1. **TINJAUAN PUSTAKA**
2. **Tanah**

Tanah didefinisikan sebagai 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, 1988).

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

Tanah dalam ilmu Teknik Sipil merupakan himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relative lepas (*loose*) yang terletak di atas batu dasar (*bedrock*) (Hardiyatmo, H.C., 1992, hal 1).

Bagi insinyur sipil, kata "tanah" merujuk ke material yang tidak membatu, tidak termasuk batuan dasar, yang terdiri dari butiran-butiran mineral yang memiliki ikatan yang lemah serta memiliki bentuk dan ukuran, bahan organik, air dan gas yang bervariasi. Jadi tanah meliputi gambut, tanah organik, lempung, lanau, pasir dan kerikil atau campurannya (Panduan Geoteknik 1, 2001). Sedangkan menurut *Dunn*, 1980 berdasarkan asalnya, tanah diklasifikasikan secara luas menjadi 2 macam yaitu :

1. Tanah organik adalah campuran yang mengandung bagian-bagian yang cukup berarti berasal dari lapukan dan sisa tanaman dan kadang-kadang dari kumpulan kerangka dan kulit organisme.
2. Tanah anorganik adalah tanah yang berasal dari pelapukan batuan secara kimia ataupun fisis.

Awal mula terjadinya tanah adalah disebabkan oleh pelapukan batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil akibat proses mekanis dan kimia. Pelapukan mekanis disebabkan oleh memuai dan menyusutnya batuan oleh perubahan panas dan dingin yang terus-menerus (cuaca, matahari dan lain-lain) dan juga akibat gerusan oleh aliran air yang akhirnya menyebabkan hancurnya batuan tersebut. Selain itu air yang mengalir di sungai dapat menyebabkan gerusan pada batuan tersebut. Dalam proses pelapukan mekanis tidak terjadi perubahan susunan kimiawi dari mineral batuan tersebut. Pada proses pelapukan kimia mineral batuan induk diubah menjadi mineral-mineral baru melalui reaksi kimia.

Tanah menurut Bowles (1989) 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 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.

Istilah tanah dalam bidang mekanika tanah dapat digunakan mencakup semua bahan seperti lempung, pasir, kerikil dan batu-batu besar. Metode yang dipakai dalam teknik sipil untuk membedakan dan menyatakan berbagai tanah, sebenarnya sangat berbeda dibandingkan dengan metode yang dipakai dalam bidang geologi atau ilmu tanah. Sistem klasifikasi yang digunakan dalam mekanika tanah dimaksudkan untuk memberikan keterangan mengenai sifat-sifat teknis dari bahan-bahan itu dengan cara yang sama, seperti halnya pernyatan-pernyataan secara geologis dimaksudkan untuk memberi keterangan mengenai asal geologis dari tanah.

1. **Klasifikasi Tanah**

Klasifikasi tanah itu sendiri berarti usaha untuk membeda-bedakan tanah berdasarkan atas sifat-sifat yang dimilikinya. Dengan adanya sistem klasifikasi ini dapat diperoleh penjelasan secara singkat mengenai sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang rinci. Klasifikasi umumnya di dasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastisitas.

Sistem klasifikasi bukan merupakan sistem identifikasi untuk menentukan sifat-sifat mekanis dan geoteknis tanah. Karenanya, klasifikasi tanah bukanlah satu-satunya cara yang digunakan sebagai dasar untuk perencanaan dan perancangan konstruksi.

Ada beberapa macam sistem klasifikasi tanah sebagai hasil pengembangan dari sistem klasifikasi yang sudah ada. Tetapi yang paling umum digunakan adalah:

* 1. **Sistem 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 |

* 1. **Sistem Klasifikasi AASTHO**

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official)* ini dikembangkan dalam tahun 1929 sebagai *Public Road Administrasion Classification System*. Sistem ini telah mengalami beberapa perbaikan, yang berlaku saat ini adalah yang diajukan oleh *Commite on Classification of Material for Subgrade and* *Granular Type Road of the Highway Research Board* pada tahun 1945 (ASTM Standar No. D-3282, AASHTO model M145). Sistem AASHTO dipakai hampir secara eksklusif oleh beberapa departemen transportasi negara bagian di Amerika Serikat dan oleh Federal highway Administration (Administrasi Jalan Raya Federal) dalam spesifikasi pekerjaan tanah untuk lintas transportasi (Bowles, 1991).

