

**PENGUJIAN CBR LABORATORIUM MENGGUNAKAN METODE
TEKANAN (*PRESSURE METHOD*) UNTUK TANAH TIMBUNANA
BERDASARKAN ENERGI PEMADATAN**

(Skripsi)

Oleh

Dwi Winda Sari



**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2019

ABSTRAK

PENGUJIAN CBR LABORATORIUM MENGUNAKAN METODE TEKANAN (*PRESSURE METHOD*) UNTUK TANAH TIMBUNAN BERDASARKAN ENERGI PEMADATAN

Oleh

DWI WINDA SARI

Berhubungan dengan pembangunan infrastruktur di Provinsi Lampung yang berkaitan dalam bidang transportasi yaitu pembangunan Jalan Tol Lintas Sumatera. Dalam membangun suatu konstruksi berkaitan dengan kondisi fisik tanah, hal ini disebabkan karena tanah merupakan salah satu material yang sangat berperan penting dalam mendukung suatu konstruksi. Maka perlu dilakukannya pengujian daya dukung tanah dasar (*subgrade*) dengan uji studi eksperimen *California Bearing Ratio* (CBR) metode tekanan (*pressure method*) berdasarkan energi pemadatan.

Penelitian ini menggunakan sampel tanah yang berasal dari daerah Tirtayasa, Kec. Sukabumi, Bandar Lampung yaitu tanah timbunan. Pelaksanaan pengujian CBR dengan alat tekan pemadat modifikasi dengan menggunakan tiga sampel tanah pada masing-masing tekanan. Tekanan yang digunakan untuk CBR *standard* adalah 0,10 MPa, 0,26 MPa dan 0,58 MPa. Dan untuk pengujian CBR *modified* menggunakan tekanan 0,437 MPa, 1,19 MPa dan 2,63 Mpa.

Hasil penelitian di laboratorium menunjukkan bahwa berat volume maksimum (d_{maks}) sebesar $1,68 \text{ gr/cm}^3$ pada pengujian tanah timbunan metode *standard proctor*. Sedangkan pada pengujian *modified proctor* didapatkan berat volume maksimum (d_{maks}) sebesar $1,77 \text{ gr/cm}^3$. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan nilai CBR *standard* dan CBR *modified* metode tumbukan di laboratorium lebih tinggi dibandingkan dengan pengujian CBR berdasarkan energi pemadatan menggunakan alat tekan modifikasi.

Kata kunci : CBR, CBR Energi Pemadatan, Alat Tekan Pemadat Modifikasi

ABSTRACT

CBR LABORATORIUM TESTBY USING PRESSURE METHOD FOR LANDFILL BASED ON COMPACTION ENERGY

By

DWI WINDA SARI

Related to infrastructure development in the province of Lampung in regard to the field of transportation, namely construction of toll Road Traffic. In building a construction related to the physical condition of the soil, this is because the land It is one of the very material plays an important role in supporting such a construction. Then had to do the testing power support basic land (subgrade) with experimental study testing the California Bearing Ratio (CBR) method of pressure (pressure method) based on the energy compaction.

The research using a sample of the soil that came from the area of Tirtayasa, Kec.Sukabumi, Bandar Lampung for land fill. Implementation testing of CBR compactor modification press tool with using three soil samples at each pressure. The pressures used for CBR standard is 0,10 MPa, 0,26 MPa and 0.58 MPa. And for testing using pressure modified CBR 0.437 MPa, 1,19 MPa and 2,63 MPa.

The results of the research in the laboratory showed that the weight of the maximum volume (d_{maks}) of 1.68 g/cm³ of standard proctor method. While of modified proctor testing the the weight of the maximum volume (d_{maks}) of 1.77 gr/cm³. Based on the results of testing the value of CBR standard and modified methods of compared that the laboratory testing higher than the CBR based on compaction energy with press modifications.

Keywords : CBR, Compaction Energy Tool press the Compactor Modification

**PENGUJIAN CBR LABORATORIUM MENGGUNAKAN METODE
TEKANAN (*PRESSURE METHOD*) UNTUK TANAH TIMBUNAN
BERDASARKAN ENERGI PEMADATAN**

Oleh

DWI WINDA SARI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**Fakultas Teknik
Universitas Lampung
Bandar Lampung
2019**

Judul Skripsi : **PENGUJIAN CBR LABORATORIUM
MENGUNAKAN METODE TEKANAN
(PRESSURE METHOD) UNTUK TANAH
TIMBUNAN BERDASARKAN ENERGI
PEMADATAN**

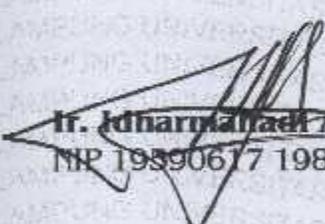
Nama Mahasiswa : **Dwi Winda Sari**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1415011047

Jurusan : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik




Ir. Idharni Adha, M.T.
NIP 19890617 198803 1 003


Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D.
NIP 19670514 199303 1 002

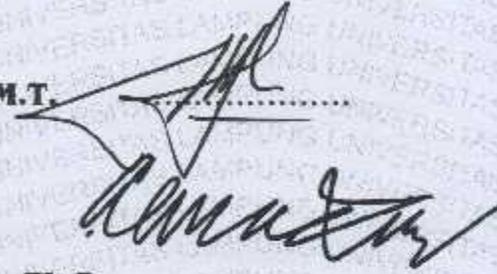
2. Ketua Jurusan Teknik Sipil


Gatot Eko Susilo, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19700915 199503 1 006

MENGESAHKAN

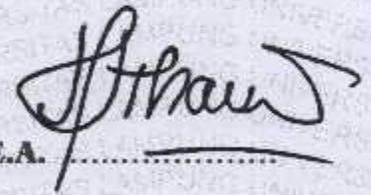
1. Tim Penguji

Ketua : **Ir. Idharmahadi Adha, M.T.**



Sekretaris : **Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D.**

Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Ir. Lusmeilla Afrlani, D.E.A.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Dr. Suharno, M.Sc.

NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **18 Februari 2019**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, adalah:

Nama : Dwi Winda Sari

NPM : 1415011047

Prodi/ Jurusan : SI/ Teknik Sipil

Fakultas : Teknik Universitas Lampung.

Dengan ini menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebut dalam daftar pustaka.

Atas pernyataan ini, apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, Maret 2019



Dwi Winda Sari

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Desa Karang Anyar pada tanggal 28 November 1996, sebagai anak kedua dari Bapak Budiono dan Ibu Suyani.

Pendidikan Sekolah Dasar (SD) di SDN 1 Karang Anyar diselesaikan pada tahun 2008.

Sekolah Menengah Pertama (SMP) diselesaikan pada tahun 2011 di SMPN 20 Bandar Lampung, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) diselesaikan di SMA Al-Huda pada tahun 2014. Tahun 2014, penulis terdaftar sebagai mahasiswi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Penulis telah melakukan Kerja Praktik (KP) pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Trans Sumatera Bakauheni-Terbanggi Besar Paket 3 Zona 1 STA 80+00 - STA 95+00 (Kota Baru-Natar) selama 3 bulan. Penulis juga telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Mumbang Jaya, Kecamatan Jabung, Kabupaten Lampung Timur selama 40 hari pada periode Januari-Februari 2018. Penulis mengambil skripsi dengan judul Pengujian CBR Laboratorium Menggunakan Metode Tekanan (*Pressure Method*) untuk Tanah Timbunan berdasarkan Energi Pemasakan. Selama menjadi mahasiswi penulis aktif dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (HIMATEKS) sebagai anggota Bidang Advokasi dan Profesi pada periode tahun 2015-2016, dan penulis pernah menjadi Asisten Dosen Ilmu Ukur Tanah pada tahun 2018 dan Asisten Dosen Mekanika Tanah pada tahun 2018.

