

**ANALISA PERHITUNGAN DAYA DUKUNG TANAH PADA  
LAPISAN SUBGRADE JALAN MENGGUNAKAN METODE  
CALIFORNIA BEARING RATIO LAPANGAN**

**SKRIPSI**

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil

Universitas Medan Area

Disusun Oleh :

**WARTA AGUSTINUS SIHITE**

**12.811.0041**



**PROGRAM STUDY TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

**2016/2017**

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Warta Agustinus Sihite

NPM : 12.811.0041

Judul : "Analisa Daya Dukung Tanah Pada Lapisan Subgrade Jalan Dengan Menggunakan Metode CBR Lapangan"

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa hasil penulisan skripsi ini berdasarkan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari karya sendiri. Jika terdapat karya orang lain, saya mencantumkan sumber yang jelas.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya, dan apabila terdapat pelanggaran didalam penulisan skripsi ini, saya bersedia menerima sanksi berdasarkan sanksi yang berlaku di Universitas Medan Area.

Medan, 19 september 2018

Yang membuat pernyataan

  
METERAI  
TEMPEL  
BBCEAFF324407948  
6000  
ENAM RIBU RUPIAH

Warta Agustinus Sihite

**ANALISA DAYA DUKUNG TANAH PADA LAPISAN  
SUBGRADE JALAN MENGGUNAKAN METODE  
CALIFORNIA BEARING RATIO LAPANGAN**

**(Study Kasus)**

**SKRIPSI**

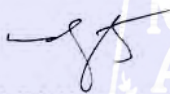
Oleh:

Warta A. Sihite

12.811.0041

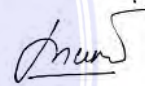
Disetujui:

Pembimbing I,



(Ir. H. Edy Hermanto, MT)

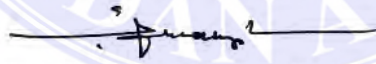
Pembimbing II



(Ir. Nuril Mahda, MT)

Mengetahui:

Dekan Fakultas Teknik



(Prof. Dr. Armansyah Ginting, M. Eng)

Ka. Program Studi,



(Ir. Kamaluddin Lubis, MT)

*Tanggal Lulus:*

## ABSTRAK

Jalan merupakan suatu sarana teknologi yang sangat membantu kehidupan manusia sehari-hari. Kegiatan manusia didalam memenuhi kebutuhan hidupnya tidak terlepas dari proses mobilisasi, sehingga kehidupan manusia tidak terlepas dari jalan. Konstruksi jalan modern ini, terdiri dari berbagai lapis, yaitu lapisan tanah dasar, lapisan pondasi, lapisan lantai kerja dan lapisan perkerasan. Oleh karena konstruksi jalan sekarang yang dibuat berlapis-lapis, maka kekuatan-kekuatan tiap lapisan pekerjaan jalan perlu diketahui parameter-parameter kekuatannya. Adapun parameter-parameter tersebut adalah klasifikasi tanah, kadar air tanah, kepadatan tanah, dan daya dukung tanah. Maksud dari penelitian yang dilakukan dalam skripsi ini adalah untuk menganalisa daya dukung tanah dasar pada proyek pembangunan jalan tol *Kualanamu International Airport*-Tebing Tinggi, dan tujuan dari penulisan skripsi ini adalah untuk mengetahui nilai daya dukung tanah dasar dengan menggunakan alat *California Bearing Ratio* lapangan. Sesuai dengan tujuan dari penulisan tugas akhir ini, maka didapatlah nilai pengujian *California Bearing Ratio* pada tiga titik pengujian, yaitu : STA 46+150, STA 0+212,5, dan STA 44+625-44+825(R/L). Adapun hasil dari pengujian *California Bearing Ratio* ini berturut-turut adalah 12.54%, 13.02%, dan 12,84%. Nilai-nilai *California Bearing Ratio* yang didapat telah memenuhi nilai standart untuk suatu jalan yaitu 6%. Dari seluruh data-data yang didapat pada percobaan-percobaan yang dilakukan pada skripsi ini didapatlah suatu nilai daya dukung tanah sebesar 6.910. Nilai daya dukung tanah ini lah yang akan menjadi acuan dalam melaksanakan pekerjaan selanjutnya.

**Kata kunci : Pemadatan, california bearing ratio, daya dukung tanah.**

## ABSTRACT

Roads are a means of technology that is helping the lives of everyday people. Human activities in meeting their needs can not be separated from the process of mobilization, so that human life can not be separated from the road. The modern road construction, made up of various layers, namely a layer of subgrade, base layer, coating floors and pavement work. Therefore, the construction of the road now are laminated, the strengths of each layer of road works need to know the parameters of strength. The parameters are soil classification, soil moisture content, soil density and soil bearing capacity. The purpose of the research done in this paper is to analyze the carrying capacity of the land base in highway construction projects Kualanamu International Airport -Tebing Tinggi, and the purpose of writing this paper was to determine the carrying capacity of the foundation soil by using California Bearing Ratio field. In accordance with the objectives of this thesis, then the value of California Bearing Ratio test on a three-point test, namely: STA 46 + 150, STA 0 + 212.5, and STA 44 + 625-44 + 825 (R / L). The results of testing this California Bearing Ratio row is 12:54%, 13:02% and 12.84%. The values obtained California Bearing Ratio has met the standard value for a road that is 6%. From all the data obtained in experiments conducted in this thesis didapatlah a carrying capacity of land by 6910. Values of soil bearing capacity is the one who will be the reference dialam carry out further work.

**Key word : Density, california bearing ratio, dan value of soil.**

# DAFTAR ISI

## BAB I PENDAHULUAN

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| 1.1 Latar Belakang .....       | 1 |
| 1.2 Maksud dan Tujuan.....     | 4 |
| 1.3 Rumusan Masalah .....      | 5 |
| 1.4 Batasan Masalah.....       | 5 |
| 1.5 Metodologi Penelitian..... | 5 |
| 1.6 Sistematika .....          | 7 |
| 1.7 Kerangka Berpikir.....     | 8 |

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 Umum .....                                                       | 9  |
| 2.2 Sistem Klasifikasi Tanah.....                                    | 9  |
| 2.2.1 Sistem Unified Soil Classification System (USCS) .....         | 10 |
| 2.2.2 Sistem Klasifikasi AASHTO .....                                | 13 |
| 2.3 Sifat Fisik Tanah .....                                          | 16 |
| 2.3.1 Hubungan Antara Butiran, Air dan Udara dalam Tanah.....        | 16 |
| 2.3.2 Berat Spesifik ( <i>Specific Gravity, G<sub>s</sub></i> )..... | 19 |

|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| 2.3.3 Konsistensi Tanah .....                | 20 |
| 2.4 Tanah Dasar (Subgrade) .....             | 22 |
| 2.5 Pemadatan Tanah.....                     | 23 |
| 2.5.1 Uji Proctor Standart.....              | 24 |
| 2.5.2 Pemadatan di lapangan .....            | 25 |
| 2.5.3 Pengujian Pemadatan Lapangan .....     | 27 |
| 2.6 Pengujian California Bearing Ratio.....  | 28 |
| 2.6.1 CBR lapangan ( <i>field</i> CBR) ..... | 28 |

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

|                                         |    |
|-----------------------------------------|----|
| 3.1 Lokasi Penelitian .....             | 30 |
| 3.2 Metode Penelitian .....             | 30 |
| 3.3 Teknik Pengumpulan Data .....       | 32 |
| 3.3.1 Data Primer .....                 | 32 |
| 3.3.2 Data Sekunder .....               | 32 |
| 3.4 Pekerjaan Persiapan .....           | 33 |
| 3.5 Pemeriksaan Sifat Fisik Tanah ..... | 33 |

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| 3.5.1 Pengujian Analisa Saringan (Sieve Analysis Test) .....  | 34 |
| 3.5.2 Pengujian Batas Konsistensi Atterberg .....             | 35 |
| 3.5.3 Pengujian Berat Jenis Tanah .....                       | 36 |
| 3.5.4 Pengujian Kadar Air ( <i>Water Content Test</i> ) ..... | 37 |
| 3.5.5 Pengujian Pemadatan ( <i>Compaction Test</i> ) .....    | 38 |
| 3.5.6 Pengujian Kerucut Pasir ( <i>Sand Cone</i> ) .....      | 40 |
| 3.6 Uji CBR Lapangan .....                                    | 43 |

#### **BAB IV PEMBAHASAN**

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 4.1 Pengujian Geoteknik .....         | 44 |
| 4.1.1 Pengambilan Sampel .....        | 45 |
| 4.2 Pengujian Laboratorium.....       | 45 |
| 4.2.1 Analisa Saringan.....           | 46 |
| 4.2.2 Uji Batas-Batas Atterberg ..... | 53 |
| 4.2.3 Pengklasifikasian Tanah .....   | 54 |
| 4.24 Uji Pemadatan (Compaction) ..... | 55 |

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.3 Proses Pemadatan di Lapangan .....                                              | 57 |
| 4.4 Pengujian Konus Pasir ( <i>Sand Cone</i> ) .....                                | 62 |
| 4.5 Pengujian Kekuatan Relatif Lapisan Subgrade dengan alat CBR La-<br>Pangan ..... | 64 |
| 4.6 Perencanaan Daya Dukung Tanah.....                                              | 71 |

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

|                      |    |
|----------------------|----|
| 5.1 Kesimpulan ..... | 73 |
| 5.2 Saran .....      | 74 |

## DAFTAR TABEL

Halaman

|            |                                                   |    |
|------------|---------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1  | Sistem Klasifikasi Unified .....                  | 12 |
| Tabel 2.2  | Sistem Klasifikasi AASHTO .....                   | 15 |
| Tabel 2.3  | Berat Spesifik Mineral-Mineral Penting .....      | 19 |
| Tabel 3.1  | Faktor Koreksi Suhu .....                         | 37 |
| Tabel 4.1  | Analisa Saringan Sampel 1 .....                   | 47 |
| Tabel 4.2  | Analisa Saringan Sampel 2 .....                   | 48 |
| Tabel 4.3  | Analisa Saringan Sampel 3 .....                   | 49 |
| Tabel 4.4  | Analisa Saringan Sampel 4 .....                   | 50 |
| Tabel 4.5  | Analisa Saringan Sampel 5 .....                   | 51 |
| Tabel 4.6  | Uji Batas Atterberg .....                         | 53 |
| Tabel 4.7  | Uji Pemadatan ( <i>Compaction</i> ) .....         | 55 |
| Tabel 4.8  | Penurunan Lapisan Subgrade Stelah Pemadatan ..... | 60 |
| Tabel 4.9  | Uji Konus Pasir ( <i>Sand Cone</i> ) .....        | 63 |
| Tabel 4.10 | Kalibrasi Alat Uji Konus Pasir .....              | 63 |

v

|            |                                                                               |    |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 4.11 | Kepadatan Kering Uji Konus Pasir .....                                        | 63 |
| Tabel 4.12 | Kepadatan Kering Uji Konus Pasir dan Kepadatan Rata-Rata<br>Laboratorium..... | 64 |
| Tabel 4.13 | Pembacaan Proving Ring CBR Lapangan STA 46+150 .....                          | 65 |
| Tabel 4.14 | Perhitungan Nilai CBR Lapangan STA 46+150 .....                               | 67 |
| Tabel 4.15 | Pembacaan Proving Ring CBR Lapangan STA 0.+212.5 .....                        | 67 |
| Tabel 4.16 | Perhitungan Nilai CBR Lapangan STA 0.+212.5 .....                             | 68 |
| Tabel 4.17 | Pembacaan Proving Ring CBR Lapangan STA 44+625-44+<br>825 (R/L) .....         | 69 |
| Tabel 4.18 | Perhitungan Nilai CBR Lapangan STA 44+625-44+825 (R/L) ....                   | 70 |

