

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jembatan merupakan struktur yang dibuat untuk menyeberangi jurang atau rintangan seperti sungai, jalan raya, rel kereta api dan sebagainya. Keberadaan jembatan pada suatu daerah kadangkala sangat diperlukan berfungsi sebagai penghubung dua wilayah yang berbeda disamping itu keberadaan jembatan berperan penting dalam peningkatan taraf hidup masyarakat. Hal ini dapat kita lihat dengan fungsi ekonomi dari jembatan sebagai fasilitas atau sarana untuk meningkatkan arus logistik dari suatu daerah ke daerah yang lain.

Dalam proses pembangunan konstruksi jembatan kadangkala diperlukan juga pekerjaan-pekerjaan pendukung seperti timbunan dan urugan (*cut and fill*), terutama untuk daerah-daerah atau lokasi tertentu yang mempunyai tanah dasar yang tidak baik dan tidak layak digunakan sebagai subbase dari konstruksi jalan. Cara yang paling sederhana ialah dengan membuat pemadatan tanah diharapkan dengan proses pemadatan tersebut akan menghasilkan keadaan tanah dasar (*subgrade*) yang layak untuk konstruksi jalan, namun jika proses pemadatan ini tidak dapat menghasilkan tanah dasar (*subgrade*) yang layak, maka akan dilakukan penggantian tanah dasar (*Subgrade*) dengan tanah timbunan.

Tanah yang digunakan untuk proses penimbunan atau penggantian tanah harus mempunyai kualitas yang lebih baik yang didatangkan dari tempat lain, tanah tersebut sebelum digunakan harus diuji dilaboratorium. Tujuan dari pengujian ini adalah mengetahui sifat dan karakteristik tanah sebelum digunakan. Jika digunakan tanah

tersebut akan dipadatkan agar tanah akan mencapai nilai stabilitasnya dan tidak mengalami perubahan volume. Pemadatan ialah proses mengeluarkan udara dari dalam pori-pori tanah. Menurut Hardiyatmo (2004) tujuan dari proses pemadatan tanah ialah:

1. Menaikkan kekuatan tanah
2. Mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas)
3. Menghindari *hydraulic compressibility* (*permeabilitas*)
4. Mengurangi potensi likuifaksi
5. Mengontrol penyusutan (*shrinkage*) dan pengembangan (*swelling*)
6. Menaikkan daya tahan tanah terhadap erosi

Proses pemadatan yang dilakukan dilapangan harus baik dan mempunyai nilai kepadatan yang cukup, untuk mengetahui kepadatan tanah lapangan digunakan pengujian CBR (*California Bearing Ratio*) dengan menggunakan alat DCP (*Dynamic Cone Penetration*) untuk tanah dasar (*Subgrade*) dan CBR (*California Bearing Ratio*) untuk *Subbase*. Semakin tinggi nilai CBR (*California Bearing Ratio*) maka semakin baik kepadatan tanah tersebut. Nilai-nilai dari CBR (*California Bearing Ratio*) dapat diklasifikasikan sebagai berikut: sangat baik (20-30%), baik (10-20%), sedang (5-10%), buruk (<5%).

Pengujian terhadap tanah atau material yang digunakan pada proyek ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Politeknik Negeri Medan. Pengujian dilakukan terhadap material tanah timbun (urugan biasa) yang digunakan sebagai tanah dasar (*Subgrade*) dan juga material sirtu (urugan pilihan) yang digunakan sebagai *Subbase*. Jenis pengujian kepadatan yang digunakan dalam penulisan skripsi ini

menggunakan beberapa jenis seperti : DCP (*Dynamic Cone Penetration*), CBR (*California Bearing Ratio*) dan pengujian kerucut pasir (*Sand Cone Test*).

1.2 Identifikasi Masalah

Dari uraian latar belakang diatas maka didapatkan identifikasi masalah sebagai berikut:

1. Kualitas pemadatan tanah yang baik sangat dibutuhkan untuk menghasilkan tanah lapangan yang baik
2. Pemilihan material tanah sebagai pengganti tanah dasar sangat berpengaruh terhadap kualitas konstruksi nantinya

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terfokus dan tidak meluas pada hal-hal lain maka penulis membatasi masalah-masalah pada hal-hal sebagai berikut:

1. Material yang menjadi subjek penelitian adalah urugan biasa (tanah timbun) sebagai tanah dasar (*subgrade*) dan sirtu yang berfungsi sebagai *subbase* yang digunakan pada proyek Pembangunan jembatan di sicanang Belawan Sumatera Utara.
2. Metode pengujian kepadatan menggunakan DCP (*Dynamic Cone Penetration*) untuk tanah dasar (*subgrade*) dan CBR (*California Bearing Ratio*) lapangan untuk lapis atas (*subbase*).
3. Nilai CBR Laboratorium
4. Nilai CBR Lapangan

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang masalah dan juga batasan masalah di atas, maka dirumuskan permasalahan-permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana Sifat, karakteristik serta kelas tanah yang baik digunakan sebagai pengganti tanah dasar (*Subgrade*)?
2. Bagaimana hubungan antara nilai DCP (*Dynamic Cone Penetration*), CBR (*California Bearing Ratio*) laboratorium dan lapangan serta hubungan nilai pengujian kerucut pasir (*Sand Cone Test*) dengan nilai pengujian kepadatan (*Proctor test*) di laboratorium terhadap kepadatan tanah dilapangan pekerjaan?
3. Bagaimana hubungan kadar air dengan nilai CBR (*California Bearing Ratio*) serta pepadatan?

1.5 Tujuan Masalah

Tujuan permasalahan dari pada penulisan skripsi dengan judul “ Analisa Nilai California Bearing Ratio (CBR) terhadap Pepadatan Tanah Lapangan pada Proyek Pembangunan Jembatan di Sicanang Belawan” adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui sifat, karakteristik serta kelas tanah yang baik digunakan sebagai material pengganti tanah dasar (*Subgrade*).
2. Mengetahui hubungan antara nilai DCP (*Dynamic Cone Penetration*), CBR (*California Bearing Ratio*) laboratorium dan lapangan serta hubungan nilai pengujian kerucut pasir (*Sand Cone Test*) dengan nilai pengujian kepadatan (*Proctor test*) di laboratorium terhadap kepadatan tanah dilapangan pekerjaan.
3. Mengetahui hubungan antara kadar air tanah dengan nilai CBR (*California Bearing Ratio*) serta pepadatan.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Sebagai penerapan dari mata kuliah Mekanika Tanah yang telah diajarkan di perkuliahan.
2. Menjadi referensi penelitian bagi mahasiswa dan lainnya.
3. Dapat menjadi literatur dan bahan bacaan dalam topik penelitian yang sama atau yang mendukung.

1.7 Metode Penelitian

Pada penulisan skripsi ini penulis melakukan tahapan-tahapan dalam melakukan penelitian sebagai berikut:

1. Pengumpulan data

Pada tahap ini penulis memperoleh data dari dua sumber yaitu Laboratorium dan data lapangan. Data laboratorium diperoleh dengan cara melakukan pengujian material yang akan digunakan pada proses penimbunan jalan pada proyek yang dimaksud. Data lapangan penulis mendapatkan data dengan cara melakukan pengujian terhadap hasil pekerjaan dilapangan pekerjaan.

2. Studi Literatur

Studi Literatur dalam penulisan ini meliputi studi kepustakaan dari penelitian sebelumnya terutama dalam bidang objek yang sama serta menggunakan berbagai bahan buku yang terkait dengan penelitian.

3. Pengolahan Data

Data yang diperoleh pada pengujian dilaboratorium dan pengujian lapangan dianalisa dengan cara dibandingkan untuk kemudian diambil kesimpulan terhadap hasil pekerjaan di lapangan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

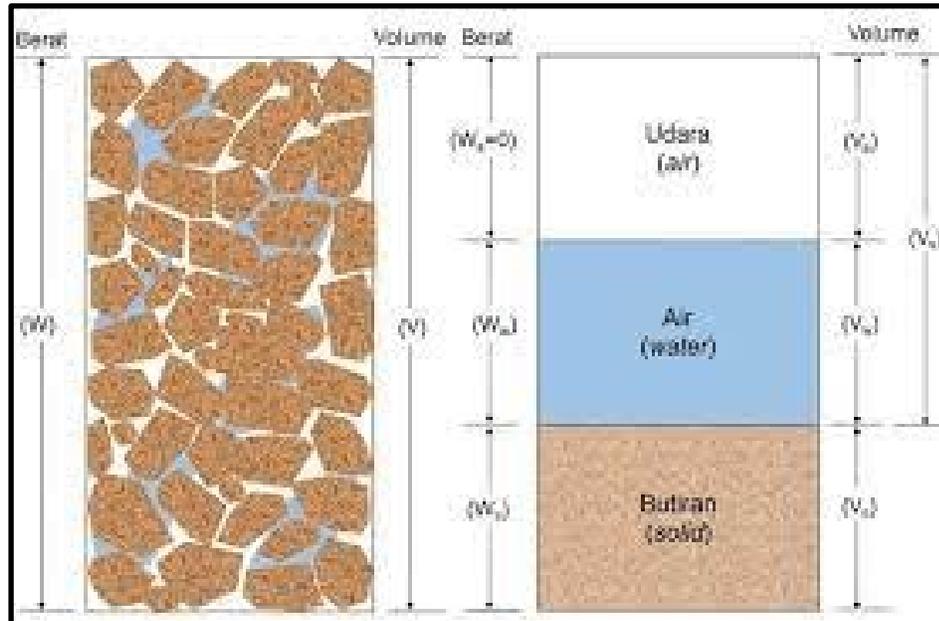
2.1 Pengertian Tanah

Tanah dapat didefinisikan sebagai akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan (Craig, 1989). Tanah juga didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersedimentasi (terikat secara kimia) satu dengan yang 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 (Das, 1995). Dalam pengertian teknik secara umum tanah didefinisikan sebagai bahan padat (mineral maupun organik) yang terletak dipermukaan bumi terus mengalami perubahan yang dipengaruhi oleh faktor-faktor bahan induk seperti iklim, organisme, topografi dan waktu. Jenis tanah pada umumnya tergantung dari susunan partikel yang paling dominan yang terkandung dalam tanah tersebut. Pada umumnya tanah disebut sebagai kerikil (*Gravel*), Pasir (*Sand*), Lanau (*Silt*) atau lempung (*Clay*).