Persembahan

Dalam setiap langkahku aku berusaha mewujudkan harapan-harapan yang kalian impikan didiriku, meski belum semua kuraih insyaallah atas dukungan doa dan restu semua mimpi itu akan terjawab di masa penuh kehangatan nanti. Untuk itu kupersembahkan ungkapan terima

kasih ku kepada :

Kedua Orangtuaku Bapak Budiono dan Ibu Suyani tercinta yang selalu mendoakan dan memberi dukung dalam segala hal.

Kakak Andika dan Adik Fajar yang selalu memberikan semangat dan doa.

Semua guru-guru dan dosen-dosen yang telah mengajarkan banyak hal kepadaku. Terima kasih untuk ilmu, pengetahuan, dan pelajaran hidup yang sudah diberikan.

Semua teman-teman baikku, keluarga baruku, rekan seperjuangan, Teknik Sipil Universitas Lampung Angkatan 2014. Terima kasih untuk semua yang telah kalian berikan.

MOTTO

**Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.
Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka
apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan), tetaplah
bekerja keras (untuk urusan yang lain).**

(QS. Al-Insyirah,6-7)

**Barang siapa yang bersungguh-sungguh, sesungguhnya
kesungguhan tersebut untuk kebaikan dirinya sendiri**

(Q. S. Al-Ankabut: 6)

**Waktu bagaikan pedang. Jika engkau tidak
memanfaatkannya dengan baik maka ia akan
memanfaatkanmu**

(HR. Muslim)

SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia serta ridho-Nya sehingga Penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Pengujian CBR Laboratorium Menggunakan Metode Tekanan (*Pressure Method*) untuk Tanah Timbunan berdasarkan Energi Pemadatan”.

Pada penyusunan skripsi ini Penulis banyak mendapatkan bantuan, dukungan, bimbingan, dan pengarahan dari berbagai pihak. Untuk itu, Penulis mengucapkan terimakasih setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Suharno, M.sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
2. Bapak Gatot Eko Susilo, S.T., M.sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung.
3. Bapak Ir. Idharmahadi Adha, M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan ilmu pengetahuan, saran, kritik, semangat dan bimbingan dalam penyusunan skripsi.
4. Bapak Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan ilmu pengetahuan, saran, kritik, semangat dan bimbingan dalam penyusunan skripsi.
5. Ibu Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., selaku Dosen Penguji skripsi atas kritik, saran, serta bimbingan dalam proses penyusunan skripsi.

6. Ibu Yuda Romdania, S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing akademik.
7. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
8. Sahabat-sahabat tercinta Farida, Amel, Asmaul, Tazkia, Elisa, Tessya, Ulfa citra, Fini, Indah, Aul yang telah memberikan semangat, dukungan serta pengalaman dan ilmu yang bermanfaat.
9. Teman-teman Jurusan Teknik Sipil Unila angkatan 2014 dan teman-teman mahasiswa lain yang tidak mungkin Penulis sebutkan satu per satu yang telah memberi dukungan dalam pengerjaan laporan.
10. Dan yang terakhir kepada Kedua Orang tua Bapak Budiono dan Ibu Suyani atas cinta, kasih dan sayang yang telah beliau berikan kepada penulis sejak kecil, serta doa, dukungann baik secara material maupun spiritual.

Menyadari bahwa, skripsi ini masih banyak kekurangan, baik dari segi isi maupun cara penyampaiannya. Oleh karena itu, saya sangat mengharapkan saran serta kritik yang bersifat membangun dari pembaca. Akhir kata, saya berharap semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua. Amin.

Bandar Lampung, Maret 2019

Dwi Winda Sari

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTARTABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Tanah	5
2.1.1. Pengertian Tanah	5
2.1.2. Tanah Timbunan	5
2.2. Pemadatan Tanah	7
2.2.1 Definisi Pemadatan Tanah	7
2.2.2. Dasar-dasar Teori Pemadatan Tanah	7
2.2.3. Pemadatan di Lapangan	11
2.3. Daya Dukung Tanah	12
2.4. <i>California Bearing Ratio (CBR)</i>	12

2.4.1. Pengertian CBR	12
2.4.2. Jenis-jenis CBR	13
2.5. Studi Literatur	17

III. METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian	21
3.2. Metode Pengambilan Sampel	21
3.3. Pelaksanaan Pengujian	22
3.3.1. Pengujian Sifat Fisik Tanah	24
3.3.2. Pengujian Pematatan <i>Standard Proctor Method</i>	36
3.3.3. Pengujian Pematatan <i>Modified Proctor Method</i>	38
3.3.4. Pengujian CBR <i>Standard</i> Laboratorium	41
3.3.5. Pengujian CBR <i>Modified</i> Laboratorium	44
3.3.6. Perhitungan Energi Pematatan	47
3.3.7. Alat Uji Tekan CBR Laboratorium Berdasarkan Metode Tekanan	52

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian Sifat Fisik Sampel Tanah	56
4.1 Data Hasil Pengujian Sifat Fisik Sampel Tanah	56
1. Uji Kadar Air	56
2. Uji Berat Volume	57
3. Uji Berat Jenis	57
4. Uji <i>Atterberg</i>	58

5. Uji Analisa Saringan	58
6. Uji Analisis Hidrometer	60
4.2. Klasifikasi Sampel Tanah	63
1. Sistem Klasifikasi AASHTO	63
2. Sistem Klasifikasi USCS	63
4.3. Pemasatan Tanah	64
4.4 Uji CBR Laboratorium Metode Tumbukan	66
1. Uji CBR Laboratorium <i>Standard Metode</i> Tumbukan	66
2. Uji CBR Laboratorium <i>Modified Metode</i> Tumbukan	67
3. Gabungan Berat Volume Kering dengan CBR <i>Standard</i> dan CBR <i>Modified Metode</i> Tumbukan	68
4.4 CBR <i>Metode</i> Tekanan	69
4.5. CBR <i>Standard Metode</i> Tekanan	70
1. Pengujian CBR <i>Standard Metode</i> Tekanan 0,10 MPa	70
2. Pengujian CBR <i>Standard Metode</i> Tekanan 0,26 MPa	71
3. Pengujian CBR <i>Standard Metode</i> Tekanan 0,58 MPa	72
4.6 CBR <i>Modified Metode</i> Tekanan	74
1. Pengujian CBR <i>Modified Metode</i> Tekanan 0,47 MPa	75

2. Pengujian CBR <i>Modified Metode</i> Tekanan 1,19 MPa	76
3. Pengujian CBR <i>Modified Metode</i> Tekanan 2,63 MPa	76
4.7 Hubungan Nilai CBR Tumbukan dengan CBR Tekanan	78
1. CBR <i>Standard Metode</i> Tumbukan dan CBR Standar Tekanan	78
2. CBR <i>Modified Metode</i> Tumbukan dan CBR <i>Modified</i> Tekanan	79
V. PENUTUP	
A. Kesimpulan	82
B. Saran	83

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Beban Penetrasi Beban Standar	16
2. Hasil Pengujian Sifat Fisik Tanah.....	18
3. Hasil Pengujian Alat Tekan Modifikasi Berdasarkan Kondisi Rata-rata dengan 5 Lapisan Tanah	19
4. Jumlah Sampel Penelitian CBR Standard	50
5. Jumlah Sampel Penelitian CBR Modified	50
6. Hasil Perhitungan Pengujian Kadar Air Tanah	56
7. Hasil Perhitungan Pengujian Berat Volume Tanah	57
8. Hasil Perhitungan Pengujian Berat Jenis Tanah	57
9. Hasil Perhitungan Pengujian Batas Atterberg	58
10. Hasil Perhitungan Pengujian Analisis Saringan	59
11. Hasil Perhitungan Pengujian Analisis Hidrometer	60
12. Hasil Pengujian Sampel Tanah	62
13. Hasil Pengujian Sampel Tanah Pada Penelitian (Ulfa, S.Z., (2017)	62
14. Hasil Perhitungan Pengujian CBR Standard Metode Tumbukan	66
15. Hasil Perhitungan Pengujian CBR Modified Metode Tumbukan	67
16. Hasil Perhitungan Pengujian CBR Standard Metode Tekanan Pada Tekanan 0,10 MPa	70