Sistem klasifikasi AASHTO bermanfaat untuk menentukan kualitas tanah guna pekerjaan jalan yaitu lapis dasar (*subbase*) dan tanah dasar (*subgrade*). Karena sistem ini ditujukan untuk pekerjaan jalan tersebut, maka penggunaan sistem ini dalam prakteknya harus dipertimbangkan terhadap maksud aslinya. Sistem ini membagi tanah ke dalam 7 kelompok utama yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir di mana 35 % atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200. Tanah di mana lebih dari 35 % butirannya tanah lolos ayakan No. 200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5 A-6, dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung. Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria di bawah ini :

1. Ukuran Butir

Kerikil : bagian tanah yang lolos ayakan diameter 75 mm (3 in) dan yang tertahan pada ayakan No. 10 (2 mm).

Pasir : bagian tanah yang lolos ayakan No. 10 (2 mm) dan yang tertahan pada ayakan No. 200 (0.075 mm).

Lanau dan lempung : bagian tanah yang lolos ayakan No. 200.

1. Plastisitas

Nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 10 atau kurang. Nama berlempung dipakai bilamana bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis indeks plastisnya 11 atau lebih.





**Gambar 2**. Nilai - nilai batas Atterberg untuk subkelompok tanah

1. Apabila batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) di temukan di dalam contoh tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu. Tetapi, persentase dari batuan yang dileluarkan tersebut harus dicatat.

Apabila sistem klasifikasi AASHTO dipakai untuk mengklasifikasikan tanah, maka data dari hasil uji dicocokkan dengan angka-angka yang diberikan dalam Tabel 1 dari kolom sebelah kiri ke kolom sebelah kanan hingga ditemukan angka-angka yang sesuai.

**Tabel 2**. Klasifikasi Tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan raya (Sistem AASHTO)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Klasifikasi Umum** | **Tanah berbutir (35 % atau kurang dari seluruh contoh tanah**  **lolos ayakan No. 200)** | | | | | | | **Tanah lanau - lempung (lebih dari 35 % dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)** | | | |
| Klasifikasi Kelompok | A-1 | | A-3 | A-2 | | | | A-4 | A-5 | A-6 | A-7 |
| A-1a | A-1b | A-2-4 | A-2-5 | A-2-6 | A-2-7 | A-7-5\*  A-7-6\*\* |
| Analisis ayakan  (% lolos) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| No. 10 | ≤ 50 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| No. 40 | ≤ 30 | ≤ 50 | ≥ 51 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| No. 200 | ≤ 15 | ≤ 25 | ≤ 10 | ≤ 35 | ≤ 35 | ≤ 35 | ≤ 35 | ≥ 36 | ≥ 36 | ≥ 36 | ≥ 36 |
| Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Batas Cair (LL) | --- | | --- | ≤ 40 | ≥ 41 | ≤ 40 | ≥ 41 | ≤ 40 | ≥ 40 | ≤ 40 | ≥ 41 |
| Indek Plastisitas (PI) | ≤ 6 | | NP | ≤ 10 | ≤ 10 | ≥ 11 | ≥ 11 | ≤ 10 | ≤ 10 | ≥ 11 | ≥ 11 |
| Tipe material yang paling dominan | Batu pecah, kerikil dan pasir | | Pasir halus | Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung | | | | Tanah berlanau | | Tanah berlempung | |
| Penilaian sebagai bahan tanah dasar | Baik sekali sampai baik | | | | | | | Biasa sampai jelek | | | |

Keterangan : \*\* Untuk A-7-5, PI ≤ LL – 30

\*\* Untuk A-7-6, PI > LL – 30

Sumber : Das, 1995.

* 1. **Sistem Klasifikasi Tanah *Unified* (USCS)**

Klasifikasi tanah sistem ini diajukan pertama kali oleh Casagrande dan selanjutnya dikembangkan oleh *United State Bureau of Reclamation* (USBR) dan *United State Army Corps of Engineer* (USACE). Kemudian *American Society for Testing and Materials* (ASTM) telah memakai USCS sebagai metode standar guna mengklasifikasikan tanah. Dalam bentuk yang sekarang, sistem ini banyak digunakan dalam berbagai pekerjaan geoteknik. Dalam USCS, suatu tanah diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama yaitu :

* + 1. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soils*) yang terdiri atas kerikil dan pasir yang mana kurang dari 50% tanah yang lolos saringan No. 200 (F200 < 50). Simbol kelompok diawali dengan **G** untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil (*gravelly soil*) atau **S** untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir (*sandy soil*).
    2. Tanah berbutir halus (*fine-grained soils*) yang mana lebih dari 50% tanah lolos saringan No. 200 (F200 ≥ 50). Simbol kelompok diawali dengan **M** untuk lanau inorganik (inorganic silt), atau **C** untuk lempung inorganik (*inorganic clay*), atau **O** untuk lanau dan lempung organik. Simbol **Pt** digunakan untuk gambut (*peat*), dan tanah dengan kandungan organik tinggi.

Simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi adalah **W** - untuk gradasi baik (*well graded*), **P** - gradasi buruk (*poorly graded*), **L** - plastisitas rendah (*low plasticity*) dan **H** - plastisitas tinggi (*high plasticity*).

Adapun menurut *Bowles*, 1991 kelompok-kelompok tanah utama pada sistem klasifikasi *Unified* diperlihatkan pada Tabel 3 berikut ini :

**Tabel 3**. Sistem Klasifikasi Tanah *Unified*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Jenis Tanah** | **Simbol** | **Sub Kelompok** | **Simbol** |
| Kerikil  Pasir  Lanau  Lempung  Organik  Gambut | G  S  M  C  O  Pt | Gradasi Baik  Gradasi Buruk  Berlanau  Berlempung  WL<50%  WL>50% | W  P  M  C  L  H |

Sumber : Bowles, 1991.

Dimana :

W = *Well Graded* (tanah dengan gradasi baik),

P = *Poorly Graded* (tanah dengan gradasi buruk),

L = *Low Plasticity* (plastisitas rendah, LL<50),

H = *High Plasticity* (plastisitas tinggi, LL> 50).

Klasifikasi sistem tanah *unified* secara visual di lapangan sebaiknya dilakukan pada setiap pengambilan contoh tanah. Hal ini berguna di samping untuk dapat menentukan pemeriksaan yang mungkin perlu ditambahkan, juga sebagai pelengkap klasifikasi yang di lakukan di laboratorium agar tidak terjadi kesalahan label.

# Tabel 4. Sistem Klasifikasi *Unified*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Divisi Utama** | | | **Simbol** | **Nama Umum** |  | **Kriteria Klasifikasi** | |
| Tanah berbutir kasar≥ 50% butiran  tertahan saringan No. 200 | Kerikil 50%≥ fraksi kasar  tertahan saringan No. 4 | Kerikil bersih  (hanya kerikil) | GW | Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus | Klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus ; Kurang dari 5% 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 | Cu = D60 > 4  D10  Cc = (D30)2 Antara 1 dan 3  D10 x D60 | |
| GP | Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus | Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW | |
| Kerikil dengan  Butiran halus | GM | Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau | Batas-batas *Atterberg* di bawah garis A atau PI < 4 | Bila batas *Atterberg* berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol |
| GC | Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung | Batas-batas *Atterberg* di bawah garis A atau PI > 7 |
| Pasir≥ 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 = D60 > 6  D10  Cc = (D30)2 Antara 1 dan 3  D10 x D60 | |
| SP | Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus | Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW | |
| Pasir  dengan butiran  halus | SM | Pasir berlanau, campuran pasir-lanau | Batas-batas *Atterberg* di bawah garis A atau PI < 4 | Bila batas *Atterberg* berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol |
| SC | Pasir berlempung, campuran pasir-lempung | Batas-batas *Atterberg* di bawah garis A atau PI > 7 |
| Tanah berbutir halus  50% atau lebih lolos ayakan No. 200 | | Lanau dan lempung batas cair ≤ 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 *Atterberg* yang termasuk dalam daerah yang di arsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol.  60  50 CH  40 CL  30 Garis A  CL-ML  20    4 ML ML atau OH  0 10 20 30 40 50 60 70 80  Batas Cair (%)  Garis A : PI = 0.73 (LL-20) | | |
| CL | Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung “kurus” (*lean clays*)  Batas Plastis (%) |
| OL | Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah |
| Lanau dan lempung batas cair ≥ 50% | MH | Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis |
| CH | Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung “gemuk” (*fat clays*) |
| OH | Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi |
| Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi | | | PT | *Peat* (gambut), *muck*, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi | Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488 | | |
| Sumber : Hary Christady, 1996. | | | | | | | |

1. **Tanah Lempung**
2. **Definisi Tanah Lempung**

Tanah lempung adalah kumpulan dari partikel-partikel mineral lempung dan bukan lempung, yang memiliki sifat-sifat yang sebagian besar, walaupun tidak secara keseluruhan, ditentukan oleh mineral-mineral lempung. Beberapa pendapat para peneliti mengenai definisi dari tanah lempung, yaitu:

