



UNIVERSITAS INDONESIA

**EVALUASI DIMENSI BENDA UJI UNTUK NILAI
KEKAKUAN PADA UJI LABORATORIUM**

SKRIPSI

GINANJAR BEKTI RAKHMANTO

040501028Y

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
KEKHUSUSAN TRANSPORTASI**

DEPOK

JANUARI 2010

905/FT.01/SKRIP/01/2010



UNIVERSITAS INDONESIA

**EVALUASI DIMENSI BENDA UJI UNTUK NILAI
KEKAKUAN PADA UJI LABORATORIUM**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

GINANJAR BEKTI RAKHMANTO

040501028Y

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
KEKHUSUSAN TRANSPORTASI
DEPOK
JANUARI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Ginanjar Bektı Rakhmanto

NPM : 040501028Y

Tanda Tangan : 

Tanggal : 6 Januari 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Ginanjar Bakti Rakhmanto
NPM : 040501028Y
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Evaluasi Dimensi Benda Uji Untuk Nilai Kekakuan
Pada Uji Laboratorium

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Dr. Ir. Sigit P Hadiwardoyo, DEA.

Pembimbing 2 : Ir. Widjojo A. Prakoso, M.Sc, Ph.D

Penguji 1 : Ir. Jachrizal Sumabrata, M.Sc, Ph.D

Penguji 2 : Ir. Ellen S. W. Tangkudung, MSc

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 6 Januari 2010



(.....)
(.....)
(.....)
(.....)

KATA PENGANTAR

Penulis memanjatkan puji dan syukur kepada Allah SWT atas limpahan kasih karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan lancar dan tepat waktu. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Departemen Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari sangatlah sulit menyelesaikan penulisan skripsi tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak semenjak masa perkuliahan. Sehubungan dengan hal tersebut, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang dalam kepada yang terhormat:

1. Dr. Ir. Sigit P Hadiwardoyo, DEA dan Ir. Widjojo A. Prakoso, M.Sc, Ph.D selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penelitian dan penyusunan skripsi;
2. Ir. Jachrizal Sumabrata, M.Sc, Ph.D dan Ir. Ellen S. W. Tangkudung, MSc selaku Dosen Penguji Skripsi dalam sidang skripsi yang telah bersedia meluangkan waktu untuk menguji hasil penelitian dan penyusunan skripsi;
3. Prof. Dr. Ir. Irwan Katili, DEA selaku Kepala Departemen Teknik Sipil FT UI yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian dan penyusunan skripsi;
4. Laboratorium Transportasi dan Mekanika Tanah Departemen Teknik Sipil FT UI yang telah memberikan fasilitas untuk melakukan penelitian lapangan;
5. Orang tua saya, Pravitri Wahyuningrum (kakak) serta Nadhilah Siamita dan Yunita Amalia (adik-adik tercinta) yang tiada hentinya mendoakan serta memberikan cinta dan kasih sayangnya.
6. Hadre Setia (teman seperjuangan) dan Ir. Dandung Sri Harninto yang telah membantu dalam proses penyusunan naskah penelitian dan penelitian lapangan;
7. Mas Silvanus Nohan, yang telah memberikan informasi penulisan skripsi;

8. Ipin, Yudha, Iyal, Eka, Fandhy, Prima, dan sahabat yang telah memberikan dukungan moral dan doa untuk kelancaran penyusunan skripsi;
9. segenap staf karyawan/karyawati di Departemen Teknik Sipil FT UI yang telah memberikan dukungan selama masa perkuliahan tahun ajaran; dan
10. semua pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu demi satu.

Penulis sangat mengharapkan agar penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar penelitian yang lebih lanjut untuk studi kasus yang serupa dan bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan. Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu.

Depok, 3 Januari 2010

Penulis

(Ginjar Bakti Rakhmanto)

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ginanjar Bekti Rakhmanto
NPM : 040501028Y
Program Studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**EVALUASI DIMENSI BENDA UJI UNTUK NILAI KEKAKUAN PADA
UJI LABORATORIUM**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 6 Januari 2010
Yang menyatakan,



(Ginanjar Bekti Rakhmanto)

ABSTRAK

Nama : Ginanjar Bakti Rakhmanto
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Evaluasi Dimensi Benda Uji untuk Nilai Kekakuan pada Uji
Laboratorium

Pemadatan tanah merupakan bagian penting dalam proses konstruksi jalan raya terutama pada timbunan dan pondasi. Dewasa ini, metode yang digunakan untuk mengontrol pemadatan tanah adalah dengan melakukan uji *CBR* (*California Bearing Ratio*). Untuk menggambarkan tingkat pemadatan tanah yang lebih baik, penggunaan nilai *CBR* mulai tergantikan oleh suatu nilai yaitu nilai kekakuan tanah. Hanya saja penggunaan nilai Kekakuan Tanah jarang digunakan di Indonesia dikarenakan masih sulitnya cara pengukuran nilai Kekakuan Tanah khususnya untuk tanah di Indonesia. Dewasa ini nilai kekakuan tanah dapat diukur dengan menggunakan alat yang disebut *GeoGauge*. *GeoGauge* merupakan suatu alat yang diciptakan untuk menentukan nilai kekakuan dan modulus dari tanah dan agregat. Penelitian kali ini yaitu tentang pengaruh dimensi sampel terhadap perubahan nilai kekakuan yang akan ditentukan dengan menggunakan alat yang disebut *GeoGauge*.

Kata kunci : Nilai kekakuan, *Geogauge*, Pemadatan tanah

ABSTRACT

Name : Ginanjar Bektı Rakhmanto
Study Program : Civil Engineering
Title : Evaluation of Soil Sample Dimension for Soil Stiffness
Laboratory Test

Soil compaction is an important part in the highway construction process, especially in the embankment and foundations. Now, methods that used to control soil compaction is the *CBR test*(*California Bearing Ratio*). To illustrate the level of soil compaction better, *CBR* values began to be replaced by a soil stiffness values. However, stiffness value are rarely used in Indonesia because it is still difficult to measure Soil stiffness values particularly for land in Indonesia. Now, soil stiffness values can be measured by using a device called *GeoGauge*. *GeoGauge* is a tool created to determine stiffness values and modulus values of soil and aggregate. The research this time is influence of sample dimension box with stiffness values to be determined by using a device called *GeoGauge*.

Keyword : Stiffness value, *GeoGauge*, Soil Compaction

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Batasan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Metodologi	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB 2	4
TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Jenis Perkerasan Jalan.....	4
2.1.1. Perkerasan Lentur (<i>Flexible Pavement</i>)	5
2.1.2. Perkerasan Kaku (<i>Rigid Pavement</i>).....	7
2.1.3. Perkerasan Komposit.....	9
2.2. Tanah Dasar	9
2.2.1. Perbaikan Tanah Dasar.....	11
2.2.2. Pemadatan Tanah Dasar	15
2.2.3. Pengujian Kepadatan.....	15
2.3. Nilai Kekakuan Tanah.....	18
2.3.1. Pendahuluan	18
2.3.2. Nilai Kekuatan Tanah Sebagai Pengontrol Pemadatan	19
2.4. Geogauge.....	20
2.4.1. Pendahuluan	20
2.4.2. Prinsip Kerja <i>GeoGauge</i>	23
2.4.3. Kalibrasi <i>GeoGauge</i>	24
2.4.4. Studi Penelitian <i>GeoGauge</i>	25
2.5. Pengumpulan Data	29
2.5.1. Data Primer.....	30
2.5.2. Data Sekunder	30

BAB 3	32
METODE PENELITIAN	32
3.1. Kegiatan Penelitian	32
3.2. Data	34
3.2.1. Karakteristik material tanah	34
3.2.2. Pengolahan Data	36
3.2.3. Analisis Data	39
3.3. Prosedur Percobaan	39
3.3.1. Persiapan Contoh Tanah	39
3.3.2. Pengujian Kadar Air	40
3.3.3. Pemadatan Tanah	41
3.3.4. Penggunaan <i>GeoGauge</i>	41
3.3.5. Hasil Uji <i>GeoGauge</i>	42
BAB 4	48
ANALISIS DATA PENELITIAN	48
4.1. Pendahuluan	48
4.2. Validasi Kadar Air Optimum Box Sample <i>GeoGauge</i> dari <i>Mould Proctor</i>	48
4.3. Teknik Pemadatan pada Benda Uji	49
4.4. Analisis nilai kekakuan hasil uji terhadap bentuk benda uji	53
BAB 5	61
KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1. Kesimpulan	61
5.2. Saran	61
Daftar Referensi	62

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Standard Proctor dan Modified Proctor</i>	17
Tabel 2.2 Sampel Tanah Penelitian Ekrem Seyman	25
Tabel 3.1 Perhitungan pada uji <i>compaction</i>	37
Tabel 3.2 Perhitungan berat tanah yang dimasukkan ke dalam <i>box</i>	38
Tabel 3.3 Data hasil pengujian <i>GeoGauge</i> pada <i>box</i> 1	43
Tabel 3.4 Data hasil pengujian <i>GeoGauge</i> pada <i>box</i> 2	44
Tabel 3.5 Data hasil pengujian <i>GeoGauge</i> pada <i>box</i> 3	46
Tabel 3.6 Data hasil pengujian <i>GeoGauge</i> pada kadar air 13.38 %	47
Tabel 3.7 Data hasil pengujian <i>GeoGauge</i> pada kadar air 15.38 %	47
Tabel 4.1 Jumlah pukulan tiap <i>box sample</i>	51
Tabel 4.2 Hasil uji statistik nilai kekakuan pada kadar air 14.38%	53
Tabel 4.3 Hasil uji nilai kekakuan pada kadar air 15.38%.....	53
Tabel 4.4 Hasil uji nilai kekakuan pada kadar air 13.38%.....	53
Tabel 4.5 Tabel uji statistik dari nilai kekakuan <i>box</i> 1 pada kadar air 14.38 %	54
Tabel 4.6 Tabel uji statistik dari nilai kekakuan <i>box</i> 2 pada kadar air 14.38 %	55
Tabel 4.7 Tabel uji statistik dari nilai kekakuan <i>box</i> 3 pada kadar air 14.38 %	56
Tabel 4.8 Tabel uji statistik dari keseluruhan nilai kekakuan pada kadar air 14.38 % ...	57
Tabel 4.9 Tabel uji statistik dari keseluruhan nilai kekakuan pada kadar air 13.38 % ...	58
Tabel 4.10 Tabel uji statistik dari keseluruhan nilai kekakuan pada kadar air 15.38 %	59
Tabel 4.11 Data uji CBR Laboratorium.....	60
Tabel 4.12 Nilai CBR Laboratorium.....	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Perkerasan Lentur (<i>Flexible Pavement</i>).....	5
Gambar 2.2	Perkerasan Kaku (<i>Rigid Pavement</i>)	8
Gambar 2.3	Nilai Kekakuan Tanah	18
Gambar 2.4	<i>Humboldt GeoGauge</i>	20
Gambar 2.5	Kondisi Pasir Setelah Pegujian <i>GeoGauge</i>	21
Gambar 2.6	Detail Instrumen <i>GeoGauge</i>	21
Gambar 2.7	<i>Verifier Mass</i>	25
Gambar 2.8	Kurva Hubungan Antara <i>Plate Loading Test (E_{PLT})</i> dan <i>GeoGauge (E_G)</i>	26
Gambar 2.9	Kurva Hubungan Antara Modulus <i>GeoGauge (E_G)</i> dan Nilai <i>CBR</i>	27
Gambar 2.10	<i>E_G vs Thickness</i>	28
Gambar 2.11	<i>Marshal Hammer</i> dan Bak Kayu	29
Gambar 2.12	<i>Dry Density</i> dan <i>Stiffness vs Moisture Content</i>	29
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	33
Gambar 3.2	Hasil Analisis Gradasi Butiran Tanah Jenis Tanah Granular	34
Gambar 3.3	Hasil Uji Pemadatan Laboratorium <i>Modified Proctor</i>	35
Gambar 3.4	Uji <i>Direct Shear</i> Tanah Jenis Granular.....	35
Gambar 2.5	Grafik <i>Water Content vs Dry Density</i>	37
Gambar 3.6	Uji kekakuan dengan <i>GeoGauge</i>	43
Gambar 3.7	Hasil uji pertama dengan <i>GeoGauge</i> pada <i>box 1</i>	43
Gambar 3.8	Hasil uji kedua dengan <i>GeoGauge</i> pada <i>box 1</i>	44
Gambar 3.9	Hasil uji ketiga dengan <i>GeoGauge</i> pada <i>box 1</i>	44
Gambar 3.10	Hasil uji pertama dengan <i>GeoGauge</i> pada <i>box 2</i>	45
Gambar 3.11	Hasil uji kedua dengan <i>GeoGauge</i> pada <i>box 2</i>	45
Gambar 3.12	Hasil uji ketiga dengan <i>GeoGauge</i> pada <i>box 2</i>	45
Gambar 3.13	Hasil uji pertama dengan <i>GeoGauge</i> pada <i>box 3</i>	46
Gambar 3.14	Hasil uji kedua dengan <i>GeoGauge</i> pada <i>box 3</i>	46
Gambar 3.15	Hasil uji ketiga dengan <i>GeoGauge</i> pada <i>box 3</i>	46
Gambar 4.1	<i>Box</i> yang digunakan dalam pengujian	48
Gambar 4.2	Jenis alat pemadat yang digunakan.....	50
Gambar 4.3	Grafik usaha pemadatan & energi pada percobaan	52
Gambar 4.4	Grafik hasil uji <i>GeoGauge</i> pada <i>box 1</i>	54
Gambar 4.5	Grafik hasil uji <i>GeoGauge</i> pada <i>box 2</i>	55
Gambar 4.6	Grafik hasil uji <i>GeoGauge</i> pada <i>box 3</i>	56
Gambar 4.7	Grafik hasil Uji <i>GeoGauge</i> pada tiap-tiap <i>box</i>	57

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Sieve Analysis
- Lampiran 2 Hydrometer
- Lampiran 3 Grain Size Distribution



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Tanah merupakan suatu material konstruksi yang langsung tersedia di lapangan. Bendungan, tanggul, dan timbunan jalan raya serta kereta api membutuhkan tanah sebagai salah satu material konstruksi. Walaupun demikian, sama seperti material-material konstruksi lainnya, sebelum digunakan tanah harus diatur penggunaannya.

Sejak dahulu, masalah-masalah yang sering timbul adalah tanah timbunan. Tanah timbunan sering sekali tidak dipadatkan dengan baik. Hal tersebut bisa menjadi masalah karena jika tanah timbunan tidak dipadatkan dengan baik dan ditimbun secara sembarangan, hasilnya akan merupakan tanah timbunan yang memiliki stabilitas yang rendah dan penurunan tanah yang besar.

Pemadatan tanah merupakan bagian penting dalam proses konstruksi jalan raya terutama pada timbunan dan pondasi. Ketahanan dan stabilitas struktur bergantung pada kualitas pemadatan. Dewasa ini, metode yang digunakan untuk mengontrol pemadatan tanah adalah dengan melakukan uji *CBR* (*California Bearing Ratio*). Metode *CBR* ini merupakan metode yang sering digunakan di Indonesia.

Nilai *CBR* dari tanah pada umumnya didapatkan dengan melakukan uji *CBR* baik uji laboratorium maupun uji lapangan pada tanah yang dipadatkan. Saat ini penggunaan nilai *CBR* mulai tergantikan oleh suatu nilai yang menggambarkan tingkat pemadatan tanah lebih baik daripada nilai *CBR* yaitu nilai kekakuan tanah. Hanya saja penggunaan nilai Kekakuan Tanah jarang digunakan di Indonesia dikarenakan masih sulitnya cara pengukuran nilai Kekakuan Tanah khususnya untuk tanah di Indonesia.

Dewasa ini nilai kekakuan tanah dapat diukur dengan menggunakan alat yang disebut *GeoGauge*. *GeoGauge* merupakan suatu alat yang diciptakan untuk menentukan nilai kekakuan dan modulus dari tanah dan agregat.

Pada Tugas Akhir kali ini yaitu membahas penelitian tentang pengaruh dimensi sampel terhadap perubahan nilai kekakuan yang ditentukan dengan menggunakan alat yang disebut dengan *GeoGauge*. Penelitian ini dilakukan dalam bentuk uji terhadap material tanah yang dipadatkan sesuai dengan prosedur.

1.2 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, sampel yang diujikan yaitu sampel tanah untuk jenis tanah terganggu yang berasal dari proyek timbunan *Fly Over* Simpang Duku, Sumatera Barat. Penelitian yang dilakukan yaitu pengaruh dimensi sampel terhadap nilai kekakuan tanah yang akan ditentukan dengan *GeoGauge*. Pengujian dilakukan di laboratorium dengan cara merancang beberapa variasi dimensi benda uji untuk dilihat hasil kekakuannya. Hasil kekakuan tanah dari masing-masing variasi dimensi benda uji kemudian dilihat hasilnya lalu kemudian dianalisis.

1.3 Tujuan Penelitian

Salah satu keuntungan dari penggunaan *GeoGauge* yaitu pengujian dapat dilakukan dengan cepat dan mudah tanpa menimbulkan kerusakan pada material yang akan diuji. Selain itu, pengujian dengan menggunakan *GeoGauge* dapat dilakukan oleh 1 orang saja dikarenakan dimensi yang tidak terlalu besar. Hanya dengan menempelkan alat ini pada material yang akan diuji dan memperhatikan aturan-aturan penggunaannya, dapat diketahui berapa kekakuan tanahnya. Pengujian dengan alat ini dilakukan di lapangan sehingga untuk uji laboratorium memerlukan alat yang masih harus dirancang karena belum ada standar ukurannya.