## DAFTAR GAMBAR

|             |                                                                     |    |
|-------------|---------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 1.1  | Peta lokasi Proyek Jalan Tol KNIA – Tebing Tinggi .....             | 4  |
| Gambar 1.2  | Kerangka berpikir penelitian .....                                  | 8  |
| Gambar 2.1. | (a) Elemen tanah dalam keadaan asli; (b) Tiga fase elemen tanah ... | 16 |
| Gambar 2.2  | Batas-batas Atterberg .....                                         | 22 |
| Gambar 2.3  | Grafik berat satuan kering terhadap kadar air .....                 | 24 |
| Gambar 2.4  | Peralatan yang dipakai pada pengujian proctor .....                 | 25 |
| Gambar 2.5  | Alat uji <i>sandcone</i> .....                                      | 27 |
| Gambar 3.1  | Proses pekerjaan tanah dasar .....                                  | 31 |
| Gambar 4.1  | Kondisi timbunan subgrade di lapangan .....                         | 44 |
| Gambar 4.2  | Pengeringan sampel .....                                            | 45 |
| Gambar 4.3  | Uji analisa saringan .....                                          | 46 |
| Gambar 4.4  | Grafik lolos saringan sampel 1 .....                                | 47 |
| Gambar 4.5  | Grafik lolos saringan sampel 2 .....                                | 48 |
| Gambar 4.6  | Grafik lolos saringan sampel 3 .....                                | 49 |

|             |                                                                                           |    |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4.7  | Grafik lolos saringan sampel 4 .....                                                      | 50 |
| Gambar 4.8  | Grafik lolos saringan sampel 5 .....                                                      | 51 |
| Gambar 4.9  | Grafik rata-rata ke-lima sampel .....                                                     | 52 |
| Gambar 4.10 | Grafik uji batas Atterberg .....                                                          | 53 |
| Gambar 4.11 | Grafik kepadatan kering tanah .....                                                       | 56 |
| Gambar 4.12 | Pemadatan tanah dengan menggunakan penggilas kaki-kambing .....                           | 58 |
| Gambar 4.13 | Pemadatan tanah dengan menggunakan penggilas baja –<br>Berpenggetar.....                  | 59 |
| Gambar 4.14 | Pengeringan alami lapisan subgrade .....                                                  | 60 |
| Gambar 4.15 | Uji kepadatan lapisan subgrade dengan menggunakan metode-<br><i>Sandcone</i> .....        | 61 |
| Gambar 4.16 | Uji kekokohan relatif dengan menggunakan alat California bearing-<br>Ratio lapangan ..... | 62 |
| Gambar 4.17 | Grafik penurunan lapisan subgrade pada Sta. 46+150 .....                                  | 66 |
| Gambar 4.18 | Grafik penurunan lapisan subgrade pada Sta. 0+212.5 .....                                 | 68 |

Gambar 4.19 Grafik penurunan lapisan subgrade pada Sta.44+625- 44+825(R/L)

70



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar belakang**

Perkembangan peradaban manusia telah mengalami kemajuan yang sangat signifikan sejak seribu tahun terakhir, termaksud juga sektor transportasi. Kegiatan manusia didalam memenuhi kebutuhan hidupnya terkadang harus menyebabkan melakukan mobilisasi, oleh karena itu dibutuhkan sarana yang mendukung kegiatan mobilisasi tersebut. Jalan adalah faktor utama yang menjadi penopang kegiatan manusia didalam melakukan perpindahan. Istilah jalan telah ada pada sejak zaman romawi yang bernama Via Sratea yaitu rute yang terdiri dari berbagai bahan yang berlapis ( Copsom Malcom, Ancill Roy, Kendrick, Peter S, Wignal Artur, “Proyek Jalan Teori dan Praktek, hal 2, 2003),

Seperti yang telah diketahui bersama, tanah adalah suatu material pendukung kosntruksi jalan yang tersusun dari tiga bahan, yaitu butiran, air dan udara (Craig.F.R, Susilo Budi S “Mekanika Tanah Edisi 4, 1987) sehingga diperlukan suatu perhitungan matematis didalam mencari nilai daya dukungnya. Susunan ketiga bahan tersebut sangatlah mempengaruhi daya dukung tanah, sehingga perlu melakukan penentuan parameter demi kepentingan analisa. Daya dukung tanah pada jalan ditekanan pada dua faktor, yaitu kemampuan tanah untuk menahan beban dan meratanya daya dukung tanah sepanjang konstruksi jalan. Akibat dari daya dukung

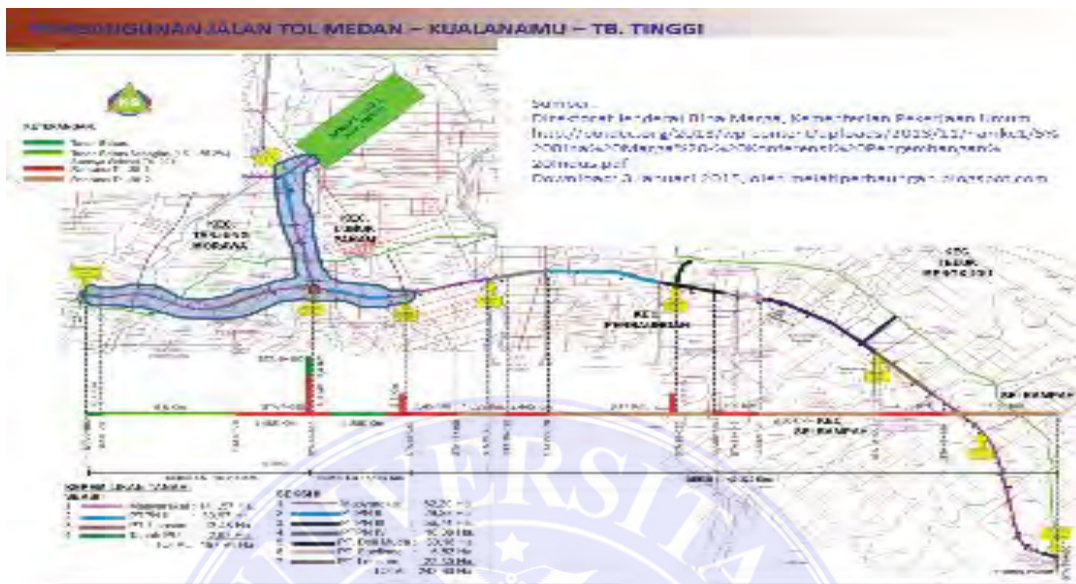
yang tidak sesuai/ merata pada suatu konstruksi jalan itu sendiri adalah dapat mengakibatkan perubahan bentuk tetap pada konstruksi jalan (deformasi permanen pada konstruksi jalan ), dan dapat mengakibatkan *failure* pada lapisan perkerasan sehingga dapat membahayakan jiwa pengguna jalan.

Dalam menentukan daya dukung tanah, terdapat beberapa cara untuk mengetahui kemampuan tanah dalam memikul beban, salah satunya adalah pengujian California Bearing Ratio. California Bearing Ratio adalah suatu pengujian untuk menentukan suatu kekuatan relative bahan yang digunakan sebagai lapisan pondasi terhadap suatu bahan standart (SNI 03 – 1738 – 2011, Cara Uji CBR Lapangan). Penentuan daya dukung tanah dengan *California Bearing Ratio*, tidaklah terlepas dari pengujian – pengujian parameter tanah lainnya, akan tetapi semuanya saling berhubungan. Oleh karena itu sebelum melakukan pengujian *California Bearing Ratio*, diperlukan pengujian - pengujian tanah lainnya salah satunya adalah pengujian kadar air optimum (*standart proctor*).

Pengujian kadar air optimum adalah suatu pengujian yang bertujuan untuk mencari kadar air tanah yang paling tepat didalam membantu mencari kepadatan tanah maximum, sebab kadar air sangatlah mempengaruhi kepadatan suatu lapisan tanah ( Setyo Budi Gogot, “Pengujian tanah di Laboratorium”, 2011 ). Pengujian kadar air optimum sangat erat kaitannya dengan pengujian California Bearing ratio, karena pengujian kadar air optimum adalah untuk mencari nilai kepadatan tanah yang paling maksimal. Pemadatan tanah dan daya dukung tanah adalah suatu nilai yang

berbanding lurus, apabila tanah semakin padat, maka daya dukung tanah akan semakin meningkat.

Sesuai dengan pemaparan alinea diatas, maka jalan adalah salah satu sarana yang sangat dibutuhkan oleh manusia, dalam artian jalan digunakan oleh manusia secara terus menerus. Penggunaan jalan yang terus menerus tentu dapat mengakibatkan kegagalan pada konstruksi jalan, oleh karena itu dibutuhkan suatu perencanaan konstruksi yang baik dalam pembuatannya. Suatu konstruksi jalan yang baik tidak akan dapat terwujud apabila tidak didukung oleh daya dukung tanah yang memadai. Daya dukung tanah dasar adalah suatu parameter kemampuan lapisan tanah untuk menampung beban yang dibebankan diatasnya (<http://zainus.blogspot.co.id/2012/03/perkerasan-jalan>.) Sehingga dapat dikatakan bahwa dalam perencanaan konstruksi jalan, penentuan daya dukung tanah adalah yang paling utama dilaksanakan. Hal inilah yang menyebabkan penulis tertarik melakukan penelitian ilmiah untuk tugas akhir dengan judul, **“Analisa daya dukung tanah pada lapisan subgrade jalan menggunakan metode CBR lapangan”**, yang berlokasi pada proyek pembangunan jalan tol KNIA – Tebing Tinggi pada sector 2.



**Gambar 1.1 Peta lokasi Proyek Jalan Tol KNIA – Tebing Tinggi**

## 1.2 Maksud dan tujuan

Maksud dari penulisan tugas akhir ini adalah menganalisa daya dukung tanah dasar (*subgrade*) pada proyek pembangunan jalan tol KNIA – Tebing Tinggi.

Sedangkan tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk mengetahui nilai daya dukung tanah dasar dengan metode CBR lapangan pada proyek konstruksi jalan tol KNIA – Tebing Tinggi.

### 1.3 Rumusan masalah

Dalam pelaksanaan konstruksi jalan tol, terdapat cukup banyak hal yang dapat diangkat menjadi topic permasalahan pada tugas akhir ini, yaitu antara lain :

1. Daya dukung tanah dasar
2. Metode CBR lapangan
3. Kandungan air pada tanah dasar (*subgrade*)
4. Pemadatan tanah timbun sebagai lapisan tanah dasar (*subgrade*).