1. Tanah lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik dan submikroskopik yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering dan bersifat plastis pada kadar air sedang. Pada keadaan air lebih tinggi, lempung bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak. (Das, 1985)
2. Tanah lempung merupakan deposit yang mempunyai partikel berukuran lebih kecil atau sama dengan 0,002 mm dalam jumlah lebih dari 50%. (Bowles, 1984)
3. Tanah lempung memiliki ukuran butiran halus > 0,002 mm, permeabilitas rendah, kenaikan air kapiler tinggi, bersifat sangat kohesif, kadar kembang susut yang tinggi dan poses konsolidasi lambat. (Hardiyatmo, 1996)
4. 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 diubah-ubah tanpa perubahan isi atau tanpa kembali ke bentuk aslinya, dan tanpa terjadi retakan-retakan atau terpecah-pecah. (Wesley, 1977)
5. **Sifat dan Karakteristik Tanah Lempung**

Tanah lempung memiliki indeks plastisitas yang tinggi. Indeks Plastisitas (IP) menunjukkan tingkat keplastisan tanah. Apabila suatu jenis tanah mempunyai nilai Indeks Plastisitas tinggi, maka jenis tanah tersebut pasti mempunyai butiran lempung dalam persentase yang besar. Pada Tabel 5 dapat diketahui hubungan nilai indeks plastisitas dengan jenis tanah.

**Tabel 5 .** Hubungan nilai Indeks Plastisitas dengan Jenis Tanah

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| PI | Jenis Tanah | Plastisitas | Kohesi |
| 0 | Pasir | Non Plastis | Non Kohesif |
| <7 | Lanau | Rendah | Agak Kohesif |
| 7-17 | Lempung Berlanau | Sedang | Kohesif |
| >17 | Lempung Murni | Tinggi | Kohesif |

Sumber : Mekanika Tanah II, Hardiyatmo, 2002

Tanah lempung juga memiliki sifat khas yaitu dapat mengembang dan menyusut dengan cepat karena pengaruh air sehingga dapat menimbulkan kerusakan pada struktur yang berada di atasnya. Adapun sifat-sifat umum dari mineral lempung, yaitu:

1. Pengaruh Air

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 tetrakolrida (CCl4) yang jika dicampur lempung tidak akan terjadi apapun.

1. Flokulasi dan Dispersi

Apabila mineral lempung terkontaminasi dengan substansi yang tidak mempunyai bentuk tertentu atau tidak berkristal (*amophus*) maka daya negatif, 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 *thiksotropic*, dimana kekuatan didapatkan dari lamanya waktu.

1. Aktivitas

Aktivitas tanah lempung merupakan perbandingan antara indeks plastisitas (PI) dengan prosentase butiran yang lebih kecil dari 2 µm yang dinotasikan dengan huruf *C* dandisederhanakan dalam persamaan berikut:



Aktivitas digunakan sebagai indeks untuk mengidentifikasi kemampuan mengembang tanah lempung. Gambar 6 berikut mengklasifikasikan mineral lempung berdasarkan nilai aktivitasnya yakni:

1. *Montmorrillonite* dengan nilai aktivitas (A) ≥ 7,2;
2. *Illite* dengan nilai aktivitas (A) ≥ 0,9 dan < 7,2;
3. *Kaolinite* dengan nilai aktivitas (A) ≥ 0,38 dan < 0,9; dan
4. *Polygorskite* dengan nilai aktivitas (A) < 0,38.



**Natrium montmorilonite (*A* = 7,2)**

**Illite ( *A* = 0,9)**

**kaolinite *(A = 0,38)***

**Gambar 3**. Aktivitas Mineral Lempung

1. 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 temperatur yang lebih tinggi dari 60ºC-100ºC dan akan mengurangi plastisitas alamiah, tetapi sebagian air juga dapat menghilang cukup dengan pengeringan udara saja.

1. 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:

1. Tipe dan jumlah mineral yang ada di dalam tanah;
2. Kadar air;
3. Susunan tanah;
4. Konsentrasi garam dalam air pori; dan
5. Sementasi dan adanya bahan organik.

**Tabel 6**. Sifat Tanah Lempung (Hardiyatmo, 2002)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Tipe Tanah | Sifat | Uji Lapangan |
| Lempung | Sangat Lunak | Meleleh diantara jari ketika diperas |
| Lunak | Dapat diperas dengan mudah |
| Keras | Dapat diperas dengan tekanan jari yang kuat |
| Kaku | Tidak dapat diperas dengan jari, tapi dapat ditekan dengan jari |
| Sangat Kaku | Dapat ditekan dengan jari |

1. **Tanah Lempung Lunak**

Menurut Panduan Geoteknik 1, 2001, penggunaan istilah “tanah lunak” berkaitan dengan: tanah-tanah yang jika tidak dikenali dan harus diselidiki secara berhati-hati karena dapat menyebabkan masalah ketidakstabilan dan penurunan jangka panjang yang tidak dapat ditolerir. Tanah tersebut mempunyai kuat geser yang rendah dan kompresibilitas yang tinggi. Adapun salah satu tipe tanah yang termasuk ke dalam jenis tanah lunak yaitu lempung lunak.