17. Hasil Perhitungan Pengujian CBR Standard Metode Tekanan Pada Tekanan 0,26 MPa	71
18. Hasil Perhitungan Pengujian CBR Standard Metode Tekanan Pada Tekanan 0,58 MPa	72
19. Hasil Pengujian CBR Standard Metode Tekanan.....	73
20. Hasil Perhitungan Pengujian CBR Modified Metode Tekanan pada Tekanan 0,47 MPa	75
21. Hasil Perhitungan Pengujian CBR Modified Metode Tekanan Pada Tekanan 1,19 MPa	80
22. Hasil Perhitungan Pengujian CBR Standard Metode Tekanan Pada Tekanan 2,63 MPa	77
23. Hasil Pengujian CBR Modified Metode Tekanan	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Alat Uji Pemasatan Tanah <i>Standard Proctor</i>	9
2. Kurva Hubungan Kadar Air dengan Berat Volume Kering	10
3. Mold dan <i>Hammer standard</i> Uji CBR Laboratorium	14
4. Mold dan <i>Hammer standard</i> Uji CBR Laboratorium	15
5. Alat Uji Penetrasi CBR Laboratorium	15
6. Hubungan Berat Volume Kering Kondisi Rata-rata dengan Tekanan pada Uji Alat Tekan Modifikasi dengan 5 lapisan tanah.....	19
7. Lokasi Pengambilan Sampel Tanah	21
8. Bagan Alir Penelitian	23
9. Alat Uji Tekan CBR Laboratorium Berdasarkan Metode Tekanan	52
10. Alat Tekan Pemasat Modifikasi	53
11. Grafik Analisa Saringan	60
12. Grafik Analisis Hidrometri	61
13. Hubungan Berat Volume Kering dengan Kadar Air menggunakan <i>Standard Proctor</i>	64
14. Hubungan Berat Volume Kering dengan Kadar Air menggunakan <i>Modified Proctor</i>	65
15. Hubungan Berat Volume Kering dengan Nilai CBR <i>Standard</i> Metode Tumbukan	67
16. Hubungan Berat Volume Kering dengan Nilai CBR <i>Standard</i> Metode	

Tumbukan	68
17. Gabungan Berat Volume Kering dengan CBR <i>standard</i> dan CBR <i>Modified</i> Metode Tumbukan	69
18. Hubungan Berat Volume Kering dengan Nilai CBR <i>Standard</i> Metode Tekanan pada Tekanan 0,105 MPa	71
19. Hubungan Berat Volume Kering dengan Nilai CBR <i>Standard</i> Metode Tekanan pada Tekanan 0,26 MPa	72
20. Hubungan Berat Volume Kering dengan Nilai CBR <i>Standard</i> Metode Tekanan pada Tekanan 0,58 MPa	73
21. Hubungan Tekanan dengan Nilai CBR <i>Standard</i> Metode Tekanan	74
22. Hubungan Berat Volume Kering dengan Nilai CBR <i>Modified</i> Metode Tekanan pada Tekanan 0,47 MPa	75
23. Hubungan Berat Volume Kering dengan Nilai CBR <i>Modified</i> Metode Tekanan pada Tekanan 1,19 MPa.....	76
24. Hubungan Berat Volume Kering dengan Nilai CBR <i>Modified</i> Metode Tekanan pada Tekanan 2,6388 MPa	77
25. Hubungan Tekanan dengan Nilai CBR <i>Standard</i> Metode Tekanan.....	78
26. Hubungan Nilai CBR dengan Metode Tumbukan dan Tekanan pada Uji CBR <i>Standard</i>	79
27. Hubungan Nilai CBR dengan Metode Tumbukan dan Tekanan pada Uji CBR <i>Modified</i>	80
28. Hubungan Regresi Nilai CBR Metode Tekanan <i>Standard</i> dengan CBR Tekanan <i>Modified</i>	81

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur saat ini semakin pesat, terutama di Provinsi Lampung dalam bidang transportasi. Saat ini yang sedang dilaksanakan adalah pembangunan Jalan Tol Trans Sumatera (JTTS), pembangunan ini sangat baik untuk memperlancar transportasi arus lalu lintas yang menghubungkan Provinsi Lampung dengan Provinsi Sumatera Selatan dalam pengembangan kawasan di Provinsi Lampung dan untuk mendukung pertumbuhan perekonomian nasional. Pembangunan suatu konstruksi sangat erat berkaitan dengan daya dukung tanah karena tanah merupakan material yang berperan penting dalam mendukung suatu konstruksi.

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut. (Das, 1995).

(Bowles, 1984) menyatakan tanah merupakan campuran partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut : barangkal (*boulders*), kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), lempung (*clay*) dan koloid (*colloids*).

Tanah pada umumnya dapat disebut sebagai kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), atau lempung (*clay*) tergantung pada ukuran partikel yang paling dominan pada tanah tersebut (Das, 1993).

Dengan kondisi tanah yang berbeda-beda tidak dapat secara langsung digunakan sebagai dasar konstruksi jalan. Maka perlu dilakukan pengujian daya dukung tanah dasar (*subgrade*) dengan uji *California Bearing Ratio* (CBR). Menurut (Dermawan, 2010) CBR adalah rasio dari gaya perlawanan penetrasi dari tanah terhadap penetrasi sebuah piston yang ditekan secara kontinu dengan gaya perlawanan penetrasi serupa pada contoh tanah standar berupa batu pecah di *California*.

Oleh karena itu perlunya dilakukan studi eksperimen pengujian CBR laboratorium menggunakan metode tekanan (*pressure method*) berdasarkan energi pemadatan. Pengujian CBR laboratorium yang biasa dilakukan adalah metode tumbukan (*proctor method*) dan pengujian CBR di lapangan. Namun demikian perlu dilakukan pengujian CBR laboratorium dalam bentuk eksperimen menggunakan metode tekanan berdasarkan energi pemadatan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah untuk menentukan nilai daya dukung tanah dalam kepadatan maksimum berdasarkan energi pemadatan, mengetahui nilai CBR *standard* dan CBR *modified* dalam metode tumbukan maupun metode

tekanan, serta sifat-sifat fisik dan mekanis dari sampel tanah yang digunakan. Karena sifat-sifat tanah berbeda maka perlu dilakukan pengujian material pada sampel tanah untuk mengetahui jenis dan klasifikasi material tanah yang digunakan dalam penelitian.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah meliputi sebagai berikut :

1. Sampel tanah yang digunakan adalah tanah timbunan yang berasal dari Tirtayasa Kec. Sukabumi, Bandar Lampung.
2. Pengujian pemadatan menggunakan alat tekan pemadat modifikasi.
3. Pengujian CBR laboratorium metode tumbukan dengan CBR laboratorium metode tekanan (*pressure method*)
4. Pengujian karakteristik tanah yang dilakukan di laboratorium antara lain sebagai berikut :
 - a. Uji sifat fisik
 1. Pengujian kadar air
 2. Pengujian berat volume
 3. Pengujian berat jenis
 4. Pengujian batas cair
 5. Pengujian analisis saringan
 6. Pengujian hydrometer
 7. Pengujian pemadatan tanah
 8. Pengujian CBR laboratorium

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui sifat-sifat fisik dan mekanis tanah timbunan yang berasal dari daerah Tirtayasa Kec. Sukabumi, Bandar Lampung.
2. Untuk mengetahui nilai daya dukung tanah dalam bentuk pengujian CBR menggunakan alat uji tekan pemadat modifikasi.
3. Korelasi nilai CBR laboratorium metode tumbukan dengan metode tekanan berdasarkan energi pemadatan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah :

1. Pengujian CBR laboratorium metode tekanan diharapkan dapat digunakan untuk uji CBR laboratorium dengan pemodelan alat uji tekan modifikasi CBR laboratorium.
2. Pengujian CBR laboratorium metode tekanan diharapkan dapat mempermudah pengujian CBR laboratorium serta dapat menghemat waktu dan tenaga.
3. Mengetahui perbandingan nilai antara CBR metode tumbukan dengan nilai CBR metode tekanan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

2.1.1 Pengertian Tanah

Menurut Terzaghi (1987), tanah adalah kumpulan butiran (agregat) mineral alami yang bisa dipisahkan oleh suatu cara mekanik bila agregat dimaksud diaduk dalam air.