### 1.4 Batasan masalah

Karena luasnya masalah yang menyangkut pada pelaksanaan konstruksi jalan tol KNIA – Tebing Tinggi, baik dari sisi perencanaan daya dukung tanah, kandungan air, dan tingkat pemadatan, maka penulis melakukan pembatasan tinjauan masalah pada : Metode CBR Lapangan

### 1.5 Metodologi penelitian

Penulisan tugas akhir ini berbentuk study kasus dan dianalisa berdasarkan pengolahan data primer dan data sekunder. Adapun data primer dan data sekunder pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

#### a. Data primer

Data primer adalah data yang diperoleh dengan melakukan pengamatan langsung pada lokasi proyek yang melaksanakan pekerjaan

konstruksi jalan tol. Data yang didapatkan adalah semua hal-hal yang ada pada lapangan yang berkaitan langsung pada penelitian tugas akhir. Adapun data primer pada tugas akhir ini adalah :

1. Jenis jalan
2. Lebar/ bentang jalan
3. Tebal lapisan (layer) tanah timbun untuk lapisan subgrade
4. Kandungan air pada tanah
5. Jenis tanah timbun yang digunakan.

b. Data sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dengan melakukan perbandingan dari berbagai literatur dan instansi terkait dimana penulis dapat mengambil segala aspek dan teori dari rumusan yang diperlukan. Dalam pengambilan data sekunder, dapat dilakukan dengan cara sesi tanya jawab / wawancara kepada staff ahli pelaksana/pengawas yang berada dilapangan, dan juga dapat mengutip dari berbagai sumber literature. Adapun data-data sekunder pada tugas akhir ini adalah :

1. Metode pemadatan
2. Lokasi sumber tanah timbun (*Quary*)
3. Alat berat yang digunakan

#### 4. Metode pemadatan

### 1.6 Sistematika

Penulisan tugas akhir ini disusun dengan sistematika sebagai berikut:

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Berisi latar belakang penulisan tugas akhir, tujuan penulisan tugas akhir, waktu dan tempat pelaksanaan penelitian tugas akhir, dan sistematika penulisan tugas akhir.

#### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Berisi informasi dasar mengenai seluruh aspek aspek yang ada didalam penelitian, berdasarkan teori-teori/ standart yang ada.

#### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Berisi informasi proses/ tata cara pelaksanaan metode-metode yang digunakan di dalam penelitian ini.

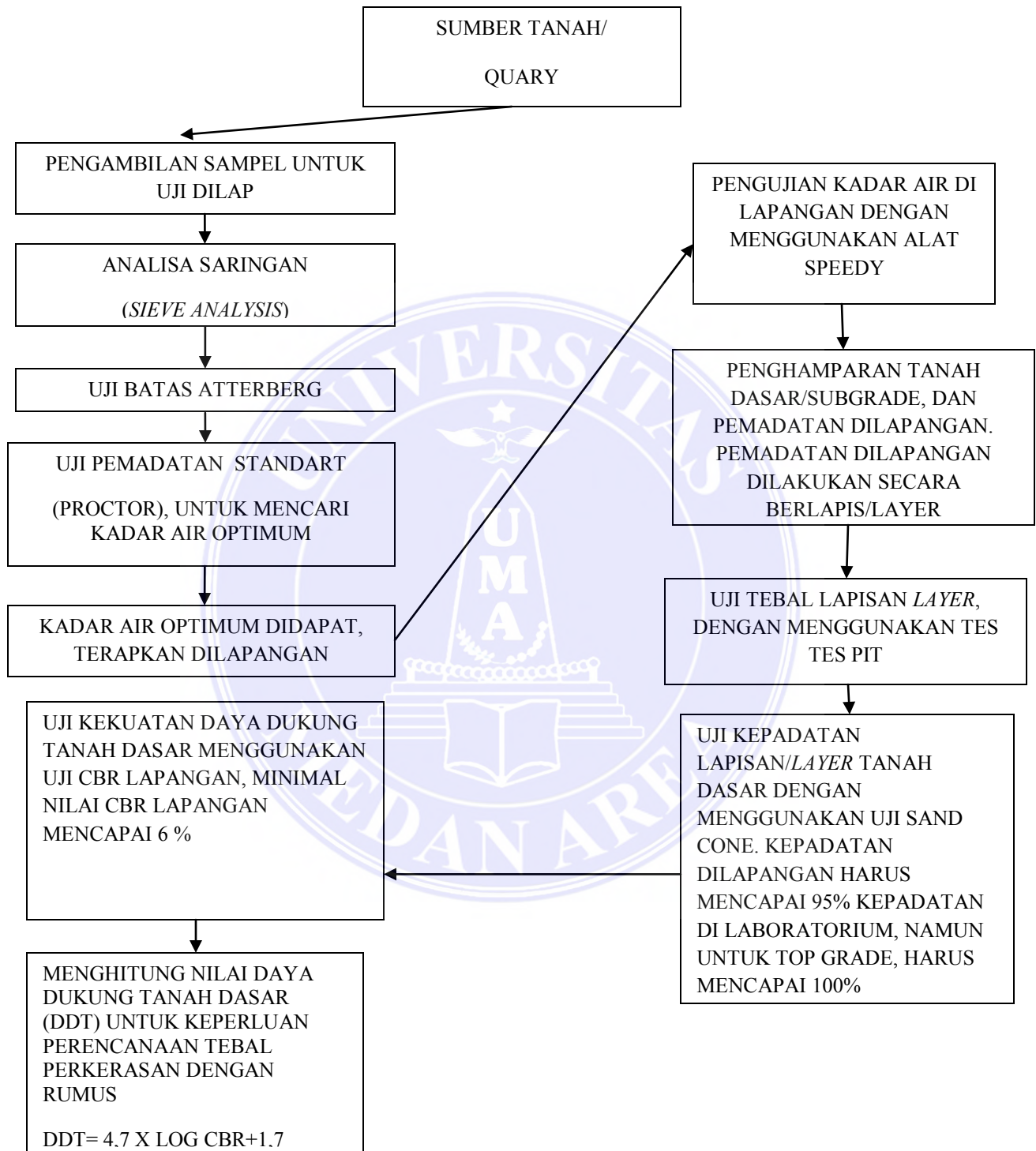
#### **BAB IV PEMBAHASAN**

Berisi hasil dari seluruh analisa yang dilakukan didalam penelitian.

#### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Berisi tentang kesimpulan penulis sewaktu melaksanakan penelitian serta saran yang penulis sampaikan kepada kita semua.

### 1.7 Kerangka Berpikir / Alur Berpikir



Gambar 1.2 Kerangka berpikir penelitian

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak 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. Tanah berguna sebagai bahan bangunan pada berbagai macam pekerjaan teknik sipil, disamping itu tanah berfungsi juga sebagai pendukung pondasi dari bangunan. Jadi seorang ahli teknik sipil harus juga mempelajari sifat-sifat dasar dari tanah, seperti asal usulnya, penyebaran ukuran buiran, kemampuan mengalirkan air, sifat pemampatan bila dibebani (*compressibility*), kekuatan geser, kapasitas daya dukung terhadap beban, dan lain-lain. Ilmu mekanika tanah (*soil mechanics*) adalah cabang dari ilmu pengetahuan yang mempelajari sifat-sifat fisik dari tanah dan kelakuan massa tanah tersebut bila menerima bermacam-macam gaya. Ilmu rekayasa tanah (*soil Enggining* ) merupakan aplikasi dari prinsip-prinsip mekanika tanah dalam problema-problema praktisnya (M. Das Brajas, “Mekanika Tanah Jilid 1”)

#### **2.2 Sistem Klasifikasi Tanah**

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa kedalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem

klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara mudah sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang erinci. Sebagian besar system klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butir dan plastisitas.

### 2.2.1 Sistem Klasifikasi *Unified*

Sistem klasifikasi *unified* pada mulanya diperkenalkan oleh Casagrande dalam tahun 1942 untuk dipergunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan terbang yang dilaksanakan oleh *The Army Corps of Engginer* selama perang dunia II. Dalam rangka kerja sama dengan *United States Bureau of Reclamation* tahun 1952 , system ini disempurnakan. Pada masa kini, system klasifikasi tersebut digunakan secara luas oleh para ahli teknik.

Sistem klasifikasi *unified* mengelompokkan tanah kedalam dua kelompok besar, yaitu :

1. Tanah berbutir kasar ( *coarse - grained – soil* ), yaitu : tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50 % berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G atau S. G adalah untuk kerikil ( *gravel* ) atau tanah berkerikil, dan S adalah untuk pasir ( *sand* ) atau tanah berpasir.
2. Tanah berbutir halus ( *fine – grained - soil* ), yaitu tanah dimana lebih dari 50 % berat total contoh tanah ayakan lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dari huruf awal M untuk

lanau ( *Silt* ) anorganik, C untuk lempung ( *clay* ) anorganik, dan O untuk lanau – organic dan lempung organik. Simbol PT digunakan untuk tanah gambut ( *peat* ), muck dan tanah – tanah lain dengan kadar organik tinggi.

Simbol – simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi USCS adalah :

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 ) (  $LL > 50$  )

Tanah berbutir kasar ditandai dengan simbol kelompok seperti : GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM, dan SC. Untuk klasifikasi yang benar, faktor – faktor berikut ini perlu diperhatikan :

1. Persentase butiran yang lolos ayakan No. 200 ( ini adalah fraksi halus )
2. Persentase fraksi kasar yang lolos ayakan No. 40
3. Koefisien keseragaman ( *uniformy coefisien*,  $C_u$  ) dan koefisien gradasi ( *gradation coefficient*,  $C_c$  ) untuk tanah dimana 0 – 12 % lolos ayakan No.200
4. Batas cair ( LL) dan indeks plastisitas ( PI ) bagian tanah yang lolos ayakan No. 40 ( untuk tanah dimana 5 % atau lebih lolos ayakan No.200 ).

Bilamana persentase butiran yang lolos ayakan No.200 adalah antara 5 sampai dengan 12%, simbol ganda seperti GW-GM, GP-GM, GW-GC, SW-SC, SP-SM, dan SP-SC diperlukan. Klasifikasi tanah

berbutir halus dengan menggunakan simbol ML, CL, OL, MH, CH, dan OH didapat dengan cara menggambar batas cair dan indeks plasisitas tanah yang bersangkutan pada bagan plastisitas ( Casagrande, 1948 ) yang diberikan pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1 Sistem Klasifikasi *Unified***

| Deskripsi                                                                                                   |                                                      |                                                                                    | Simbol kelompok | Kriteria Laboratorium      |                                 |                             |                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                             |                                                      |                                                                                    |                 | Butiran Halus (%)          | Kualitas                        | Plastisitas                 | Catatan                                                                                               |
| Berbutir kasar (lebih dari 50% pecahan kasar berukuran kerikil) 63 $\mu$ m BS atau ukuran ayakan US No.200) | Kerikil (lebih dari 50%)                             | Kerikil bergradasi baik, kerikil berpasir, dengan sedikit atau tanpa butiran halus | GW              | 0 – 5                      | $C_u > 4$<br>$1 < C_c < 3$      |                             | Simbol rangkap dua jika butiran halus 5-12%.<br>Simbol rangkap dua jika diatas garis A dan 4 < PI < 7 |
|                                                                                                             |                                                      | Kerikil berlanau, kerikil berpasir, dengan sedikit atau tanpa butiran halus        | GP              | 0-5                        | Tidak memenuhi syarat-syarat GW |                             |                                                                                                       |
|                                                                                                             |                                                      | Kerikil berlanau, kerikil berpasir berlanau                                        | GM              | > 12                       |                                 | Dibawah garis A atau PI < 4 |                                                                                                       |
|                                                                                                             |                                                      | Kerikil berlempung, kerikil berlempung berpasir                                    | GC              | > 12                       |                                 | Diatas garis A dan PI > 7   |                                                                                                       |
|                                                                                                             | Pasir (lebih dari 50% pecahan kasar berukuran pasir) | Pasir bergradasi baik, kerikil berpasir, dengan sedikit atau tanpa butiran halus   | SW              | 0-5                        | $C_u > 6$<br>$1 < C_c < 3$      |                             |                                                                                                       |
|                                                                                                             |                                                      | Pasir bergradasi buruk, pasir berkerikil, dengan sedikit atau tanpa butiran halus  | SP              | 0-5                        | Tidak memenuhi syarat-syarat SW |                             |                                                                                                       |
|                                                                                                             |                                                      | Pasir berlanau                                                                     | SM              | > 12                       |                                 | Dibawah garis A atau PI < 4 |                                                                                                       |
|                                                                                                             |                                                      | Pasir berlempung                                                                   | SC              | > 12                       |                                 | Diatas garis A dan PI > 7   |                                                                                                       |
| Berbutir halus (lebih dari 50% lebih kecil dari 63 $\mu$ m BS atau ukuran ayakan AS No.200)                 | Lanau dan lempung (batas cair kurang dari 50)        | Lanau anorganik, pasir halus berlanau atau berlempung plastisitas tinggi           | ML              | Gunakan grafik plastisitas |                                 |                             |                                                                                                       |
|                                                                                                             |                                                      | Lempung anorganik, lempung berlanau, lempung berpasir plastisitas rendah           | CL              | Gunakan grafik plastisitas |                                 |                             |                                                                                                       |
|                                                                                                             |                                                      | Lanau organik dan lempung berlanau organik plastisitas rendah                      | OL              | Gunakan grafik plastisitas |                                 |                             |                                                                                                       |
|                                                                                                             | Lanau dan lempung (batas cair lebih besar dari 50)   | Lanau anorganik plastisitas tinggi                                                 | MH              | Gunakan grafik plastisitas |                                 |                             |                                                                                                       |
|                                                                                                             |                                                      | Lempung anorganik plastisitas tinggi                                               | CH              | Gunakan grafik plastisitas |                                 |                             |                                                                                                       |
|                                                                                                             |                                                      | Lempung organik plastisitas tinggi                                                 | OH              | Gunakan grafik plastisitas |                                 |                             |                                                                                                       |
|                                                                                                             |                                                      |                                                                                    |                 |                            |                                 |                             |                                                                                                       |
| Tanah organik tinggi                                                                                        | Gambut dan tanah berkadar organik tinggi lainnya     | Pt                                                                                 |                 |                            |                                 |                             |                                                                                                       |