Tanah lempung lunak adalah tanah yang mengandung mineral-mineral lempung dan memiliki kadar air yang tinggi, yang menyebabkan kuat geser yang rendah. Dalam rekayasa geoteknik istilah 'lunak' dan 'sangat lunak' khusus didefinisikan untuk lempung dengan kuat geser seperti ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Definisi Kuat Geser Lempung Lunak

|  |  |
| --- | --- |
| **Konsistensi** | **Kuat Geser (kN/m2)** |
| Lunak | 12,5-25 |
| Sangat Lunak | < 12,5 |

Sebagai indikasi dari kekuatan lempung-lempung tersebut prosedur identifikasi lapangan pada Tabel 8 memberikan beberapa petunjuk.

**Tabel 8**. Indikator Kuat Geser Tak Terdrainase Tanah Lempung Lunak

|  |  |
| --- | --- |
| **Konsistensi** | **Indikasi Lapangan** |
| Lunak | Bisa dibentuk dengan mudah dengan jari tangan |
| Sangat Lunak | Keluar di antara jari tangan jika diremas dalam  kepalan tangan |

Tanah lempung lunak juga mempunyai sifat khas antara lain daya dukung yang rendah, kadar air yang relatif tinggi dan mempunyai nilai permeabilitas yang rendah.

**E. Stabilisasi Elektro-Kimiawi TX-300**

1. **Karakteristik TX 300**

TX 300 adalah campuran unik bahan kimia yang multi guna. TX 300 merupakan *stabilizer* cair dan penguat tanah, digunakan membangun struktur dasar jalan yang kokoh dan tahan lama untuk jalan yang dilapis aspal/beton dan membangun jalan tanpa lapisan penutup yang tahan lama dan tahan terhadap perubahan cuaca.

Stabilisasi menggunakan TX 300 dapat bertahan untuk waktu yang lama. TX 300 memberikan beberapa keuntungan, yaitu:

1. Daya dukung yang kuat/kokoh, TX 300 memberikan struktur dasar yang kuat sehingga mampu membuat jalan yang mulus dan tidak berdebu. Meningkatkan CBR secara signifikan dan mengurangi indeks plastistisitas tanah.
2. Waktu konstruksi yang cepat, lebih cepat dibandingkan dengan pembuatan struktur dasar jalan yang normal.
3. Lebih ekonomis, meminimalisasi penggunaan bahan lapisan penutup jalan (aspal/beton). Atau tidak menggunakan lapisan penutup sama sekali.
4. Tahan lama, baik dengan perawatan yang minimal atau tanpa perawatan sama sekali.
5. Ramah lingkungan dan aman bagi manusia (lulus persyaratan dan standard dari US EPA dan ISO 9002).

TX300 bila diaplikasikan secara tepat akan memadatkan tanah dan menjadikan struktur tanah yang keras dan kedap air. Fungsi lain dari zat aditif TX 300 ini adalah:

1. Memperkuat pondasi bangunan;
2. Konstruksi landasan pesawat, lantai lapangan parkir, lantai area pergudangan; dan
3. Memperkuat campuran beton.

TX 300 dirancang secara khusus menggunakan bahan baku asli untuk menstabilkan dan memperkuat tanah. Kebanyakan *stabilizer* cair lainnya berasal dari proses industri seperti industri kayu, pengolahan minyak dan industri kimia. Ada beberapa tujuan *stabilizer* cair tetapi pada umumnya mereka tidak seefektif TX 300 dan lebih mahal.

TX 300 ramah lingkungan dan tidak membutuhkan label peringatan yang membahayakan TX 300 memungkinkan untuk digunakan dalam jangka waktu yang lama di dalam kotak penyimpanan. TX 300 tidak menyebabkan korosi, tidak mudah terbakar, tidak menimbulkan alergi dan tidak beracun. TX 300 tersusun dari bahan mentah industri dan mengandung bahan yang tidak dapat didaur ulang atau produk sekali pakai.

TX 300 dapat digunakan hampir di semua tipe atau kombinasi tanah, kecuali pasir murni. Apabila TX 300 akan digunakan pada pasir, maka pasir tersebut harus dicampur terlebih dahulu dengan tanah, lempung, atau jenis tanah lainnya. TX 300 bekerja dengan baik untuk tanah tipe A-2-4, A-2-6, A-4, A-5, A-6 dan A-7 menurut klasifikasi tanah AASHTO.