Oleh karena itu, penelitian yang dilakukan yaitu tentang pengaruh dimensi sampel terhadap perubahan nilai kekakuan dengan menggunakan alat *GeoGauge* untuk jenis tanah dengan kepadatan yang sama. Dari penelitian ini diharapkan dapat dilihat apakah perbedaan variasi dimensi benda uji mempengaruhi besarnya nilai kekakuan.

1.4 Metodologi

Metodologi yang dipakai dalam penelitian ini adalah :

1. Studi Literatur

Studi literatur adalah penelitian terhadap peraturan standar yang berlaku dan dipakai, serta mencari masukan-masukan dari kegiatan penelitian yang berhubungan dengan *GeoGauge*, pemadatan dan kekakuan tanah.

2. Melakukan percobaan langsung

Melakukan percobaan secara langsung dengan menggunakan *GeoGauge*.

1.5 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan makalah untuk skripsi ini, digunakan sistematika penulisan yang terdiri dari pendahuluan, tinjauan pustaka, metode penelitian, pengolahan data, serta kesimpulan dan saran, yang masing-masing terdapat dalam satu bab bahasan.

Bab 1 atau bab pendahuluan berisi tentang uraian hal-hal yang berkaitan dengan penulisan laporan ini seperti latar belakang masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab 2 atau bab dasar teori berisi tentang konsep dan teori mengenai material tanah yang diuji, perkerasan lentur maupun perkerasan kaku, kekakuan tanah, pemadatan tanah, serta *GeoGauge*.

Bab 3 atau bab metode penelitian berisi tentang penjelasan metode-metode dan langkah-langkah yang digunakan dalam melakukan penelitian ini.

Bab 4 atau bab analisis data penelitian berisi tentang analisis-analisis yang dibuat berdasarkan hasil dari data-data penelitian.

Bab 5 atau bab kesimpulan dan saran yang berisi tentang kesimpulan dan saran yang disampaikan setelah melakukan penelitian.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jenis Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah lapisan material yang dipilih dan dikerjakan menurut persyaratan tertentu dan berfungsi menyebarkan beban roda kendaraan sehingga dapat ditahan oleh tanah dasar. Tujuan struktur perkerasan (*pavement*) adalah:

- Agar di atas struktur perkerasan itu dapat dilalui setiap saat. Oleh karena itu, lapis permukaan perkerasan harus kedap air untuk melindungi lapis tanah dasar sehingga kadar air lapis tanah dasar tidak mudah berubah.
- Mendistribusikan beban terpusat, agar tekanan yang terjadi pada lapis tanah dasar menjadi lebih kecil. Oleh karena itu, lapis struktur perkerasan harus dibuat dengan sifat modulus kekakuan (modulus elastisitas) lapisan atas lebih besar daripada lapis di bawahnya.
- Menyediakan kekesatan agar aman. Permukaan perkerasan harus kasar sehingga mempunyai koefisien gesek yang besar antara roda dan permukaan perkerasan.
- Menyediakan kerataan agar nyaman. Permukaan harus rata sehingga pengguna tidak terguncang pada saat melintas.

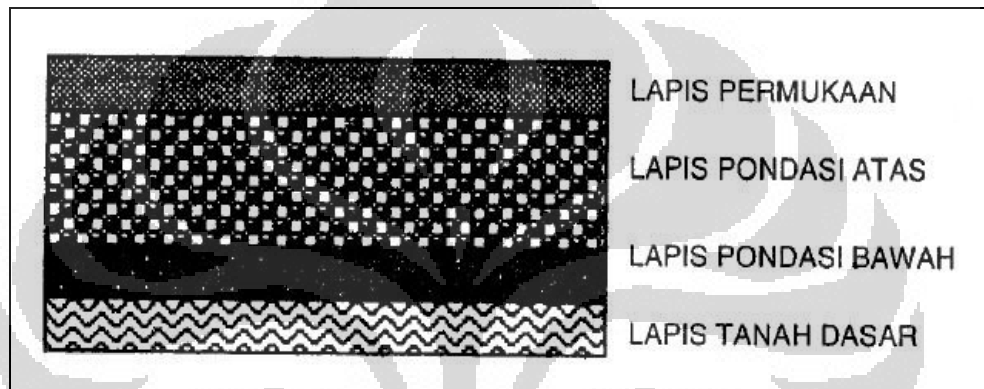
Suatu perkerasan dibebani oleh beban lalu lintas yang dapat dibedakan atas:

- Muatan kendaraan berupa gaya vertikal
- Gaya rem kendaraan berupa gaya horizontal
- Pukulan roda kendaraan berupa getaran-getaran

Oleh karena sifat penyebaran gaya, maka muatan yang diterima oleh masing-masing lapisan berbeda dan semakin ke bawah semakin kecil. Lapisan permukaan harus mampu menerima seluruh jenis gaya yang bekerja, lapis pondasi atas menerima gaya vertikal dan getaran, sedangkan tanah dasar dianggap hanya menerima gaya vertikal saja. Oleh karena itu terdapat perbedaan syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh masing-masing lapisan.

2.1.1. Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Perkerasan lentur adalah perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut, berturut-turut dari atas ke bawah, yaitu lapisan permukaan (*surface*), lapisan pondasi (*base course*), lapisan pondasi bawah (*sub base*), dan lapisan tanah dasar (*sub grade*).



Gambar 2.1 Struktur Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

2.1.1.1. Lapisan Permukaan (*Surface Course*)

Lapisan yang terletak paling atas disebut lapis permukaan. Lapisan ini berfungsi antara lain sebagai berikut :

- Lapisan perkerasan menahan beban roda, dengan persyaratan harus mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan
- Lapisan kedap air, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap ke lapisan di bawahnya dan melemahkan lapisan tersebut
- Lapis aus (*wearing course*), lapisan yang langsung menderita gesekan akibat rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus
- Lapis yang menyebarkan beban ke lapisan bawah, sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain dengan daya dukung yang lebih buruk

Penggunaan bahan aspal diperlukan agar lapisan dapat bersifat kedap air dan memberikan bantuan tegangan tarik yang berarti mempertinggi daya dukung lapisan terhadap beban roda lalu lintas.

Apabila diperlukan, dapat juga dipasang suatu lapisan penutup/lapis aus (*wearing course*) di atas lapis permukaan. Fungsi lapis aus ini adalah untuk mencegah masuknya air dan memberikan kekesatan (*skid resistance*) permukaan jalan. Lapis aus tidak diperhitungkan untuk memikul beban lalu lintas.

2.1.1.2. Lapisan Pondasi Atas (*Base Course*)

Lapisan yang terletak di antara lapis pondasi bawah dan lapis permukaan dinamakan lapis pondasi atas (*base course*) karena terletak tepat di bawah permukaan perkerasan, maka lapisan ini menerima pembebanan yang berat dan paling menderita akibat muatan, oleh karena itu material yang digunakan harus berkualitas sangat tinggi dan pelaksanaan konstruksi harus dilaksanakan dengan cermat. Secara umum *base course* mempunyai fungsi sebagai berikut :

- Bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya
- Lapisan peresapan untuk lapis pondasi bawah
- Bantalan terhadap lapis permukaan

Bahan untuk lapis pondasi atas cukup kuat dan awet sehingga dapat menahan beban-beban roda. Sebelum menentukan suatu bahan untuk digunakan sebagai pondasi hendaknya dilakukan penyelidikan dan pertimbangan sebaik-baiknya sehubungan dengan persyaratan yang ada. Berbagai macam material dapat digunakan seperti kerikil, batu merah, dan stabilisasi tanah dengan semen atau kapur.

2.1.1.3. Lapisan Pondasi Bawah (*Sub-Base Course*)

Lapis pondasi bawah ialah lapisan yang berada di antara lapis pondasi atas dengan tanah dasar. Fungsi lapis pondasi bawah ialah:

- Menyebarkan beban roda ke tanah dasar.

- Efisiensi penggunaan material, materi lapis pondasi bawah lebih murah dibandingkan lapisan-lapisan di atasnya.
- Lapis peresapan agar air tidak berkumpul di lapisan pondasi.
- Lapisan untuk mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar naik ke lapisan pondasi atas.
- Lapis pelindung bagi tanah dasar dari beban-beban roda alat/kendaraan berat (akibat lemahnya daya dukung tanah dasar) pada awal-awal pelaksanaan pekerjaan.
- Lapis pelindung bagi tanah dasar dari pengaruh cuaca, terutama hujan.

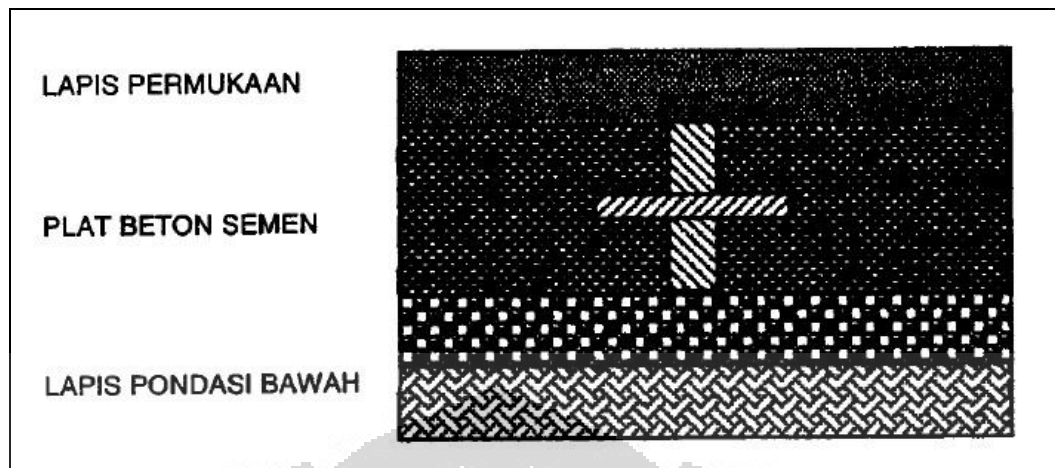
Campuran-campuran tanah setempat dengan kapur atau semen portland dalam beberapa hal sangat dianjurkan agar didapat bantuan yang efektif terhadap kestabilan konstruksi perkerasan.

2.1.1.4. Lapisan Tanah Dasar (*Sub-Grade*)

Lapisan tanah dasar adalah lapisan tanah yang berfungsi sebagai perletakan lapis perkerasan dan mendukung konstruksi perkerasan jalan di atasnya. Tanah dasar harus memiliki persyaratan tertentu sesuai fungsinya, yaitu yang berkenaan dengan kepadatan serta daya dukungnya (CBR). Lapisan tanah dasar dapat berupa tanah asli yang dipadatkan jika tanah aslinya baik, tanah timbunan yang didatangkan dari tempat lain, atau tanah yang distabilisasi, dan lain-lain. Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar.

2.1.2. Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan jalan beton semen atau secara umum disebut perkerasan kaku, terdiri atas plat (*slab*) beton semen sebagai lapis pondasi dan lapis pondasi bawah (bisa juga tidak ada) di atas tanah dasar. Dalam konstruksi perkerasan kaku, plat beton sering disebut sebagai lapis pondasi karena dimungkinkan masih adanya lapisan aspal beton di atasnya yang berfungsi sebagai lapis permukaan.



Gambar 2.2 Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan beton yang kaku dan memiliki modulus elastisitas yang tinggi, akan mendistribusikan beban ke bidang tanah dasar yang cukup luas sehingga bagian terbesar dari kapasitas struktur perkerasan diperoleh dari plat beton sendiri. Hal ini berbeda dengan perkerasan lentur dimana kekuatan perkerasan diperoleh dari tebal lapis pondasi bawah, lapis pondasi dan lapis permukaan.

Karena yang paling penting adalah mengetahui kapasitas struktur yang menanggung beban, maka faktor yang paling diperhatikan dalam perencanaan tebal perkerasan beton semen adalah kekuatan beton itu sendiri. Adanya beragam kekuatan dari tanah dasar dan atau pondasi hanya berpengaruh kecil terhadap kapasitas struktural perkerasannya.

Lapis pondasi bawah digunakan di bawah plat beton karena beberapa pertimbangan, yaitu antara lain untuk menghindari terjadinya pumping, kendali terhadap sistem drainasi, kendali terhadap kembang-susut yang terjadi pada tanah dasar dan untuk menyediakan lantai *kerja* (*working platform*) untuk pekerjaan konstruksi. Secara lebih spesifik, fungsi dari lapis pondasi bawah adalah:

- Menyediakan lapisan yang seragam, stabil dan permanen.
- Menaikkan harga modulus reaksi tanah dasar (*modulus of sub-grade reaction = k*), menjadi modulus reaksi gabungan (*modulus of composite reaction*).
- Mengurangi kemungkinan terjadinya retak-retak pada plat beton.

- Menyediakan lantai kerja bagi alat-alat berat selama masa konstruksi.

Berdasarkan adanya sambungan dan tulangan plat beton perkerasan kaku, perkerasan beton semen dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis sebagai berikut:

- Perkerasan beton semen biasa dengan sambungan tanpa tulangan untuk kendali retak.
- Perkerasan beton semen biasa dengan sambungan dengan tulangan plat untuk kendali retak. Untuk kendali retak digunakan *wire mesh* diantara siar dan penggunaannya independen terhadap adanya tulangan *dowel*.
- Perkerasan beton bertulang menerus (tanpa sambungan). Tulangan beton terdiri dari baja tulangan dengan prosentasi besi yang relatif cukup banyak (0.02 % dari luas penampang beton).
- Perkerasan semen beton pra-tekan.

Pada saat ini, jenis perkerasan beton semen yang populer dan banyak digunakan di negara-negara maju adalah jenis perkerasan beton bertulang menerus.

2.1.3. Perkerasan Komposit

Perkerasan komposit merupakan gabungan konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*) dan lapisan perkerasan lentur (*flexible pavement*) di atasnya, dimana kedua jenis perkerasan ini bekerja sama dalam memikul beban lalu lintas. Untuk ini maka perlu ada persyaratan ketebalan perkerasan aspal agar mempunyai kekakuan yang cukup serta dapat mencegah retak refleksi dari perkerasan beton di bawahnya. Perkerasan komposit ini biasa digunakan sebagai *runway* pesawat terbang.

2.2. Tanah Dasar

Yang dimaksud dengan subgrade yaitu lapisan tanah dasar yang memiliki ketebalan kira-kira 50-100 cm. Lapisan tanah dasar (subgrade) dapat berupa tanah asli yang dipadatkan (jika tanah aslinya baik), tanah yang didatangkan dari tempat lain dan dipadatkan atau tanah yang di stabilisasi dengan kapur atau bahan

lainnya. Ditinjau dari muka tanah asli, maka lapisan tanah dasar (subgrade) dapat dibedakan atas :

- Lapisan tanah dasar, tanah galian

Khusus untuk tanah galian, permukaan subgrade pada daerah galian perlu dipadatkan seperlunya untuk keseragaman kepadatan, dengan nilai CBR $> 5\%$. Selain itu, permukaan subgrade yang terletak pada daerah galian harus dibuat drainasenya terlebih dahulu.

- Lapisan tanah dasar, tanah timbunan

Timbunan tanah yang dilakukan pada pekerjaan tanah biasanya diberi persyaratan kepadatan. Oleh karena itu, pekerjaan timbunan pada dasarnya adalah pekerjaan pemadatan tanah. Pada subgrade yang berupa timbunan harus dipadatkan dengan kepadatan 100 % proktor setebal 30 cm. Cara pemadatan yang perlu diperhatikan adalah :

- Pemberian air untuk pemadatan secukupnya
- Pemadatan dilakukan lapis demi lapis dengan ketebalan tertentu (maksimal 30 cm per lapis). Prosedurnya adalah setiap lapis yang akan dipadatkan baru boleh dimulai, bila lapisan dibawahnya persis telah dites kepadatannya dan memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan. Ketebalan lapisan yang dipadatkan tergantung besarnya energi alat pemadat yang digunakan. Semakin ringan alat yang digunakan, semakin tipis lapisan tanah yang akan dipadatkan.
- Untuk menetapkan tebal lapisan gembur dan berapa kali lintasan pemadatan dengan alat yang ada, biasanya dilakukan percobaan pemadatan dengan menggunakan beberapa varian yang nantinya akan dipilih menghasilkan kepadatan yang dipersyaratkan.
- Pemilihan jenis alat pemadat biasanya disesuaikan dengan jenis tanah yang akan dipadatkan.

Lapisan tanah dasar juga menentukan dalam hal biaya pelaksanaan pembuatan suatu konstruksi jalan. Oleh karena itu, tidaklah berlebihan jika kita mengatakan bahwa mempersiapkan tanah dasar ini merupakan pekerjaan yang

bersifat fundamental bagi pembuatan jalan raya, terlebih lagi bahwa bahan yang diolah adalah yang termurah dari seluruh konstruksi, yaitu tanah asal (setempat/asli). Persiapan lapisan tanah dasar berhubungan dengan pekerjaan gali (*cut*) dan timbun (*fill*).

Tanah dasar harus memiliki persyaratan tertentu sesuai fungsinya, yaitu yang berkenaan dengan kepadatan serta daya dukungnya (CBR). Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar. Umumnya persoalan yang menyangkut tanah dasar ialah sebagai berikut:

- Perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) akibat beban lalu lintas.
- Sifat kembang-susut dari tanah akibat perubahan kadar air.
- Daya dukung tanah yang tidak merata akibat adanya perbedaan sifat-sifat tanah (sulit ditentukan secara pasti ragam tanah yang sangat berbeda sifat dan kelembamannya), atau akibat kesalahan pelaksanaan misalnya kepadatan yang kurang baik.
- Lendutan atau lendutan balik.