Tanah terdiri dari tiga komponen yaitu udara, air dan bahan padat dimana udara dianggap tidak mempunyai pengaruh teknis terhadap tanah tersebut sedangkan air dapat mempengaruhi sifat-sifat teknis tanah, dimana air dapat mengisi ruang diantara butiran-butiran dan sebagian atau seluruhnya dapat terisi oleh air atau udara yang dapat dinyatakan sebagai berikut :

1. Kering, jika rongga atau porinya terisi penuh dengan udara
2. Jenuh, jika rongga atau porinya terisi penuh dengan air

3. Jenuh Sebagian, jika rongga atau porinya terisi oleh udara dan air



Gambar 2.1 Elemen Tanah

(Sumber : Braja M Das, Mekanika Tanah 1, 1995)

Keterangan

| | | |
|-------|--|--------------------|
| V | = Isi (<i>Volume</i>) | (cm ³) |
| V_a | = Isi udara (<i>Volume of air</i>) | (cm ³) |
| V_w | = Isi air (<i>Volume of water</i>) | (cm ³) |
| V_v | = Isi pori/rongga (<i>Volume of void</i>) | (cm ³) |
| V_s | = Isi butir-butir padat (<i>Volume of solid</i>) | (cm ³) |
| W | = Berat (<i>Weight</i>) | (gr) |
| W_a | = Berat udara (<i>Weight of air</i>) | (gr) |
| W_w | = Berat air (<i>Weight of water</i>) | (gr) |

W_s = Berat butir-butir padat (*Weight of solid*) (gr)

W_w = Berat air (*Weight of water*) (gr)

Dari gambar diatas maka diperoleh beberapa persamaan-persamaan untuk menghitung volume (V) dan berat tanah (W) sebagai berikut :

$$V = V_s + V_w + V_a \dots \dots \dots (2.1)$$

(Sumber : Braja M Das, *Mekanika Tanah 1*, 1995)

Jika diasumsikan bahwa udara tidak memiliki berat, maka berat total contoh (sampel) tanah (W) dapat dinyatakan dengan :

$$W = W_s + W_w \dots \dots \dots (2.2)$$

(Sumber : Braja M Das, *Mekanika Tanah 1*, 1995)

Secara umum tanah dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu tanah kohesif dan tanah tak kohesif. Tanah kohesif adalah apabila karakter fisis yang selalu terdapat pada massa butiran tanah pada pembasahan dan pengeringan yang menyusun butiran tanah bersatu dengan sesamanya sehingga suatu gaya akan diperlukan untuk memisahkan dalam keadaan kering (Bowles, 1991). Dengan kata lain tanah kohesif ialah tanah yang lengket disebut juga dengan tanah lempung atau lempung berlumpur.

Tanah non kohesif adalah semua jenis tanah yang mengalir bebas seperti pasir atau kerikil yang kekuatan tanah jenis ini bergantung kepada gesekan antar partikel. Tanah non kohesif mempunyai partikel yang berukuran besar atau tidak beraturan dengan sedikit atau tanpa kandungan liat.

2.2 Tanah Dasar (Sub Grade)

Tanah dasar (*Sub grade*) ialah : permukaan tanah asli, permukaan galian, atau permukaan tanah timbunan yang merupakan permukaan untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya. Tanah dasar juga didefinisikan sebagai struktur permukaan jalan dan lapisan khususnya berada. Tanah dasar sendiri menjadi bagian yang sangat penting dalam suatu konstruksi jalan Hal ini karena tanah dasar akan mendukung semua konstruksi jalan dan muatan lalu lintas yang ada di atasnya. Perlu diketahui bahwa kekuatan tanah dasar dapat mempengaruhi tebal tipisnya lapisan perkerasan. Sehingga juga dapat menentukan mahal atau tidaknya biaya dalam pembangunan jalan itu sendiri.

Lapisan tanah dasar atau yang biasa disebut dengan sub grade merupakan salah satu bagian dari konstruksi perkerasan jalan yang berada di lapisan yang paling bawah. Kemampuan yang dimiliki oleh tanah dasar dalam mendukung beban adalah 0,5 sampai 1,5 kg/cm² sehingga dibutuhkan konstruksi perkerasan jalan supaya beban roda bisa disebarkan lebih luas diatas permukaan tanah. Dengan demikian maka tegangan yang ditimbulkan akan lebih kecil dari kemampuan tanah. Daya dukung tanah dasar sendiri bisa dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis tanah, tingkat kepadatan yang dimiliki oleh tanah, sistem drainase, kadar air dan lain sebagainya.

Lapisan tanah dasar bisa dalam bentuk tanah asli yang dipadatkan apabila tanah aslinya baik, atau tanah urugan yang berasal dari tempat berbeda ataupun tanah yang distabilisasi dan lain sebagainya. Jika dilihat dari muka tanah asli, maka tanah

dasar terdiri dari tanah dasar tanah galian, tanah dasar tanah urugan dan tanah dasar tanah asli.



Gambar 2.2 Lapisan Konstruksi Jalan
(sumber : www.barewalls.com)

2.3 Sifat-Sifat Fisik Tanah (*Index Properties*)

Pengujian *Index Properties* ialah serangkaian pengujian yang dilakukan pada sample tanah untuk mengetahui sifat-sifat fisik dari tanah, kelas tanah serta untuk mengetahui sifat dan karakteristik dari tanah. Pengujian ini biasanya dilakukan dengan cara mengambil sample tanah dari suatu lokasi/*quarry* dan membawanya untuk dianalisis di laboratorium. Beberapa pengujian yang dilakukan ialah : pengujian kadar air (*water content*), pengujian berat isi tanah (*unit weight*), pengujian batas-batas *Atterberg* (*Atterberg limit*) dan pengujian berat jenis (*specific gravity*).

A. Kadar Air (*Water Content*)

Kadar air (*Water Content*) dari tanah ialah perbandingan antara berat air dan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki. Pengujian kadar air (*water content*) dari tanah adalah penentuan angka perbandingan antara berat air (W_w) dan berat tanah kering (W_s) yang terkandung serta dinyatakan dalam persen (%) atau

dengan kata lain untuk mengetahui air yang terkandung dalam suatu material (sampel) tanah. Hal ini dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$W (\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

W = Kadar air tanah

W_w = Berat Air

W_s = Berat Tanah Kering

B. Berat Isi (*Unit Weight*)

Berat isi dari suatu masa tanah adalah perbandingan antara berat total tanah terhadap isi total tanah atau Berat/Isi yang dinyatakan dalam notasi γ_{wet} (gram/cm³).

Berat isi tanah sangat berguna dalam mengevaluasi tanah kohesif. Sedangkan pada tanah non kohesif pengujian berat isi tanah sedikit sulit dalam pelaksanaannya.

Pelaksanaan pengujian berat isi menggunakan metoda silinder tipis yang dimasukkan ke dalam tanah, sehingga tidak dapat dilakukan pada jenis tanah berpasir lepas atau terdapat banyak kerikil. Pengujian berat isi tanah umumnya dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat teknis tertentu seperti kekuatan dan *Kompresibilitas*. Dalam hal ini dimana terdapat benda uji tanah asli (*Undisturbed Sample*) maka diganti dengan benda yang terganggu (*disturbed sample*) mempertahankan berat isi dan kadar air yang sesuai dengan keadaan aslinya.