Dalam pengertian secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral–mineral padat yang tidak tersedimentasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1995).

2.1.2 Tanah Timbunan

Tanah timbunan dapat dibagi menjadi berbagai jenis yaitu :

- a. Timbunan biasa adalah timbunan atau urugan yang digunakan untuk pencapaian elevasi akhir *subgrade* yang disyaratkan dalam gambar perencanaan tanpa maksud khusus lainnya. Timbunan biasa ini

juga digunakan untuk penggantian material *existing subgrade* yang tidak memenuhi syarat (Spesifikasi Bina Marga, 2010). Bahan untuk timbunan biasa memiliki sifat:

1. Tanah yang tidak mengandung organik seperti jenis tanah OL, OH, dan Pt dalam sistem USCS.
 2. Tidak termasuk tanah yang berplastisitas tinggi, yang diklasifikasikan sebagai A-7-6 menurut AASHTO.
 3. Harus memiliki nilai CBR tidak kurang dari karakteristik daya dukung tanah yaitu tidak kurang dari 6%.
- b. Timbunan pilihan adalah timbunan atau urugan yang digunakan untuk pencapaian elevasi akhir *subgrade* yang disyaratkan dalam gambar suatu perencanaan, misal untuk mengurangi tebal lapisan pondasi bawah, atau untuk memperkecil gaya lateral tekanan tanah dibelakang dinding penahan tanah talud jalan. Timbunan hanya boleh diklasifikasikan sebagai timbunan pilihan bila digunakan pada lokasi atau untuk maksud dimana bahan-bahan ini telah disetujui oleh direksi pekerjaan. Timbunan yang diklasifikasikan sebagai timbunan pilihan harus memenuhi semua ketentuan timbunan biasa. Seluruh timbunan pilihan harus memiliki nilai CBR paling sedikit 10% setelah 4 hari perendaman bila dipadatkan sampai 100%. (Spesifikasi Bina Marga, 2010).

- c. Timbunan pilihan berbutir di atas tanah rawa adalah bahan timbunan untuk keadaan penghamparan dalam kondisi jenuh atau banjir tidak dapat dihindarkan haruslah batu, pasir atau kerikil atau bahan berbutir bersih lainnya dengan index plastisitas maksimum 6%. (Spesifikasi Bina Marga, 2010).

2.2 Pemadatan Tanah

2.2.1 Pengertian Pemadatan Tanah

Pemadatan (*compaction*) adalah proses naiknya kerapatan tanah dengan memperkecil jarak antar partikel sehingga terjadi reduksi volume udara namun tidak terjadi perubahan volume air yang cukup berarti pada tanah ini (Craig, 1994).

2.2.2 Dasar–dasar Teori Pemadatan Tanah

a. Prinsip Pemadatan Tanah

Pada awal proses pemadatan, berat volume tanah kering (d) bertambah seiring dengan ditambahkan kadar air. Pada kadar air nol ($w=0$), berat volume tanah basah (b) sama dengan berat volume tanah kering (d). Ketika kadar air berangsur-angsur ditambah (dengan usaha pemadatan yang sama), berat butiran tanah padat per volume satuan (d) juga bertambah. Pada kadar air lebih besar dari kadar air tertentu, yaitu saat kadar air optimum, kenaikan

kadar air justru mengurangi berat volume keringnya. Hal ini karena, air mengisi rongga pori yang sebelumnya diisi oleh butiran padat. Kadar air pada saat berat volume kering mencapai maksimum (d_{mak}) disebut kadar air optimum (Hardiyatmo, 2004).

b. Pemadatan Standar

Untuk mengevaluasi tanah agar memenuhi persyaratan pemadatan, maka umumnya dilakukan pengujian pemadatan.

Proctor (1933) dalam Hardiyatmo (2002), telah mengamati bahwa ada hubungan yang pasti antara kadar air dan berat volume kering yang padat. Untuk berbagai jenis tanah pada umumnya salah satu nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai berat volume kering maksimumnya (d_{mak}).

Hubungan berat volume kering (d) dengan berat volume basah (b) dan kadar air (w), dinyatakan dalam persamaan :

$$d = \frac{b}{1 + w} \dots\dots\dots(1)$$

Berat volume kering setelah pemadatan bergantung pada jenis tanah, kadar air, dan usaha yang diberikan oleh alat penumbuknya. Karakteristik kepadatan tanah dapat dinilai dari pengujian pemadatan standar laboratorium. Prinsip pengujiannya diterangkan dibawah ini.

Alat pemadat berupa silinder (*mold*) yang mempunyai diameter 10,2 cm dan tinggi 11,6 cm. Tanah di dalam mold dipadatkan dengan penumbuk

yang beratnya 2,5 kg dengan tinggi jatuh 30,5 cm. Tanah dipadatkan dalam 3 (tiga) lapisan dengan tiap lapisan ditumbuk sebanyak 25 kali pukulan. Berikut merupakan alat pematatan tanah standar pada gambar 1.



Gambar 1. Alat Pengujian Pematatan Standar

Menurut SNI 1742:2008, peralatan yang digunakan berupa cetakan diameter 101,60 mm mempunyai kapasitas $943 \text{ cm}^3 \pm 8 \text{ cm}^3$ dengan diameter dalam $101,60 \text{ mm} \pm 0,41 \text{ mm}$ dan tinggi $116,43 \text{ mm} \pm 0,13 \text{ mm}$ dan cetakan diameter 152,40 mm mempunyai kapasitas $2124 \pm 21 \text{ cm}^3$ dengan diameter dalam $152,40 \text{ mm} \pm 0,66 \text{ mm}$ dan tinggi $116,43 \text{ mm} \pm 0,13 \text{ mm}$. Tanah dalam cetakan dipadatkan dengan alat penumbuk, terdapat 2 alat menumbuk yaitu :

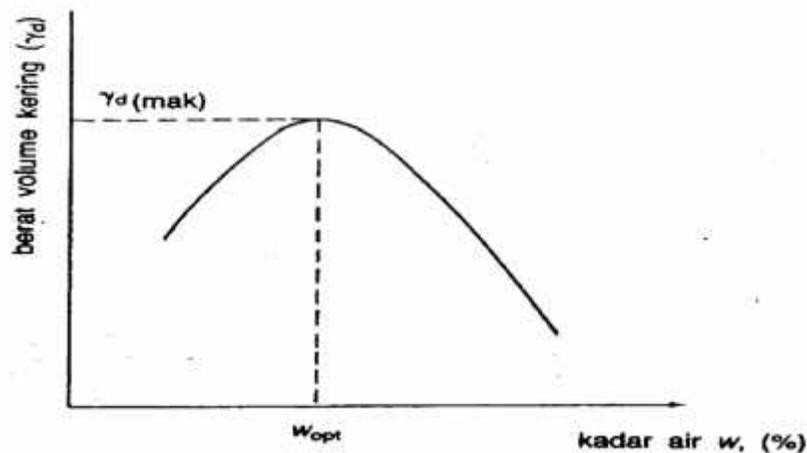
A. Alat penumbuk tangan (manual)

Dengan massa $2,495 \text{ kg} \pm 0,009 \text{ kg}$ dan mempunyai permukaan berbentuk bundar dan rata, diameter $50,80 \text{ mm} \pm 0,25 \text{ mm}$.

B. Alat penumbuk mekanis

Dilengkapi alat pengontrol tinggi jatuh bebas $305 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ di atas permukaan tanah yang akan dipadatkan dan dapat menyebarkan tumbukan secara merata di atas permukaan tanah. Alat penumbuk harus mempunyai massa $2,495 \text{ kg} \pm 0,009 \text{ kg}$ dan mempunyai permukaan tumbuk berbentuk bundar dan rata, berdiameter $50,80 \text{ mm} \pm 0,25 \text{ mm}$.