Sumber: Braja M.Das, "Mekanika Tanah Jilid 1"

### 2.2.2 Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi tanah ini dikembangkan dalam tahun 1929 oleh *Public Road Administration Classification System*. Sistem ini sudah mengalami beberapa perbaikan: versi yang saat ini berlaku adalah yang diajukan oleh *Committee on Classification of Material for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board* dalam tahun 1945 (ASTM Standart no D-3282, AASHTO metode M145)

Pada sistem ini, tanah diklasifikasikan kedalam tujuh kelompok besar, yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan kedalam A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir dimana 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No.200. Tanah dimana lebih dari 35% butirannya lolos ayakan No.200 diklasifikasikan kedalam 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 dibawah ini :

#### a. Ukuran Butir

Kerikil: bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75 mm ( 3 in ) dan yang tertahan pada ayakan No. 20 ( 2 mm )

Pasir : bagian tanah yang lolos ayakan no.10 ( 2mm ) dan yang tertahan pada ayakan No. 200 ( 0,075 mm ).

#### b. Plastisitas

Nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas [ *plasticity index*, PI ] sebesar 10 atau kurang.

Nama berlempung dipakai bilamana bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 11 atau lebih. Apabila batuan ( ukuran lebih besar dari 75 mm ) ditemukan didalam contoh tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu, tetapi persentase dari batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat.

Untuk mengevaluasi mutu ( *quality* ) dari suatu tanah sebagai bahan lapisan tanah dasar ( *subgrade* ) dari suatu jalan raya , suatu angka yang dinamakan indeks grup ( *group indeks, GI* ) juga diperlukan selain kelompok dan subkelompok dari tanah yang bersangkutan. Indeks grup dapat dihitung dengan memakai persamaan seperti dibawah ini :

$$GI = ( F - 35 ) [0,2 + 0,005 (LL-40)] + 0,01 ( F - 15 ) ( PI - 10 )...$$

(pers.2.1)

dimana : F = persentase butiran yang lolos ayakan No.200

LL = batas cair ( liquid limit )

PI = indeks plastisitas

Suku pertama persamaan 2.1 yaitu ( F-35) [0,2 + 0,005 (LL-40)], adalah bagian dari indeks grup yang ditentukan dari batas cair (LL). Suku yang kedua, yaitu 0,01 (F-15) (PI-10), adalah bagian dari indeks grup yang ditentukan dari indeks plastisitas ( PI). Berikut ini adalah aturan untuk menentukan harga dari indeks grup :

- Apabila Persamaan 2.1 menghasilkan nilai GI yang negatif, maka harga GI dianggap nol.
- Indeks grup yang dihitung menggunakan persamaan 2.1 dibulatkan ke angka yang paling dekat
- Tidak ada batas atas untuk indeks grup
- Indeks grup untuk tanah yang masuk dalam kelompok A-1a, A-1b, A-2-4, A-2-5 dan A-3 selalu sama dengan nol.
- Untuk tanah yang masuk kelompok A-2-6 dan A-2-7, hanya bagian dari indeks grup untuk PI saja yang digunakan, yaitu :

$$GI = 0,01 (F-15) (PI-10) \dots\dots (pers.2.2)$$

**Tabel 2.2 Sistem Klasifikasi AASHTO**

| Klasifikasi umum                 | Bahan-bahan berbutir<br>(35% atau kurang lolos No.200) |         |             |                                           |         |                    |         | Bahan-bahan lanau lempung<br>(lebih dari 35% lolos 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   |                                                            |         |                 |         |
| Analisa saringan Persen lolos:   |                                                        |         |             |                                           |         |                    |         |                                                            |         |                 |         |
| No.10                            | Maks.50                                                |         |             |                                           |         |                    |         |                                                            |         |                 |         |
| No.40                            | Maks.30                                                | Maks.50 | Maks.51     |                                           |         |                    |         |                                                            |         |                 |         |
| No.200                           | Maks.15                                                | Maks.15 | Maks.10     | Maks.35                                   | Maks.35 | Maks.35            | Maks.35 | Min.36                                                     | Min.36  | Min.36          | Min.36  |
| Karakteristik                    |                                                        |         |             |                                           |         |                    |         |                                                            |         |                 |         |
| Fraksi yang lolos No.40          |                                                        |         |             |                                           |         |                    |         |                                                            |         |                 |         |
| Batas cair :                     |                                                        |         |             | Maks.40                                   | Maks.41 | Maks.40            | Maks.41 | Maks.40                                                    | Maks.40 | Maks.40         | Maks.41 |
| Indeks plastisitas               | Maks.6                                                 |         | N.P         | Maks.10                                   | Maks.10 | Maks.11            | Maks.10 | Min.10                                                     | Min.10  | Min.10          | Min.10  |
| Jenis umum                       | Fragmen batuan<br>Kerikil dan pasir                    |         | Pasir halus | Kerikil atau pasir lanauan atau lempungan |         |                    |         | Tanah lanauan                                              |         | Tanah lempungan |         |
| Tingkat umum sebagai tanah dasar | Sangat baik sampai baik                                |         |             |                                           |         | Cukup sampai buruk |         |                                                            |         |                 |         |

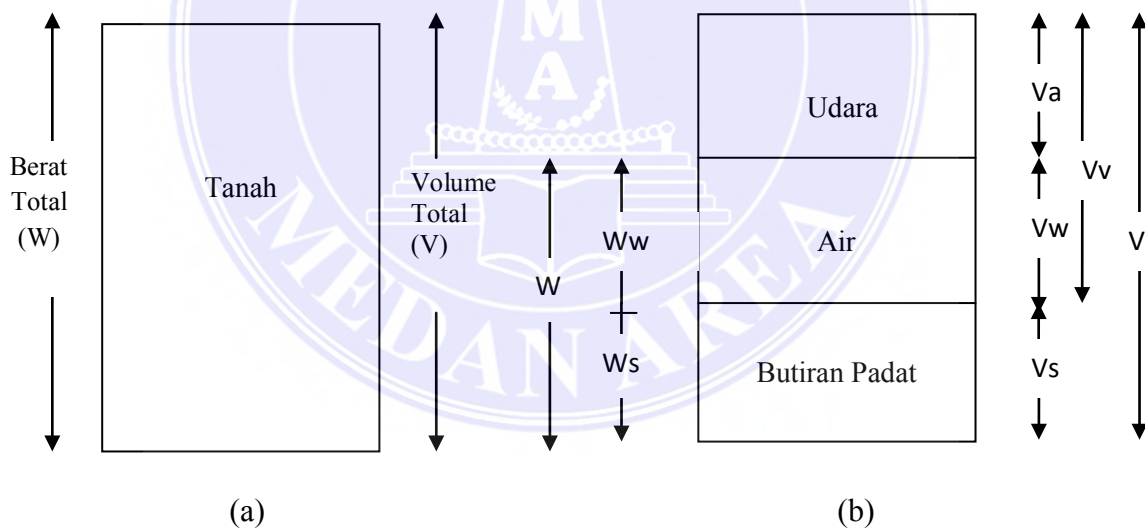
Catatan : Indeks Plastisitas untuk sub kelompok A-7-5- < LL - 30, sedang  
Indeks Plastisitas untuk sub kelompok A-7-5- > LL - 30 .

Sumber : Braja M. Das, "Mekanika Tanah Jilid 1

## 2.3 Sifat Fisik Tanah

### 2.3.1 Hubungan Antara Butiran, Air dan Udara dalam Tanah

Tanah merupakan komposisi dari dua atau tiga fase yang berbeda. Tanah yang benar-benar kering terdiri dari dua fase yang disebut partikel padat dan udara pengisi pori. Tanah yang jenuh sempurna ( *fully saturated* ) juga terdiri dari dua fase, yaitu partikel padat dan air pori. Sedangkan tanah yang jenuh sebagian terdiri dari tiga fase, yaitu partikel padat, udara pori dan air pori. Komponen-komponen tanah dapat digambarkan dalam suatu diagram fase seperti terlihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. (a) Elemen tanah dalam keadaan asli; (b) Tiga fase elemen tanah

Sumber: Braja M. Das, "Mekanika Tanah jilid 1".

Gambar 2.1.a menunjukkan suatu elemen tanah dengan volume  $V$  dan berat  $W$ . Untuk membuat hubungan volume-berat agregat tanah, tiga fase ( yaitu : butiran padat, air, dan udara ) dipisahkan seperti ditunjukkan dalam gambar 2.1.b. Jadi, volume total contoh tanah yang diselidiki dapat dinyatakan sebagai :

$$V = V_s + V_u = V_s + V_w + V_a \quad \text{..... ( persamaan 2.3 )}$$

dimana :

$V_s$  = volume butiran padat

$V_u$  = volume pori

$V_w$  = volume air dalam pori

$V_a$  = Volume udara dalam pori

Apabila udara dianggap tidak mempunyai berat, maka berat total dari contoh tanah dapat dinyatakan sebagai :

$$W = W_s + W_w \quad \text{..... ( persamaan 2.4 )}$$

dimana :

$W_s$  = berat butiran padat

$W_w$  = berat air

Hubungan volume yang umum dipakai untuk suatu elemen tanah adalah angka pori ( *void ratio* ), porositas ( *porosity* ), dan derajat kejenuhan ( *degree of saturation* ). Angka pori didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dan volume butiran padat. Jadi :

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad \text{..... ( persamaan 2.5 )}$$

dimana :

$e$  = angka pori ( *void ratio* )

Porositas didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dan volume tanah total , atau :

$$n = \frac{V_v}{V} \quad \text{..... ( persamaan 2.6 )}$$

dimana :

$n$  = porositas

Derajat kejenuhan didefinisikan sebagai perbandingan antara volume air dengan volume pori, atau :

$$S = \frac{V_w}{V_v} \quad \text{..... ( persamaan 2.7 )}$$

dimana :

$S$  = derajat kejenuhan. Umumnya, derajat kejenuhan dinyatakan dalam persen.