Sebagian besar jalan di provinsi Lampung yang menghubungkan pertanian, desa dan perkebunan tidak beraspal dan untuk alasan sebagian besar ekonomi, akan tetap tidak beraspal. Ada juga daerah dimana jalan beraspal yang tidak diinginkan, seperti taman rekreasi, pertambangan dan operasi minyak lapangan serta situs sejarah. Jalan-jalan beraspal tidak stabil, biasanya kasar, berdebu dan sering menjadi tidak aman apabila dilalui pada saat cuaca buruk.

1. **Mekanisme Kerja TX 300**

TX 300 sebagai salah satu *stabilizing agent*, TX 300 memiliki mekanisme kerja tersendiri bila bereaksi dengan air sebagai media mencampurnya dan tanah sebagai media yang distabilisasi. Adapun mekanisme kerja TX 300 secara kimiawi, antara lain:

1. Cairan anorganik pada TX 300 bekerja saat dilarutkan dengan pengaruh polimer yang bereaksi menjadi katalisator. Senyawa yang terkandung di dalamnya membentuk ikatan dan mengikat senyawa pigmen organik dan anorganik tanah dalam *subgrade*, *base* dan material permukaan jalan, khususnya dalam batu kapur, bijih besi, lempung, pasir, semen, aspal bekas. Karena terjadi pengurangan air dalam tanah, maka senyawa-senyawa tersebut meningkatkan ikatan impermeabel menjadi maksimal.
2. Kandungan kimia TX 300 memiliki lebih banyak proses pengikatan senyawa daripada reaksi kimia seperti yang ditemukan pada *stabilizer* belerang atau klorida yang menyebabkan korosi. Pada *stabilizer* asam sulfur, material jalan mengeras dengan reaksi kimia atau “kristalisasi” yang hanya memisahkan, terutama material yang mengandung semen atau kalsium seperti yang ditemukan pada cangkang atau batu kapur. Secara berlawanan, TX 300 merupakan senyawa koloid. Senyawa terbentuk karena pertukaran ion yang menghasilkan bentuk gel (setengah padat) yang mengubah bentuk dari cair menjadi padat kemudian mengubahnya menjadi permanen. Ikatan impermeabel yang tetap (kaku) mengubahnya menjadi berlawanan dengan kelembaban yang terdapat dalam rongga, menurunkan indeks plastisitas dan menurunkan tegangan permukaan sebagai proses sementasi yang pada akhirnya menaikkan daya dukung tanah.
3. Reaksi polimer TX 300 menjadi lapisan tipis keras. Ketika lapisan mengeras, air akan terpisah dari tanah. Komponen-komponen mencapai viskositas maksimum dan mengubahnya menjadi lebih kuat. TX 300 menekan lapisan-lapisan menjadi ikatan partikel yang kecil secara bersamaan, oleh karena itu pengikatan dan peningkatan komponen biasanya menggunakan 2 metode yaitu:
4. Dehidrasi
5. Mekanisme ikatan kimia yang menempa material menjadi lebih lekat, lebih kuat, dan tidak dapat dipisahkan.

**F*. California Bearing Ratio* (CBR)**

Metode perencanaan perkerasan jalan yang umum dipakai adalah cara-cara empiris dan yang biasa dikenal adalah cara CBR (*California Bearing Rati*o). Metode ini dikembangkan oleh *California State Highway Departement* sebagai cara untuk menilai kekuatan tanah dasar jalan (*subgrade*). Istilah CBR menunjukkan suatu perbandingan (*ratio*) antara beban yang diperlukan untuk menekan piston logam kedalam tanah untuk mencapai penurunan (penetrasi) tertentu dengan beban yang diperlukan pada penekanan piston terhadap material batu pecah di California pada penetrasi yang sama (Canonica, 1991).

Harga CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100 % dalam memikul beban. Sedangkan, nilai CBR yang didapat akan digunakan untuk menentukan tebal lapisan perkerasan yang diperlukan di atas lapisan yang mempunyai nilai CBR tertentu.

**1. Jenis-Jenis CBR**

Berdasarkan cara mendapatkan contoh tanahnya, CBR dapat dibagi yaitu :

1. CBR Lapangan

CBR lapangan disebut juga CBR *inplace* atau *field* *inplace* . CBR lapangan memiliki kegunaan yaitu untuk mendapatkan nilai CBR asli di lapangan sesuai dengan kondisi tanah pada saat itu. Umumnya digunakan untuk perencanaan tebal lapis perkerasan yang lapisan tanah dasarnya sudah tidak akan dipadatkan lagi. CBR lapangan juga di gunakan untuk mengontrol apakah kepadatan yang diperoleh sudah sesuai dengan yang diinginkan. Metode pemeriksaannya dengan meletakkan piston pada kedalaman dimana nilai CBR akan ditentukan lalu dipenetrasi dengan menggunakan beban yang dilimpahkan melalui gardan truk.