Tanah merupakan salah satu bahan konstruksi yang langsung tersedia di lapangan, dan apabila dapat digunakan akan sangat ekonomis. Sama halnya dengan material konstruksi lainnya, tanah harus dipakai setelah melalui proses pengendalian mutu. Apabila tanah ditimbun secara sembarangan, hasilnya akan merupakan timbunan dengan berat isi yang rendah dan mengakibatkan stabilitas yang rendah dan penurunan tanah yang besar. Penurunan permukaan tanah (*subsidence*) digunakan untuk menjelaskan mekanisme gerakan vertikal di dalam timbunan akibat berat sendiri; penurunan (*settlement*) adalah gerakan vertikal pada tanah yang berada di bawah akibat berat timbunan di atasnya.

2.2.1. Perbaikan Tanah Dasar

Apabila suatu tanah yang berada di lapangan bersifat sangat lepas atau sangat mudah tertekan, atau apabila tanah tersebut mempunyai indeks konsistensi yang tidak sesuai, permeabilitas yang terlalu tinggi, atau sifat lain yang tak diinginkan sehingga tidak sesuai untuk suatu proyek pembangunan, maka tanah

tersebut harus distabilisasikan. Stabilisasi atau perbaikan tanah dapat terdiri dari salah satu tindakan berikut:

- Meningkatkan kerapatan tanah.
- Menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan/atau tahanan gesek yang timbul.
- Menambah bahan untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan/atau fisis pada tanah.
- Menurunkan muka air tanah (drainase tanah).
- Mengganti tanah yang buruk.

Setiap perubahan fisis atau teknis pada massa tanah akan membutuhkan penyelidikan atas alternatif-alternatif ekonomis seperti relokasi tempat bangunan atau menggunakan lokasi bangunan alternatif. Sekarang, sebagian besar lokasi bangunan di daerah perkotaan telah digunakan sehingga lokasi alternatif mungkin tidak akan praktis.

Stabilisasi tanah dapat terdiri dari salah satu kombinasi dari pekerjaan-pekerjaan berikut:

- Mekanis—pemadatan dengan menggunakan berbagai jenis peralatan mekanis seperti mesin gilas (*roller*), benda berat yang dijatuhkan, ledakan, tekanan statis, tekstur, pembekuan, pemanasan, dan sebagainya.
- Bahan pencampur (*additivier*)—kerikil untuk tanah kohesif; lempung untuk tanah berbutir; dan pencampur kimiawi seperti semen, gamping, abu batu bara, sodium dan kalsium klorida, dan lain-lain.

Penambahan lapisan kerikil pada permukaan jalan berlempung merupakan hal yang biasa dilakukan untuk stabilisasi jalan tanpa perkerasan. Lalu lintas akan terus menekan kerikil tersebut ke tanah yang berada di bawahnya; penambahan kerikil secara periodik akan menggantikan kerikil yang telah tertekan ke bagian samping jalan. Jalan kerikil juga dapat distabilisasikan dengan cara yang sama, yaitu dengan pencampuran lempung-pasir, yang akan mencegah perpindahan atau terbuangnya kerikil pada saat jalan tersebut dilalui lalu lintas. Pada kasus yang pertama, tahanan gesek tanah bertambah; sedangkan pada kasus kedua, kohesinya yang bertambah.

Prosedur stabilisasi yang biasa terdapat pada tanah berbutir halus adalah dengan menggali sampai kedalaman tertentu dan mencampur tanah yang digali dengan semen, abu batu bara, gamping, dan air secukupnya. Tanah yang distabilisasi itu dicampur dan dipadatkan dengan mesin gilas, dan menghasilkan suatu beton bergradasi rendah. Apabila semen digunakan, hasilnya akan merupakan stabilisasi tanah yang disebut “tanah semen” (*soil cement*). Campuran semen aspal digunakan sama seperti semen untuk stabilisasi tanah. *Semen Portland* dan tanah yang dicampur pada kadar air yang tepat telah digunakan untuk menstabilisasikan tanah pada kondisi khusus (untuk konstruksi jalan raya dan lapangan udara). Beberapa kriteria yang berbeda telah digunakan untuk mendesain campuran-campuran tanah-semen. Di antaranya adalah kuat kompresi, uji reaksi terhadap beku-cair, serta uji keawetan.

Bahan-bahan bitumen (aspal, ter, dan ter hitam) digunakan dalam berbagai konsistensi untuk memperbaiki sifat-sifat teknis tanah. Dicampur dengan tanah kohesif, bahan bitumen akan menaikkan daya dukung dan kekuatan tanah dengan membuat tanah menjadi kedap air dan mencegah kadar air yang tinggi. Bahan-bahan bitumen ditambahkan pada pasir akan berfungsi sebagai bahan sementasi dan menghasilkan massa yang lebih kuat dan lebih kompak. Jumlah bitumen yang digunakan berkisar antara 4% hingga 7% untuk tanah kohesif dan 4% hingga 20% untuk tanah berpasir¹. Penggunaan yang utama dari bahan-bahan bitumen adalah pada pembuatan jalan, di mana bahan ini menjadi bahan campuran utama bagi lapis aus atau digunakan pada lapis bawah dan lapis dasar untuk menstabilisasi tanah.

Secara garis besar, stabilisasi dengan kapur akan menaikkan kekuatan, kekakuan, dan tahan lama dari tanah-tanah berbutir halus. Terkadang kapur digunakan untuk menaikkan sifat-sifat fraksi halus dari tanah-tanah bergranular. Penambahan kapur pada tanah akan menghasilkan kepadatan maksimum yang lebih rendah dan kadar air optimum yang lebih tinggi dari pada bagian tanah yang tidak diperbaiki. Terlebih lagi, kapur menghasilkan penurunan indeks plastisitas. Stabilisasi dengan kapur telah secara luas digunakan untuk menurunkan potensi

¹ Wenterkom and Fang, 1995

pengembangan dan tekanan pengembangan pada tanah-tanah lempung. Penambahan kapur menghasilkan konsentrasi ion-ion kalsium yang tinggi dalam lapis ganda sekeliling partikel-partikel lempung, sehingga mengurangi tarikan bagi air.

Stabilisasi klorida biasanya didasarkan pada sifat hidroskopis (tarikan terhadap air) material ini untuk menghasilkan tanah yang lembab untuk meningkatkan kohesi dan mengurangi masalah atau gangguan debu yang terdapat pada jalan akibat lalu lintas yang lewat. Penambahan gamping, abu batu bara, dan terkadang semen diterapkan pada deposit lempung—terutama pada lempung yang mengalami perubahan volume yang besar—yang mengakibatkan perubahan ion-ion Ca^{2+} untuk mengurangi kegiatan-kegiatan mineral lempung tadi. Tanah yang diperlakukan dengan cara ini dapat mengalami penurunan indeks plastisitas dan penyusutan dan/atau pemuaian yang cukup berarti (bergantung pada jumlah gamping yang digunakan).

Pengisian/penyuntikkan adukan encer (*grouting*) adalah suatu injeksi campuran kental (*slurry*) berupa lempung dan tanah lainnya seperti pasir halus, semen—atau semen dengan lempung, atau sodium silikat (dan bahan-bahan kimia yang sifatnya sama). Campuran ini dimasukkan ke dalam tanah untuk mengurangi porositas n (mengisi rongga, retakan-retakan, dan sebagainya), serta meningkatkan kekuatan tanah di tempat yang bersangkutan. *Grouting* telah digunakan secara ekstensif terutama untuk mengendalikan aliran air tanah. Karena proses ini mengisi pori-pori tanah dengan sejenis bahan stabilisasi, penyuntikkan juga digunakan untuk menaikkan kekuatan tanah dan mencegah penurunan yang berlebihan. Penyuntikkan adukan encer ini merupakan cabang stabilisasi tanah yang sangat khusus, yang dapat dipelajari lebih rinci pada ASCE (1978). Terdapat berbagai macam metode penyuntikkan yang telah dikembangkan hingga saat ini, salah satunya adalah dengan membuat lubang-lubang pada selongsong dalam daerah yang akan disuntik dan meninggalkan selongsong tetap dalam tanah. Ini memungkinkan untuk melakukan injeksi beberapa kali selama jangka waktu tertentu dalam massa tanah yang sama (Caron dkk., 1975).

Terdapat berbagai macam cara stabilisasi lainnya yang dikenal hingga saat ini, antara lain dengan menggunakan *Vibrofloat* dan *Terra-Probe* (stabilisasi dinamis/penggetaran), peledakan (untuk memadatkan bahan tanpa kohesi), tiang pemadatan, penumbukan berat, tanah bertulang, dan penggunaan geotekstil.

2.2.2. Pemadatan Tanah Dasar

Tanah yang dipakai untuk membuat suatu jalan harus dipadatkan. Pemadatan tanah adalah proses dimana pori-pori tanah dikurangi dan udara dikeluarkan secara mekanis². Suatu pemadatan tanah juga merupakan suatu usaha (energi) yang dilakukan pada massa tanah guna mempertinggi kerapatan tanah dengan pemakaian energi mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel. Dengan dipadatkannya suatu permukaan tanah maka tanah tersebut akan memiliki manfaat untuk keperluan bangunan, yaitu:

- Menaikkan kekuatannya
Semakin padat tanah, maka kekuatan tanah semakin bertambah
- Memperkecil penyusutannya dan daya rembes airnya
Semakin padat tanah, maka tanah semakin kecil penyusutannya, begitu juga daya rembesnya akan semakin kecil
- Memperkecil pengaruh air terhadap tanah tersebut
Semakin padat tanah, maka pengaruh air terhadap tanah tersebut semakin kecil
- Memperkecil penurunan tanah (subsidence) akibat gerakan-gerakan vertikal di dalam massa tanah sendiri, akibat berkurangnya angka pori

2.2.3. Pengujian Kepadatan

Kontrol spesifikasi untuk pemadatan tanah kohesif telah dikembangkan oleh R.R. Proctor ketika sedang membangun bendungan-bendungan untuk Los Angeles District pada akhir tahun 1920-an. Metode yang orisinal dilaporkan melalui seri-seri artikel di dalam Engineering News Record (Proctor,1933). Untuk alasan ini, prosedur dinamis laboratorium yang standar ini biasanya disebut

² Asiyanto, 2008

percobaan “Proctor”. Proctor mendefinisikan empat variabel pemadatan tanah, yaitu:

- Usaha pemadatan (Energi pemadatan)
- Jenis Tanah (Gradasi, kohesif atau tidak kohesif, ukuran partikel, dan sebagainya)
- Kadar air
- Berat satuan kering (Proctor mempergunakan angka pori)

Usaha pemadatan dan energi [Compaction effort and energy (CE)] merupakan pengukuran dari energi mekanis yang dikerjakan terhadap suatu massa tanah. Di lapangan, usaha pemadatan ini dihubungkan dengan berat hammer, tinggi jatuh, jumlah lapisan (layer), jumlah pukulan per lapisan dalam suatu volume tanah. Suatu pemadatan (Compactive effort= C.E.) memiliki formula sebagai berikut :

$$CE = \frac{W \cdot H \cdot L \cdot B}{V} \quad (2.1)$$

Dimana :

CE = Compactive Effort (in lb/ft³)

W = Berat Hammer (lb)

H = Tinggi jatuh (in)

L = Jumlah Lapisan (layer)

B = Jumlah pukulan per layer

V = Volume tanah (ft³)

Pemadatan tanah yang dilakukan di laboratorium pada umumnya terdiri dari dua macam, yaitu :

1. Standard Proctor – AASHTO T 99 (ASTM D 698)
2. Modified Proctor – AASHTO T 99 (ASTM D 1557)

Tabel 2.1 *Standard Proctor dan Modified Proctor*

Test Identification	AASHTO T 99 ASTM D 698		AASHTO T 180 ASTM D 1557	
Diameter Mold [in]	4"	6"	4"	6"
Berat Hammer (W) [lb]	5.5	5.5	10	10
Tinggi Jatuh (H) [in]	12	12	18	18
Jumlah Lapisan (L)	3	3	5	5
Jumlah Pukulan per Layer (B)	25	56	25	56
C.E. (ft lb/ft ³)	12.375	12.375	56.250	56.250
Ukuran butiran maksimum terlewati	No.4 (3/4")	No.4 (3/4")	No.4 (3/4")	No.4 (3/4")

Sumber : Pedoman Praktikum Mekanika Tanah FT UI

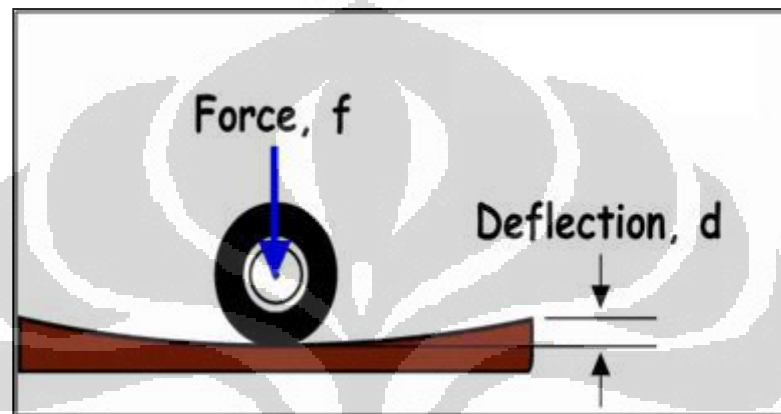
Di dalam laboratorium, CE dibentuk dari impact (yang paling biasa dilakukan), menekan (*kneading*), atau dengan tekanan statis. Selama pemadatan impact, suatu palu dijatuhkan dari tinggi tertentu beberapa kali untuk beberapa lapisan tanah di dalam suatu mold untuk menghasilkan suatu contoh dengan volume tertentu. Ukuran berat hammer, tinggi jatuh, jumlah lapisan (layer), jumlah pukulan per lapisan telah ditentukan dalam percobaan standar oleh ASTM dan AASHTO

Hasil dari suatu kepadatan tanah bergantung kepada kadar airnya. Untuk membuat suatu hubungan tersebut dibuat beberapa contoh tanah minimal empat contoh tanah dengan kadar air yang berbeda-beda, dengan perbedaan kurang lebih 4%. Dari percobaan tersebut dibuat grafik yang menggambarkan hubungan antara kepadatan dan kadar air, sehingga dari grafik tersebut dapat diperoleh γ_{dry} maksimum pada kadar air optimum atau *Optimum Moisture Content* (OMC). Dengan demikian dapat diperoleh petunjuk bahwa suatu tanah yang dipadatkan dengan kadar air lebih dari W_{opt} , akan diperoleh nilai kepadatan yang lebih kecil dari γ_{dry} maksimum.

2.3. Nilai Kekakuan Tanah

2.3.1. Pendahuluan

Nilai Kekakuan Tanah dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya yang bekerja pada permukaan tanah dengan besarnya defleksi pada permukaan tanah. Nilai kekakuan tanah didapatkan dengan memberikan gaya sebesar F pada permukaan tanah. Sebagai akibat pemberian gaya F , tanah akan mengalami defleksi sebesar d .



Gambar 2.3 Nilai Kekakuan Tanah

Dengan melakukan perbandingan antara F dan d maka nilai kekakuan tanah dapat ditentukan.

$$Stiffness = \frac{F}{d} \quad (2.2)$$

di mana :

- *Stiffness* = nilai kekakuan tanah (N/m)
- F = gaya pada permukaan tanah (N)
- d = defleksi pada tanah (m)

Nilai kekakuan tanah juga dapat ditentukan dari modulus elastisitas tanah yaitu dengan menggunakan perumusan *static stiffness* dari *rigid annular ring* pada tanah elastis, homogen dan isotropik³ yaitu:

$$K = \frac{ER}{(1 - \nu^2)\omega(r)} \quad (2.3)$$

di mana :

³ Egorov, 1965

- K = *stiffness* (MN/m)
- E = modulus elastisitas (MPa)
- R = *radius GeoGauge ring* (2.25 inches = 0.05715 m)
- ν = *Poisson's ratio*
- $\omega(n)$ = fungsi rasio antara diameter dalam dan diameter luar *GeoGauge* (0.565)

Dengan memasukkan beberapa nilai di atas maka perumusan *stiffness* menjadi :

$$K = \frac{1.77ER}{(1 - \nu^2)} \quad (2.4)$$

Sebagaimana diketahui bahwa modulus elastisitas dan modulus geser saling

berhubungan yaitu $G = \frac{E}{2(1 - \nu^2)}$ sehingga kita dapat mencari *stiffness* dari modulus geser yaitu:

$$K = \frac{3.54GR}{(1 - \nu^2)} \quad (2.5)$$

2.3.2. Nilai Kekuatan Tanah Sebagai Pengontrol Pemasatan

Pemasatan tanah merupakan salah satu komponen yang paling penting dalam konstruksi jalan raya, timbunan, dan pondasi. Ketahanan dan stabilitas struktur bergantung pada kualitas pemasatan. Metode yang digunakan untuk mengontrol pemasatan tanah adalah dengan melakukan uji *CBR*. Komponen properti tanah yang diuji yaitu kerapatan kering tanah dan kadar air tanah. Pada uji *CBR* terdiri dari uji *CBR* lapangan dan laboratorium. Hasil dari uji *CBR* lapangan dibandingkan dengan uji *CBR* laboratorium. Proses uji *CBR* memakan waktu yang cukup lama, tingkat akurasi yang diragukan, dan menjadi tidak praktis bila material yang diuji cukup banyak^{4 5}. Alasan utama penggunaan uji *CBR* sebagai pengontrol pemasatan tanah adalah karena prosesnya tidak rumit dan biaya yang dikeluarkan tidak besar⁶. Hanya saja tujuan dari pemasatan tanah adalah untuk memperbaiki *engineering properties* tanah tidak hanya kerapatan

⁴ Fiedler *et al*, 1998

⁵ Livner & Goldberg, 2001

⁶ Lenk *et al*, 2003

kering dan kadar air saja⁷. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pengujian *CBR* tidak menggambarkan *engineering properties* tanah pada kondisi yang sesungguhnya.