Berat isi dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\gamma_b = \frac{W_1}{Volume\ Cincin}$$

$$W = \frac{W1 - W2}{W2} \times 100\%$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+W} \dots\dots\dots(2.4)$$

C. Berat Jenis (*Spesific Gravity*)

Pengujian berat jenis (*Spesific Gravity Test*) adalah pengujian untuk mendapatkan nilai berat jenis tanah yang dapat ditentukan dengan cara membandingkan antara berat butir tanah dengan berat air pada suhu standar. Metode ini digunakan pada contoh tanah dengan komposisi ukuran partikel lebih kecil daripada saringan No.4 (4.74mm). Untuk partikel dengan ukuran lebih besar dari saringan tersebut (4.74mm) batasan berat jenis dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.1 Nilai-nilai Batasan Berat Jenis Tanah

| NO | JENIS TANAH | BATAS |
|----|-------------------|-------------|
| 1 | Pasir | 2,65 – 2,68 |
| 2 | Kerikil | 2,65 – 2,68 |
| 3 | Lanau Organik | 2,62 – 2,68 |
| 4 | Lempung Organik | 2,58 – 2,65 |
| 5 | Lempung Anorganik | 2,68 – 2,75 |
| 6 | Humus | 1,37 |
| 7 | Gambut | 1,25 – 1,80 |

(Sumber : Hary Christadi Hardiyatmo, *Mekanika Tanah*, 2002)

Berat Jenis (Gs) dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$G_s = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan :

Gs = Berat Jenis

W1 = Berat Piknometer + Berat Tanah Kering

W2 = Berat Piknometer

W3 = Berat Piknometer + Tanah + Air

W4 = Berat Piknometer + Air

W4 = W4 + Faktor Koreksi Suhu (K)

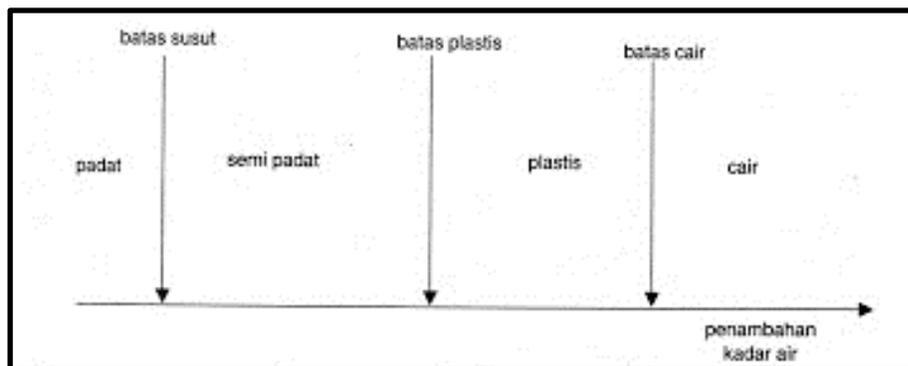
D. Batas-Batas *Atterberg* (*Atterberg Limit*)

Batas-batas *Atterberg* digunakan untuk mengklasifikasikan jenis tanah dan pengujian ini bertujuan untuk mengetahui indeks plastisitas dari suatu jenis tanah, dimana Indeks Plastisitas (PI) adalah selisih dari batas cair dan batas plastis dari tanah. Plastisitas digambarkan sebagai kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa retak-retak dan remuk. Semakin besar plastisitas tanah, maka tanah tersebut akan semakin jelek kekuatannya. Selain itu, tanah akan semakin mudah mengembang dan menyusut. Plastisitas pada sifat fisik tanah sangat penting untuk diketahui untuk memahami perubahan bentuknya. Memahami plastisitas tanah sangat penting untuk kehidupan sehari-hari. Contohnya untuk pembuatan jalan raya. Jika tidak dipertimbangkan dengan baik, maka berisiko membuat jalan retak karena daya dukung yang tidak baik. Contoh lain manfaat memahami sifat plastisitas tanah adalah untuk penanaman pipa di dalam tanah. Jika

kontraktor tidak mempertimbangkan plastisitas tanah ketika menanam pipa, pipa berisiko mengalami pecah akibat tekanan volume tanah saat kadar air bertambah. Tanah yang berbutir halus biasanya memiliki sifat plastis. Sifat plastis tersebut merupakan kemampuan tanah menyesuaikan perubahan bentuk tanah setelah bercampur dengan air pada volume yang tetap. Tanah tersebut akan berbentuk cair, plastis, semi padat atau padat tergantung jumlah air yang bercampur pada tanah tersebut. Batas-batas *Atterberg* terbagi dalam tiga batas berdasarkan kadar airnya yaitu :

1. Batas cair (*Liquid Limit - LL*)
2. Batas plastis (*Plastic Limit - PL*)
3. Batas susut (*Shrinkage Limit*).

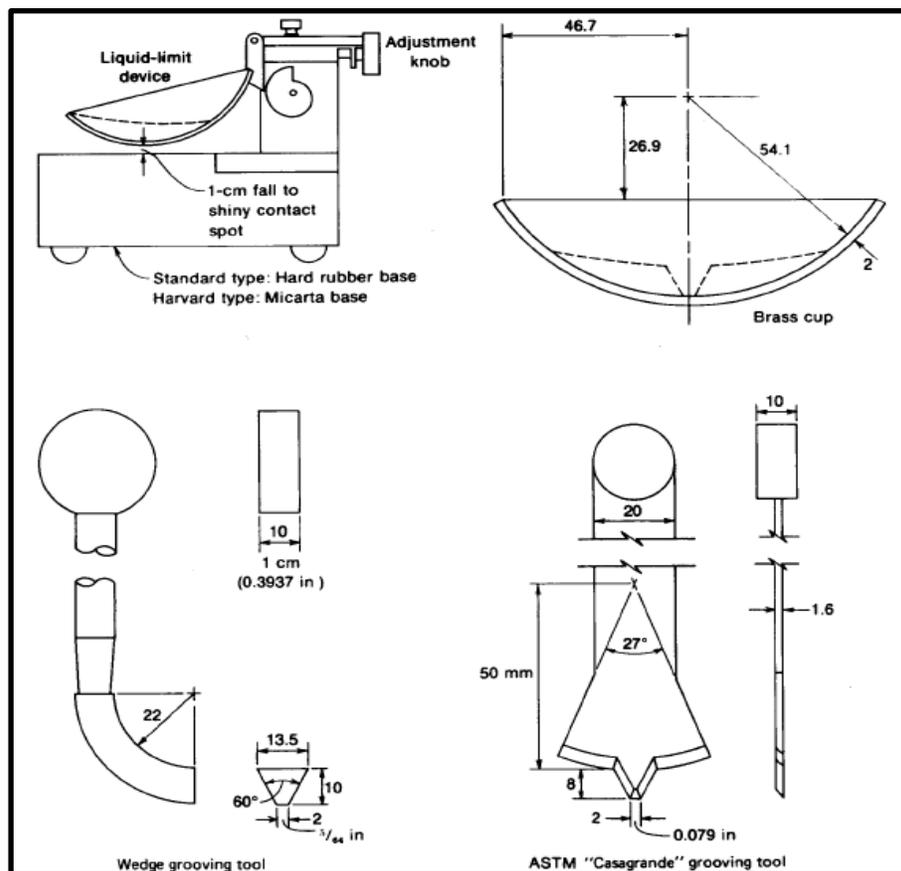
Atterberg (1911) memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar airnya. Batas-batas tersebut dinamakan batas cair, batas plastis dan batas susut. Batas-batas tersebut dapat digambarkan seperti dibawah ini :



Gambar 2.3 Batas-batas *Atterberg*
 (Sumber : Braja M Das, *Mekanika Tanah 1*, 1991)

1. Batas Cair (*Liquid Limit* - LL)

Batas cair adalah kadar air tanah yang untuk nilai-nilai di atasnya, tanah akan berperilaku sebagai cairan kental (batas antara keadaan cair dan keadaan plastis), yaitu batas atas dari daerah plastis. Batas cair ditentukan dari pengujian dengan menggunakan alat “*Cassagrande*”, yakni dengan menggunakan cawan yang telah dibentuk sedemikian rupa, seperti gambar dibawah ini:



Gambar 2.4 *Cassagrande* and Grooving Tools

(Sumber : www.researchgate.net)

2. Batas Plastis (*Plastis Limit* - PL)

Batas plastis adalah kadar air minimum suatu sampel tanah dalam keadaan plastis .Batas plastis dihitung berdasarkan persentase berat air terhadap berat tanah

kering pada benda uji. Pada cara uji ini, material tanah yang lolos saringan ukuran 0.425 mm atau saringan No.40, diambil untuk dijadikan benda uji kemudian dicampur dengan air suling atau air mineral hingga menjadi cukup plastis untuk digeleng/dibentuk bulat panjang hingga mencapai diameter 3 mm. Metode penggelengan dapat dilakukan dengan telapak tangan atau dengan alat penggeleng batas plastis (prosedur alternatif).

Benda uji yang mengalami retakan setelah mencapai diameter 3 mm, diambil untuk diukur kadar airnya. Kadar air yang dihasilkan dari pengujian tersebut merupakan batas plastis tanah tersebut. Indeks plastisitas suatu tanah didapat setelah pengujian Batas Cair dan Batas Plastis selesai dilakukan. Angka Indeks Plastisitas Tanah merupakan selisih angka Batas Cair (LL) dengan Batas Plastis (PL). Batas plastis didefinisikan dalam persen berat kering, di mana kedua penampang tanah yang hampir bersentuhan tetapi tidak saling melimpahi satu terhadap yang lain. Pengujian batas plastis dimaksudkan untuk menentukan besarnya kadar air didalam contoh (sampel) tanah pada saat tanah akan berubah dari fase plastis menjadi fase semi padat atau sebaliknya. Batas plastis sangat penting untuk dipahami dalam memahami sifat fisik tanah. Batas plastis pada sifat fisik tanah sangat penting untuk diketahui untuk memahami perubahan bentuknya. Salah satunya adalah pada penggunaan tanah lempung.