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

- Kadar air ( $w$ ) yang juga disebut sebagai *water content* didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki.

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \% \quad \text{..... ( persamaan 2.8 )}$$

- Berat volume tanah ( $\gamma$ ) adalah berat tanah per satuan volume.

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad \text{..... ( persamaan 2.9 )}$$

- Berat Volume Tanah Kering

$$\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1+W} \quad \text{..... ( persamaan 2.10 )}$$

### 2.3.2 Berat Spesifik (*Specific Gravity, G<sub>s</sub>*)

Harga berat spesifik dari butiran tanah (bagian padat) sering dibutuhkan dalam bermacam-macam keperluan perhitungan dalam mekanika tanah. Harga-harga itu dapat ditentukan secara akurat di laboratorium. Tabel 2.3 menunjukkan harga-harga berat spesifik beberapa mineral yang umum terdapat dalam tanah. Sebagian besar dari mineral-mineral tersebut mempunyai berat spesifik berkisar 2.6 sampai dengan 2.9. Berat jenis dari bagian padat tanah pasir yang berwarna terang, umumnya sebagian besar terdiri dari *quartz*, dapat diperkirakan sebesar 2.65, untuk tanah berlempung atau lanau harga tersebut berkisar antara 2.6 sampai 2.9. Adapun persamaan dari berat spesifik adalah sebagai berikut :

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad \text{..... ( persamaan 2.10 )}$$

**Tabel 2.3 Berat Spesifik Mineral-Mineral Penting**

| Mineral          | Berat Jenis (G <sub>s</sub> ) |
|------------------|-------------------------------|
| <b>Quartz</b>    | 2.65                          |
| <b>Kaolinite</b> | 2.6                           |
| <b>Illite</b>    | 2.8                           |

|                                        |             |
|----------------------------------------|-------------|
| <b>Montmorillonite</b>                 | 2.65 -2.80  |
| <b>Halloysite</b>                      | 2.0 – 2.55  |
| <b>Potassium Feldspar</b>              | 2.57        |
| <b>Sodium and Calcium<br/>Feldspar</b> | 2.62 – 2.76 |
| <b>Chlorite</b>                        | 2.6 - 2.9   |
| <b>Biotite</b>                         | 2.8 – 3.2   |
| <b>Muscovite</b>                       | 2.76 – 3.1  |
| <b>Hornblende</b>                      | 3.0 – 3.47  |
| <b>Limonite</b>                        | 3.6 – 4.0   |
| <b>Olivine</b>                         | 3.27 – 3.37 |

*Sumber: Braja M. Das, "Mekanika Tanah jilid 1".*

### 2.3.3 Konsistensi Tanah

Apabila tanah berbutir halus mengandung mineral lempung, maka tanah tersebut dapat diremas-remas (*remolded*) tanpa menimbulkan retakan. Sifat kohesif ini disebabkan karena adanya air yang terserap (*absorbed water*) di sekeliling permukaan dari partikel lempung. Pada awal tahun 1900, seorang ilmuwan dari Swedia bernama Atterberg mengembangkan suatu metode untuk menjelaskan sifat konsistensi tanah berbutir halus pada kadar air yang bervariasi. Bilamana 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 dipisahkan kedalam empat keadaan dasar, yaitu : padat, semi pada, plastis dan cair. Kadar air, dinyatakan dalam persen, dimana terjadi transisi dari keadaan padat ke keadaan semi padat didefenisikan sebagai batas susut (*shrinkage limit*). Kadar air dimana transisi dari keadaan semi padat ke keadaan plastis dinamakan batas plastis (*plastic limit*), dan dari keadaan plastis ke keadaan cair dinamakan batas cair (*liquid limit*), batas – batas ini dikenal juga sebagai batas-batas Atterberg (*Atterberg Limit*).

### **1. Batas Cair (*Liquid Limit*)**

Batas cair (*liquid limit*) didefenisikan sebagai kadar air (*water content*) yang terkandung didalam tanah pada perbatasan antara fase cair dan fase plastis.

### **2. Batas Plastis (*Plastic Limit*)**

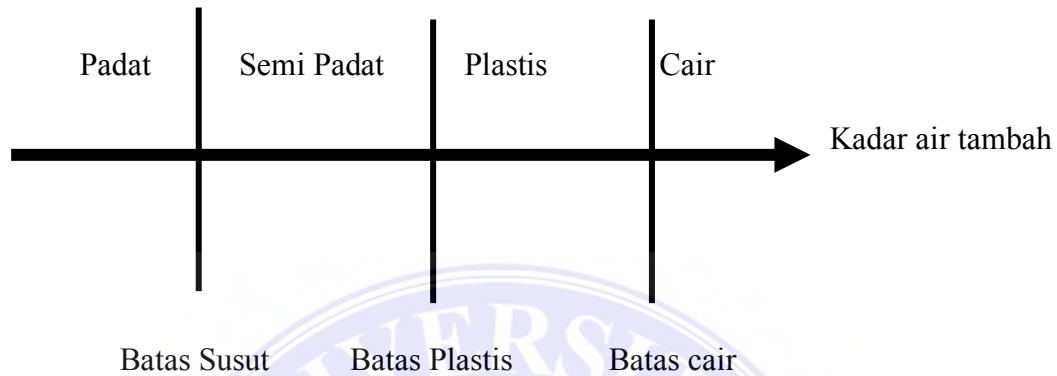
Batas plastis didefenisikan sebagai kadar air di dalam tanah pada fase antara plastis dan semi padat. Apabila kadar air didalam tanah berkurang, maka tanah akan menjadi lebih keras dan memiliki kemampuan untuk menahan perubahan bentuk.

### **3. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)**

Tanah berbutir halus secara alamiah berada dalam kondisi plastis. Batas atas dan batas bawah dari rentang kadar air dimana tanah masih bersifat plastis berturut-turut disebut batas cair (*liquid limit*) dan batas plastis (*plastic limit*). Rentang kadar air itulah didefenisikan sebagai indeks plastisitas (*plasticity index*), dimana :

$$IP = LL - PL$$

(Pers.2.11)



**Gambar 2.2 Batas-batas Atterberg**

*Sumber: Braja M. Das, "Mekanika Tanah jilid 1".*

## 2.4 Tanah Dasar (*Sub Grade*)

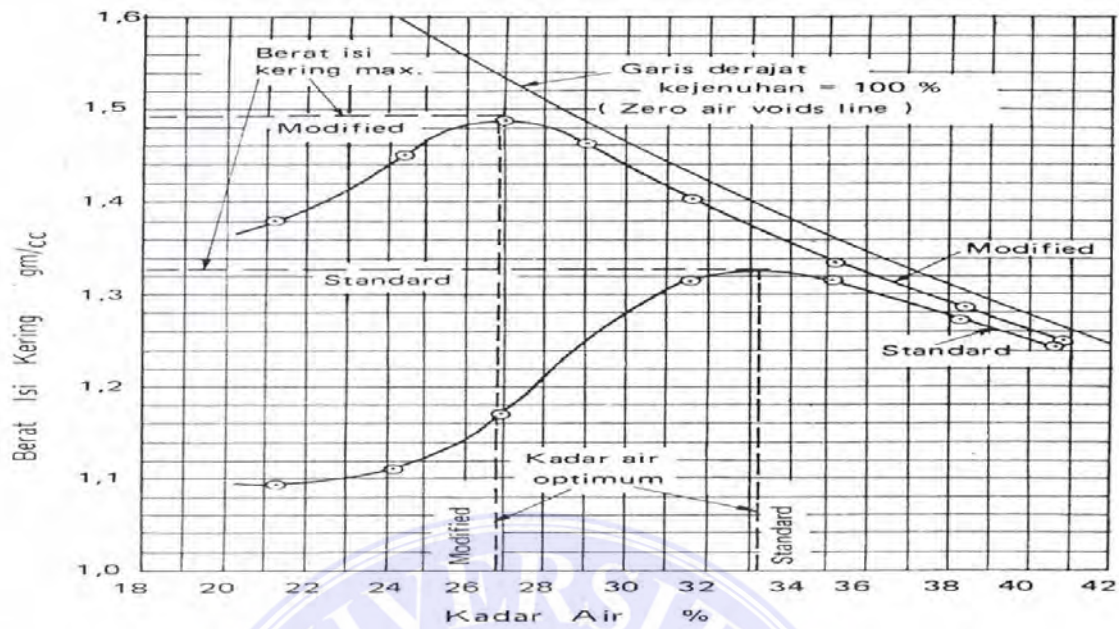
Tanah dasar merupakan pondasi bagi perkerasan, baik perkerasan yang terdapat pada lalu-lintas maupun bahu. Dengan demikian, tanah dasar merupakan konstruksi terakhir yang menerima beban kendaraan yang salurkan oleh perkerasan. Tanah dasar dapat terdiri atas tanah asli tanpa perlakuan, dan dapat juga terdiri atas tanah asli pada galian atau bagian atas timbunan yang dipadatkan.

Sebagai pondasi perkerasan, disamping harus mempunyai kekuatan atau daya dukung terhadap beban kendaraan, tanah dasar juga harus mempunyai stabilitas volume akibat pengaruh lingkungan, terutama air. Tanah dasar yang mempunyai kekuatan dan stabilitas volume yang rendah akan mengakibatkan perkerasan mudah mengalami deformasi (misalkan gelombang atau alur) dan retak.

## 2.5 Pemadatan Tanah

Pemadatan ( *compaction* ) adalah proses naiknya kerapatan tanah dengan memperkecil jarak antar partikel sehingga terjadi reduksi volume udara. Pemadatan berfungsi untuk meningkatkan kekuatan tanah, sehingga dengan demikian meningkatkan daya dukung pondasi di atasnya. Pemadatan juga mengurangi besarnya penurunan tanah yang tidak diinginkan dan meningkatkan kemantapan lereng timbunan ( *embarkments* ). Pada proyek konstruksi jalan, pemadatan untuk tanah dasar selalu dilakukan sebelum dihamparnya item-item perkerasan lainnya, guna untuk menaikkan daya dukung tanah dasarnya. .