1. CBR Lapangan Rendaman (*undisturbed soaked* CBR)

CBR lapangan rendaman ini berfungsi untuk mendapatkan besarnya nilai CBR asli di lapangan pada keadaan jenuh air dan tanah mengalami pengembangan (*swelling*) yang maksimum. Pemeriksaan dilakukan dengan mengambil contoh tanah dalam tabung (*mold*) yang ditekan masuk kedalam tanah mencapai kedalaman yang diinginkan. Tabung berisi contoh tanah dikeluarkan dan direndam dalam air selama beberapa hari sambil diukur pengembangannya. Setelah pengembangan tidak terjadi lagi, barulah dilakukan pemeriksaan besarnya CBR.

1. CBR Laboratorium

CBR ini disebut CBR Laboratorium karena disiapkan di Laboratorium. Tanah dasar pada konstruksi jalan baru dapat berupa tanah asli, tanah timbunan atau tanah galian yang dipadatkan sampai mencapai 95% kepadatan maksimum. Dengan demikian daya dukung tanah dasar merupakan kemampuan lapisan tanah yang memikul beban setelah tanah itu dipadatkan.

**2. Pengujian Kekuatan dengan CBR**

Alat yang digunakan untuk menentukan besarnya CBR berupa alat yang mempunyai piston dengan kecepatan gerak vertikal ke bawah 0,05 inch/menit, *proving ring* digunakan untuk mengukur beban yang dibutuhkan pada penetrasi tertentu yang diukur dengan arloji pengukur (*dial*). Penentuan nilai CBR yang biasa digunakan untuk menghitung kekuatan pondasi jalan adalah penetrasi 0,1" dan penetrasi 0,2", yaitu dengan rumus sebagai berikut:



Nilai CBR pada penetrasi 0,1" =



Nilai CBR pada penetrasi 0,2" =

Dimana:

A = pembacaan dial pada saat penetrasi 0,1"

B = pembacaan dial pada saat penetrasi 0,2"

**G. Batas-Batas *Atterberg***

Batas kadar air yang mengakibatkan perubahan kondisi dan bentuk tanah dikenal pula sebagai batas-batas konsistensi atau batas-batas *Atterberg* (yang mana diambil dari nama peneliti pertamanya yaitu Atterberg pada tahun 1911).

Kadar air yang terkandung dalam tanah berbeda-beda pada setiap kondisi tersebut yang mana bergantung pada interaksi antara partikel mineral lempung. Bila kandungan air berkurang maka ketebalan lapisan kation akan berkurang pula yang mengakibatkan bertambahnya gaya-gaya tarik antara partikel-partikel. Sedangkan jika kadar airnya sangat tinggi, campuran tanah dan air akan menjadi sangat lembek seperti cairan. Oleh karena itu, atas dasar air yang dikandung tanah, tanah dapat dibedakan ke dalam empat keadaan dasar, yaitu: padat (*solid*), semi padat (*semi solid*), plastis (*plastic*), dan cair (*liquid*), seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4.



**Gambar 4**. Batas-batas *Atterberg*

Adapun yang termasuk ke dalam batas-batas *Atterberg* antara lain:

1. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair (LL) adalah kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis.

1. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis (PL) adalah kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3 mm mulai retak-retak, putus atau terpisah ketika digulung.

1. Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Batas susut (SL) adalah kadar air yang didefinisikan pada derajat kejenuhan 100%, dimana untuk nilai-nilai dibawahnya tidak akan terdapat perubahan volume tanah apabila dikeringkan terus. Harus diketahui bahwa batas susut makin kecil maka tanah akan lebih mudah mengalami perubahan volume.

1. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks plastisitas (PI) adalah selisih antara batas cair dan batas plastis. Indeks plastisitas merupakan interval kadar air tanah yang masih bersifat plastis.

**H. Waktu Pemeraman**

Waktu pemeraman adalah waktu perawatan sampel uji tanah setelah dicampur dengan bahan pencampur *(additive)* dan dipadatkan dengan alat pemadat. Pada waktu pemeraman tersebut terjadi reaksi hidrasi (penyerapan air) pada campuran dan terjadi ikatan antara bahan partikel-partikel tanah oleh bahan pencampur seperti semen, kapur, *fly ash,* ISS 2500, TX-300 dan lain-lain. Sehingga partikel-­partikel tanah lebih menyatu dan nilai daya dukung tanah pun meningkat. Pada umumnya waktu pemeraman yang sering digunakan pada penelitian stabilisasi tanah yaitu 0 hari, 7 hari , 14 hari, dan 28 hari.