Grafik hubungan kadar air optimum dan berat volume kering maksimum, diperlihatkan pada gambar berikut :



Gambar 2. Kurva Hubungan Kadar Air dengan Berat Volume Kering (Hardiyatmo, 2002)

c. Pengaruh Usaha Pemasatan

Energi yang dibutuhkan untuk pematatan pada pematatan standar (Hardiyatmo, 1992) dirumuskan sebagai berikut :

$$E = \frac{N b N i W H}{V}$$

Keterangan :

E = Energi Kepadatan (ft-lb/ft³)

$N b$ = Jumlah pukulan per lapisan

$N i$ = Jumlah lapisan

W = Berat pemukul (kg)

H = Tinggi jatuh pemukul (cm)

V = Volume mold/tabung (cm)

2.2.3 Pematatan di Lapangan

Material timbunan di suatu lokasi proyek biasanya merupakan material lepas, material ini secara alami akan menjadi padat karena pengaruh waktu dan cuaca. Proses pematatan ini berlangsung dalam jangka waktu yang lama. Pada proyek konstruksi dimana waktu adalah bagian penting di dalam pelaksanaannya maka proses pematatan dipercepat. Untuk mempercepat pematatan ini digunakan peralatan mekanik (Rostiyanti, 2008).

2.3 Daya Dukung Tanah

Dalam perencanaan jalan raya, daya dukung tanah dasar sangat mempengaruhi tebal perkerasan, semakin tinggi daya dukung tanah, maka tebal perkerasan yang diperlukan semakin tipis untuk menahan beban lalu lintas. Menurut (Hendarsin,2000) daya dukung tanah dasar (*subgrade*) dipengaruhi oleh jenis tanah, tingkat kepadatan, kadar air, dll.

Ada beberapa metode untuk menentukan daya dukung tanah seperti CBR (*California Bearing Ratio*), k (Modulus Reaksi Tanah Dasar), M_r (*Resilient Modulus*), Skala Penetrasi Konus Dinamis atau DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) dan HCP (*Hand Cone Penetrometer*). Di Indonesia daya dukung tanah dasar untuk kebutuhan perencanaan tebal perkerasan jalan ditentukan dengan pengujian CBR. CBR diperoleh dari hasil pengujian sampel tanah yang telah disiapkan di laboratorium atau langsung di lapangan.

2.4 *California Bearing Ratio* (CBR)

2.4.1 Pengertian *California Bearing Ratio* (CBR)

Menurut AASHTO T-193-74 dan ASTM D-1883-73, *California Bearing Ratio* adalah perbandingan antara beban penetrasi suatu beban terhadap beban standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Nilai CBR akan digunakan untuk menentukan tebal lapisan perkerasan. Harga CBR itu sendiri adalah nilai yang menyatakan

kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100% dalam memikul beban.

2.4.2 Jenis-jenis *California Bearing Ratio* (CBR)

Menurut Soedarmo dan Purnomo (1997), berdasarkan cara mendapatkan contoh tanah, CBR dapat dibagi atas :

1) CBR lapangan rendaman (*undisturbed soaked CBR*).

Pemeriksaan ini dilakukan dengan mengambil contoh tanah dalam tabung (*mold*) yang ditekan masuk ke dalam tanah mencapai kedalaman tanah yang diinginkan. Mold yang berisi contoh tanah yang dikeluarkan dan direndam dalam air selama 4 hari sambil diukur pengembangannya (*swelling*). Setelah pengembangan tidak terjadi lagi maka dilaksanakan pemeriksaan CBR.

2) CBR lapangan (*CBR in place* atau *field CBR*).

Metode pemeriksaan CBR lapangan dilakukan dengan meletakkan piston pada kedalaman dimana nilai CBR akan ditentukan lalu dipenetrasi dengan menggunakan beban yang dilimpahkan melalui gardan truk.

3) CBR laboratorium (*laboratory CBR*)

CBR laboratorium dapat disebut juga CBR rencana titik. Tanah dasar yang diperiksa merupakan jalan baru yang berasal dari tanah asli, tanah timbunan atau tanah galian yang dipadatkan sampai

mencapai 95% kepadatan maksimum. Dengan demikian daya dukung tanah dasar merupakan kemampuan lapisan tanah yang memikul beban setelah tanah itu dipadatkan. Oleh karena itu, nilai CBR laboratorium adalah nilai CBR yang diperoleh dari contoh tanah yang dibuat dan mewakili keadaan tanah tersebut setelah dipadatkan. Pengujian CBR laboratorium dilakukan menggunakan alat yang mempunyai piston dengan luas 1.935 mm² dan kecepatan gerak vertikal ke bawah 1,27 mm/menit serta proving ring yang digunakan untuk mengukur beban yang dibutuhkan pada penetrasi tertentu yang diukur dengan arloji pengukur (dial). Berikut merupakan alat uji CBR laboratorium metode tumbukan pada gambar 3, 4 dan 5.



Gambar 3. Mold dan *Hammer standard* Uji CBR Laboratorium



Gambar 4. Mold dan *Hammer modified* Uji CBR Laboratorium



Gambar 5. Alat Uji Penetrasi CBR Laboratorium

Penentuan nilai CBR yang biasa digunakan untuk menghitung kekuatan pondasi jalan adalah penetrasi 0,1” dan penetrasi 0,2” dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Nilai CBR pada penetrasi 0,1''} = \frac{3000}{A} \times 100\%$$

$$\text{Nilai CBR pada penetrasi 0,2''} = \frac{4500}{B} \times 100\%$$

Dimana :

A = pembacaan dial pada saat penetrasi 0,1”

B = pembacaan dial pada saat penetrasi 0,2”

Nilai CBR yang didapat adalah nilai yang terkecil diantara hasil perhitungan kedua nilai CBR. Berikut ini adalah tabel beban yang digunakan untuk melakukan penetrasi bahan standar.

Tabel 1. Beban Penetrasi Bahan Standar

Penetrasi (inch)	Beban Standar (lbs)	Beban Standar (lbs/inch)
0,1	3000	1000
0,2	4500	1500
0,3	5700	1900
0,4	6900	2300
0,5	7800	6000

2.5 Studi Literatur

Berikut penelitian yang dapat dijadikan referensi tambahan yaitu:

1. Novalia, A. (2017) tentang studi eksperimen derajat kepadatan tanah *standard proctor* laboratorium terhadap alat tekan pemadat modifikasi menggunakan tanah timbunan pilihan. Penelitian ini menggunakan sampel tanah yang berasal dari daerah Gedung Agung Kec. Jati Agung, Lampung Selatan yaitu tanah timbunan pilihan. Pelaksanaan pengujian alat tekan pemadat modifikasi dengan menggunakan tiga sampel tanah pada masing-masing tekanan, tekanan yang digunakan adalah 5 MPa, 10 MPa, 15 MPa dan 20 MPa. Hasil penelitian di laboratorium menunjukkan bahwa berat volume maksimum (d_{maks}) sebesar 1,62 gr/cm³ pada pengujian tanah timbunan pilihan metode standard proctor dengan hasil pada alat tekan pemadat modifikasi didapat nilai tekanan sebesar 9 MPa. Sedangkan pada pengujian tanah timbunan biasa didapatkan nilai tekanan sebesar 7 MPa dengan berat volume maksimum () sebesar 1,4 gr/cm³.
2. Penelitian dilakukan oleh Ulfa, S.Z., (2017) tentang studi konversi energi pemadatan tanah dengan *Modified Proctor Method* untuk tanah pasir berlempung. Model pendekatan alat uji kepadatan ringan untuk tanah di laboratorium, menggunakan sampel tanah yang digunakan berupa tanah yang berasal dari Jalan Tirtayasa Kecamatan Sukabumi, Bandar Lampung, dengan hasil sebagai berikut :

1) Hasil Pengujian sampel tanah

Nilai-nilai dari hasil pengujian laboratorium yang telah dilaksanakan di laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Lampung mengenai sifat - sifat fisik dan sifat - sifat mekanik dari sampel tanah yang merupakan bahan penelitian selengkapnya akan dijelaskan pada Tabel 2 dibawah ini :