Kekuatan tanah (*strength*) merupakan salah satu *engineering properties* tanah. Sebagaimana diketahui bahwa nilai kekakuan tanah menggambarkan kekuatan tanah dan tujuan dari pemadatan tanah adalah untuk memperbaiki *engineering properties* tanah sehingga penggunaan nilai kekakuan tanah sebagai pengontrol pemadatan tanah lebih relevan bila dibandingkan dengan *CBR*.

2.4. Geogauge

2.4.1. Pendahuluan

GeoGauge merupakan suatu alat yang diciptakan untuk menentukan nilai kekakuan dan modulus dari tanah dan agregat. Pengujian dengan menggunakan alat ini dapat dilakukan dengan cepat dan mudah tanpa menimbulkan kerusakan pada material yang akan diuji. Selain itu, pengujian dengan menggunakan *GeoGauge* dapat dilakukan oleh 1 orang saja dikarenakan dimensi yang tidak terlalu besar yaitu tinggi 28 cm, diameter 25.4 cm, dan berat hanya 10 kg. Alat ini mampu mengukur nilai kekakuan tanah hingga 70 MN/m



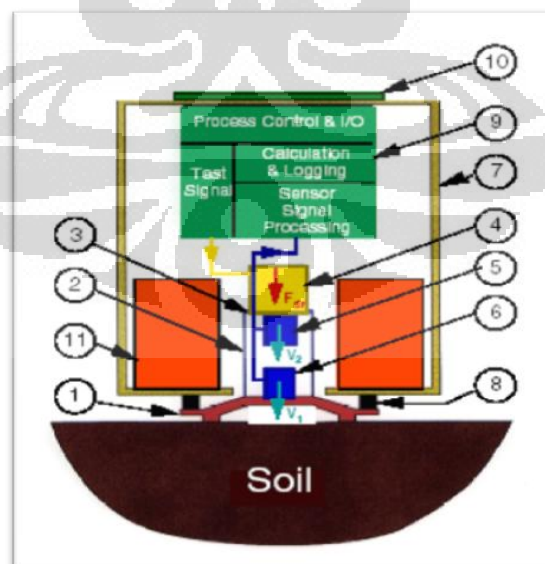
Gambar 2.4 Humboldt *GeoGauge*

⁷ Holtz & Kovac, 1981

Hal yang perlu diperhatikan dalam pengujian *GeoGauge* adalah *GeoGauge* harus memiliki kontak yang sempurna dengan permukaan benda uji (permukaan benda uji harus benar-benar rata). Salah satu kelemahan *GeoGauge* adalah *GeoGauge* tidak mampu bekerja dengan akurat bila permukaan benda uji terlalu padat atau keras. Untuk mengatasi hal ini maka di atas permukaan benda uji diletakkan pasir yang kondisinya tidak terlalu basah sebagai dudukan *GeoGauge*. Fungsi pasir tersebut selain sebagai dudukan *GeoGauge* juga sebagai alat ukur apakah *GeoGauge* melakukan pengukuran dengan akurat atau tidak. Bila pada permukaan pasir yang telah dilakukan pengujian *GeoGauge* terbentuk lingkaran penuh maka *GeoGauge* telah melakukan pengukuran dengan akurat



Gambar 2.5 Kondisi Pasir Setelah Pegujian *GeoGauge*



Gambar 2.6 Detail Instrumen *GeoGauge*

Berikut adalah detail instrumen *GeoGauge* :

1. *Rigid foot* dengan *annular ring*
2. *Rigid cylindrical sleeve*
3. *Clamped flexible plate*
4. *Electro-mechanical shaker*
5. *Upper velocity sensor*
6. *Lower velocity sensor*
7. *External case*
8. *Vibration isolation mounts*
9. *Electronics*
10. *Control & display*
11. *Power supply*

Berikut adalah beberapa keuntungan menggunakan *Humboldt GeoGauge* :

1. Dimensi dan berat *GeoGauge* yang tidak terlalu besar menyebabkan alat ini mudah dibawa ke dalam lokasi proyek.
2. Prosedur penggunaan alat ini simpel dan tidak rumit.
3. *GeoGauge* hanya membutuhkan waktu selama 75 detik untuk melakukan pengukuran terhadap nilai kekakuan dan modulus tanah.
4. *GeoGauge* menimbulkan defleksi pada permukaan tanah sebesar $< 1,27 \times 10^{-6}$ m sehingga penggunaan *GeoGauge* tidak menimbulkan kerusakan pada permukaan tanah yang diuji.
5. *GeoGauge* tidak terpengaruh oleh suara dan getaran yang ditimbulkan oleh pekerjaan konstruksi.
6. *GeoGauge* dilengkapi memori yang dapat menyimpan data yang memungkinkan dapat dilakukan pengujian sebanyak 100 kali dalam sehari.
7. Data hasil pengukuran dapat ditransfer dari *GeoGauge* ke komputer untuk analisis lebih lanjut.

8. *GeoGauge* dilengkapi dengan Verifier Mass yang digunakan untuk mengkalibrasi *GeoGauge* sehingga keakuratan data hasil pengujian dapat dijaga dengan baik.

Kelemahan menggunakan *Humboldt GeoGauge* adalah :

1. *GeoGauge* hanya mampu mengukur nilai kekakuan suatu material hingga 70 MN/m. Bila dilakukan pengukuran terhadap material yang nilai kekakuannya di atas 70 MN/m maka hasilnya tidak akurat.
2. *GeoGauge* tidak dapat melakukan pengukuran terhadap material yang permukaannya terlalu padat atau keras. Untuk mengatasi hal ini maka di atas permukaan benda uji diletakkan pasir yang kondisinya tidak terlalu basah sebagai dudukan *GeoGauge*.

2.4.2. Prinsip Kerja *GeoGauge*

Prinsip kerja dari *GeoGauge* adalah *GeoGauge* memberikan gaya sebesar F pada permukaan tanah dengan melakukan getaran sebanyak 7400 kali. Lalu nilai kekakuan tanah dan modulus tanah dan agregat diukur dari impedansi getaran *GeoGauge* pada permukaan tanah. Gaya yang diberikan oleh *GeoGauge* dan ditransfer ke permukaan tanah dapat diperhitungkan sebagai berikut:

$$F_{dr} = K_{flex}(X_2 - X_1) + \omega^2 m_{int} X_1 \quad (2.6)$$

di mana:

- F_{dr} = gaya yang diberikan oleh *GeoGauge* (N)
- K_{flex} = nilai kekakuan dari *flexible plate* (MN/m)
- X_2 = *displacement* yang terjadi pada *flexible plate* (m)
- X_1 = displacement pada bagian *rigid foot* dari *GeoGauge* (m)
- Ω = $2\pi f$, di mana f adalah frekuensi (Hz)
- m_{int} = massa komponen internal (kg)

Pada frekuensi saat pengoperasian (antara 100 – 196 Hz), nilai kekakuan tanah dapat ditentukan dari impedansi yang terjadi, yaitu:

$$K_{gr} = \frac{F_{dr}}{X_1} \quad (2.7)$$

di mana:

- K_{gr} = nilai kekakuan tanah
- F_{dr} = gaya yang diberikan *GeoGauge* (N)
- X_1 = *displacement* pada bagian *rigid foot* dari *GeoGauge* (m)

Sehingga nilai kekakuan tanah dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\bar{K}_{gr} = K_{flex} \frac{\sum_1^n \left(\frac{X_2 - X_1}{X_1} \right)}{n} + \frac{\sum_1^n \omega^2}{n} m_{int} = K_{flex} \frac{\sum_1^n \left(\frac{V_2 - V_1}{V_1} \right)}{n} + \frac{\sum_1^n \omega^2}{n} m_{int} \quad (2.8)$$

di mana:

- N = banyaknya frekuensi yang digunakan
- V_2 = kecepatan pada *flexible plate*
- V_1 = kecepatan pada *rigid foot*

2.4.3. Kalibrasi *GeoGauge*

Untuk menjaga keakuratan data hasil pengukuran maka setidaknya setiap sebelum melakukan pengujian atau setidaknya setiap 12 bulan *GeoGauge* harus dikalibrasi. Untuk melakukan kalibrasi pada *GeoGauge* digunakan alat yang dinamakan *Verifier Mass* (Gambar 2.7). *Verifier Mass* memiliki berat 10 kg sehingga cukup ringan untuk dibawa ke lokasi proyek. Cara untuk mengkalibrasi *GeoGauge* yaitu dengan meletakkan *GeoGauge* di atas *Verifier Mass* lalu lakukan sebanyak 5 kali pengukuran. Setelah itu tentukan K_{eff} (nilai kekakuan efektif). Nilai K_{eff} yang didapat harus berada di antara -8.6 sampai -9.8 MN/m. Jika hasilnya di luar kisaran nilai tersebut maka sebaiknya *GeoGauge* tidak digunakan sebab kemungkinan terjadi kerusakan pada *GeoGauge* dan hasil pengukurannya tidak akurat. Berikut adalah perhitungan untuk menentukan K_{eff} :

$$K_{eff} = \frac{\sum_1^n M \omega^2}{n} \quad (2.9)$$

di mana:

- K_{eff} = nilai kekakuan efektif dari *Verifier Mass* (MN/m)
- M = berat *Verifier Mass* (kg)
- Ω = $2\pi f$, di mana f adalah frekuensi (Hz)

- N = jumlah pengukuran



Gambar 2.7 Verifier Mass

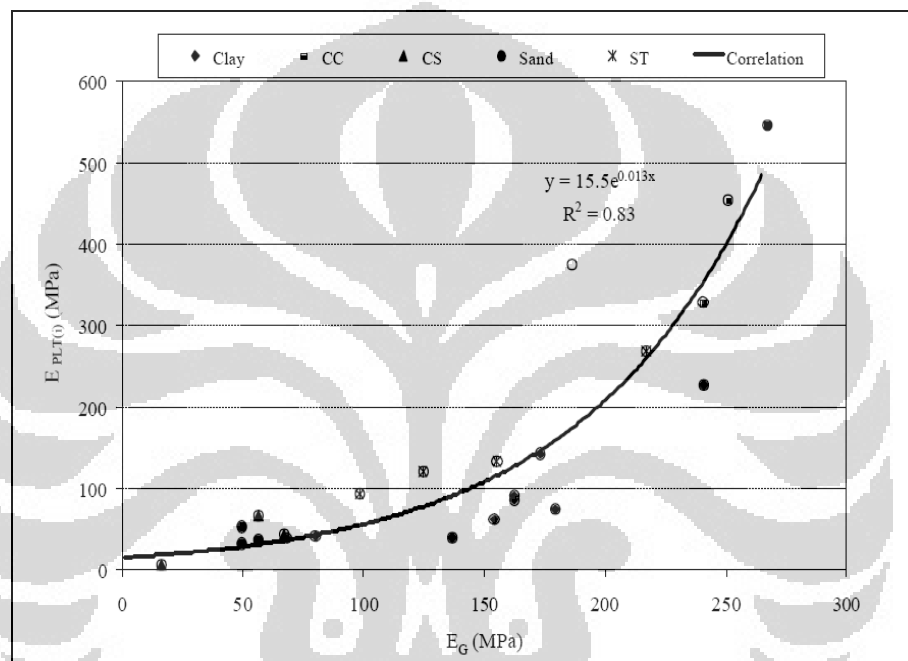
2.4.4. Studi Penelitian *GeoGauge*

Di beberapa negara yaitu *USA* dan negara-negara Eropa sudah mulai menggunakan *GeoGauge* sebagai alat pengontrol kepadatan tanah. Oleh karena itu studi penelitian mengenai *GeoGauge* telah dilakukan oleh beberapa peneliti di *USA* dan negara-negara Eropa terutama pada tanah lempung dan pasir. Sedangkan studi penelitian mengenai *GeoGauge* sepengetahuan penulis belum pernah dilakukan di Indonesia. Ekrem Seyman (2001) melakukan penelitian mengenai korelasi antara modulus yang dihasilkan dari *Plate Loading Test* (E_{PLT}) dan *GeoGauge* (E_G). Pada penelitian ini Ekrem Seyman menggunakan jenis tanah *clay*, *clayey silt*, dan *sand* yang dipadatkan dengan menggunakan *stamper* pada bak berukuran 5 ft x 3 ft x 2 ft (panjang x lebar x tinggi). Sampel tanah tersebut dilakukan pengujian *compaction* terlebih dahulu untuk mencari nilai kadar air optimum dari sampel tanah (Tabel II.2).

Tabel 2.2 Sampel Tanah Penelitian Ekrem Seyman

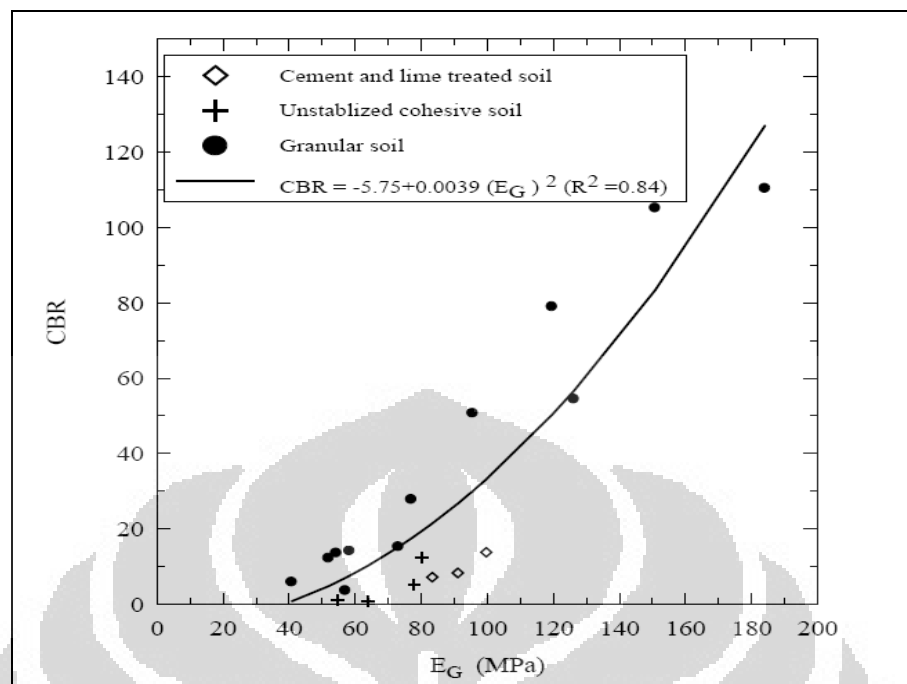
Jenis Tanah	Kadar Air (%)	Dry Density (t/m^3)
Clay	12.5	1.911
Clayey Silt	19	1.644
Sand	2	1.807

Pengujian *Plate Loading Test* dan *GeoGauge* dilakukan pada 2 lapisan tanah yaitu pada kedalaman 8 inch dan 16 inch dari dasar bak. Dari penelitian yang dilakukan Ekram Seyman didapatkan kurva hubungan antara *Plate Loading Test* (E_{PLT}) dan *GeoGauge* (E_G) seperti yang terlihat pada gambar 2.8. Dari kurva tersebut didapatkan kesimpulan bahwa korelasi antara modulus yang dihasilkan dari *Plate Loading Test* (E_{PLT}) dan *GeoGauge* (E_G) yaitu:



Gambar 2.8 Kurva Hubungan Antara *Plate Loading Test* (E_{PLT}) dan *GeoGauge* (E_G)

Munir D. Nazzal (2002) melakukan penelitian mengenai korelasi antara modulus *GeoGauge* (E_G) dan nilai *CBR* pada tanah granular (pasir). Pengujian *GeoGauge* dilakukan langsung di lapangan yaitu saat proses konstruksi jalan raya di Louisiana sedang berlangsung. Sedangkan pengujian *CBR* dilakukan di laboratorium yaitu menggunakan *CBR soaked*. Dari penelitian yang dilakukan Nazzal didapatkan kurva hubungan antara modulus *GeoGauge* (E_G) dan nilai *CBR* seperti yang terlihat pada Gambar 2.9

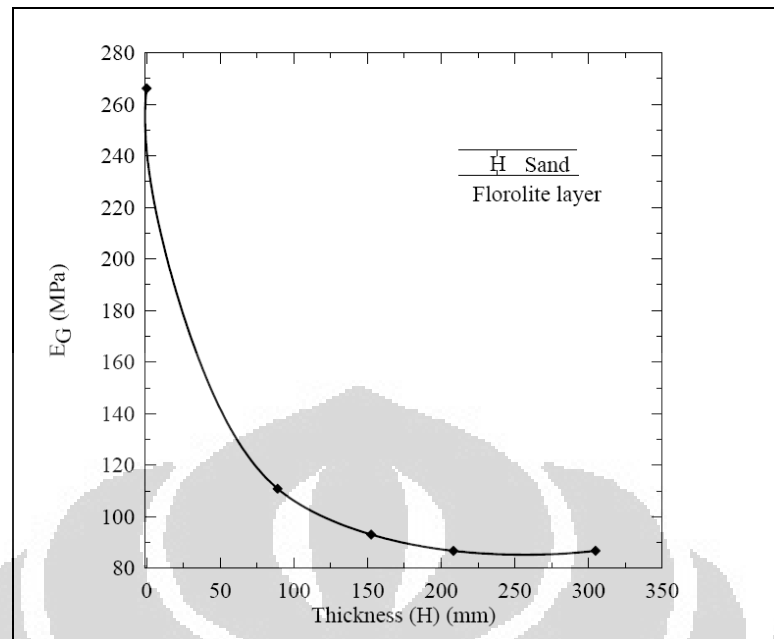


Gambar 2.9 Kurva Hubungan Antara Modulus *GeoGauge* (E_G) dan Nilai *CBR*

Dari kurva tersebut didapatkan kesimpulan bahwa korelasi antara modulus *GeoGauge* (E_G) dan nilai *CBR* yaitu:

$$CBR = 0.00392(E_G)^2 - 5.75 \text{ dengan } (R^2 = 0.84) \quad (2.10)$$

Perhitungan di atas berlaku untuk E_G diantara 40.8 – 184.11 Mpa. Selain itu Nazzal juga meneliti mengenai kedalaman efektif pengujian *GeoGauge*. Hasil yang didapatkan yaitu *GeoGauge* melakukan pengujian pada kedalaman efektif 180 mm – 190 mm dari permukaan benda uji (Gambar 2.10).