Tanah yang lebih liat tidak akan banyak menyerap air dan berubah volume dengan kata lain semakin liat suatu tanah maka plastisitasnya semakin rendah. Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengukur batas plastis tanah, di antaranya:

- A. Metode penggelengan/penggulungan dengan menggunakan telapak tangan
Metode ini dilakukan dengan cara menggelengan/menggulungan tanah dengan telapak tangan hingga membentuk bola dengan diameter 3 mm. Batas plastis kemudian dihitung berdasarkan persentase berat air terhadap berat tanah kering pada benda uji.
- B. Metode penggelengan menggunakan alat geleng batas cair: Metode ini dilakukan dengan menggunakan alat geleng batas cair yang memudahkan dalam menggelengan tanah hingga membentuk bola dengan diameter 3 mm. Batas plastis kemudian dihitung berdasarkan persentase berat air terhadap berat tanah kering pada benda uji.
- C. Metode penggunaan alat *Atterberg* : Alat *Atterberg* digunakan untuk menentukan batas cair, batas plastis, dan indeks plastisitas tanah. Batas plastis dihitung berdasarkan perbedaan antara kadar air pada saat tanah dalam keadaan cair dan keadaan plastis. Pada batas plastis sendiri jika digulung-gulung/gelintir hingga 3 mm dan terjadi retakan maka batas plastisitas tanah sudah terlampaui.
- D. Pada keadaan plastis suatu tanah pada kadar air tertentu akan memiliki gaya kohesif yang besar dan kadar air yang tepat. Kadar air yang tepat akan membuat partikel tanah tergelincir tanpa berubah dari keadaan plastis. Ketika kadar air lebih sedikit maka partikel tanah tidak mempunyai bidang lincir yang cukup sehingga bisa terjadi retakan atau meninggalkan keadaan plastisnya.

3. Indeks Plastisitas (*Plasticity Indeks - PI*)

Indeks Plastisitas merupakan interval kadar air, yaitu tanah masih bersifat plastis. Indeks plastisitas (*Plasticity Indeks*) adalah selisih batas cair dan batas plastis. Adapun rumusan dalam menghitung besaran nilai indeks plastisitas ialah:

$$IP = LL - PL \dots \dots \dots (2.6)$$

keterangan :

IP = Indeks Plastis

LL= Batas Cair (*Liquid Limit*)

PL= Batas Plastis (*Plastis Limit*)

Indeks plastisitas merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Karena itu Indeks Plastisitas menunjukkan sifat keplastisitan tanah tersebut. Jika tanah mempunyai interval kadar air daerah plastis yang kecil, maka keadaan ini disebut dengan tanah kurus, kebalikannya jika tanah mempunyai interval kadar air didaerah plastis yang besar di sebut tanah gemuk. Klasifikasi jenis tanah berdasarkan Indeks Plastisitasnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.2 Indeks Plastisitas tanah (Hardiyatmo, 2002)

| PI | SIFAT | JENIS 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 : Hary Christadi Hardiyatmo, *Mekanika Tanah*, 2002)

4. Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Pengujian *Shrinkage Limit* adalah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui batas susut dalam tanah. Tanah akan menyusut apabila air yang dikandungnya hilang perlahan. Dengan hilangnya air tersebut tanah akan mencapai keseimbangan dimana penambahan kehilangan air tidak mengurangi volume. Pengujian *Shrinkage Limit* ini dibagi atas dua pengujian yaitu secara linier dan volumetrik. Kedua cara ini dapat dilakukan dengan persamaan berikut:

A. Pengujian Volumetrik

$$SL = W - ((V_1 - V_2) / M_2) \times 100\% \dots \dots \dots (2.7)$$

keterangan :

SL = *Shrinkage Limit*

W = Kadar Air

V₁ = Volume Tanah Basah

V₂ = Volume Tanah Kering

M₂ = Berat Tanah Kering

B. Pengujian Linier

$$SL = M_1 - (P_1 - P_2) \times 100\% \dots \dots \dots (2.8)$$

Keterangan:

SL = *Shrinkage Limit*

M₁ = Berat Container + Tanah Basah

P₁ = Panjang semua sampel tanah

P₂ = Panjang sampel tanah setelah kering

E. Analisa Saringan (*Sieve Analysis*)

Sieve Analysis, juga dikenal sebagai uji gradasi, adalah metode yang digunakan untuk menentukan distribusi ukuran partikel dalam sampel tanah. Pengujian ini melibatkan melewati sampel tanah melalui serangkaian saringan dengan lubang yang semakin kecil, dan mengukur berat tanah yang tertahan pada setiap saringan. Hasilnya kemudian diplot pada grafik untuk menunjukkan distribusi ukuran partikel. Pengujian analisa saringan (*Sieve Analysis*) umumnya digunakan dalam teknik sipil untuk mengklasifikasikan tanah berdasarkan gradasinya. Ini juga dapat digunakan untuk memperkirakan permeabilitas, kompresibilitas, dan kekuatan geser tanah, peralatan yang dibutuhkan untuk pengujian *Sieve Analysis* meliputi seperangkat saringan dengan diameter standar, pengocok saringan, stopwatch, timbangan dengan akurasi 0,01 g, dan sikat. Prosedurnya melibatkan membersihkan saringan, menimbanginya, dan kemudian menambahkan sampel tanah ke saringan teratas. Kemudian saringan digoyangkan selama sekitar 10 menit menggunakan mesin penggetar (*Sieve Shaker*) saringan. Setelah digoyangkan, tanah yang tertahan pada setiap saringan ditimbang dan persentase berat tanah yang tertahan pada setiap saringan dihitung. Hasilnya kemudian diplot pada grafik untuk menunjukkan kurva gradasi. Tanah yang mempunyai kurva distribusi ukuran butir yang hampir vertikal atau semua ukuran butirannya sama atau hampir sama disebut dengan tanah uniform (*Uniformly Graded*). Apabila kurva membentang pada daerah yang agak besar tanah disebut mempunyai gradasi yang baik. Pengujian gradasi ukuran butiran ini dapat dilakukan dengan cara mengayak/menyaring sampel tanah dengan alat tertentu seperti gambar dibawah ini:



Gambar 2.5 Ayakan Pengujian (sieve shaker) Sieve Analysis
(sumber :www.911metallurgist.com)

Gradasi (Distribusi) ukuran butiran adalah penentuan persentase berat butiran pada satu unit saringan dengan ukuran diameter lubang tertentu, dengan karakteristik sebagai berikut :

- Tanah Berbutir Kasar : Kerikil dan Pasir
- Tanah berbutir halus : Lanau dan Lempung

5. Klasifikasi Tanah

Sistem Klasifikasi tanah digunakan untuk mengelompokkan tanah-tanah sesuai dengan perilaku umum dari tanah pada kondisi fisis tertentu. Seperti diketahui bahwa dialam ini tanah terdiri dari susunan butir-butir antara lain pasir, lumpur dan lempung yang persentasinya berlainan. Klasifikasi berdasarkan tekstur ini

dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (*United States Department of Agriculture*) dan deskripsi batas-batas susunan butir tanah dibawah sistem USDA kemudian dikembangkan lebih lanjut digunakan untuk pekerjaan jalan raya yang lebih dikenal dengan klasifikasi tanah berdasarkan persentase susunan butir tanah oleh *United States Public Roads Administration*. Sejumlah sistem klasifikasi telah dikembangkan dan pengklasifikasian tersebut terbagi menjadi tiga sistem klasifikasi yaitu :

1. Klasifikasi tanah berdasar tekstur/ukuran butir
2. Klasifikasi tanah sistem USCS (*Unified Soil Classification System*)
3. Klasifikasi tanah sistem AASHTO (*American Assosiation of Standard Highway Transportation Official*)