Tabel 2. Hasil Pengujian Sifat Fisik Tanah

No	Pengujian	Hasil
1	Kadar air (w)	12,72%
2	Berat Jenis (Gs)	2,56
3	Batas <i>Atterberg</i> :	
	a. Batas Cair (LL)	59,32%
	b. Batas Plastis (PL)	40,55%
	c. Indeks Plastisitas (PI)	18,77%
4	Analisa Saringan	
	a. lolos Saringan No. 4	82,80%
	b. lolos Saringan No. 200	0,44%

2) Pengujian Alat Tekan Modifikasi Berdasarkan Kondisi Rata-rata

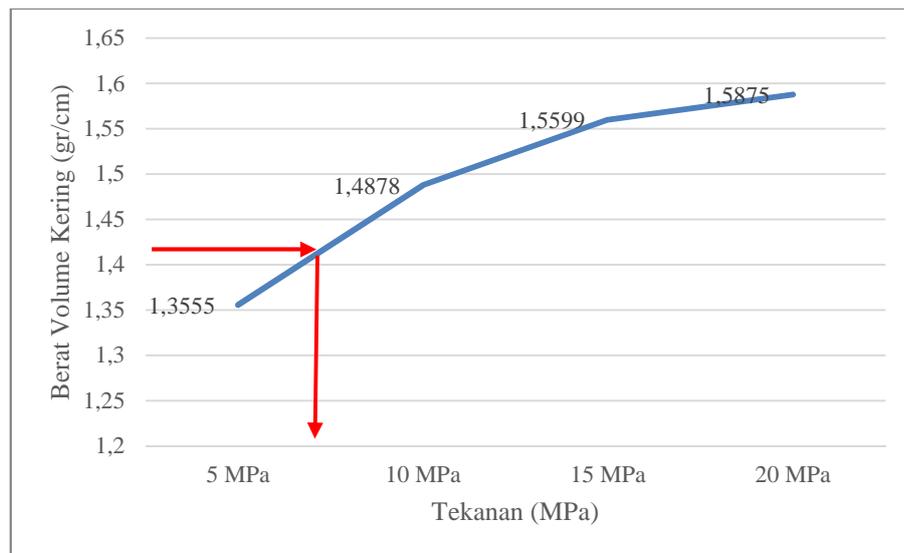
Dari hasil pengujian alat tekan modifikasi berdasarkan kondisi rata rata maka didapat nilai kadar air (w) dan berat volume kering (d) pada kondisi rata-rata, ditunjukkan pada Tabel berikut :

Tabel 3 Hasil Pengujian Alat Tekan Modifikasi Berdasarkan Kondisi Rata-rata dengan 5 Lapisan Tanah (Ulfa, S.Z., (2017))

Tabel 3. Hasil Pengujian Alat Tekan Modifikasi Berdasarkan Kondisi Rata-rata dengan 5 Lapisan Tanah

Nama Sampel	Kadar Air (%)	Berat Volume Kering (gram/cm ³)
5 MPa	22,80	1,3555
10 MPa	22,95	1,4878
15 MPa	23,02	1,5599
20 MPa	23,15	1,5875

Gambar dari hasil pengujian alat tekan pada tekanan 5 MPa, 10 MPa, 15 MPa dan 20 MPa pada Gambar 6.



Gambar 6. Hubungan Berat Volume Kering Kondisi Rata-rata dengan Tekanan pada Uji Alat Tekan Modifikasi dengan 5 Lapisan Tanah (Ulfa, S.Z., (2017))

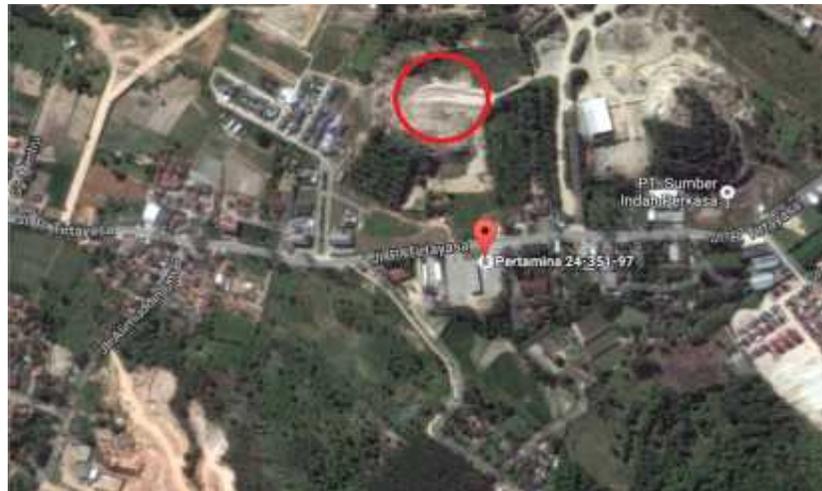
Berdasarkan hasil pengujian alat tekan pemadat modifikasi seperti pada Gambar 6 dari hasil uji *modified proctor* di laboratorium didapat nilai berat volume kering maksimum ($dmaks$) sebesar 1,42 gr/cm³. Bila nilai ini dikonversi terhadap hasil uji alat tekan modifikasi pada Gambar 6

didapat nilai tekanan sebesar 6,9 MPa. Mendekati hasil uji modified proctor maka dilakukan pengujian kembali menggunakan alat uji tekan pemadat modifikasi dari hasil uji sebesar 6,9 MPa didapat nilai d sebesar 1,4177 gr/cm³. Hal ini menunjukkan bahwa nilai berat volume kering d sebesar 1,4177 gr/cm³ mendekati hasil d sebesar 1,42 gr/cm³ pada uji *Modified Proctor*.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini, sampel tanah yang digunakan yaitu sampel tanah timbunan yang berasal dari Tirtayasa Kec. Sukabumi, Bandar Lampung.



Gambar 7. Lokasi Sampel Tanah

3.2 Metode Pengambilan Sampel

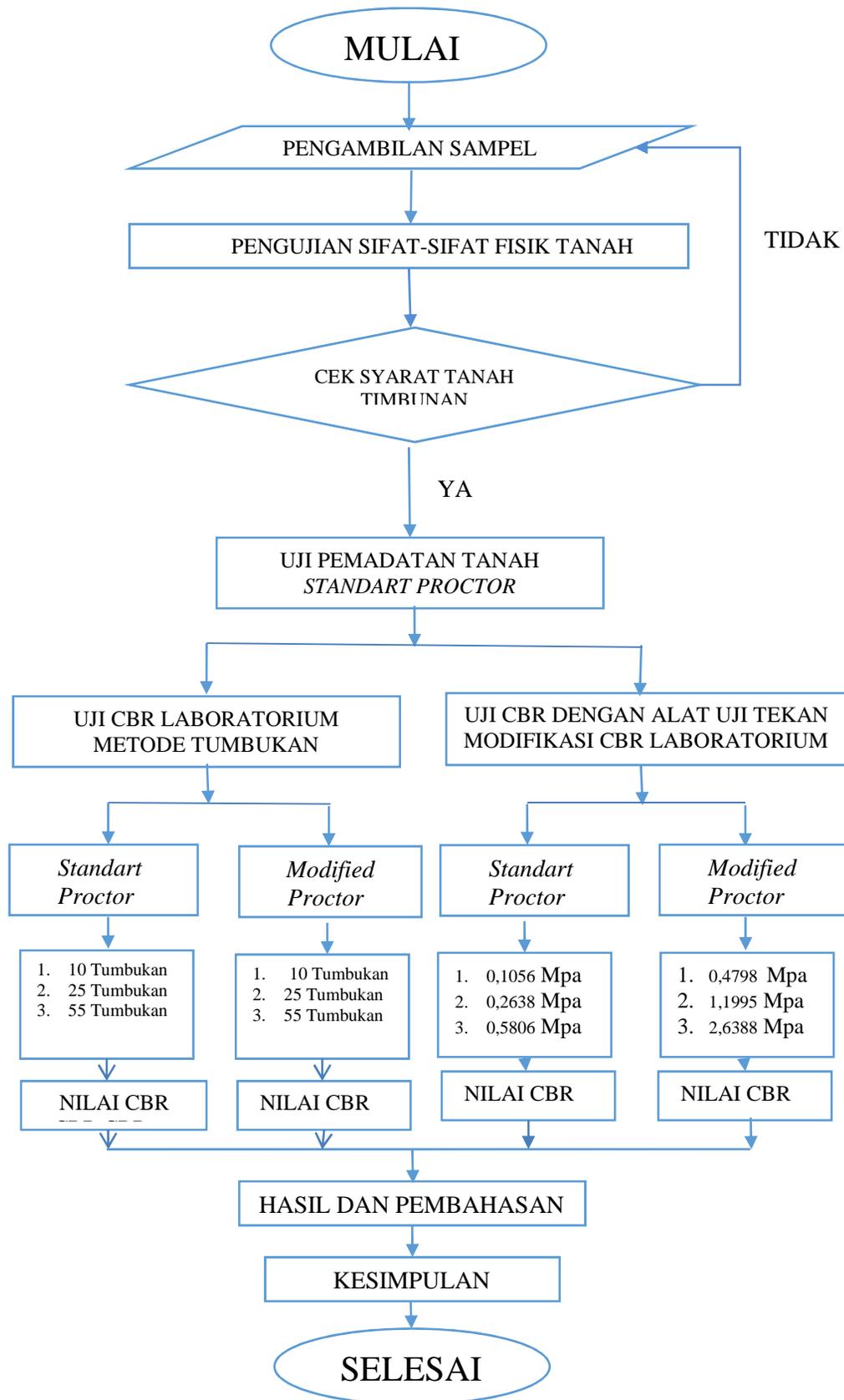
Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan cara pengambilan langsung sampel tanah yang berasal dari Tirtayasa Kec. Sukabumi, Bandar Lampung. Tanah yang