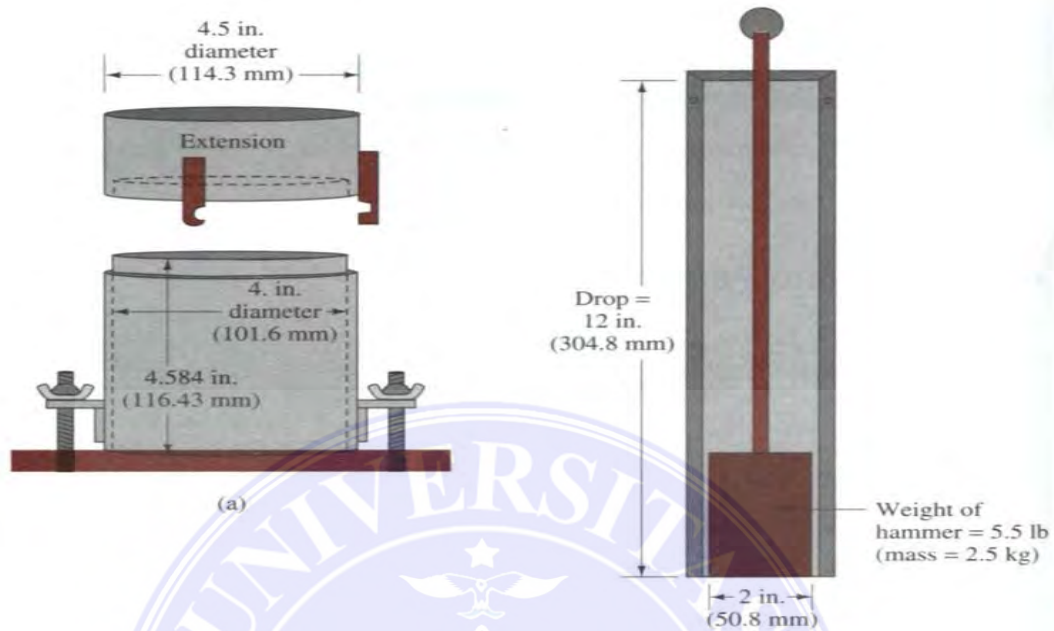
Derajat kepadatan tanah diukur berdasarkan satuan kepadatan kering ( *dry density* ), yaitu massa partikel padat per satuan volume tanah. Kepadatan kering setelah pemadatan tergantung pada kadar air dan besarnya energi yang diberikan oleh alat pemadat ( dinyatakan usaha pemadatan ). Karakteristik pemadatan dari suatu tanah dapat diketahui dari uji standart di laboratorium. Percobaan-percobaan di laboratorium yang umum dilakukan untuk mendapatkan berat volume kering maksimum dan kadar air optimum adalah *Proctor Compaction Test* (uji pemadatan proctor).



**Gambar 2.3 Grafik berat satuan kering terhadap kadar air**

### 2.5.1 Uji Proctor Standar

Pada uji proctor, tanah dipadatkan dalam sebuah cetakan silinder bervolume  $1/30 \text{ ft}^3$  ( $=943,3 \text{ cm}^3$ ). Diameter cetakan tersebut adalah 4 inch ( $=101,6 \text{ mm}$ ). Selama percobaan dilaboratorium, cetakan itu diletakkan pada sebuah pelat dasar dan di atasnya diberi juga perpanjangan (juga berbentuk silinder). Tanah dicampur dengan kadar yang berbeda-beda dan kemudian dipadatkan dengan menggunakan penumbuk khusus. Pemadatan tanah tersebut dilakukan dalam 3 lapisan dan jumlah tumbukan adalah 25 tumbukan setiap lapisan. Berat penumbuk adalah 5,5 lb ( $= \text{massa } 2,5 \text{ kg}$ ) dan tinggi jatuh sebesar 12 inch ( $=304,8 \text{ mm}$ )



**Gambar 2.4 Peralatan yang dipakai pada pengujian proctor.**

*Sumber: Braja M. Das, "Mekanika Tanah Jilid 1"*

### 2.5.2 Pemadatan lapangan

Hampir semua pemadatan di lapangan dilakukan dengan penggilas (rollers). Jenis penggilas yang paling umum dipakai adalah :

- Penggilas besi berpermukaan halus
- Penggilas ban – karet (angin)
- Penggilas kaki kambing
- Penggilas getar

Penggilas besi berpermukaan halus cocok untuk meratakan permukaan tanah dasar (subgrade) dan untuk pekerjaan penggilasan akhir pada timbunan tanah pasir atau lempung. Penggilas ini dapat memadatkan 100% luasan muka

tanah yang dilalui rodanya dengan tekanan kontak antara tanah dan roda sebesar antara 45 sampai 55 psi ( antara 310 sampai 380 kN/m<sup>2</sup> ). Penggilas tipe ini tidak cocok untuk pekerjaan yang menginginkan tingkat pemadatan yang tinggi pada lapisan yang tebal.

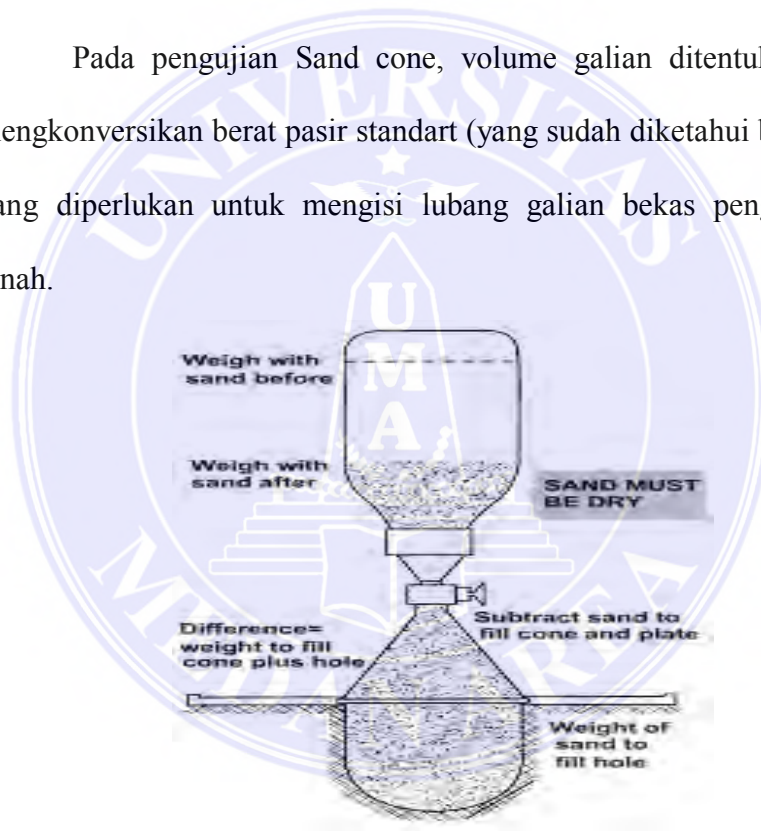
Penggilas ban karet dalam banyak hal masih lebih baik daripada penggilas besi berpermukaan halus . Penggilas ban-karet ini pada dasarnya merupakan sebuah kereta bermuatan berat dan beroda karet yang tersusun dalam beberapa baris. Baris-baris ban karet ini berjajar dekat satu sama lain dimana pada setiap baris ban terdapat empat sampai enam buah ban. Tekanan kontak di bawah ban berkisar antara 85 sampai 100 psi (585 sampai 690 kN/m<sup>2</sup>), dan baris-baris ban tersebut memadatkan antara 70 sampai 80% luasan tanah yang dilalui penggilas. Penggilas ban-karet ini dapat digunakan pada pemadatan tanah-tanah pasir dan lempung. Pemadatan dicapai dari kombinasi antara tekanan dan *kheading action* (pemadatan dengan meremas-remas).

Penggilas kaki kambing adalah berupa silinder yang mempunyai banyak kaki-kaki yang menjulur ke luar dari drum. Kaki-kaki ini mempunyai luas proyeksi penampang sekitar 4 sampai 13 in<sup>2</sup> (=25 sampai 85 cm<sup>2</sup>). Alat ini sangat efektif untuk memadatkan tanah lempung. Tekanan kontak di ujung kaki-kaki kambing dapat mencapai antara 200 sampai 1000 psi (1380 sampai 6900 kN/m<sup>2</sup>). Pada waktu pemadatan dilapangan, mula-mula pada awal lintasan bagian anah yang dipadatkan ialah bagian sebelah bawah dari “lift”.

### 2.5.3 Pengujian Pemadatan Lapangan

Salah satu cara untuk mengetahui kepadatan tanah dilapangan adalah dengan pengujian *Sand cone*. Pada prinsipnya, metode ini (*Sand cone*) hanya dipergunakan untuk menentukan volume tanah yang digali pada lapisan perkerasan. Sedangkan berat dan kadar didalam contoh tanah dapat ditentukan masing-masing dengan menimbang dan mengeringkannya.

Pada pengujian Sand cone, volume galian ditentukan dengan cara mengkonversikan berat pasir standart (yang sudah diketahui berat volumenya) yang diperlukan untuk mengisi lubang galian bekas pengambilan contoh tanah.



Gambar 2.5 Alat uji sandcone

Sumber : Google Picture

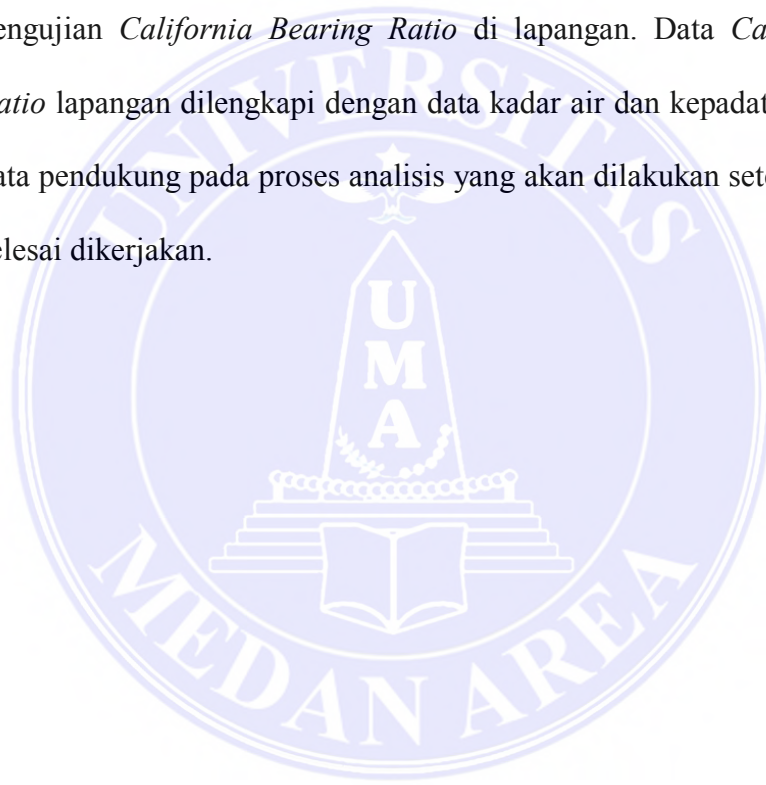
## 2.6 Pengujian California Bearing Ratio ( CBR )

Metode pengujian California Bearing Ratio dikembangkan pada tahun 1930 oleh California Division of Highways dan kemudian diikuti dan disesuaikan oleh berbagai institusi dan negara di dunia. *The Corps of Engginer* menganut dan menyesuaikan metoda tersebut sejak tahun 1940-an. Pada tahun 1961, *The American Society for Testing and Material* mengangkat metoda pengujian *California Bearing Ratio* dengan kode ASTM D 1883, *Bearing Ratio of Laboratory-Compacted Soils*. Dalam beberapa aspek, metoda pengujian menurut ASTM berbeda dengan metoda menurut *The Corps of Engginer* dan dengan metoda menurut *the American Association of State Haighway and Transportation Official* (AASHTO), yang mengangkat metoda pengujian *California Bearing Ratio* pada tahun 1972 dengan kode AASHTO T 1993.

Pengujian CBR pada dasarnya dilakukan dengan mengukur beban yang diperlukan oleh batang penekan berukuran standart untuk menembus tanah pada kecepatan tertentu. Dengan demikian, California Bearing Ratio adalah perbandingan antara beban yang diperlukan untuk mendorong batang masuk kedalam tanah dengan beban yang diperlukan untuk mendorong batang masuk ke dalam batu pecah sampai kedalaman tertentu, yang dinyatakan dalam persen. Dalam hal tersebut, beban dinyatakan dalam satuan mega pascal (*psi*) dimana untuk batu pecah telah dibuat standarnya. Kedalaman yang biasa dijadikan acuan adalah 2,5 atau 5mm (0,1 atau 0,2 in), meskipun kedalaman 7, 5, 10, dan 12,5 mm (0,3 , 0,4 , dan 0,5 in) juga dapat digunakan bila diperlukan.