Dalam penelitian ini digunakan klasifikasi berdasar sistem AASHTO (*American Assosiation of Standard Highway Transportation Official*) dikarenakan sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur hanya didasarkan pada distribusi ukuran butiran tanah saja. Dalam kenyataannya jumlah dan jenis dari mineral lempung yang dikandung oleh tanah sangat mempengaruhi sifat fisis tanah yang bersangkutan, oleh karena itu maka perlu memperhitungkan sifat plastisitas tanah yang disebabkan adanya kandungan mineral lempung agar dapat menentukan perlakuan terhadap tanah tersebut. Maka pada penelitian ini menggunakan sistem AASHTO (*American Assosiation of Standard Highway Transportation Official*) yang memperhitungkan distribusi ukuran butir dan batas-batas *Atterberg* khusus untuk tanah yang mengandung bahan butir halus diidentifikasi lebih lanjut dengan indeks kelompoknya. Bagan pengklasifikasian sistem ini dapat dilihat seperti dibawah ini:

| General Classification | Granular materials (35% or less passing No. 200 Sieve (0.075 mm)) | | | | | | | Silt-clay Materials More than 35% passing No. 200 Sieve (0.075 mm) | | | |
|---|--|--------|-----------|-----------------------------|------------------|------------------|------------------|--|------------------|------------------|-------------------|
| | A-1 | | A-3 | A-2 | | | | A-4 | A-5 | A-6 | A-7 |
| | A-1-a | A-1-b | | A-2-4 | A-2-5 | A-2-6 | A-2-7 | | | | A-7-5 A-7-6 |
| (a) Sieve Analysis: Percent Passing | | | | | | | | | | | |
| (i) 2.00 mm (No. 10) | 50 max | | | | | | | | | | |
| (ii) 0.425 mm (No. 40) | 30 max | 50 max | 51 min | | | | | | | | |
| (iii) 0.075 mm (No. 200) | 15 max | 25 max | 10 max | 35 max | 35 max | 35 max | 35 max | 36 min | 36 min | 36 min | 36 min |
| (b) Characteristics of fraction passing 0.425 mm (No. 40) | | | | | | | | | | | |
| (i) Liquid limit | | | | 40 max 10 max | 41 min 10 max | 40 max 11 min | 41 min 11 min | 40 max 10 max | 41 min 10 max | 40 max 11 min | 41 min 11 min* |
| (ii) Plasticity index | 6 max | | N.P. | | | | | | | | |
| (c) Usual types of significant Constituent materials | Stone Fragments Gravel and sand | | Fine Sand | Silty or Clayey Gravel Sand | | | | Silty Soils | | Clayey Soils | |
| (d) General rating as subgrade. | Excellent to Good | | | | | | | Fair to Poor | | | |

* If plasticity index is equal to or less than (Liquid Limit-30), the soil is A-7-5 (i.e. PL > 30%)
If plasticity index is greater than (Liquid Limit-30), the soil is A-7-6 (i.e. PL < 30%)

Gambar 2.6. Klasifikasi tanah menurut AASHTO
(sumber : www.aboutcivil.org)

Indeks kelompok dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$GI = (F - 35) (0,2 + 0,005 (LL - 40)) + 0,01 (F - 15) (PI - 10) \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan:

GI = Indeks Kelompok

F = Persen Material lolos saringan 200

LL = Batas Cair

PI = Indeks Plastisitas

2.4 Sifat-Sifat Mekanik Tanah (*Engineering Properties*)

Sifat mekanik tanah (*Engineering Properties*) adalah sifat yang berkaitan dengan perilaku tanah dalam merespon gaya atau tekanan. Beberapa pengujian dalam menentukan *engineering properties* tanah antara lain : pengujian pemadatan tanah (*Compaction Test*), pengujian CBR (*California Bearing Ratio*), pengujian geser

langsung (*Direct Shear Test*), pengujian triaxial (*Triaxial Test*), pengujian tekan bebas (*Unconfined Compressive Strength Test*).

A. Pengujian pemadatan tanah (*Compaction Test*)

Pemadatan ialah proses pengeluaran udara dari pori-pori tanah dengan cara mekanis, sehingga bertambahnya berat volume kering oleh beban dinamis. Untuk menentukan kepadatan suatu tanah, digunakan parameter berat satuan kering (γ_d). Menurut Proctor, kepadatan suatu tanah merupakan fungsi dari empat variable yaitu:

1. Berat satuan kering (γ_d)
2. Kadar air (w),
3. Energi mekanis yang diberikan (*compact effort*),
4. Tipe tanah (gradasi, ada tidaknya lempung, dll).

Pada proses pemadatan untuk setiap daya pemadatan tertentu maka kepadatan yang tercapai tergantung pada banyaknya air didalam tanah tersebut. Apabila kadar airnya rendah tanah mempunyai sifat keras sehingga sukar untuk dipadatkan, apabila kemudian kandungan airnya ditambahkan maka air tersebut mampu menambah kepadatan dari tanah tersebut secara maksimal sampai dengan kadar (persentase) tertentu. Lalu kemudian jika kandungan air melewati kadar optimumnya maka pori-pori tanah akan jenuh dan akibatnya membuat tanah menjadi lembek dan tidak bisa untuk dipadatkan. Keadaan dimana tanah menjadi mudah dan mencapai berat maksimumnya saat ditambahkan air disebut dengan kadar air optimum (W_{opt}).

Perhitungan pemadatan adalah untuk menentukan suatu nilai berat isi kering (γ_{dmaks}) pada kadar air tertentu ($W_{optimum}$), nilai (γ_d) dan W diketahui dari kurva uji pemadatan suatu sampel tanah dengan variasi nilai kadar air (W) formula yang

digunakan: (N/cm³) (2.1) (N/cm³) (2.2) Nilai γ_d naik seiring dengan penambahan air hingga mencapai puncak, kemudian turun kembali. Keapatan maksimum tanah tersebut tercapai pada nilai W sebesar $W_{optimum}$. Pengujian pemadatan tanah di laboratorium ada dua metode, yaitu:

1. Pengujian pemadatan standard (*Standard Proctor Test*)
2. Pengujian pemadatan modified (*Modified Proctor Test*)

Perbedaan dari kedua jenis/tipe pengujian diatas terletak pada energi yang diberikan seperti yang terlihat pada tabel berikut:

Tabel 2.3 Pemadatan Standard Proctor dan Modified Proctor

| Jenis Pengujian | Keterangan | | Standard | Modified |
|-----------------|--------------------------|-------------------|-------------|-------------|
| Proctor | Mold | Diameter (Inch) | 4,0 | 4,0 |
| | | Tinggi (Inch) | 4,6 | 4,6 |
| | Palu | Berat (lbs) | 5,5 | 10,0 |
| | | Tinggi Jatuh (ft) | 1,0 | 1,5 |
| | Jumlah Lapisan | | 3,0 | 5,0 |
| | Jumlah pukulan per lapis | | 25 x | 25 x |
| | Energi kompaksi | | ± 12400 | ± 56400 |

(sumber: www.ilmusipil.com)

Pada Uji Pemadatan Standar tanah dipadatkan dalam sebuah cetakan silinder bervolume 12,400 ft-lbf/ft dengan cetakan berbentuk bulat berdiameter ± 10 cm (4 inch). Selama percobaan dilaboratorium cetakan tersebut dikelam pada sebuah pelat dasar dan diatas dari cetakan tersebut diberi perpanjangan untuk memastikan volume tanah terisi full pada cetakan. Tanah kemudian dicampur dengan air dengan kadar yang berbeda-beda lalu dipadatkan dengan penumbuk khusus dengan berat $\pm 2,5$ kg dengan tinggi jatuh ± 300 mm. Jumlah tumbukan tiap lapisan sebanyak 25 kali dengan berat sampel 2,5 kg. Prosedur pelaksanaan pelaksanaan ini dilakukan untuk 3 (tiga)

lapisan Uji Pemadatan Standar mengacu pada ASTM D-698 dan AASHTO T-99. Pada pengujian pemadatan Modified tanah dipadatkan dalam cetakan silinder bervolume 56,000 ft-lbf/ft. Diameter cetakan silinder tersebut ± 15 cm (6 inch).). Selama percobaan dilaboratorium cetakan tersebut dikelam pada sebuah pelat dasar dan diatas dari cetakan tersebut diberi perpanjangan untuk memastikan volume tanah terisi full pada cetakan. Tanah kemudian dicampur dengan air dengan kadar yang berbeda-beda lalu dipadatkan dengan penumbuk khusus dengan berat $\pm 4,9$ kg dengan tinggi jatuh ± 450 mm. Jumlah tumbukan tiap lapisan sebanyak 56 kali dengan berat sampel 5 kg. Berikut adalah persiapan sampel tanah untuk pengujian pemadatan modified (*Modified Proctor Test*) :

1. Keringkan sampel tanah dari lapangan karena biasanya tanah dari lapangan dalam keadaan basah atau lembap. Pengeringan dilakukan dengan cara dijemur di panas matahari atau dengan menggunakan pengeringan buatan seperti oven dengan suhu $\pm 60^{\circ}$ C.
2. Setelah tanah kering kemudian digemburkan tanah dengan cara menumbuk dengan palu karet namun butiran asli dari tanah tersebut tidak pecah.
3. Tanah yang sudah gembur disaring dengan saringan 4,75 mm atau ayakan No.4
4. Dalam pengujian ini benda atau sampel tanah dibagi menjadi 5 bagian dimana masing-masing bagian dimasukkan kedalam kantong plastik, hal ini bertujuan agar kadar air yang telah tercampur didalam tanah tersebut tidak menguap atau berkurang. Kemudian ditimbang seberat ± 5 kg dan masing-masing bagian tersebut dicampur air dengan kadar yang berbeda-beda lalu kemudian diaduk sampai air tercampur secara merata.

5. Penambahan air diatur sedemikian rupa sehingga terjadi perbedaan kadar pada setiap campuran antara 1% s.d 3%.
6. Masing-masing benda uji dimasukkan kedalam kantong plastik dan sesuai dengan jenis tanahnya harus disimpan selama 0 jam (kerikil, pasir), 3 jam (kerikil pasir kelanauan, kelempungan), 12 jam (lanau), 24 jam (lempung).
7. Pengujian pemadatan (*proctor*) baik *Standar proctor* maupun *Modified proctor* memiliki dua parameter penting yaitu Berat Isi Kering (γ_d maks) dan kadar air optimum (W_{opt}).