diambil merupakan sampel tanah terganggu (*disturb sample*) dan sampel tanah tidak terganggu (*undisturb sample*).

Sampel yang sudah diambil selanjutnya digunakan sebagai sampel untuk pengujian awal dan bila memenuhi persyaratan sebagai tanah timbunan maka akan dilanjutkan untuk pengujian CBR laboratorium dengan alat kepadatan tanah di laboratorium dan pada alat tekan pemadat modifikasi.

3.3. Pelaksanaan Pengujian

Pelaksanaan pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Lampung. Adapun tahap pengujian yang dilakukan ditampilkan dalam bentuk bagan alir sebagai berikut :



Gambar 8. Bagan Alir Penelitian

3.3.1. Pengujian Sifat Fisik Tanah

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik tanah yang digunakan sebagai sampel. Kemudian hasil dari pengujian akan dianalisis sesuai dengan klasifikasi tanah menurut USCS dan AASHTO untuk mengetahui klasifikasi tanah tersebut. Adapun pengujian sifat fisik yang dilakukan di laboratorium antara lain sebagai berikut :

1. Pengujian Kadar Air (*Water Content Test*)

Pengujian kadar air bertujuan untuk mengetahui kadar air tanah pada sampel tanah, yaitu perbandingan antara berat air yang terkandung dalam butiran tanah dengan butiran tanah kering yang dinyatakan dalam persen. Pengujian berdasarkan ASTM D 2216-98 dan SNI 1965 2008, dengan cara pengujian sebagai berikut :

a. Bahan :

Sampel tanah yang akan diuji seberat antara 30-50 gram.

b. Peralatan :

- 1) Kontainer sebanyak 3 buah.
- 2) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram.
- 3) Oven.

c. Prosedur :

- 1) Menyiapkan peralatan dan sampel tanah yang akan diuji.
- 2) Menimbang ketiga kontainer dan tandai masing–masing kontainer.

- 3) Memasukkan sampel tanah yang akan diuji kedalam kontainer.
- 4) Menimbang kontainer yang telah berisi sampel tanah.
- 5) Memasukkan kontainer ke dalam oven pada temperatur 105°C selama 24 jam.
- 6) Menimbang kontainer beserta tanah yang telah dikeringkan.

d. Perhitungan :

$$\omega = \frac{W_{\omega}}{W_s} = \frac{W_{cs} - W_{ds}}{W_{ds} - W_c} \times 100\%$$

Keterangan :

W = Berat air (gram)

W_s = Berat tanah kering (gram)

2. Pengujian Berat Volume (*Unit Weight Test*)

Pengujian berat volume bertujuan untuk menentukan berat volume tanah dalam keadaan asli (*undisturbed sample*), yaitu perbandingan berat tanah dengan volume tanah. Pengujian berdasarkan ASTM D 2167 dan SNI 3637 1994, dengan prosedur pengujian sebagai berikut :

a. Bahan :

Sampel tanah *undisturbed*.

b. Peralatan :

- 1) *Ring* Contoh.
- 2) Pisau perata.
- 3) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram.

c. Prosedur :

- 1) Menyiapkan peralatan dan sampel tanah yang akan diuji
- 2) Menimbang *ring* contoh, lalu mengukur diameter dan tinggi permukaan samping *ring* contoh.
- 3) Mengolesi oli pada permukaan *ring* dan alat pendorong sampel secara merata agar tanah tidak melekat pada *ring*.
- 4) Mengambil sampel tanah dari tabung contoh yang telah dipersiapkan.
- 5) Memasukkan sampel tersebut pada *ring* dengan cara menekan *ring* ke sampel, hingga tanah tertekan padat pada *ring*.
- 6) Meratakan permukaan tanah dengan pisau perata.
- 7) Menimbang *ring* dan sampel pada timbangan dengan ketelitian 0,01 gram, kemudian mencatatnya.

d. Perhitungan :

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

Keterangan :

W = Berat tanah (gram)

V = Volume *ring* (cm³)

3. Pengujian Berat Jenis (*Specific Gravity Test*)

Pengujian berat jenis bertujuan untuk menentukan berat jenis tanah yang lolos saringan No. 40 (\emptyset 0,425 mm) dengan menggunakan

picnometer. Pengujian berdasarkan ASTM D 854-02 dan SNI 1964 2008, dengan prosedur pengujian sebagai berikut :

a. Bahan :

- 1) Sampel tanah yang lolos saringan No.40 dan telah dikeringkan sebanyak dua sampel.
- 2) Air bersih atau air suling.

b. Peralatan :

- 1) Ayakan No. 40 (\emptyset 0,425 mm).
- 2) Labu Ukur (*Picnometer*).
- 3) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram.
- 4) Tugku pemanas (*Boiler*).

c. Prosedur :

- 1) Menyiapkan benda uji secukupnya dan mengoven pada suhu 105°C selama 24 jam.
- 2) Mendinginkan tanah, lalu mengayak dengan saringan No. 40 (\emptyset 0,425 mm).
- 3) Menimbang *picnometer* dalam keadaan kosong.
- 4) Mengambil sampel tanah sebanyak 25-30 gram dan memasukkannya ke dalam *picnometer*.
- 5) Menimbang *picnometer* yang berisi sampel tanah.
- 6) Menambahkan air suling ke dalam *picnometer* sampai terisi dua pertiganya.

- 7) Memanaskan *picnometer* diatas tungku pemanas sampai butir-butir udara hilang.
- 8) Merendam *picnometer* dalam bak perendaman sampai temperaturnya kembali normal.
- 9) Menambahkan air suling ke dalam *picnometer* sampai penuh.
- 10) Mengeringkan bagian luar *picnometer*, menimbang dan mencatat hasilnya.
- 11) Membersihkan *picnometer* yang telah digunakan, lalu isi dengan air suling dan ditimbang.

d. Perhitungan :

$$G_s = \frac{W_s}{W_{\omega 1} - W_{\omega 2}}$$

Keterangan :

W_s = Berat sampel tanah (gram)

W_1 = Berat air mula-mula (gram)

W_2 = Berat air setelah dipanaskan (gram)

4. Pengujian Batas Cair (*Liquid Limit Test*)

Pengujian batas cair bertujuan untuk menentukan kadar air suatu jenis tanah pada batasan antara keadaan cair dan keadaan plastis, sesuai ketentuan yang ditentukan oleh *Atterberg*. Pengujian berdasarkan ASTM D 4318 dan SNI 1967 2008, dengan prosedur pengujian sebagai berikut :

a. Bahan :

- 1) Sampel tanah yang telah dikeringkan.