Gambar 2.10 E_G vs Thickness

Louisiana Department of Transportation & Development melakukan penelitian mengenai korelasi antara *GeoGauge stiffness* (K_G) dan nilai *CBR unsoaked* pada tanah lempung yaitu:

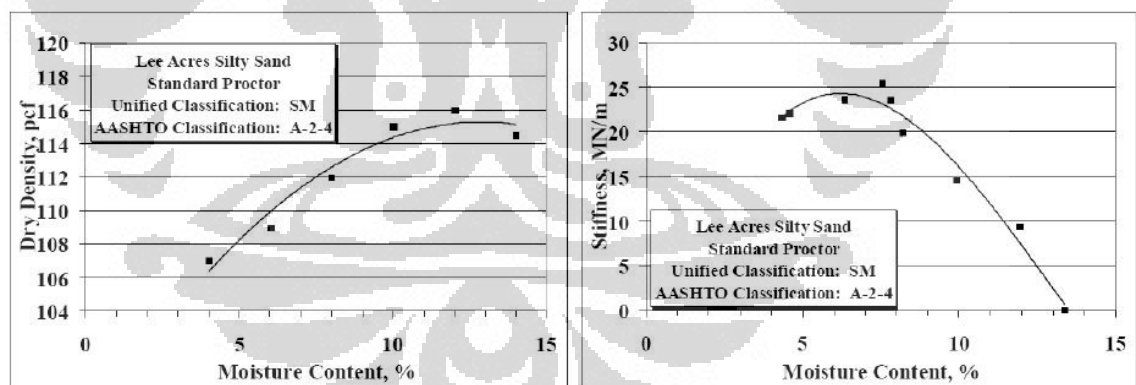
$$CBR = 0.00392(8.672K_G)^2 - 5.75 \text{ dengan } (R^2 = 0.84) \quad (2.11)$$

Lary R. Lenke, R. Gordon McKeen, Matt P. Grush melakukan pengujian *GeoGauge* pada tanah *silty sand*. Pada penelitian ini sampel tanah dipadatkan pada bak yang terbuat dari kayu dengan ukuran 15 inch x 15 inch x 12 inch (panjang x lebar x tinggi). Proses pemadatan dilakukan pada 6 lapisan tanah dengan menggunakan *Marshall hammer* yang dimodifikasi dengan memasang plat berdimensi 4 inch x 4 inch (Gambar 2.11). Untuk mencapai *Standard Proctor Energy* maka *Marshall hammer* dengan berat 10 pound dijatuhkan dari ketinggian 18 inch sebanyak 228 kali per lapisan tanah.



Gambar 2.11 *Marshal Hammer* dan Bak Kayu

Hasil yang didapatkan yaitu *dry density* berbanding terbalik terhadap *stiffness*. Makin bertambahnya *moisture content* menyebabkan *dry density* makin meningkat di saat yang bersamaan nilai *stiffness* makin menurun (Gambar 2.12).



Gambar 2.12 *Dry Density* dan *Stiffness vs Moisture Content*

2.5. Pengumpulan Data

Data merupakan sejumlah informasi yang dapat memberikan gambaran tentang suatu keadaan. Informasi yang diperoleh memberikan keterangan, gambaran, atau fakta mengenai suatu masalah dalam bentuk kategori, huruf, atau

bilangan. Metode pengumpulan data menunjukkan cara-cara yang dapat ditempuh untuk memperoleh data yang diinginkan.

2.5.1. Data Primer

Data primer merupakan data yang didapat dari sumber pertama atau dilakukan oleh pihak peneliti itu sendiri. Metode pengumpulan data ini terdiri dari dua kegiatan yaitu:

1. Percobaan

Metode ini dilakukan jika data yang ingin diperoleh belum tersedia dan dengan demikian variabel yang diukur harus dimulai datanya melalui suatu percobaan.

2. Survei

Metode ini dapat dilakukan jika data yang dicari sebenarnya sudah ada di lapangan atau sasaran penelitian lainnya. Tugas observator adalah menentukan bentuk data yang akan diukur, karakteristik yang akan diteliti, dan melakukan pengukuran serta pengumpulan data dengan teknik-teknik tertentu seperti wawancara, angket, polling, via telepon, dan lain-lain.

Pada penelitian ini, data primer didapat dari percobaan langsung yang dilakukan. Percobaan yang dilakukan berupa pengujian menggunakan *GeoGauge*. Data yang akan didapat berupa nilai kekakuan (*stiffness*) yang terbaca pada alat *GeoGauge*. Selain nilai kekakuan, data yang juga diperoleh yaitu berupa nilai OMC (kadar air optimum), kepadatan kering (*dry density*), dan data lainnya yang berhubungan dengan pemadatan dan karakteristik tanah.

2.5.2. Data Sekunder

Data sekunder umumnya disebut sebagai metode penggunaan dokumen karena peneliti tidak secara langsung mengambil data sendiri tetapi meneliti dan memanfaatkan data atau dokumen dari pihak lain. Data sekunder merupakan data primer yang diperoleh pihak lain atau data primer yang telah diolah lebih lanjut dan disajikan oleh pihak lain. Dalam metode pengumpulan data sekunder, observator dapat memperoleh data dari media massa, lembaga pemerintah, hasil penelitian individual, dan sebagainya.

Dalam penelitian ini, data sekunder didapat dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya sebagai referensi dan pembandingan, serta berbagai macam literatur dan buku panduan yang menunjang penelitian ini.



BAB 3

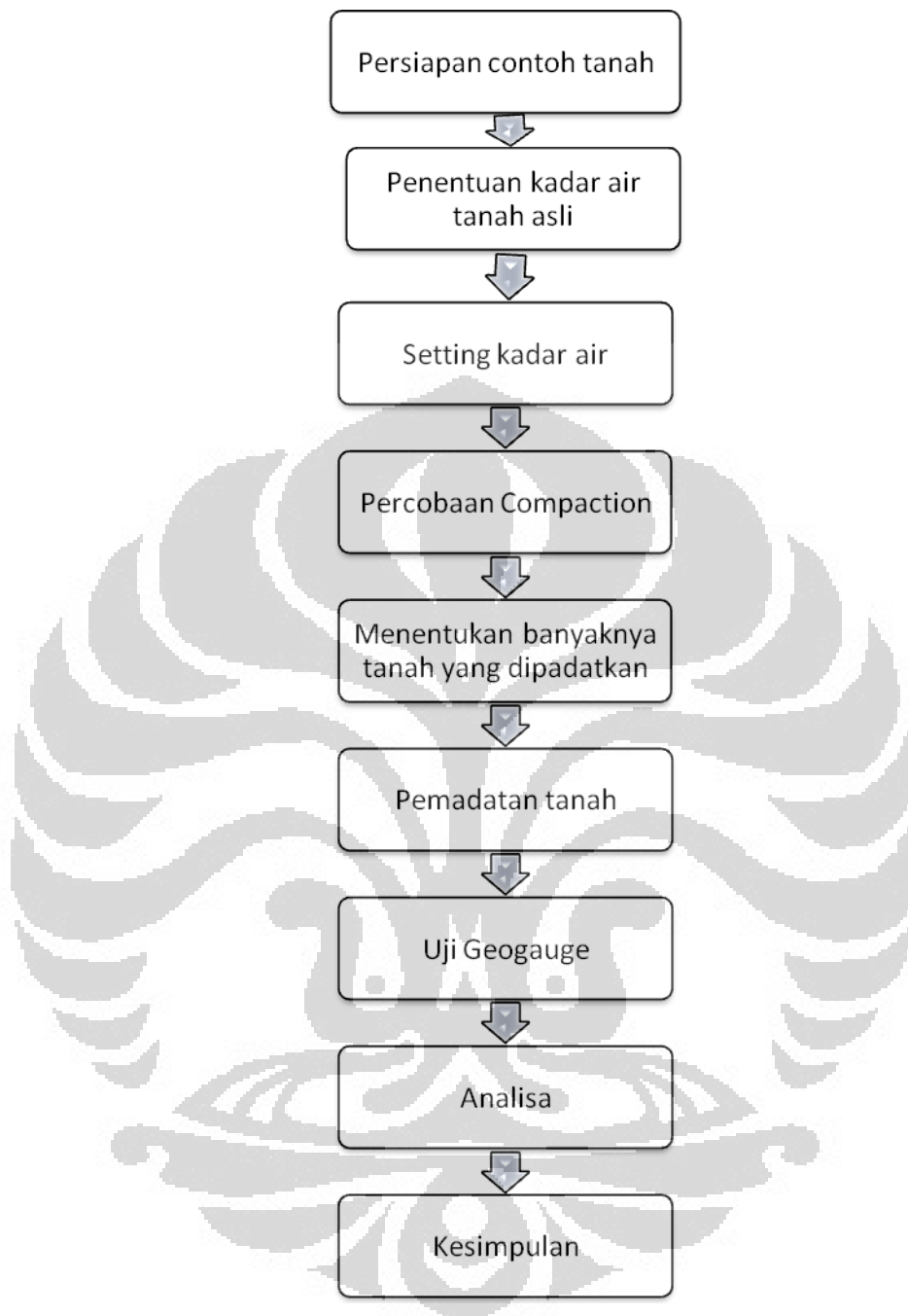
METODE PENELITIAN

3.1. Kegiatan Penelitian

Kegiatan penelitian ini mencakup kegiatan percobaan langsung dan studi literatur yang berhubungan dengan pemadatan tanah, uji compaction, dan pengujian nilai kekakuan dengan menggunakan *GeoGauge*.

Kegiatan penelitian ini dimulai dari persiapan contoh tanah yang meliputi penghamparan contoh tanah pada kondisi kering udara dan lolos saringan 3/4 , pengujian kadar air tanah yang meliputi penentuan kadar air dan setting kadar air, pemadatan tanah, menentukan nilai kekakuan dengan *GeoGauge* dengan beberapa variasi ukuran dimensi sampel, dan kegiatan analisis hasil penelitian.

Material tanah yang sudah diketahui nilai kadar air optimum serta kepadatannya disiapkan untuk dimasukkan ke dalam *box*. Setelah dimasukkan ke dalam *box*, material tanah kemudian dipadatkan. Hasil kekakuan tanah dari masing-masing variasi dimensi *box* kemudian dilihat hasilnya. Dari penelitian ini dapat dilihat apakah perbedaan variasi dimensi *box* mempengaruhi besarnya nilai kekakuan. Pengujian nilai kekakuan tanah dilakukan pada sebuah benda uji. Nilai kekuatan tanah di uji pada 3 wadah dengan ukuran dimensi sampel yang berbeda. Wadah tersebut berukuran 30 cm x 30 cm x 30 cm, 40 cm x 40 cm x 30 cm, dan 60 cm x 60 cm x 30 cm.

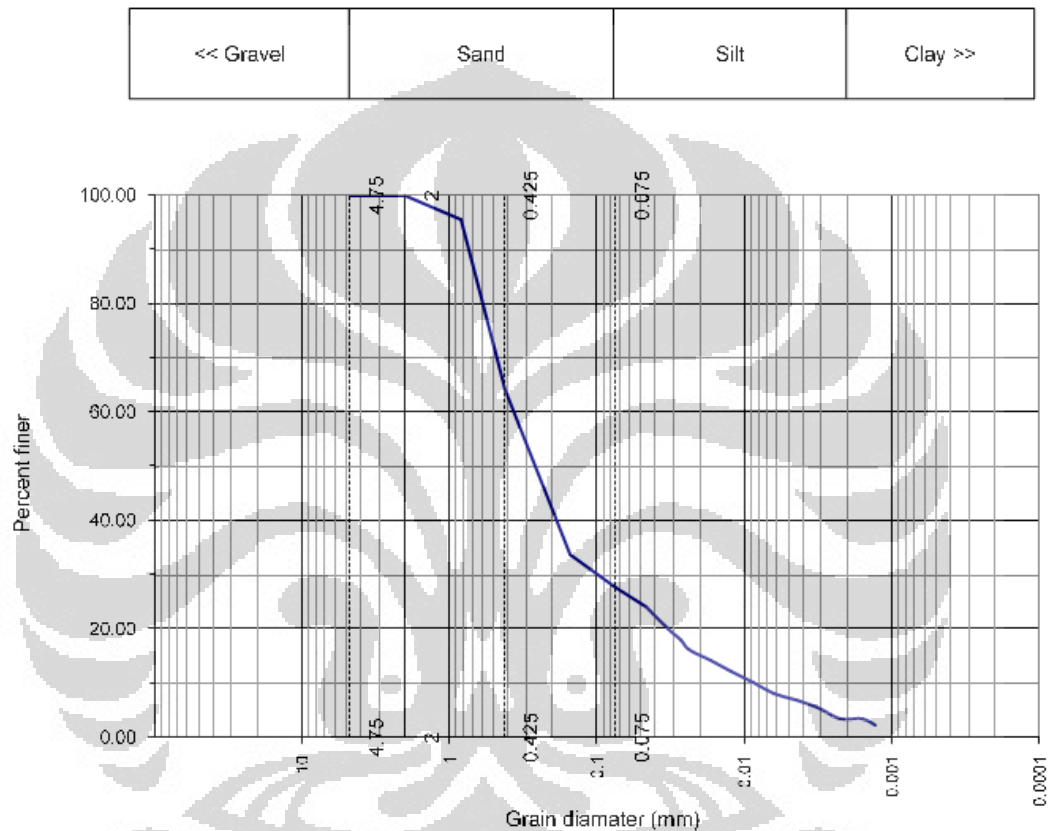


Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

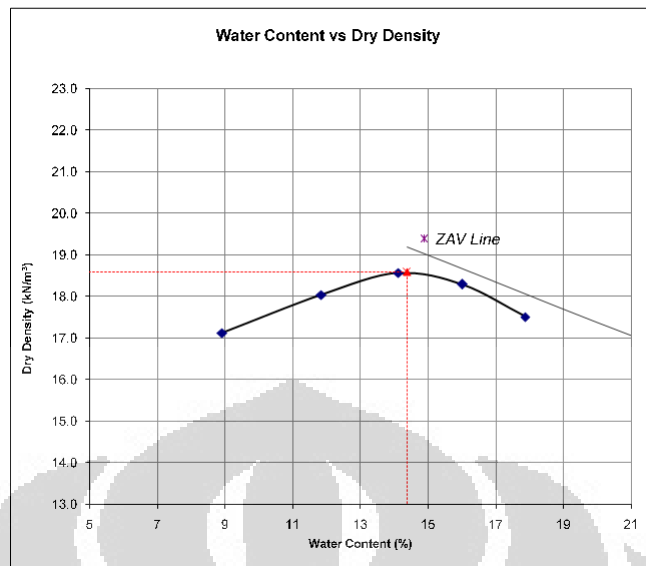
3.2. Data

3.2.1. Karakteristik material tanah

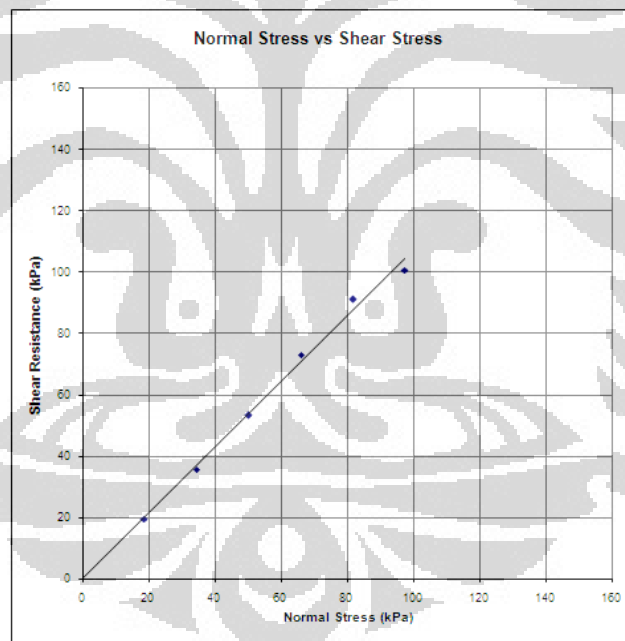
Jenis tanah yang akan diuji yaitu jenis tanah granular (*silty sand*). Karakteristik dari jenis tanah yang digunakan adalah seperti di bawah ini.