A.1 Berat isi maksimum (γ_d maks)

RR Proctor (1993) dalam Kamaruddin F B (2005) mengatakan untuk suatu jenis tanah yang dipadatkan dengan daya pemadatan tertentu, kepadatan yang dicapai tergantung pada banyaknya air (kadar air) tanah tersebut. Besarnya kepadatan tanah biasanya dinyatakan dalam berat isi kering (γ_d) nya. Apabila tanah dipadatkan dengan adanya pemadatan yang tetap/konstan pada kadar air yang berbeda-beda, maka pada nilai kadar air tertentu akan tercapai kepadatan maksimum (γ_d maks). Kadar air yang menghasilkan kepadatan maksimum disebut dengan kadar air optimum (W_{opt}). Derajat kepadatan tanah dinyatakan dalam istilah berat isi kering (γ_d) yaitu perbandingan berat butiran tanah dengan volume total tanah. Berat isi kering tanah dinyatakan dalam rumus sebagai berikut:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+W} \dots \dots \dots (2.10)$$

Keterangan :

γ_d = Berat isi kering (gr/cm^3)

γ = Berat isi tanah basah (gr/cm^3)

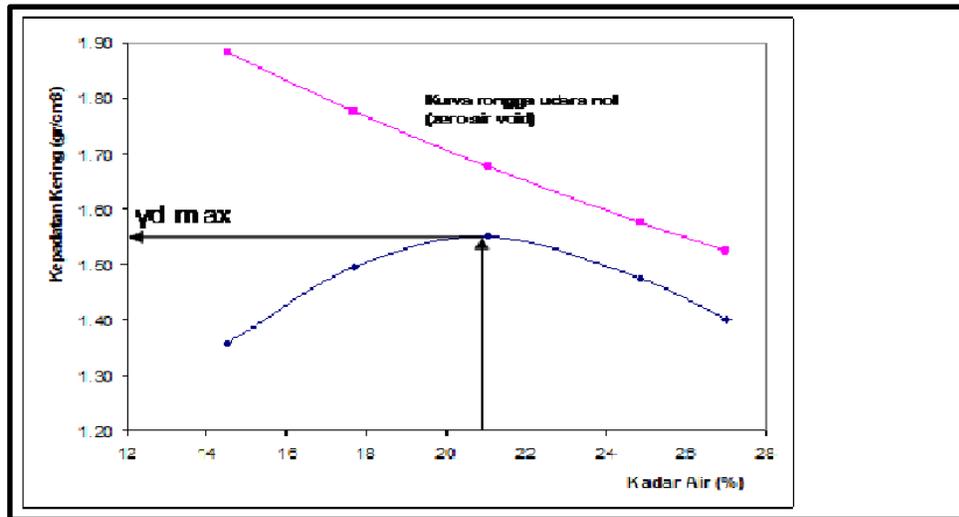
$1 + W$ = Kadar air tanah (%)

Menurut Dandung Novianto (2012) untuk suatu kadar air tertentu, berat isi kering maksimum (γ_d maks) secara teoritis didapat bila pada pori-pori tanah sudah hampir tidak ada udara yaitu pada saat dimana derajat kejenuhan tanah sama dengan 100%. Kondisi ini disebut dengan Zero Air Voids (ZAV) dan dapat dihitung dengan rumus:

$$\gamma_{zav} = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1 + W G_s} \dots\dots\dots(2.11)$$

A.2 Kadar air optimum (W_{opt})

Menurut Bambang Surendro (2014) suatu tanah yang kohesif (lempung) dalam keadaan kering keras dan berbongkah-bongkah sangat sukar dipadatkan. Untuk memudahkan pemadatan tanah tersebut perlu dibasahi. Dengan peningkatan kadar air partikel tanah memiliki lapisan air disekelilingnya, sehingga lapisan air ini menjadi pelican/pelumas sehingga lebih mudah digerakkan, kepadatan maksimum akan diperoleh pada saat tanah memiliki kondisi kadar air optimum (W_{opt}) yakni pada saat berat isi kering maksimum (γ_{dmaks}) seperti dapat dilihat pada gambar contoh grafik dibawah ini:



Gambar 2.7 Contoh Grafik Hasil Pengujian Compaction
(sumber :www.ilmusipil.com)

B. Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*) Tanah

Daya dukung tanah dasar (*Sub grade*) pada perencanaan perkerasan lentur dinyatakan dengan nilai CBR (*California Bearing Ratio*). Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*) merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui kekuatan tanah, yaitu dengan membandingkan gaya perlawanan penetrasi piston terhadap tanah dengan gaya perlawanan yang serupa pada contoh standar berupa batu pecah di California dan umumnya digunakan untuk mendesain tebal perkerasan jalan. Tujuan dari percobaan ini adalah untuk menilai kekuatan tanah dasar yang telah dipadatkan/kompaksi baik dilaboratorium maupun di lapangan pekerjaan yang akan digunakan dalam pemadatan tanah atau perencanaan tebal perkerasan. Nilai-nilai CBR (*California Bearing Ratio*) dapat juga diperoleh melalui DCP (*Dynamic Cone Penetrometer Test*) dengan menggunakan korelasi kedalaman penetrasi dengan nilai CBR (*California Bearing Ratio*). Pengujian CBR dilakukan pada sampel tanah uji terkompaksi

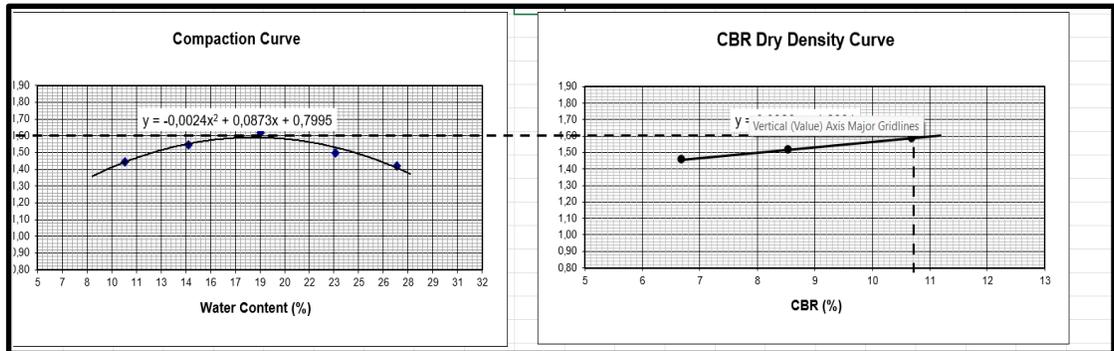
yang mana tanah pengujian telah dipadatkan untuk mencapai kepadatan maksimum untuk menunjang daya dukung tanah yang lebih tinggi. Jadi nilai CBR didefinisikan sebagai suatu perbandingan antara beban percobaan (test load) dengan beban standar (Standard Load) dan dinyatakan dalam prosentase. Harga CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100% dalam memikul beban lalu lintas. Pengujian nilai CBR ada dua jenis yaitu Pengujian nilai CBR laboratorium dan Pengujian nilai CBR Lapangan/inplace. CBR lapangan (CBR Inplace) digunakan untuk mendapatkan nilai CBR asli dilapangan sesuai dengan tanah dasar. Umumnya digunakan untuk perencanaan tebal lapisan perkerasan yang lapisan tanah dasarnya tidak dipadatkan lagi. Selain itu pengujian CBR juga digunakan untuk mengontrol kepadatan yang diperoleh. Rencana, desain CBR didapat dari percobaan dilaboratorium dengan memperhitungkan dua faktor yaitu :

1. Kadar air tanah serta berat isi kering pada waktu dipadatkan
2. Percobaan pada kadar air yang mungkin terjadi setelah perkerasan dibuat

Pengukuran nilai CBR dilapangan ada dua jenis :

1. Nilai CBR untuk tekanan penetrasi pada 0.254 cm (0.1 inch) terhadap penetrasi standard besarnya 70.37 kg/cm² (1000 psi). Harga CBR% = $(\text{Beban } 0.1'' / (3 \times 1000)) \times 100$
2. Nilai CBR untuk tekanan penetrasi pada penetrasi 0.508 cm (0.2'') terhadap penetrasi standard yang besarnya 105.56 kg/cm² (1500 psi) . Harga CBR% = $(\text{Beban } 0.2'' / (3 \times 1500)) \times 100$

Dari kedua hitungan diatas yang digunakan sebagai *quality control* adalah nilai CBR yang terbesar



Gambar 2.8 Grafik pengujian CBR
(sumber : www.ilmusipil.com)

Prosedur pengujian CBR (*California Bearing Ratio*) Laboratorium adalah sebagai berikut:

A. Benda uji (Sampel tanah)

Benda uji/sampel harus dipersiapkan menurut cara pemeriksaan kepadatan standar.