### 2.6.1 California Bearing Ratio (CBR) Lapangan

Pengujian *California Bearing Ratio* lapangan dimaksudkan untuk mendapatkan nilai CBR langsung di tempat (*in place*) yang digunakan untuk perencanaan tebal perkerasan maupun lapis tambahan perkerasan (*overlay*). Pengujian *California Bearing Ratio* lapangan dilakukan dengan bantuan truck sebagai penahan beban penetrasi, hal ini didasarkan atas kemudahan pengujian *California Bearing Ratio* di lapangan. Data *California Bearing Ratio* lapangan dilengkapi dengan data kadar air dan kepadatan tanah sebagai data pendukung pada proses analisis yang akan dilakukan setelah uji lapangan selesai dikerjakan.

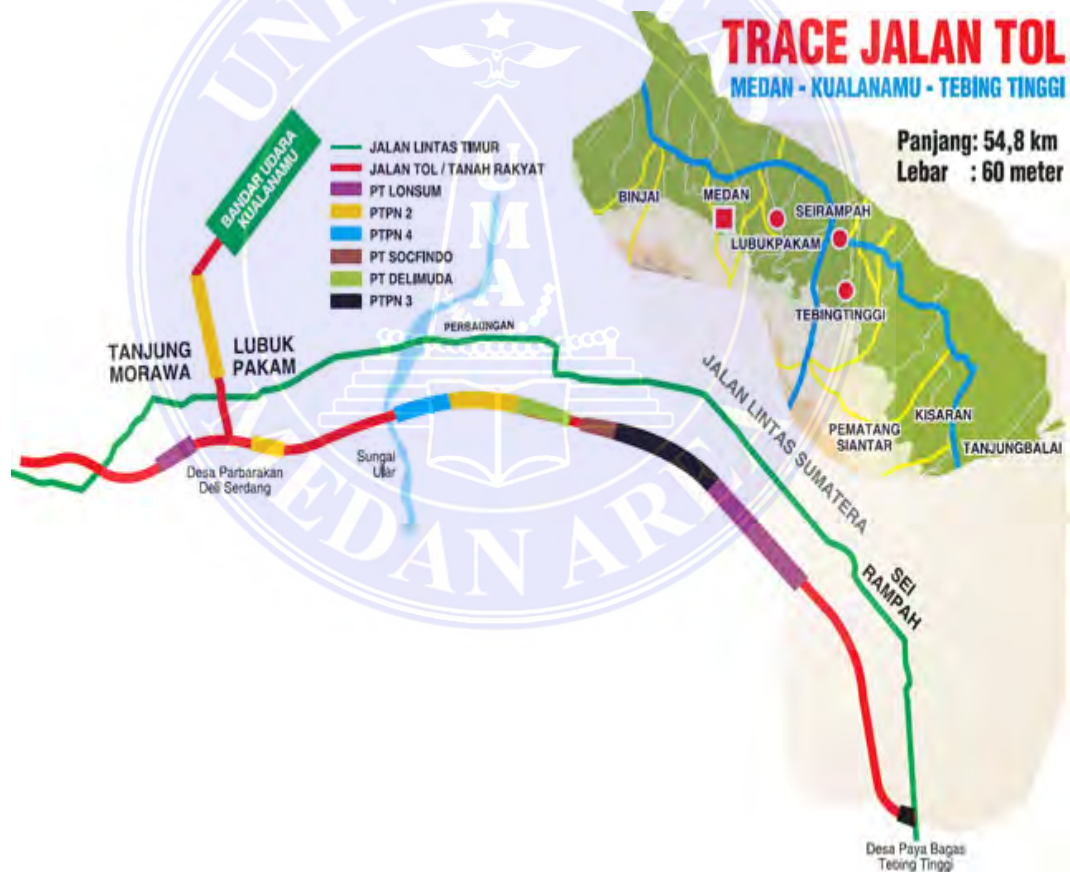


## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Lokasi Penelitian

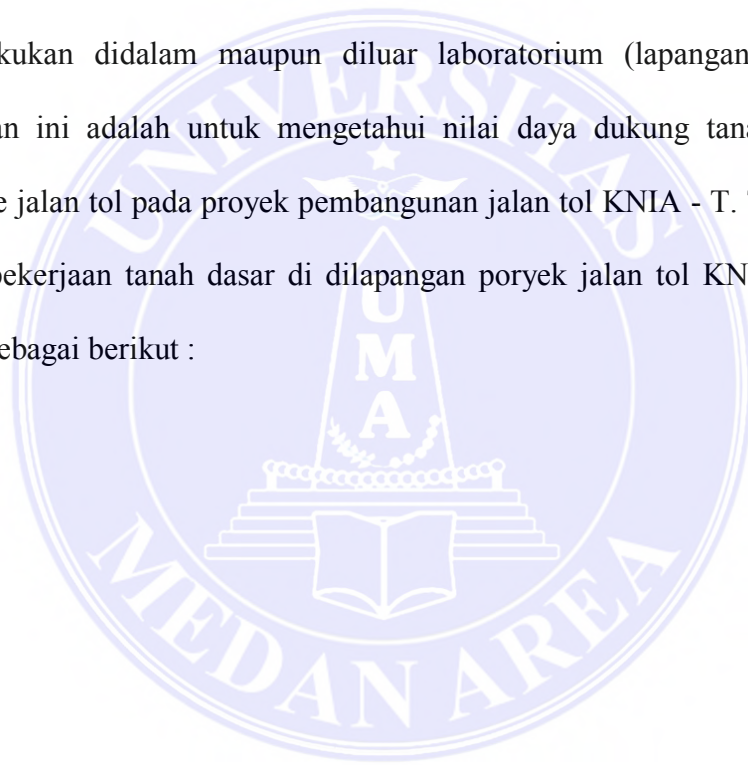
Penelitian ini dilakukan di lokasi proyek pembangunan jalan tol KNIA – T. Tinggi, dan di Laboratorium Mekanika Tanah PT. Waskita Karya (Persero) Tbk Base Camp Galang, Deli Serdang, Sumatera Utara.



Gambar 1.1 Peta lokasi Proyek Jalan Tol KNIA – Tebing Tinggi

### **3.2 Metode Penelitian**

Metode yang digunakan didalam study kasus ini adalah metode eksperimen, yaitu metode yang dilakukan dengan mengadakan kegiatan percobaan untuk mendapatkan data. Data tersebut diolah untuk mendapatkan suatu nilai dari hal yang ingin ditinjau dan dibandingkan dengan syarat-syarat/peraturan mengenai pekerjaan yang sedang di uji coba. Penelitian eksperimen dapat dilaksanakan didalam maupun diluar laboratorium, dan didalam penelitian ini dilakukan didalam maupun diluar laboratorium (lapangan). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai daya dukung tanah dari lapisan subgrade jalan tol pada proyek pembangunan jalan tol KNIA - T. Tinggi. Adapun proses pekerjaan tanah dasar di lapangan proyek jalan tol KNIA – T. Tinggi adalah sebagai berikut :





### **3.3 Teknik Pengumpulan Data**

Teknik pengumpulan data dilaksanakan dengan metode eksperimen terhadap beberapa benda uji/sample dari berbagai kondisi perlakuan yang diuji di laboratorium. Untuk beberapa hal pada pengujian bahan, digunakan data sekunder yang dikarenakan penggunaan bahan dan sumber yang sama. Adapun jenis data pada penelitian ini dikelompokkan menjadi 2, yaitu data primer dan data sekunder.

#### **3.3.1 Data Primer**

Data primer adalah data yang dikumpulkan secara langsung melalui serangkaian kegiatan percobaan yang dilakukan sendiri dengan mengacu pada petunjuk manual yang ada, misalnya dengan mengadakan penelitian atau pengujian secara langsung. Dalam penelitian ini, data primer adalah hasil pengujian CBR lapangan.

#### **3.3.2 Data Sekunder**

Data sekunder adalah data yang diperoleh secara tidak langsung (didapat dari penelitian lain), untuk bahan dan jenis yang sama dan masih berhubungan dengan penelitian. Adapun data sekunder didalam study kasus ini terdiri dari pemeriksaan bahan, pengujian analisa saringan,

pengujian batas atterberg, pengujian kadar air, pengujian *spesifik gravity*, uji *compaction*, *density test*, tes pit, dan pemadatan di lapangan.

### **3.4 Pekerjaan Persiapan**

Adapun pekerjaan persiapan didalam study kasus ini terdiri dari pengambilan sample dan pengumpulan data. Contoh / sampel tanah yang dipakai dalam pengujian ini diambil dari lokasi pembangunan jalan Tol KNIA – Tebing Tinggi yang berada didaerah Parbarakan, Galang. Sampel diambil pada tanah asli hasil Cuting pada area proyek yang pada awalnya berbukit. Area yang akan ditimbun adalah area SEKSI 3 : PARBARAKAN - LUBUK PAKAM ( STA 42+750 - 47+600). Sampel yang diambil sekitar 250 Kg untuk dilakukan pengujian di laboratorium.

Sampel yang sudah diambil terlebih dahulu dikeringkan dengan pengeringan alami (Kering akibat udara/ panas alam) sampai kering permukaan dan dilakukan pengujian di laboratorium.

### **3.5 Pemeriksaan Sifat Fisik Tanah**

Penyelidikan tanah yang memadai merupakan suatu pekerjaan pendahuluan yang sangat penting pada pelaksanaan sebuah proyek teknik sipil. Informasi ini harus diperoleh untuk membuat suatu desain yang aman dan ekonomis serta untuk menghindari kesulitan pada saat pelaksanaan konstruksi.

Pengujian di laboratorium diperlukan untuk mendapatkan data tentang jenis dan sifat tanah yang lebih akurat dalam pemeriksaan tanah timbunan. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah PT. Waskita Karya (Persero) Tbk Base Camp Galang, Deli Serdang, Sumatera Utara yang mengacu pada ASTM Standart(*American Standart Test and Material*) yang sesuai dengan alat yang tersedia dilaboratorium.

### **3.5.1 Pengujian Analisa Saringan (Sieve Analysis Test) (AASTHO)**

Untuk mengetahui gradasi/klasifikasi perbutiran tanah agregat halus dan agregat kasar dengan melakukan penyaringan.

#### **1. Prosedur Percobaan**

- a. Sample tanah serta alat-alat dipersiapkan terlebih dahulu.
- b. Alat-alat di bersihkan dan disusun saringan dengan susunan saringan no.4,8,20,40,100,200, dan PAN.
- c. Ambillah sampel sebanyak 500 gram dan dimasukkan kedalam saringan yang telah disusun serta diletakkan diatas mesin pengguncang.
- d. Susunan saringan tadi diguncang selama 15 menit.
- e. Setelah pengguncangan selesai, saringan yang tersusun dipisahkan, kemudian sampel pada masing-masing saringan ditimbang dan dicatat beratnya berdasarkan ukurn saringannya.