Gambar 3.2 Hasil Analisis Gradasi Butiran Tanah Jenis Tanah Granular



Gambar 3.3 Hasil Uji Pematatan Laboratorium *Modified Proctor*



Gambar 3.4 Uji *Direct Shear* Tanah Jenis Granular

Adapun propertis untuk tanah granular adalah sebagai berikut :

- *Sand* = 72.5 %, *Silt* = 24 % dan *Clay* 3.5 %.
- Klasifikasi USC = *Silty Sand*.
- Maksimum dry density ($\gamma_{dry\ max}$) = 18.59 kN/m³.

- OMC - Optimum Water Content (w_{opt}) = 14.38 %.
- Specific gravity (Gs) = 2.65.
- Nilai kohesi = 0.16 kPa.
- Sudut geser internal tanah = 46.91° .
- $\gamma_{wet} = 21.26 \text{ kN/m}^3$.

3.2.2. Pengolahan Data

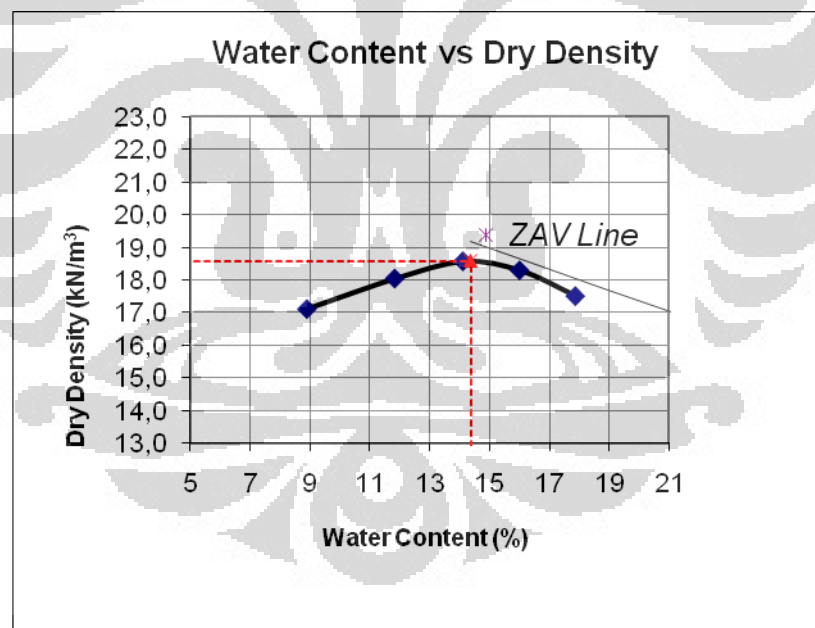
Data yang didapat, baik data primer maupun data sekunder, selanjutnya akan diolah untuk mendapatkan hasil berupa parameter yang diinginkan. Di dalam penelitian ini, data yang diperoleh akan diubah menjadi variabel-variabel yang dapat dianalisis dan diperbandingkan. Sebagai contoh, pembacaan yang diperoleh dari GeoGauge yaitu berupa nilai kekakuan (*stiffness*) dari tiap-tiap box, dibandingkan satu sama lain. Sebagai data tambahan, peneliti melakukan uji kekakuan pada 3 jenis kadar air pada tiap-tiap box. Tiga jenis kadar air itu yaitu pada kadar air optimum, dan pada kadar air $\pm 1\%$ dari kadar air optimum. Dengan demikian, kita dapat membandingkan dan menganalisis data yang telah didapat tersebut. Data-data yang diperoleh juga dapat disajikan di dalam bentuk grafik ataupun tabel sehingga akan mudah untuk dilakukan proses selanjutnya, yaitu analisis data.

Pada penelitian kali ini, material tanah yang digunakan yaitu tanah yang berasal dari proyek timbunan *Fly Over* Simpang Duku, Sumatera Barat. Tanah kemudian di uji *compaction* agar diketahui *maximum dry density* ($\gamma_{dry,max}$) dan *Optimum Water Content* (W_{opt}). Tabel perhitungan uji *compaction* dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Perhitungan pada uji *compaction*

	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 4	Sampel 5
kadar air (%)	8.92	11.85	14.13	16.02	17.88
Berat tanah+mold (gr)	3480	3626	3722	3725	3670
Berat mold (gr)	1705	1705	1705	1705	1705
Berat tanah di mold (gr)	1775	1921	2017	2020	1965
wet density (gr/cm ³)	1.865	2.019	2.120	2.123	2.065
dry density (gr/cm ³)	1.713	1.805	1.857	1.830	1.752
dry density (kN/m ³)	17.126	18.049	18.572	18.297	17.518

Setelah menguji 5 sampel tanah lalu dihubungkan antara kadar air dan nilai *dry density* (γ_{dry}). Kemudian dari hubungan tersebut didapat nilai *maximum dry density* ($\gamma_{dry,max}$) pada kondisi *Optimum Water Content* (W_{opt}) Grafik antara *maximum dry density* ($\gamma_{dry,max}$) dengan *Optimum Water Content* (W_{opt}) dapat dilihat pada gambar 3.5

Gambar 2.5 Grafik *Water Content vs Dry Density*

Hasil yang di dapat berdasarkan uji *compaction* yaitu *maximum dry density* ($\gamma_d max$) yaitu 18.59 kN/m³ dan *Optimum Water Content* (W_{opt}) yaitu 14.38 % Setelah mendapatkan nilai *Maximum dry density* ($\gamma_{dry,max}$) dan *Optimum Water*

Content (Wopt), maka dapat dihitung berat tanah yang akan dimasukkan ke dalam *box* dan dipadatkan. Rumus-rumus yang digunakan :

$$Volume \text{ benda uji} = P \times l \times t \quad (3.1)$$

$$\gamma_w = \gamma_d(1 + w) \quad (3.2)$$

$$Berat \text{ tanah} = \gamma_w \times Volume \quad (3.3)$$

Tabel 3.2 Perhitungan berat tanah yang dimasukkan ke dalam *box*

Box	P(m)	l(m)	t(m)	Volume (m ³)	w (%)	γ_w (kN/m ³)	berat tanah (kN)	berat tanah (kg)
1	0.3	0.3	0.3	0.027	14.38	21.26324	0.5741	57.41
2	0.4	0.4	0.3	0.048	14.38		1.0206	102.06
3	0.6	0.6	0.3	0.108	14.38		2.2964	229.64

Perhitungan untuk *box* 1

- Volume kotak uji 1 = 0.3 m x 0.3 m x 0.3 m = 0.027 m³
- Mencari nilai γ_w

$$\gamma_w = \gamma_d(1 + w)$$

$$\gamma_w = 18.59 \times (1 + 0.1438) = 21.2634 \text{ kN/m}^3$$

- Menghitung berat tanah yang dibutuhkan untuk *box* 3

$$Berat \text{ tanah} = \gamma_w \times Volume$$

$$Berat \text{ tanah} = 21.2634 \text{ kN/m}^3 \times 0.027 \text{ m}^3 = 0.5741 \text{ kN} = 57.41 \text{ kg}$$

Perhitungan untuk *box* 2

- Volume kotak uji 1 = 0.4 m x 0.4 m x 0.3 m = 0.048 m³
- Mencari nilai γ_w

$$\gamma_w = \gamma_d(1 + w)$$

$$\gamma_w = 18.59 \times (1 + 0.1438) = 21.2634 \text{ kN/m}^3$$

- Menghitung berat tanah yang dibutuhkan untuk *box* 2

$$Berat \text{ tanah} = \gamma_w \times Volume$$

$$\text{Berat tanah} = 21.2634 \text{ kN/m}^3 \times 0.048 \text{ m}^3 = 1.0206 \text{ kN} = 102.06 \text{ kg}$$

Perhitungan untuk *box* 3

- Volume kotak uji 1 = $0.6 \text{ m} \times 0.6 \text{ m} \times 0.3 \text{ m} = 0.108 \text{ m}^3$
- Mencari nilai γ_w

$$\gamma_w = \gamma_d(1 + w)$$

$$\gamma_w = 18.59 \times (1 + 0.1438) = 21.2634 \text{ kN/m}^3$$

- Menghitung berat tanah yang dibutuhkan untuk *box* 1

$$\text{Berat tanah} = \gamma_w \times \text{Volume}$$

$$\text{Berat tanah} = 21.2634 \text{ kN/m}^3 \times 0.108 \text{ m}^3 = 2.2964 \text{ kN} = 229.64 \text{ kg}$$

Setiap *box* memiliki tinggi 30 cm. Pada setiap *box*, dibuat 6 lapisan dengan masing-masing tinggi lapisan yaitu 5 cm.

3.2.3. Analisis Data

Setelah diolah, hasil yang diperoleh kemudian dapat diperbandingkan dan di analisis lebih lanjut oleh peneliti. Analisis data dapat terdiri dari analisis percobaan/praktikum, analisis grafik, dan lain-lain. Analisis percobaan dapat berupa tinjauan mengenai jalannya percobaan untuk mendapatkan data, mulai dari segi cara kerja, peralatan dan perlengkapan, serta kendala di lapangan. Analisis grafik dapat berisi tentang bahasan mengenai maksud dan isi dari grafik yang ditampilkan akibat hasil representasi data yang telah diolah sebelumnya. Dari analisis data, peneliti dapat mengambil kesimpulan atas penelitian yang telah dilakukan, serta dapat menjawab tujuan dari penelitiannya.

3.3. Prosedur Percobaan

3.3.1. Persiapan Contoh Tanah

Tanah yang digunakan pada percobaan kali ini yaitu tanah terganggu yang berasal dari proyek timbunan *Fly Over* Simpang Duku, Sumatera Barat. Contoh tanah dikatakan terganggu apabila struktur asli dari tanah tersebut sebagian atau seluruhnya termodifikasi. Tanah yang akan digunakan ditentukan terlebih dahulu

kadar air aslinya. Setelah itu, agar kadar air asli tanah tidak berubah, tanah disimpan dalam plastik lalu dibungkus dengan karung dan diikat erat agar air yang terkandung di dalam contoh tanah ini tidak menguap sehingga kadar air tanah dapat tetap terjaga.

3.3.2. Pengujian Kadar Air

3.3.2.1. Penentuan Kadar Air

Kadar air (w) merupakan perbandingan antara massa air dengan massa partikel padat tanah. Penentuan nilai kadar air asli merupakan suatu kegiatan yang dibutuhkan sebelum mendapatkan nilai kadar air optimum. Untuk pengujian kadar air, contoh tanah yang digunakan yaitu contoh tanah kondisi awal dengan kadar air natural. Sedangkan untuk contoh tanah yang telah kering udara selanjutnya disaring dengan menggunakan saringan No.4. Kemudian contoh tanah yang telah disaring dimasukkan ke dalam kantong plastik dan diikat erat agar kadungan air yang masih di dalam contoh tanah tidak menguap.

Selanjutnya nilai kadar air ditentukan dengan persamaan :

$$\% \text{ kadar air} = \frac{(A - B)}{B} \times 100\% \quad (3.4)$$

Dimana :

A = Berat tanah basah

B = Berat tanah kering

3.3.2.2. Setting Kadar Air

Setting kadar air bertujuan agar sampel tanah mencapai kadar air yang diinginkan. Langkah-langkah dari setting kadar air yaitu :

1. Ukur berat dari sampel tanah
2. Tentukan kadar air normal dari sampel tanah
3. Untuk mendapatkan sampel tanah dengan nilai kadar air yang diinginkan yaitu dengan menggunakan persamaan

$$V = \frac{Wx - Wk}{1 + Wk} \times W \quad (3.5)$$

Dimana :

V = Volume air yang ditambahkan (ml)

W_x = Kadar air akhir (%)

W_k = Kadar air awal (%)

W = Berat tanah (gram)

4. Ukur kadar air setelah dilakukan penambahan air, bila kadar air tidak mencapai target maka ulangi langkah-langkah diatas.

Pada kegiatan penentuan dan setting kadar air sangat diperlukan guna mencari γ_{dry} maksimum pada kadar air optimum. Untuk membuat suatu hubungan tersebut dibuat beberapa contoh tanah minimal empat contoh tanah dengan kadar air yang berbeda-beda, dengan perbedaan kurang lebih 4%. Dari percobaan tersebut dibuat grafik yang menggambarkan hubungan antara kepadatan dan kadar air, sehingga dari grafik tersebut dapat diperoleh γ_{dry} maksimum pada kadar air optimum.

3.3.3. Pematatan Tanah

Pematatan tanah yang digunakan adalah dengan menggunakan metode *modified proctor*. Pematatan dilakukan lapis demi lapis dengan ketebalan tertentu (5 cm per lapis). Prosedurnya adalah setiap lapis yang akan dipadatkan baru boleh dimulai, bila lapisan dibawahnya persis telah dites kepadatannya dan memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan. Ketebalan lapisan yang dipadatkan tergantung besarnya energi alat pematat yang digunakan. Semakin ringan alat yang digunakan, semakin tipis lapisan tanah yang akan dipadatkan. Pematatan tanah kali ini juga menggunakan alat pematat *modified proctor* dan alat pematat yang disesuaikan dengan *hammer* yang ada di laboratorium.

3.3.4. Penggunaan *GeoGauge*

Pengujian *GeoGauge* dilakukan setelah pematatan tanah. Pada pengujian kekakuan tanah digunakan alat yaitu *GeoGauge* yang diproduksi oleh Humboldt Mfg.Co. Berikut adalah prosedur pengujian :

1. Cek keadaan *GeoGauge*

Bersihkan bagian rigid foot dari *GeoGauge*

2. Tekan tombol ON pada *GeoGauge*

3. Lakukan kalibrasi dengan menggunakan Verifier Mass

4. Meratakan permukaan tanah

Bila permukaan tanah terlalu keras maka letakkan pasir yang tidak terlalu basah pada permukaan tanah sebagai dudukan *GeoGauge*

5. Letakkan *GeoGauge* pada permukaan tanah yang telah dipadatkan

6. Tekan tombol MEAS

7. Setelah selesai melakukan pengujian, pindahkan *GeoGauge* dari benda uji

8. Simpan data dengan menekan tombol SAVE

9. Mematikan *GeoGauge* dengan menekan tombol OFF

10. Memindahkan data hasil pengukuran dengan mentransfer data ke komputer

3.3.5. Hasil Uji *GeoGauge*

Setelah material tanah dipadatkan dalam masing-masing *box*, kemudian dilihat nilai kekakuannya dengan menggunakan *GeoGauge* yang diletakkan diatas material tanah. Hal yang perlu diperhatikan dalam pengujian *GeoGauge* adalah *GeoGauge* harus memiliki kontak yang sempurna dengan permukaan benda uji (permukaan benda uji harus benar-benar rata). Salah satu kelemahan *GeoGauge* adalah *GeoGauge* tidak mampu bekerja dengan akurat bila permukaan benda uji terlalu padat atau keras. Untuk mengatasi hal ini maka di atas permukaan benda uji diletakkan pasir yang kondisinya tidak terlalu basah sebagai dudukan *GeoGauge*. Pada penelitian kali ini, posisi *GeoGauge* harus tepat berada di titik berat dari dimensi panjang dan lebar dari *box*



Gambar 3.6 Uji kekakuan dengan *GeoGauge*

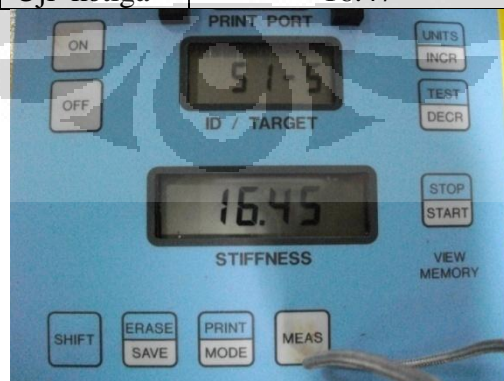
Pada penelitian kali ini, peneliti melakukan 3 kali pengujian pada titik tengah. Hasil yang didapat yaitu:

- Hasil Uji *GeoGauge* pada *box 1*

Pengujian pada *box 1* dilakukan pada tanggal 28 November 2009. Hasil yang didapat dari pengujian dengan *GeoGauge* pada *box 1* yaitu:

Tabel 3.3 Data hasil pengujian *GeoGauge* pada *box 1*

Box 1	Nilai kekakuan (MN/m)
Uji pertama	16.45
Uji kedua	17.25
Uji ketiga	16.47



Gambar 3.7 Hasil uji pertama dengan *GeoGauge* pada *box 1*



Gambar 3.8 Hasil uji kedua dengan *GeoGauge* pada *box 1*



Gambar 3.9 Hasil uji ketiga dengan *GeoGauge* pada *box 1*

- Hasil Uji *GeoGauge* pada *box 2*

Pengujian pada *box 2* dilakukan pada tanggal 5 Desember 2009. Hasil yang didapat dari pengujian dengan *GeoGauge* pada *box 2* yaitu:

Tabel 3.4 Data hasil pengujian *GeoGauge* pada *box 2*

<i>Box 2</i>	Nilai kekakuan (MN/m)
Uji pertama	17.45
Uji kedua	16.56
Uji ketiga	16.56



Gambar 3.10 Hasil uji pertama dengan *GeoGauge* pada *box 2*



Gambar 3.11 Hasil uji kedua dengan *GeoGauge* pada *box 2*



Gambar 3.12 Hasil uji ketiga dengan *GeoGauge* pada *box 2*

- Hasil Uji *GeoGauge* pada *box 3*

Pengujian pada *box 3* dilakukan pada tanggal 5 Desember 2009. Hasil yang didapat dari pengujian dengan *GeoGauge* pada *box 3* yaitu:

Tabel 3.5 Data hasil pengujian *GeoGauge* pada *box 3*

<i>Box 3</i>	Nilai kekakuan (MN/m)
Uji pertama	16.09
Uji kedua	16.16
Uji ketiga	16.5

Gambar 3.13 Hasil uji pertama dengan *GeoGauge* pada *box 3*Gambar 3.14 Hasil uji kedua dengan *GeoGauge* pada *box 3*Gambar 3.15 Hasil uji ketiga dengan *GeoGauge* pada *box 3*

Selain pada kadar air optimum, sebagai data tambahan, peneliti juga melakukan percobaan mencari nilai kekakuan pada kadar air 13.38 % dan 15.38 %. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 3.6 dan 3.7

Tabel 3.6 Data hasil pengujian *GeoGauge* pada kadar air 13.38 %

	Uji ke..(MN/m)		
	1	2	3
<i>Box 1</i>	15.69	15.56	15
<i>Box 2</i>	15.71	15.84	14.69
<i>Box 3</i>	15	14.35	14.91

Tabel 3.7 Data hasil pengujian *GeoGauge* pada kadar air 15.38 %

	Uji ke..(MN/m)		
	1	2	3
<i>Box 1</i>	13.06	13.86	14.14
<i>Box 2</i>	13.48	13.24	14.8
<i>Box 3</i>	13.8	13.88	14.07

BAB 4

ANALISIS DATA PENELITIAN

4.1. Pendahuluan

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai hasil yang didapat dari GeoGauge yaitu berupa nilai kekakuan tanah dari beberapa variasi *box*. Material tanah yang sudah diketahui nilai kadar air optimum serta kepadatannya disiapkan untuk dimasukkan ke dalam *box*. Setelah dimasukkan ke dalam *box*, material tanah kemudian dipadatkan. Hasil kekakuan tanah dari masing-masing variasi dimensi *box* kemudian dilihat hasilnya. Dari penelitian ini dapat dilihat apakah perbedaan variasi dimensi *box* mempengaruhi besarnya nilai kekakuan.