1. Ambil contoh ± 5 kg atau lebih untuk tanah dan $\pm 5,5$ kg untuk campuran tanah dan agregat
2. Kemudian campur bahan dengan air sampai kadar air optimum
3. Pasang cetakan pada keping alas dan timbang. Masukkan piringan pemisah (*spacerdisk*) diatas keping alas dan pasang kertas saring diatasnya
4. Padatkan bahan tersebut didalam cetakan
5. Buka leher sambungan dan ratakan tanah sejajar dengan mulut cetakan (*mould*) dari sampel tanah dan pastikan permukaan sampel rata

6. Maka benda uji telah siap melakukan uji CBR, jika menggunakan CBR tanpa rendaman
7. Jika dikehendaki pemeriksaan CBR rendaman (*Soaked CBR*) maka sampel tanah tersebut harus direndam setelah terlebih dahulu memasang keping pemberat agar sampel dapat terendam dengan sempurna.

C. Pengujian Kerucut Pasir (*Sand Cone Test*)

Sand Cone atau kerucut pasir ialah alat yang digunakan untuk menguji kepadatan tanah di lapangan pekerjaan dengan menggunakan pasir, baik lapisan tanah maupun lapisan tanah yang telah dipadatkan. Alat ini terdiri dari sebuah kaca atau botol plastik dengan sebuah kerucut logam yang dipasang pada bagian atas. Kerucut dan botol kaca ini diisi dengan pasir Ottawa kering dengan degradasi yang buruk yang sudah diketahui berat isinya. Tujuan dari pengujian Sand Cone ini ialah menentukan berat isi kering atau pepadatan tanah asli atau pekerjaan hasil pepadatan. Pengujian ini dapat dilakukan pada tanah kohesif ataupun non kohesif. Nilai berat isi tanah kering yang didapat pada pengujian ini dapat digunakan untuk mengevaluasi hasil kinerja pepadatan dilapangan dengan membandingkannya dengan hasil pepadatan dilaboratorium dari jenis tanah yang sama. Pengujian ini menggunakan standar pengujian SNI 03-2828-1992 tentang Metoda Pengujian Kepadatan Lapangan dengan Pasir. Dilokasi/lapangan pekerjaan dibuat sebuah lobang kecil pada permukaan tanah yang telah dipadatkan. Apabila berat tanah yang telah digali dari lubang tersebut dapat ditentukan (W_{wet}) dan kadar air dari tanah tersebut juga telah diketahui, maka berat kering dari tanah (W_{dry}) dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut:

$$W_{dry} = W_{wet} / (1 + (w / 100)) \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana w = Kadar air

Setelah lubang tersebut digali dan ditimbang isinya, maka kerucut dengan botol yang berisi pasir diletakkan diatas lubang itu. Pasir dibiarkan mengalir bebas mengisi seluruh lubang dan kerucut. Lalu timbanglah berat dari tabung kerucut dan sisa pasir juga ditimbang. Maka volume dari tanah yang digali dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$V = (W_{ch} - W_c) / \gamma_{dry} \text{ (pasir)} \dots \dots \dots (2.13)$$

Keterangan :

W_{ch} = Berat pasir yang mengisi kerucut dan lubang tanah

W_c = Berat pasir yang mengisi kerucut

γ_{dry} = Berat isi kering (pasir)

Peralatan dan bahan yang digunakan:

- a. Ember untuk tempat pasir
- b. Kertas untuk corong pasir
- c. Peralatan lain seperti sendok, kuas, sendok dempul, dan peralatan untuk menentukan kadar air
- d. Timbangan/neraca digital dengan ketelitian 0,1 gr
- e. Pasir kwarsa/pasir putih
- f. Alat pengujian Sand Cone
- g. Palu sebagai alat bantu pembuatan lubang dalam tanah
- h. Pahat untuk pencongkel tanah

- i. Botol transparan kapasitas 1 galon
- j. Kerucut diameter 16,5 cm
- k. Oven pengering tanah sampel pengujian

Prosedur Pelaksanaan :

a. Mencari berat air sebagai berikut:

- ❖ Timbang berat corong logam dan kelengkapannya (W_1)
- ❖ Letakkan corong dengan logam diatas dan buka krannya
- ❖ Isi dengan air sampai keluar dari mulut botol kran
- ❖ Tutup krannya dan buang kelebihan airnya
- ❖ Timbang corong logam dan kelengkapannya yang sudah terisi air (W_2)
- ❖ Berat air = Volume botol ($W_2 - W_1$).....(2.14)

b. Mencari berat air pasir sebagai berikut:

- ❖ Letakkan corong logam dengan lubang diatasnya
- ❖ Tutup kran dan isi corong dengan pasir
- ❖ Buka kran agar corong selalu terisi pasir minimal setengahnya dan isi sampai corong logam tersisi penuh
- ❖ Tutup kran dan buang kelebihan pasir
- ❖ Timbang alat dan pasir (W_3)
- ❖ Berat pasir ($W_3 - W_1$).....(2.15)
- ❖ Berat isi pasir = $\frac{W_3 - W_1}{W_2 - W_1}$(2.16)

c. Tentukan jumlah pasir yang dibutuhkan untuk mengisi corong sampai penuh sebagai berikut:

- ❖ Tempatkan alat pada tempat yang datar
- ❖ Timbang botol dan pasir (W4)
- ❖ Isi alat dengan pasir sampai penuh hingga pasir berhenti mengalir
- ❖ Tutup kran dan timbang botol dan sisa pasir (W5)
- ❖ Pasir yang dibutuhkan untuk mengisi corong sampai penuh ialah:

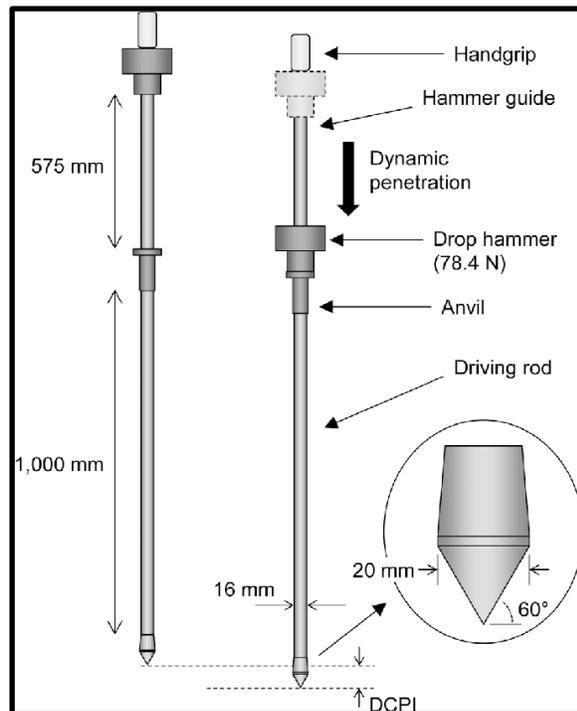
$$(W4-W5).....(2.17)$$

- d. Siapkan permukaan tanah yang akan diuji dengan cara meratakan permukaan tanah tersebut
- e. Tempatkan alat diatas permukaan yang sudah rata dan beri tanda pada lubang plat
- f. Angkat alat tersebut dan buat lubang pada tanda dengan hati-hati
- g. Tempatkan lagi alat pada tempat semula dan buka keran serta biarkan pasir mengalir sampai berhenti kemudian tutup krannya
- h. Timbang berat tanah hasil galian tadi (W7)
- i. Timbang berat alat dan pasir (W6)
- j. Ambil bekas tanah galian dan periksa kadar airnya (W)

E. Pengujian DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*)

DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) adalah alat uji untuk menguji kekuatan tanah dasar atau tanah timbunan yang biasanya digunakan pada pembangunan konstruksi jalan raya. DCP terdiri dari konus didasar batang vertikal yang ditancapkan ke tanah dengan cara dinamis. Pengujian DCP ini dimaksudkan untuk menentukan nilai CBR (*California Bearing Ratio*) dari tanah dasar, timbunan, dan atau sistem perkerasan. Pengujian ini akan memberikan data

kekuatan tanah sampai kedalaman ± 70 cm dibawah permukaan lapisan tanah yang ada atau permukaan tanah dasar. Pengujian ini dilakukan dengan mencatat data masuknya konus yang tertentu dimensi dan sudutnya untuk ketinggian yang tertentu pula. Alat DCP memang didesain khusus *portable* (mudah dibawa kemana saja) seperti gambar di bawah ini:



Gambar 2.9 Alat Dynamic Cone Penetrometer
(Sumber : www.1.bp.blogspot.com)

Beberapa bagian dari alat DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) seperti di dalam gambar sebagai berikut:

1. Pemegang alat (*Handgrip*)
2. Penghantar/jalur batang penetrasi (*Hammer Guide*)
3. Penumbuk (*Drop Hammer*) berbentuk silinder berlubang di tengahnya dengan berat 8 kg

