memberikan berat kering yang maksimal disebut kadar air optimum. Untuk tanah berbutir halus dalam mendapatkan kadar air optimum digunakan batas plastisnya. Buat kurva hubungan antara kadar air (w) sebagai absis dan berat volume tanah kering sebagai ordinat, puncak kurva sebagai nilai γ_d (maks), kurva yang digunakan adalah kurva dari uji pemadatan tanah (proktor standar).

Kurva hubungan kadar air dengan berat volume kering ditunjukkan pada gambar 2.6 berikut ini:



Gambar 2.6 Kurva hubungan kadar air dengan berat volume kering
Sumber : Hardiyatmo, H.C. 1992, Mekanika Tanah hal 55

2.9. Percobaan CBR Unsoaked

Cara CBR dikembangkan oleh California State Highway Departement sebagai cara untuk menilai kekuatan tanah dasar jalan (subgrade). Nilai CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas suatu bahan dibanding dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100 %. CBR menunjukkan nilai relatif kekuatan tanah, semakin tinggi kepadatan tanah maka nilai CBR akan semakin tinggi. Walaupun demikian, tidak berarti bahwa sebaiknya tanah dasar dipadatkan dengan kadar air rendah supaya mendapat nilai CBR yang tinggi, karena kadar air kemungkinan tidak akan konstan pada kondisi ini. Cara yang dipakai untuk mendapat “ design CBR “ ini ditentukan dengan perhitungan dua faktor, yaitu (Wesley, 1977):

- a) Kadar air tanah serta berat isi kering pada waktu dipadatkan.
- b) Perubahan pada kadar air yang mungkin akan terjadi setelah perkerasan selesai dibuat.