Box yang digunakan yaitu berukuran 30 cm x 30 cm x 30 cm, 40 cm x 40 cm x 30 cm, dan 60 cm x 60 cm x 30 cm.



Gambar 4.1 *Box* yang digunakan dalam pengujian

4.2. Validasi Kadar Air Optimum *Box* Sample *GeoGauge* dari *Mould Proctor*

Pada penelitian kali ini, material yang diuji berada pada kondisi kadar air optimum. Pada kondisi kadar air optimum, akan didapat nilai kepadatan maksimum. Selain itu sebagai data tambahan, peneliti juga menguji pada kondisi 1% diatas kadar air optimum, dan 1% dibawah kadar air optimum. Jika ada tanah dengan kadar air aktual di lapangan ingin diuji di lab dengan menggunakan *box*,

maka yang harus di lakukan terlebih dahulu adalah melakukan percobaan *compaction*. Pada percobaan *compaction* akan didapat grafik antara nilai kadar air dengan nilai *dry density* (γ_{dry}). Setelah itu, berdasarkan data kadar air aktual yang didapat di lapangan, dapat diketahui nilai *dry density*-nya. Kemudian tanah dipadatkan di dalam box dengan kepadatan sesuai dengan nilai *dry density* yang didapat. Setelah dipadatkan, lalu dapat diketahui nilai kekakuannya dengan *GeoGauge*. Nilai kekakuan itulah yang seharusnya menjadi nilai kekakuan sebenarnya tanah di lapangan pada kondisi kadar air aktualnya.

4.3. Teknik Pemadatan pada Benda Uji

Karakteristik pemadatan yang digunakan pada penelitian ini yaitu dengan usaha pencapaian nilai kepadatan yang maksimum. Nilai kepadatan yang didapat harus benar-benar dicapai dan diaplikasikan pada *box*. Maksudnya jika misalnya nilai kepadatan 18.59 kN/m^3 maka yang harus dicapai adalah dalam volume 1 m^3 harus terisi dan terpadatkan material sebanyak 18.59 kN . Setiap *box* memiliki tinggi yang sama yaitu 30 cm . Setiap *layer* atau lapisan tingginya 5 cm , dengan demikian dalam setiap *box* terdiri dari 6 lapisan. Penentuan jumlah *layer* dan tinggi tiap *layer* ini dimaksudkan untuk pengontrolan pada saat pemadatan, dimana pemadatan akan semakin optimal (mencapai $100\% \gamma_{dry}$) bila dilakukan per lapis dan tiap lapisan memiliki ketebalan yang relatif kecil.

Untuk pemadatan tanah, digunakan alat pemadat *modified proctor* dan dua jenis alat pemadat yang disesuaikan dengan *hammer* yang ada di laboratorium. Dua jenis alat pemadat tersebut terbuat dari beton.



Gambar 4.2 Jenis alat pematat yang digunakan

Usaha pemadatan dan energi (*compaction effort and energy* atau disingkat CE) adalah merupakan pengukuran dari energi mekanis yang dikerjakan terhadap suatu massa tanah. Di lapangan, usaha pemadatan ini dihubungkan dengan berat *hammer*, tinggi jatuh, jumlah lapisan (*layer*), serta jumlah pukulan per lapisan dalam suatu volume tanah. Persamaan yang menyatakan nilai usaha pemadatan dan energi ialah sebagai berikut :

$$CE = \frac{W \times H \times L \times B}{V}$$

di mana :

CE = *Compactive Effort* (kg/m²)

W = Berat *Hammer* (kg)

H = Tinggi jatuh (m)

L = Jumlah Lapisan (*layer*)

B = Jumlah pukulan per *layer*

V = Volume tanah (m³)

Jumlah pukulan yang diberikan pada tiap *layer* di masing-masing *box* berbeda-beda namun tidak terlampau jauh. Jumlah ini didasarkan pada berapa pukulan yang dibutuhkan agar mencapai kepadatan 100% γ_{dry} . Jumlah pukulan tiap *layer* pada masing-masing *box* dapat dilihat dalam tabel berikut.

Tabel 4.1 Jumlah pukulan tiap *box sample*

layer	jumlah pukulan		
	box 1	box 2	box 3
1	200	350	796
2	202	348	799
3	201	352	800
4	198	349	791
5	199	352	796
6	200	350	800
rata-rata	200.00	350.17	797.00

Berdasarkan tabel di atas, jumlah pukulan rata-rata yang didapat dari *box 1*, *box 2*, dan *box 3* berturut-turut ialah 200.00, 350.17, dan 797.17 atau dibulatkan menjadi 200, 350, dan 797 pukulan tiap *layer*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa jumlah pukulan tiap lapisan pada masing-masing *box* relatif seragam.

Besarnya usaha pemadatan dan energi (CE) pada *box* pertama, kedua, dan ketiga ialah sebagai berikut:

- Box 1 (30 cm × 30 cm × 30 cm) dengan 200 pukulan/*layer*

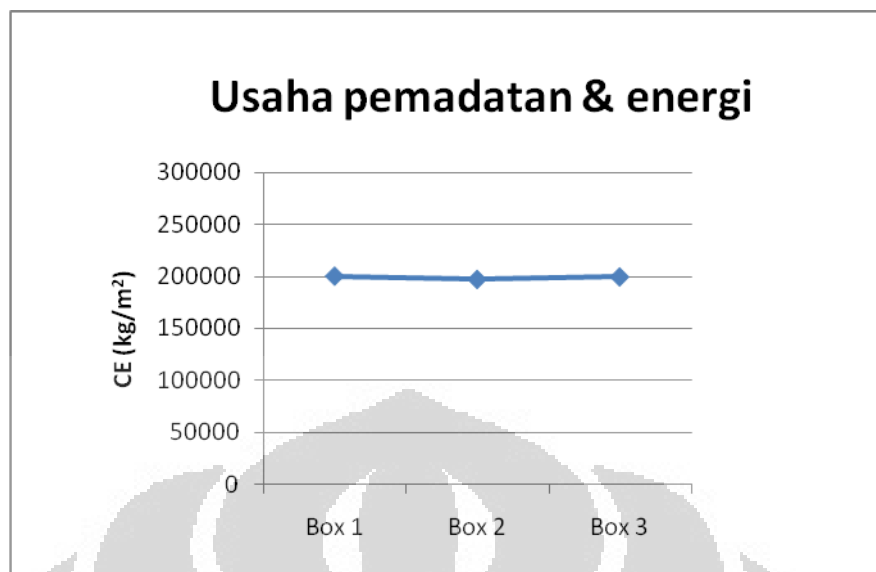
$$CE = \frac{W \times H \times L \times B}{V} = \frac{15kg \times 0,3m \times 6 \times 200}{(0.3 \times 0.3 \times 0.3)m^3} = \frac{200000kg}{m^2}$$

- Box 2 (40 cm × 40 cm × 30 cm) dengan 350 pukulan/*layer*

$$CE = \frac{W \times H \times L \times B}{V} = \frac{15kg \times 0,3m \times 6 \times 350}{(0.4 \times 0.4 \times 0.3)m^3} = \frac{196875kg}{m^2}$$

- Box 3 (60 cm × 60 cm × 30 cm) dengan 797 pukulan/*layer*

$$CE = \frac{W \times H \times L \times B}{V} = \frac{15kg \times 0,3m \times 6 \times 797}{(0.6 \times 0.6 \times 0.3)m^3} = \frac{199250kg}{m^2}$$



Gambar 4.3 Grafik usaha pemadatan & energi pada percobaan

Secara teori, jika dipadatkan dengan nilai γ_{dry} yang sama, maka energi pemadatannya juga haruslah sama. Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa energi yang dibutuhkan untuk memadatkan nilainya relatif sama. Berdasarkan jumlah pukulan pada tiap-tiap *box*, semakin besar *box* maka semakin banyak jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk memadatkan sampai kondisi 100% γ_{dry} . Hal ini berkaitan dengan ukuran *box* dan alat pemadat itu sendiri. Jika ukuran *box* semakin besar, maka dibutuhkan jumlah pukulan yang lebih banyak karena luas permukaan alat pemadat relatif lebih kecil.

Untuk *box* 1, jumlah pukulan yang diberikan tiap *layer* agar dicapai kepadatannya yaitu 200 pukulan/*layer* dengan tinggi jatuh sekitar 30 cm. Sedangkan untuk *box* 2 dan 3 masing-masing 350 pukulan/*layer* dan 797 pukulan/*layer* dengan tinggi jatuh 30 cm.

Sebagai data tambahan, peneliti juga melakukan percobaan mencari nilai kekakuan pada kadar air 13.38 % dan 15.38 %. Perubahan kadar air juga menyebabkan perubahan nilai kepadatannya. Berdasarkan percobaan *compaction*, pada kadar air 13.38 % didapat 18.44 kN/m³ dan pada kadar air 15.38 % didapat 18.34 kN/m³. Dari data nilai kekakuan yang didapat, perbedaan kadar air ternyata mempengaruhi besarnya nilai kekakuan yang di dapat.

Tabel 4.2 Hasil uji statistik nilai kekakuan pada kadar air 14.38%

	Uji ke..(MN/m)			Rata-rata	Rata-rata keseluruhan
	1	2	3		
Box 1	16.45	17.25	16.47	16.72	16.61
Box 2	17.45	16.56	16.56	16.86	
Box 3	16.09	16.16	16.50	16.25	

Tabel 4.3 Hasil uji nilai kekakuan pada kadar air 15.38%

	Uji ke..(MN/m)			Rata-rata	Rata-rata keseluruhan
	1	2	3		
Box 1	13.06	13.86	14.14	13.69	13.81
Box 2	13.48	13.24	14.8	13.84	
Box 3	13.8	13.88	14.07	13.92	

Tabel 4.4 Hasil uji nilai kekakuan pada kadar air 13.38%

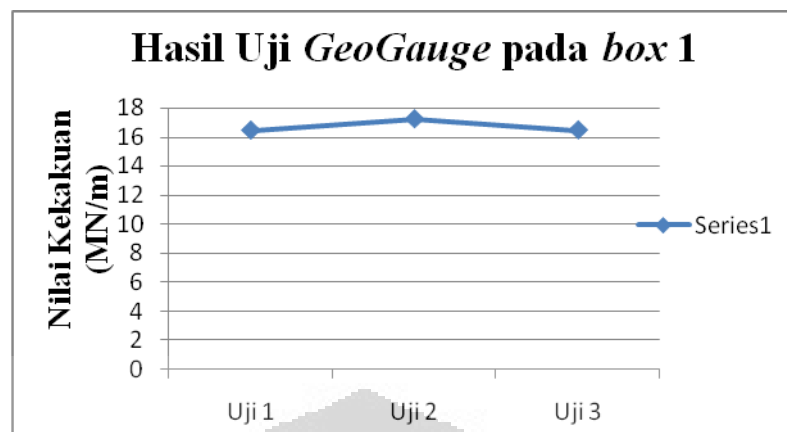
	Uji ke..(MN/m)			Rata-rata	Rata-rata keseluruhan
	1	2	3		
Box 1	15.69	15.56	15	15.42	15.194
Box 2	15.71	15.84	14.69	15.41	
Box 3	15	14.35	14.91	14.75	

4.4. Analisis nilai kekakuan hasil uji terhadap bentuk benda uji

Setelah pengujian nilai kekakuan didapat dari tiap-tiap box. Hasil-hasil nilai kekakuan kemudian dianalisis.

- *Box* 30 cm x 30 cm x 30 cm

Pada *box* 30 cm x 30 cm x 30 cm hasil kekakuan yang didapat dapat dilihat pada gambar 4.4



Gambar 4.4 Grafik hasil uji *GeoGauge* pada *box 1*

Berdasarkan gambar 4.4, hasil dari *box 1* dapat diuji statistik berdasarkan tabel 4.5

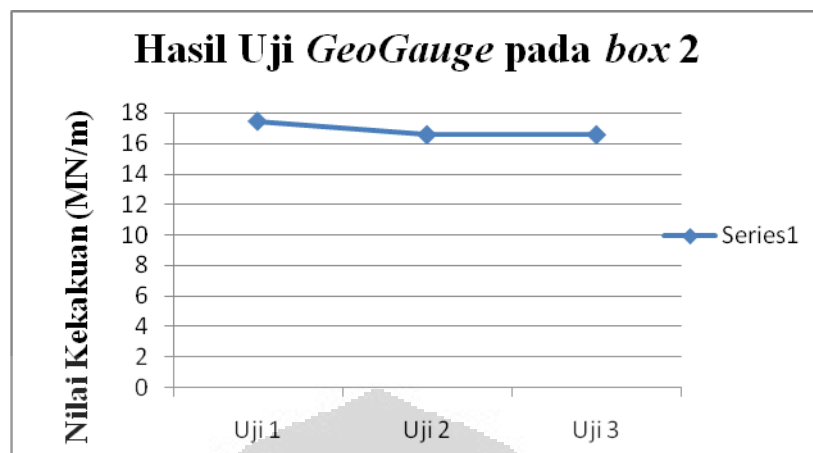
Tabel 4.5 Tabel uji statistik dari nilai kekakuan *box 1* pada kadar air 14.38 %

	Uji ke..(MN/m)			Rata-rata	Standar deviasi	<i>Coefficient of variability</i>
	1	2	3			
<i>Box 1</i>	16.45	17.25	16.47	16.723	0.3725	0.0223

Berdasarkan tabel 4.5, nilai kekakuan rata-rata yang didapat dari *box 1* yaitu 16.723. Kemudian nilai standar deviasi yang didapat yaitu 0.3752. Nilai standar deviasi ini menggambarkan seberapa luas penyimpangan data-data yang diuji dari nilai rata-ratanya. Nilai standar deviasi yang didapat dari *box 1* menunjukkan bahwa data-data yang didapat hampir seragam (ket: untuk data yang nilai-nilainya semua sama memiliki nilai standar deviasi nol). Sedangkan untuk nilai *coefficient of variability* yang didapat pada *box 1* yaitu 0.0223. Nilai *coefficient of variability* menggambarkan variasi-variasi nilai yang didapat dari pengujian yang berarti semakin kecil berarti semakin baik.