4. Cincin peredam kejut (*Anvil*)
5. Batang penghantar (*Driving Rod*)
6. Konus (Seperti mata panah)

Pelaksanaan pengujian

1. Letakkan penetrometer yang telah dirakit diatas permukaan tanah/sirtu yang akan diperiksa. Letakkan alat ini sedemikian rupa sehingga dalam posisi tegak lurus vertikal, penyimpangan sedikit saja dapat membuat kesalahan angka yang besar
2. Baca posisi awal penunjukkan mistar ukur (X_0) dalam satuan mm yang terdekat. Penunjukkan X_0 tidak perlu tepat pada angka nol karena nilai X_0 ini akan diperhitungkan pada nilai penetrasi
3. Angkat palu penumbuk sampai menyentuh pemegang palu lalu lepaskan hingga palu jatuh dan menumbuk landasan penumbuknya, tumbukan ini menghasilkan gaya dorong yang kuat hingga konus akan menembus tanah/sirtu dibawahnya
4. Baca posisi penunjukkan mistar ukur (X_1) setelah terjadi penetrasi. Masukkan nilai X_1 ini pada blanko data kolom ke-2 (pembacaan mistar-mm) untuk tumbukan $N=1$ (baris ke 2). Isi kolom ke 3 (penetrasi-mm) pada blanko data yaitu selisih antara X_1 dan X_0 (X_1-X_0). Kemudian isi kolom ke 4 pada blanko besarnya nilai : $\frac{25}{x_1-x_0} \times 1 \dots\dots\dots(2.18)$
5. Ulangi prosedur 3 dan 4 berulang kali sampai batas kedalaman lapisan kolom ke 2 blanko data sesuai dengan baris $n=2, n=3, n=4, n=n$;

6. Isilah kolom ke 3 (penetrasi mm) pada blanko data yaitu selisih antara nilai X_1 dengan X_0 ($1=2, 3, 4 \dots n$);
7. Isilah kolom ke 4 (tumbukan per 25 mm) dengan rumus seperti 2.18
8. Dengan menggunakan grafik 1, tentukan nilai CBR yang bersangkutan dengan cara sebagai berikut :
 - Angka pada kolom ke 4 dimasukkan pada skala mendatar
 - Tarik garis vertical ke atas sampai memotong grafik
 - Dari titik potong tersebut ditarik garis horizontal ke kiri sampai memotong skala vertical
 - Titik perpotongan tersebut menunjukkan nilai CBR nya
 - Masukkan nilai tersebut pada titik potongnya
 - Bila titik potong tersebut tidak tepat pada nilai CBR tertentu, maka lakukan interpolasi/perkiraan nilai diantaranya
 - Masukkan nilai CBR ini pada kolom ke 6
9. Dengan menggunakan grafik 2, tentukan juga nilai CBR yang bersangkutan dengan cara sebagai berikut:
 - Angka pada kolom ke 1 dimasukkan/diplotkan pada skala mendatar;
 - Tarik garis vertical ke atas yang melalui titik tersebut
 - Angka pada kolom ke 3 (penetrasi mm) dimasukkan pada skala vertical
 - Tarik garis horizontal ke kanan yang melalui titik tersebut
 - Tentukan titik potong ke dua garis tadi
 - Tentukan nilai CBR pada titik potong tersebut

- Bila titik potong tersebut tidak tepat pada nilai CBR tertentu lakukan interpolasi nilai diantaranya

- Masukkan nilai CBR pada kolom ke 6

10. Ambil harga CBR terkecil diantara yang tercantum pada kolom ke 5 dan 6 serta masukkan nilai CBR tersebut pada kolom 7, Berikut adalah form pengujian DCP (Dynamic Cone Penetrometer Test)

Tabel 2.4 Form Pengujian DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*)

| Dynamic Cone Penetrometer Test | | | | | | |
|--------------------------------|-------|--------------|-----------------------|-------------------------------------|--|------------------------|
| Tanggal Uji : | | | | | | |
| Size of Conus : | | | | | | |
| Lokasi : | | | | | | |
| No | Blows | Reading (cm) | Penetration | CBR (%) | | hi x CBR |
| | a | b | $c = (b_n - b_{n-1})$ | $d = 10^{(1.352 - (1.125 \log c))}$ | | $e = c \times d^{1/2}$ |
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | | | | | | |
| 6 | | | | | | |
| 7 | | | | | | |
| 8 | | | | | | |
| 9 | | | | | | |
| 10 | | | | | | |
| 11 | | | | | | |
| 12 | | | | | | |
| 13 | | | | | | |
| 14 | | | | | | |
| 15 | | | | | | |
| Sum | | | | | | |

(Sumber : Hardiyatmo, 2002)

2.5 Tanah Timbun

Tanah timbun adalah tanah yang dibuat dengan menumpuk tanah diatas permukaan bumi secara buatan dan berkesinambungan. Tanah timbunan digunakan untuk meningkatkan permukaan yang datar atau meratakan permukaan yang tidak rata atau membuat lereng buatan. Tanah timbunan juga merupakan bagian dari perkerasan jalan yang meliputi berbagai pekerjaan seperti pengadaan material, penghamparan, pemadatan dan pengujian. Timbunan tanah yang dilakukan pada pekerjaan tanah biasanya diberi persyaratan kepadatan, maka pekerjaan penimbunan tanah sering disebut juga pekerjaan pemadatan tanah. Pemadatan tanah adalah proses meningkatkan kerapatan tanah dengan menggunakan energi mekanis guna menghasilkan kemampatan partikel tanah. Proses ini memperkecil volume pori dari suatu tanah atau memperbesar berat volume tanah.

Pemadatan tanah bertujuan untuk mengurangi porositas tanah sehingga memperbesar berat isi kering tanah tersebut. Pemadatan tanah merupakan faktor penting dalam keberhasilan proses konstruksi agar dapat meningkatkan daya dukung tanah, memperkecil daya rembes dan pengaruh air terhadap lahan serta beban bangunan. Pemadatan tanah dapat dilakukan dengan beberapa alat berat dipilih sesuai dengan jenis medan dan jenis tanah serta besaran anggaran proyek yang dibutuhkan. Peningkatan kepadatan kering tanah yang dihasilkan oleh pemadatan terutama tergantung pada kadar air dari tanah dan jumlah pemadatan yang digunakan. Perubahan-perubahan yang terjadi bila tanah dipadatkan adalah sebagai berikut:

1. Volume udara dalam pori-pori tanah berkurang sehingga tanah menjadi mudah padat

2. Kekuatan geser dan daya dukung tanah meningkat
3. Kompresibilitas tanah berkurang
4. Permeabilitas tanah berkurang
5. Lebih tanah terhadap erosi

Pemadatan tanah mempunyai beberapa metode, metode pemadatan yang digunakan tergantung pada:

1. Jenis tanah, Gradasi, dan kadar air pada saat pemadatan dilakukan
2. Tingkat kepadatan yang disyaratkan
3. Volume pekerjaan dan laju penyediaan bahan timbunan yang akan dipadatkan
4. Geometri pekerjaan tanah yang diusulkan
5. Persyaratan terhadap dampak lingkungan

Tabel 2.5 Jenis Alat Pemadatan Tanah

| Jenis Alat | Tanah yang cocok | Berat Alat | Tebal hamparan tanah lepas Maks (cm) |
|-----------------------|---------------------------------|------------|--------------------------------------|
| Sheep Foot Roller | Tanah lempung (clay) | 10 Ton | 18 - 30 cm |
| Vibro Roller | Lanau berpasir | 10 Ton | 10 - 20 cm |
| | Material butir kasar berlempung | | |
| Three Wheel Roller | Kerikil | 10 Ton | 10 - 20 cm |
| | Material plastis kasar | | |
| Pneumatic Tire Roller | Lanau berpasir | 12 Ton | 10 - 20 cm |
| | Lempung berpasir | | |
| | Lempung | | |

(Sumber : Winarno, 2011)

2.6 Tanah Lempung

Tanah lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik yang berasal dari pembusukan kimiawi. Unsur-unsur penyusun batuan, dan bersifat

plastis dalam selang kadar air sedang sampai luas. Dalam keadaan kering sangat keras dan tidak terkelupas hanya dengan jari tangan. Sifat khas dari tanah lempung adalah dalam keadaan kering sangat keras, dan jika basah akan bersifat plastis dalam selang kadar air sedang sampai luas. Dalam keadaan kering sangat keras, dan tidak terkelupas hanya dengan jari tangan.

Tanah lempung (*Clays*) didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran antara 0,002 mm (2 mikron). Namun demikian pada beberapa kasus partikel berukuran antara 0,002 mm s.d 0,005 mm juga masih digolongkan sebagai partikel lempung. Dari sisi mineral yang disebut dengan tanah lempung ialah yang mempunyai partikel-partikel tertentu yang menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air.

2.7 Tanah Lanau

Tanah lanau (*Silt*) adalah partikel batuan yang berukuran 0.002 sampai 0,074 mm, Sebagian besar merupakan fraksi mikroskopis (berukuran sangat kecil) dari tanah yang terdiri dari butiran-butiran yang sangat halus, sejumlah partikel berbentuk lempengan-lempengan pipih yang merupakan pecahan dari mineral mika.

saat ini terdapat berbagai sistem klasifikasi tetapi tidak ada satupun dari sistem-sistem tersebut yang benar-benar memberikan penjelasan yang tegas mengenai segala kemungkinan pemakaiannya. Hal ini disebabkan karena sifat-sifat tanah yang bervariasi.