Pada penelitian ini, stabilisasi tanah dengan bahan pencampur menggunakan TX-300 dengan pada variasi waktu pemeraman yaitu 0 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Dari variasi tersebut akan diteliti sejauh mana pengaruh waktu pemeraman terhadap kenaikan daya dukung tanah. Sehingga akan diketahui lamanya waktu pemeraman efektif untuk tanah TX-300yang digunakan sebagai tanah dasar jalan.

1. **Tinjauan Penelitian Terdahulu**

Beberapa penelitian laboratorium yang menjadi bahan pertimbangan dan acuan penelitian ini dikarenakan adanya kesamaan metode, waktu pemeraman dan sampel tanah yang digunakan, akan tetapi untuk bahan aditif dan variasi campuran yang berbeda, antara lain :

* 1. Studi Daya Dukung Tanah Lempung Lunak yang Distabilisasi Menggunakan TX 300 Sebagai Lapisan Subgrade.

Penelitian yang dilakukan oleh Mirsa Susmarani pada tahun 2012 adalah mengenai “Studi Daya Dukung Tanah Lempung Lunak yang Distabilisasi Menggunakan TX 300 Sebagai Lapisan Subgrade”. Pada penelitian ini dilakukan pencampuran tanah dan TX-300 dengan variasi kadar TX-300 yang digunakan sebanyak 0 ml, 0,3 ml, 0,6 ml, 0,9 ml, 1,2ml dan 1,5ml. Dan hasil dari penelitian tersebut mengatakan bahwa penggunaan bahan campuran TX-300 sebagai bahan stabilisasi pada tanah lempung lunak dari Rawa Sragi, Desa Belimbing Sari, Kecamatan Jabung, Kabupaten Lampung Timur, mampu meningkatkan kekuatan daya dukungnya sebanyak lebih dari 100%. Sedangkan untuk kadar TX-300 yang menghasilkan nilai daya dukung paling tinggi adalah ketika sampel tanah dicampur dengan 0,9 ml TX-300 dengan pemeraman selama 7 hari. Sehingga dapat disimpulkan penggunaan TX-300 juga cukup efektif dalam meningkatkan daya dukung tanah lempung lunak tersebut sebagai *subgrade*.

Hasil pengujian nilai CBR dapat dilihat pada tabel 9.

**Tabel 9**. Hasil Pengujian CBR dengan Kadar TX 300

|  |  |
| --- | --- |
| Kadar TX 300 | CBR |
| 0 ml | 8,1% |
| 0,3 ml | 16,1% |
| 0,6 ml | 18,8% |
| 0,9 ml | 19,1% |
| 1,2 ml | 16,0% |
| 1,5 ml | 12,3% |

1. Perbaikan tanah lempung lunak menggunakan ISS 2500.

Penelitian yang dilakukan oleh Aljius pada tahun 2011 adalah mengenai “Perbaikan Tanah Lempung Lunak Menggunakan ISS 2500 (*Ionic Soil Stabilizer*) Terhadap Waktu Pemeraman (*Curing Time*)” mengatakan bahwa penggunaan bahan campuran ISS 2500 sebagai bahan stabilisasi pada tanah lempung lunak Rawa Sragi dengan perlakuan lanjutan dari penelitian yang telah dilakukan oleh Luki Sandi pada tahun 2010 yang menggunakan variasi campuran kadar ISS 2500 sebanyak 0,5 ml, 0,8 ml, 1,1 ml dan 1,5 ml didapatkan kadar ISS 2500 optimum pada campuran 0,8 ml sehingga pada penelitian Aljius ini menggunakan kadar ISS 2500 optimum yang dilakukan pemeraman selama 0 hari, 7 hari, 14 hari dan 28 hari serta rendaman selama 4 hari mampu meningkatkan kekuatan daya dukungnya.

Hasil pengujian nilai CBR pada variasi waktu pemeraman dapat dilihat pada tabel 10.

**Tabel 10**. Hasil pengujian CBR tiap kadar (Aljius, 2011)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Waktu Pemeraman  Kadar ISS 2500  Optimum 0,8 ml | CBR  (Tanpa Rendaman) | CBR  (Rendaman) |
| 0 hari | 29 % | 7,7 % |
| 7 hari | 29,5 % | 8,4 % |
| 14 hari | 38 % | 11,5 % |
| 28 hari | 39,8 % | 12 % |