### 3.5.2 Pengujian Batas Konsistensi Atterberg (*Atterberg Limit Test*)

Percobaan Batas Cair untuk menentukan kadar air suatu tanah pada keadaan batas cair

1. Sewaktu akan melakukan percobaan perlu diperhatikan dalam keadaan bersih, kering dan bebas dari minyak.
2. Lakukan Penyetelan alat.
3. Sample diletakkan di atas plat kaca dan campurkan dengan air suling sedikit demi sedikit dan aduk dengan serap hingga campuran homogen.
4. Sample dimasukkan ke dalam cawan setelah  $\pm 1$  cm dan ratakan permukaan sample sejajar dengan alat.
5. Setelah alur dibuat, maka lakukan penggetaran cawan, dengan jalan memutar stang pemutar pada alat penguji hingga alur dasar sample bersentuhan dengan panjang maksimal 1,25 cm. Hitung banyaknya tumbukan yang dikerjakan.
6. Lakukan percobaan untuk beberapa kali dengan batas ketentuan antara, 10-20; 20-30; 30-40; 40-50 kali ketukan.
7. Setelah ketukan terakhir selesai, sample yang ada didalam cawan penguji diambil dan dimasukkan dalam cawan. Pemeriksaan kadar air lalu ditimbang berat cawan dan sample.
8. Cawan di masukkan dalam oven selama  $\pm 24$  jam, sample yang telah di oven ditimbang untuk mendapatkan kadar air (W).

### 3.5.3 Pengujian Berat Jenis Tanah (*Specific Gravity Test*) (ASTM D854-91)

Berat Jenis ( *Specific Gravity Test* ) adalah perbandingan berat satuan bahan dengan berat satuan air.

Prosedur pelaksanaan berat jenis tanah dilaboratorium dilaksanakan sebagai berikut:

#### 1. Persiapan Benda Uji

Benda uji dari lapangan masih dalam keadaan lembab, dikeringkan dengan menjemur tanah tersebut dipanas matahari dan gumpalan-gumpalan tanah ditumbuk dengan menggunakan martil karet, yang bertujuan untuk mempercepat proses pengeringan. Kemudian tanah tersebut dapat disaring dengan menggunakan saringan no.100.

#### 2. Penentuan Berat Jenis

- a. Piknometer dalam keadaan bersih ditimbang, =  $W_1$  gram
- b. Picnometer yang bersih diisi dengan air suling sampai batas yang ditentukan dan ditimbang pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$ . Apabila penyesuaian suhu buka  $25^{\circ}\text{C}$ , berat yang ditimbang harus dikalikan factor koreksi pada suhu tertentu untuk mendapatkan  $W_{25} = W_4$  gram
- c. Picnometer yang bersih lalu diisi benda uji tanah, =  $W_2$  gram
- d. Picnometer yang berisi benda uji tanah diisi dengan air suling sampai proses pori tanah terisi air suling sampai batas leher picnoeter =  $W_3$  gram.

$$G_s = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \quad .(Pers\ 3.1)$$

$$W_4 = W_{25} * k$$

Dimana :  $W_{25}$  = Berat picnometer + air suling pada suhu 25°C(gr)

$k$  = Faktor Koreksi pada T°C.

**Tabel 3.1. Faktor Koreksi Suhu.**

| T°C | 18     | 19     | 20     | 21     | 22     | 23     | 24     |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| K   | 1.0004 | 1.0002 | 1.0000 | 0.9998 | 0.9996 | 0.9993 | 0.9991 |

| 25     | 26     | 27     | 28     | 29     | 30     |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0.9989 | 0.9986 | 0.9983 | 0.9980 | 0.9977 | 0.9974 |

#### 3.5.4 Pengujian Kadar Air(Water Content Test)(ASTM D854-71)

Kadar air adalah perbandingan antara berat air dengan berat tanah. Cara kerja pengujian kadar air yaitu cawan ditimbang dan dicatat beratnya, kemudian benda uji ditempatkan didalam cawan, lalu timbang beratnya. Untuk seterusnya cawan dan benda uji ditempatkan dalam oven yang bersuhu 110°C selama 24 jam, setelah itu sampel didinginkan dan timbang dan dicatat beratnya.

### 3.5.5 Pengujian Pemadatan (*Compection Test*) (ASTM D-698)

Pengujian pemadatan di laboratorium bertujuan untuk menentukan kadar air optimum dan berat isi kering maksimum dari suatu contoh tanah yang dipadatkan agar dapat dicapai pemadatan maksimum.

Prosedur pelaksanaan pengujian pemadatan di laboratorium dilaksanakan sebagai berikut:

1. Persiapan Benda Uji, persiapan benda uji dilakukan 1 hari sebelum percobaan dilakukan yaitu dengan mengambil sampel yang lolos saringan no.4 sebanyak 15 kg, kemudian sampel tersebut dibagi dengan rata-rata 2.5 kg sebanyak 6 sampel. Sebelum penambahan air dilakukan sebaiknya dilakukan penentuan kadar air tanah mula-mula agar dapat diketahui kadar air yang harus ditambahkan dalam sampel tanah tersebut.
2. Penentuan Kadar Air Optimum
  - a. Mould yang terbuat dari bahan logam dibersihkan terlebih dahulu. Lalu timbang beratnya serta diukur diameternya.
  - b. Ambil tanah yang telah dipersiapkan satu bagian, yaitu satu kantong plastik yang beratnya 2,5 kg.
  - c. Tanah tersebut dicampur dengan air dengan interval 2 % (dua persen) dari berat tanah campuran antara air dengan tanah yang diusahakan sehomogen mungkin.

- d. Leher mould dibuka, lalu kedalam mould tersebut dimasukkan kira-kira sepertiga bagian yang merupakan lapisan pertama, kemudian dipadatkan dengan alat penumbuk dengan cara standart.
- e. Selanjutnya dimasukkan lapisan yang kedua, juga kira-kira sepertiga bagian lalu dipadatkan.
- f. Sebelum memasukkan lapisan ketiga kedalam mould, terlebih dahulu leher mould dipasang agar tanah tidak tumpah sewaktu dipadatkan, dan volume tanah didapat sesuai yang diinginkan, lalu dipadatkan.
- g. Leher mould dibuka kembali lalu tanah diratakan dengan mistar perata, selanjutnya mould diberi tanah didalamnya ditimbang sehingga diperoleh berat tanah tambah tabung.
- h. Alas mould dibuka, lalu dari sisi atas dan bawah tabung diambil sampel tanah sebanyak yang diperlukan, yang mana tanah tersebut diambil kedalam kurang lebih 2,5 cm dari permukaan.
- i. Sampel dimasukkan kedalam cawan kecil atau kaleng yang telah diukur beratnya.
- j. Semua sampel tanah yang telah diambil dan ditimbang dimasukkan kedalam oven untuk dipanaskan atau dikeringkan selama 24 jam.
- k. Sampel tanah yang telah dikeringkan selama 24 jam di oven tersebut diambil untuk kemudian ditimbang beratnya agar dapat ditentukan kadar airnya.

Pada percobaan proktor sering dijumpai *ZAVL* ( *Zero Air Void Line*) antara berat isi dengan kadar air. Bila derajat kejenuhan 100% maka pori tanah sama sekali tidak mengandung udara.

1. Garis derajat kejenuhan ini dapat dihitung dengan memakai rumus:

$$\lambda_d = \frac{G \times \gamma_w}{1 + G_s \times W} \quad (\text{Pers 3.2})$$

Dimana :

$G_s$  : Berat jenis tanah

$W$  : Kadar air tanah

$\lambda_w$  : Berat isi air

Dari garis ini kita dapat menggambarkan hasil percobaan pemadatan tanah tersebut. Dimana pemadatan tidak boleh memotong garis *Zero Air Void Line* (*ZAVL*).

### 3.5.6 Pengujian SandCone (*Kerucut Pasir*)(*ASTM D-1556*)

#### 1. Pelaksanaan Di Laboratorium

Prosedur Percobaan :

Menentukan Volume Corong Logam

- a. Timbang berat corong logam dan semua perlengkapannya ( $W_1$ )
- b. Letakan corong dengan lobang di atas dan dibuka kerannya

- c. Isi dengan air sampai keluar dari keran.
- d. Tutup kerannya dan dibuang air kelebihannya.
- e. Timbang corong logam dan perlengkapan yang sudah diisi air. ( $W_2$ )
- f. Berat isi = Volume botol ( $W_2 - W_1$ )

## 2. Menentukan Berat Isi Pasir

- a. Letakan corong logam dengan lobang di atas
- b. Tutup keran dan isi corong dengan pasir
- c. Buka keran supaya corong selalu terisi pasir minimal setengahnya dan isi sampai corong logam terisi penuh.
- d. Tutup keran dan buang kelebihan pasir
- e. Timbang alat dan pasir ( $W_3$ )
- f. Berat pasir ( $W_3 - W_1$ )
- g. Berat isi pasir =  $\frac{W_3 - W_1}{W_2 - W_1}$

## 3. Menentukan jumlah pasir yang ditentukan untuk mengisi corong dengan penuh.

- a. Tempatkan alat pada tempat yang benar.
- b. Timbang botol dan pasir.
- c. Isi alat dengan pasir hingga penuh, sampai air berhenti mengalir.
- d. Tutup keran dan timbang botol dengan sisa pasir ( $W_5$ )
- e. Pasir yang dibutuhkan untuk mengisi corong dengan penuh ( $W_4 - W_5$ )

#### **f. Pelaksanaan Di Lapangan**

##### **1. Menentukan volume lobang**

- a. Bersihkan permukaan tanah yang akan diuji dengan membuat rata permukaan tanah setempat.
- b. Letakkan alat di atas permukaan yang sudah rata dan beri tanda pada lubang plat.
- c. Angkat alat tersebut dan buat lubang pada tanda dengan hati-hati pada kedalaman  $\pm 10$  cm
- d. Letakkan alat kembali pada tempat semula lalu buka keran dan biarkan pasir mengalir hingga berhenti, kemudian tutup kerannya.
- e. Timbang berat tanah hasil galian

*Rumus perhitungan:*

$$\text{Berat Isi Basah, } \gamma_w = \frac{W_{\text{tanah}}}{V} \quad (\text{Pers 3.6})$$

$$\text{Berat Isi Kering, } \gamma_d = \frac{\gamma_w}{1+w} \quad (\text{Pers 3.7})$$

$$\text{Derajat Kepadatan, } D = \frac{\gamma_{d\text{Lap}}}{\gamma_{d\text{Lab}}} \quad (\text{Pers 3.8})$$

#### **3.6 Uji CBR Lapangan**

Pengujian CBR lapangan digunakan untuk menentukan kekuatan relatif dari bahan uji terhadap bahan standart dari tanah dasar lapis pondasi bawah dan lapis fondasi sesuai dengan keadaan pada saat dilakukannya pengujian tersebut.

CBR lapangan dapat digunakan untuk perencanaan pada kondisi material yang mempunyai kadar air dan kepadatan yang stabil.



## DAFTAR PUSTAKA

1. Braja M. Das, 1998, “Mekanika Tanah Jilid 1”, Erlangga, Jakarta
2. Braja M. Das, 1998, “Mekanika Tanah Jilid 2”, Erlangga, Jakarta
3. Craig. F. R, 1998, “Mekanika Tanah Edisi 4”, Erlangga, Jakarta
4. Sni\_1738-2011\_cara\_uji\_cbr\_lapangan
5. Terzaghi Karl, B. Peck Ralph, 1993, “Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Jilid-1”, Erlangga, Jakarta
6. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2006, “Pekerjaan Tanah Dasar Buku 3 Pedoman Penyelidikan dan Pengujian Tanah Dasar Untuk Pekerjaan Jalan”, Direktorat Bina Marga, Jakarta
7. Sunggono.K.H., 1984, “Mekanika Tanah”, Nova, Bandung
8. Bowles, Josep E., Alih Bahasa oleh Hainim, Johan Klanaputra (1993). Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah).Edisi Ke II, Jakarta: Penerbit Erlangga
9. Hardy Christadi Hardiyatmo, 2002, “Mekanika Tanah 1”, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
10. Hardy Christadi Hardiyatmo, 2002, “Mekanika Tanah 2”, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.

## ILUSTRASI