- *Box* 40 cm x 40 cm x 40 cm

Pada *box* 40 cm x 40 cm x 30 cm hasil kekakuan yang didapat dapat dilihat pada gambar 4.5



Gambar 4.5 Grafik hasil uji *GeoGauge* pada *box 2*

Berdasarkan gambar 4.5, hasil dari *box 2* dapat diuji statistik berdasarkan tabel 4.6

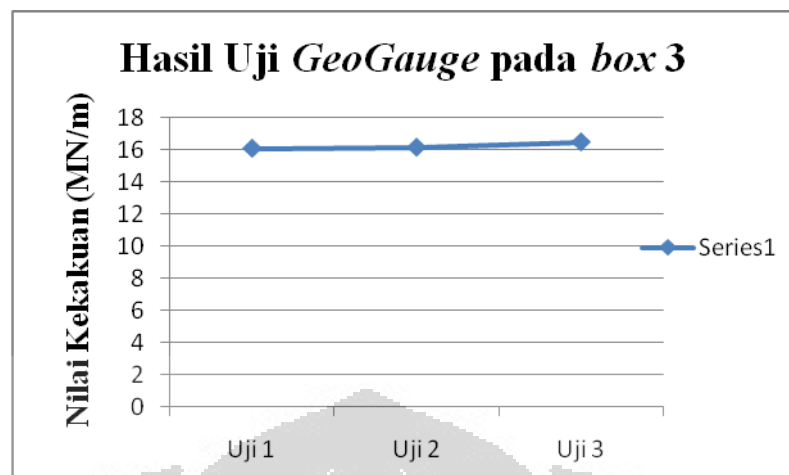
Tabel 4.6 Tabel uji statistik dari nilai kekakuan *box 2* pada kadar air 14.38 %

	Uji ke..(MN/m)			Rata-rata	Standar deviasi	<i>Coefficient of variability</i>
	1	2	3			
<i>Box 2</i>	17.45	16.56	16.56	16.857	0.4196	0.0249

Berdasarkan tabel 4.6, nilai kekakuan rata-rata yang didapat dari *box 2* yaitu 16.857. Kemudian nilai standar deviasi yang didapat yaitu 0.4196. Nilai standar deviasi ini menggambarkan seberapa luas penyimpangan data-data yang diuji dari nilai rata-ratanya. Nilai standar deviasi yang didapat dari *box 2* menunjukkan bahwa data-data yang didapat hampir seragam (ket: untuk data yang nilai-nilainya semua sama memiliki nilai standar deviasi nol). Sedangkan untuk nilai *coefficient of variability* yang didapat pada *box 2* yaitu 0.0249. Nilai *coefficient of variability* menggambarkan variasi-variasi nilai yang didapat dari pengujian yang berarti semakin kecil berarti semakin baik

- *Box* 60 cm x 60 cm x 60 cm

Pada *box* 60 cm x 60 cm x 30 cm hasil kekakuan yang didapat dapat dilihat pada gambar 4.6



Gambar 4.6 Grafik hasil uji *GeoGauge* pada *box 3*

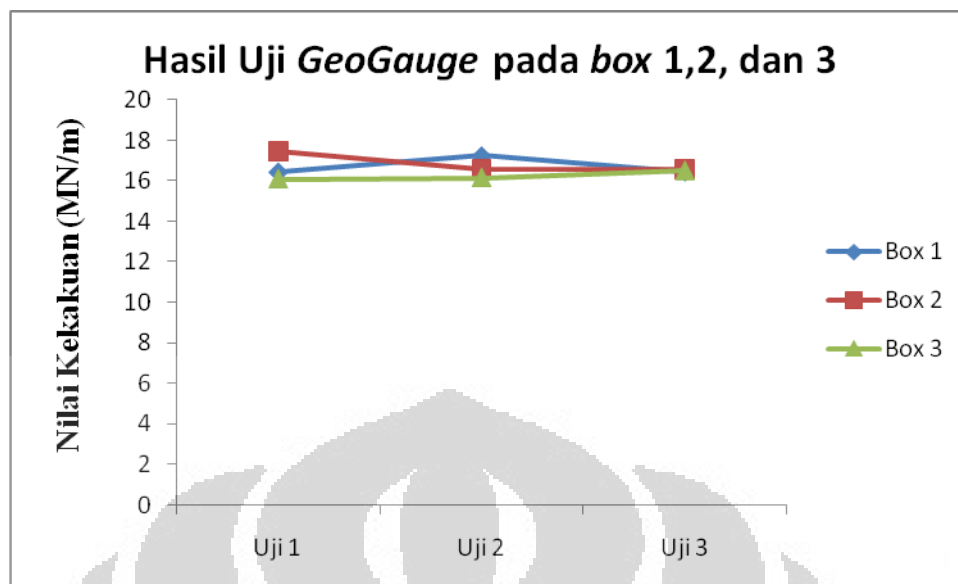
Berdasarkan gambar 4.6, hasil dari *box 3* dapat diuji statistik berdasarkan tabel 4.7

Tabel 4.7 Tabel uji statistik dari nilai kekakuan *box 3* pada kadar air 14.38 %

	Uji ke..(MN/m)			Rata-rata	Standar deviasi	<i>Coefficient of variability</i>
	1	2	3			
<i>Box 3</i>	16.09	16.16	16.50	16.250	0.1791	0.0110

Berdasarkan tabel 4.7, nilai kekakuan rata-rata yang didapat dari *box 3* yaitu 16.250. Kemudian nilai standar deviasi yang didapat yaitu 0.1791. Nilai standar deviasi ini menggambarkan seberapa luas penyimpangan data-data yang diuji dari nilai rata-ratanya. Nilai standar deviasi yang didapat dari *box 3* menunjukkan bahwa data-data yang didapat hampir seragam (ket: untuk data yang nilai-nilainya semua sama memiliki nilai standar deviasi nol). Sedangkan untuk nilai *coefficient of variability* yang didapat pada *box 3* yaitu 0.0110. Nilai *coefficient of variability* menggambarkan variasi-variasi nilai yang didapat dari pengujian yang berarti semakin kecil berarti semakin baik

Setelah dianalisis tiap-tiap *box*, keseluruhan nilai kekakuan yang didapat kemudian diplot dalam satu grafik. Hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.7



Gambar 4.7 Grafik hasil Uji *GeoGauge* pada tiap-tiap *box*

Berdasarkan gambar 4.7, hasil dari keseluruhan *box* dapat diuji statistik berdasarkan tabel 4.8.

Tabel 4.8 Tabel uji statistik dari keseluruhan nilai kekakuan pada kadar air 14.38 %

	Uji ke..(MN/m)			Rata-rata	Standar deviasi	<i>Coefficient of variability</i>
	1	2	3			
<i>Box 1</i>	16.45	17.25	16.47	16.61	0.454	0.027
<i>Box 2</i>	17.45	16.56	16.56			
<i>Box 3</i>	16.09	16.16	16.50			

Berdasarkan tabel 4.8, nilai kekakuan rata-rata yang didapat dari keseluruhan *box* yaitu 16.61. Kemudian nilai standar deviasi yang didapat yaitu 0.454. Nilai standar deviasi ini menggambarkan seberapa luas penyimpangan data-data yang diuji dari nilai rata-ratanya. Nilai standar deviasi yang didapat dari keseluruhan *box* menunjukkan bahwa data-data yang didapat hampir seragam (ket: untuk data yang nilai-nilainya semua sama memiliki nilai standar deviasi nol). Sedangkan untuk nilai *coefficient of variability* yang didapat yaitu 0.027. Nilai *coefficient of variability* menggambarkan variasi-variasi nilai yang didapat dari pengujian yang berarti semakin kecil berarti semakin baik

Berdasarkan tabel 4.8 dan gambar 4.7, dari keseluruhan nilai kekakuan yang didapat dari masing-masing *box* dan tiap-tiap uji, nilai kekakuan yang sering muncul yaitu 16.56 yaitu pada *box* 2. Selain itu, ada kecenderungan nilai-nilai kekakuan yang didapat yaitu nilai kekakuan dengan dua digit pertama bernilai 16.

Menurut peneliti, berdasarkan uji rata-rata, nilai kekakuan besarnya 16.61 yang artinya besarnya hampir sama dengan nilai-nilai kekakuan di tiap *box* yang didapat. Perbedaan nilai kekakuan yang didapat mungkin saja menggambarkan perbedaan hasil kepadatan tanah yang dipadatkan. Jika semakin baik memadatkannya, maka semakin tinggi nilai kekakuannya. Nilai γ_{dry} menggambarkan kepadatan tanah dan semakin besar nilai γ_{dry} maka kepadatan tanah semakin besar. Bila kepadatan tanah semakin besar maka bila di permukaan tanah diberikan beban maka deformasi pada sampel tanah semakin kecil yang menyebabkan nilai kekakuan tanah semakin besar. Dengan demikian, semakin besar nilai γ_{dry} (tanah semakin padat) maka semakin besar pula nilai kekakuan tanah.

Dari keseluruhan pengujian, peneliti berpendapat bahwa pengaruh dimensi benda uji (dalam hal ini pengaruh panjang dan lebar *box*) tidak berpengaruh terhadap nilai kekakuannya.

Selain pada kadar air optimum, sebagai data tambahan, peneliti juga melakukan percobaan mencari nilai kekakuan pada kadar air 13.38 % dan 15.38 %. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.9 dan 4.10

Tabel 4.9 Tabel uji statistik dari keseluruhan nilai kekakuan pada kadar air 13.38 %

	Uji ke..(MN/m)			Rata-rata	Standar deviasi	<i>Coefficient of variability</i>
	1	2	3			
<i>Box</i> 1	15.69	15.56	15	15.1944	0.523	0.034
<i>Box</i> 2	15.71	15.84	14.69			
<i>Box</i> 3	15	14.35	14.91			

Tabel 4.10 Tabel uji statistik dari keseluruhan nilai kekakuan pada kadar air 15.38 %

	Uji ke..(MN/m)			Rata-rata	Standar deviasi	<i>Coefficient of variability</i>
	1	2	3			
<i>Box 1</i>	13.06	13.86	14.14	13.814	0.520	0.038
<i>Box 2</i>	13.48	13.24	14.8			
<i>Box 3</i>	13.8	13.88	14.07			

Untuk menguji box yang digunakan dalam pengujian, maka penguji melakukan studi kasus dengan cara melakukan pengujian menguji hubungan antara nilai CBR dengan nilai kekakuan pada tanah di lapangan. Tanah yang diuji yaitu tanah yang berada di departemen sipil UI dengan nilai kadar air. Tanah tersebut kemudian dihitung kadar air mula-mulanya. Tanah tersebut digunakan untuk diuji di dalam box untuk dicari nilai kekakuannya dan di uji CBR laboratorium menggunakan mould. Lalu nilai kekakuan yang didapat di box kemudian dibandingkan dengan hasil CBR laboratorium. Pada kasus ini, box yang digunakan yaitu box yang berukuran 60 cm x 60 cm x 30 cm. Jumlah pukulan pada tiap layer disamakan dengan jumlah pukulan yang didapat pada percobaan sebelumnya yaitu 797 pukulan. Hal yang perlu diperhatikan adalah pada pencarian nilai kekakuan pada box dan CBR laboratorium pada mould, nilai energi pemadatannya haruslah sama. Nilai energi pemadatannya yaitu

$$CE = \frac{W.H.L.B}{V}$$

di mana :

CE = *Compactive Effort* (kg/m²)

W = Berat *Hammer* (kg)

H = Tinggi jatuh (m)

L = Jumlah Lapisan (*layer*)

B = Jumlah pukulan per *layer*

V = Volume tanah (m³)

Maka energi pemadatan yang dihasilkan pada box yaitu

$$CE = \frac{15 \text{ kg} \times 0.3 \text{ m} \times 6 \times 797}{0.027 \text{ m}^3} = 199250 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Hasilnya yaitu nilai kekakuan yang didapat dari box yaitu 9 MN/m. Sedangkan nilai CBR laboratorium yang didapat yaitu :

Tabel 4.11 Data uji CBR Laboratorium

Penurunan		Pembacaan (Dial Reading)
Inch	mm	
0	0	0
0.025	63	10
0.050	127	16.8
0.075	190	21.5
0.100	254	25
0.125	317	27.2
0.150	380	29.4
0.175	444	31.8
0.200	508	33.5
0.250	635	34
0.300	762	34.5

Tabel 4.12 Nilai CBR Laboratorium

PENETRATION (inch)	CBR (%)
0.100	$\frac{25 \times l_{RC}}{3 \times 1000} \times 100 = \frac{25 \times 23.432}{3 \times 1000} \times 100 = 19.52\%$
0.200	$\frac{33.5 \times l_{RC}}{3 \times 1500} \times 100 = \frac{33.5 \times 23.432}{3 \times 1500} \times 100 = 17.44\%$

Nilai kekakuan yang didapat yaitu 9 MN/m dimasukkan ke dalam persamaan *Louisiana Department of Transportation & Development* memberikan nilai CBR yaitu 18.13 %. Sedangkan nilai CBR laboratorium yang didapat yaitu 19.52 %

Jika dikaitkan antara nilai kekakuan yang didapatkan dengan nilai CBR, ternyata korelasi yang didapat hampir mendekati persamaan yang sebelumnya dibuat oleh *Louisiana Department of Transportation & Development* yaitu:

$$CBR = 0.00392(8.672K_G)^2 - 5.75 \text{ dengan } (R^2 = 0.84)$$

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berikut adalah beberapa kesimpulan yang diambil oleh peneliti terkait dengan hasil penelitian:

1. Berdasarkan hasil yang didapat dari penelitian kali ini dan berdasarkan uji statistik, jika diuji pada kondisi kadar air optimum pada ketiga *box*, dimensi dari *box* (dalam hal ini pengaruh panjang dan lebar *box*) tidak berpengaruh kepada nilai kekakuan yang didapat.
2. Berdasarkan hasil yang didapat dari penelitian tambahan, perubahan nilai kadar air (kadar air 1% diatas dan dibawah kadar air optimum) ternyata sekali lagi terbukti bahwa jika diuji pada kondisi kadar air yang sama pada ketiga *box*, dimensi dari *box* tidak berpengaruh kepada nilai kekakuannya.
3. Jumlah rata-rata pukulan tiap *layer* yang didapat pada *box* 1, 2, dan 3 berturut-turut ialah 200.00, 350.17, dan 797.17 atau dibulatkan menjadi 200, 350, dan 797 pukulan tiap *layer* (pada seluruh *box* terdapat 6 *layer*). Jumlah ini didasarkan pada berapa pukulan yang dibutuhkan agar mencapai kepadatan 100% γ_{dry} . Jumlah pukulan ini didapat dengan menggunakan alat pemadat berbentuk balok dengan berat 15 kg. Nilai energi pemadatan yang dihasilkan pada *box* 1, 2, dan 3 berturut-turut ialah 200000 kg/m², 196875 kg/m², 199250 kg/m².

5.2. Saran

Berikut adalah beberapa saran yang diajukan:

1. Pada penelitian kali ini, jumlah pukulan yang didapat yaitu hanya pada satu kadar air saja, sehingga perlu dilakukan penelitian tambahan lebih lanjut untuk jenis tanah dengan kadar air yang berbeda.

DAFTAR REFERENSI

- Asiyanto. 2008. *Metode Proyek Konstruksi Jalan*. Jakarta : UI Press
- Bowles, Joseph. 1984. *Sifat-sifat fisis dan Geoteknis Tanah*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Craig, RF. 1989. *Mekanika Tanah*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Ekram Seyman. 2004. *Laboratory Evaluation of In-Situ Test as Potential Quality Control/Quality Assurance Tools*. Bogazici University
- Humboldt Co.2007. *GeoGauge User Guide*. West Agatite Avenue Norridge
- Lary r. Lenke, et al. 2001. *Evaluation of a Mechanical Stiffness Gauge for Compaction Control of Granular Media*. University of New Mexico
- Munir D. Nazzal, 2003. *Field Evaluation of In-Situ Test Technology for Qc/Qa During Construction of Pavement Layers and Embankments*. Birzeit University
- Soekoto, Imam. 1984. *Mempersiapkan Lapisan Dasar Konstruksi*. Jakarta: Badan Penerbit Pekerjaan Umum

LAMPIRAN 1
SIEVE ANALYSIS

DRY SAMPLE + CONTAINER		70 gram		
W. CONTAINER		20 gram		
W. DRY SAMPLE		50 gram		
SIEVE NO.	DIAM (mm)	W. RETAINED (gram)	% RETAINED	%PASSING
4	4,75	0	0,00	100,00
10	2	0,91	1,82	98,18
18	0,84	2,57	5,14	93,04
40	0,42	9,61	19,22	73,82
100	0,15	17,27	34,54	39,28
200	0,075	12,14	24,28	15,00
	0,048			12,15
PAN		0,04	0,08	99,92

LAMPIRAN 2 HYDROMETER

HYDROMETER NO.	1
Gs SOLIDS	2,65
a	1,000
DISPERSING AGENT	4%
AMOUNT	125
WEIGHT OF SOIL	50 gr
ZERO CORRECTION	3
MENISCUS CORRECTION	2

TIME	ELAPSED TIME (minute)	TEMP °C	Ct	Ra	Rc	% FINER	R	L Table 6-5	L/t	K Table 6-4	D (mm)
	1	29	3,1	6	6,08	12,15	8	15,0	15,0	0,0123	0,048
	2	29	3,1	5	5,08	10,15	7	15,2	7,6	0,0123	0,034
	3	29	3,1	4	4,08	8,15	6	15,3	5,1	0,0123	0,028
	4	29	3,1	3	3,08	6,15	5	15,5	3,9	0,0123	0,024
	8	29	3,1	2,5	2,58	5,15	4,5	15,6	1,9	0,0123	0,017
	15	29	3,1	2	2,08	4,15	4	15,6	1,0	0,0123	0,013
	30	29	3,1	2	2,08	4,15	4	15,6	0,5	0,0123	0,009
	60	29	3,1	1,5	1,58	3,15	3,5	15,7	0,3	0,0123	0,006
	120	29,5	3,4	1	1,42	2,84	3	15,8	0,1	0,0123	0,004
	240	30	3,8	1	1,80	3,60	3	15,8	0,1	0,0122	0,003
	480	30	3,8	1	1,80	3,60	3	15,8	0,0	0,0122	0,002
	960	30	3,8	0,5	1,30	2,60	2,5	15,9	0,0	0,0122	0,002
	1440	29	3,1	0,5	0,58	1,15	2,5	15,9	0,0	0,0123	0,001

LAMPIRAN 3

GRAIN SIZE DISTRIBUTION