- 2) Air bersih atau air suling.

b. Peralatan :

- 1) Alat Batas Cair (Mangkuk *Cassagrande*).

- 2) Alat Pembuat Alur (*Grooving tool*).

- 3) Spatula.

- 4) Oven.

- 5) Kontainer.

- 6) Wadah atau Gayung.

- 7) Ayakan No. 40 (\emptyset 0,425 mm).

- 8) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram.

c. Prosedur :

- 1) Mengayak sampel tanah menggunakan saringan No. 40.

- 2) Mengatur tinggi jatuh mangkuk *casagrande* setinggi 10 mm.

- 3) Mengambil sampel tanah sebanyak 150 gram, kemudian diberi air dan aduk hingga merata, kemudian dimasukkan ke dalam mangkuk *cassagrande* dan meratakan permukaan adonan sehingga sejajar dengan alas.

- 4) Membuat alur tepat ditengah-tengah dengan membagi benda uji dalam mangkuk *cassagrande* tersebut dengan menggunakan *grooving tool*.

- 5) Memutar tuas pemutar sampai kedua sisi tanah bertemu sepanjang 13 mm sambil menghitung jumlah ketukan dengan jumlah ketukan harus berada diantara 10–40 kali.
- 6) Mengambil sebagian benda uji dibagian tengah mangkuk untuk pemeriksaan kadar air dan melakukan langkah kerja yang sama untuk benda uji dengan keadaan yang berbeda sehingga diperoleh 4 macam benda uji dengan jumlah ketukan 2 buah dibawah 25 ketukan dan 2 buah di atas 25 ketukan.

d. Perhitungan :

$$LL = \omega \times \left(\frac{N}{25}\right)^{0,121}$$

Keterangan :

LL = *Liquid Limit* (%)

= Kadar air (%)

N = Jumlah pukulan

5. Pengujian Batas Plastis (*Plastic Limit Test*)

Pengujian batas plastis bertujuan untuk menentukan kadar air suatu jenis tanah pada batasan antara keadaan plastis dan keadaan semi padat, sesuai ketentuan yang ditentukan oleh *Atterberg*. Pengujian berdasarkan ASTM D 4318 dan SNI 1966 2008, dengan prosedur pengujian sebagai berikut :

a. Bahan :

- 1) Sampel tanah sebanyak 20 gram.

2) Air bersih atau air suling.

b. Peralatan :

1) Kontainer.

2) Plat kaca.

3) Spatula.

4) Oven.

5) Ayakan No. 40 (\emptyset 0,425 mm).

6) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram.

c. Prosedur :

1) Mengayak sampel tanah dengan saringan No. 40.

2) Mengambil sampel tanah sebanyak 20 gram dan campurkan dengan air suling sampai massa menjadi cukup plastis untuk dibentuk menjadi bola.

3) Mengambil sampel tanah kira-kira 1,5-2 gram, kemudian menggeling sampel tersebut dengan kecepatan 80-90 gelengan per menit di atas plat kaca hingga mencapai diameter 3 mm dan terjadi retakan.

4) Mengumpulkan bagian-bagian tanah yang retak dan memasukkannya ke dalam kontainer, kemudian ditimbang.

5) Menentukan kadar air benda uji.

d. Perhitungan :

$$LI = \frac{W_{ai}}{W_d} \times 100\%$$

$$PI = LL - PL$$

Keterangan :

PI = *Plastic Index* (%)

LL = *Liquid Limit* (%)

PL = *Plastic Limit* (%)

W = Berat Air (gram)

Wd = Berat tanah kering (gram)

6. Pengujian Analisis Saringan (*Sieve Analysis Test*)

Pengujian analisis saringan bertujuan untuk mengetahui persentase ukuran butiran tanah dan susunan butiran tanah (gradasi) dari suatu jenis tanah yang tertahan di atas saringan No. 200 (\varnothing 0,075 mm). Pengujian berdasarkan ASTM D 422 dan SNI 3423 2008, dengan prosedur pengujian sebagai berikut :

a. Bahan :

- 1) Sampel tanah yang telah dioven sebanyak 500 gram.
- 2) Air bersih atau air suling sebanyak 1500 cc.

b. Peralatan :

- 1) Satu set saringan (*Sieve*).
- 2) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram.
- 3) Mesin penggetar (*Sieve shaker*).
- 4) Oven.

c. Prosedur :

- 1) Mengambil sampel tanah sebanyak 500 gram dan memeriksa kadar airnya.
- 2) Meletakkan susunan saringan di atas mesin penggetar dan memasukkan sampel tanah pada susunan yang paling atas kemudian menutup rapat.
- 3) Mengencangkan penjepit mesin dan menghidupkan mesin penggetar selama ± 15 menit.
- 4) Menimbang masing-masing saringan beserta sampel tanah yang tertahan di atasnya.

d. Perhitungan :

$$\% \text{ Wtertahan} = \frac{\text{Wtertahan}}{\text{Wtot}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Lolos} = 100 - \% \text{ kumulatif tertahan}$$

7. Pengujian Analisis Hidrometer (*Hydrometry Analysis Test*)

Pengujian analisis hidrometer bertujuan untuk menentukan distribusi ukuran butir-butir tanah untuk tanah yang tidak mengandung butir tertahan saringan No. 10 (\varnothing 2 mm). Pengujian berdasarkan ASTM D 1140 dan SNI 3423 2008, dengan prosedur pengujian sebagai berikut :

a. Bahan :

- 1) Sampel tanah lolos saringan No. 10 sebanyak 50 gram.
- 2) Air bersih atau air suling.
- 3) Reagent (Na_2SiO_3).

b. Peralatan :

- 1) ASTM *soil hydrometer* (151 H).
- 2) Kontainer.
- 3) Termometer.
- 4) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram.
- 5) Gelas silinder dengan kapasitas 1000 cc sebanyak 2 buah.
- 6) Cawan porselen (*mortar*).
- 7) Alat pengaduk suspensi.
- 8) *Stopwatch*.
- 9) *Mixer*.

b. Prosedur :

- 1) Mengayak sampel tanah menggunakan saringan No. 10 dan mengambilnya sebanyak 50 gram.
- 2) Menaruh sampel tanah ke dalam kontainer, menuangkan 125 cc larutan air dan reagent sebanyak 5 gram. Aduk hingga semua bahan tercampur.
- 3) Melakukan pemeraman tanah yang sudah tercampur selama 16 jam.
- 4) Menuangkan campuran ke dalam alat pencampur (*mixer*) dan mengaduk selama 15 menit.
- 5) Memindahkan campuran ke gelas ukur silinder, kemudian tambahkan air sehingga mencapai volume 1000 cm³.
- 6) Menutup dan mengocok gelas ukur secara bolak-balik sekitar 60 kali.

- 7) Melakukan pembacaan hidrometer pada T=2; T=5; T=15; T=30; T=60; T=250 dan T=1440.
- 8) Melakukan pembacaan suhu menggunakan termometer.
- 9) Menyediakan gelas ukur kedua yang hanya berisi air dan reagent.
- 10) Mengulangi prosedur (5), (6), dan (8) untuk gelas ukur silinder kedua.
- 11) Melakukan pembacaan hidrometer pada gelas ukur kedua.

d. Perhitungan :

$$d = K \frac{L}{T}$$

$$P = \frac{R_{cp} \times a}{W} \times 100$$

Keterangan :

d = Diameter butiran tanah (mm)

K = Konstanta (tabel 6 SNI 3423 2008)

L = Kedalaman efektif (mm)

T = Interval waktu (detik)

P = Persentase sisa tanah yang terurai (%)

R_{cp} = Koreksi pembacaan hidrometer

a = Konstanta (tabel 4 SNI 3423 2008)

W = Berat tanah (gram)

3.3.2 Pengujian Pemadatan *Standard Proctor Method*

Pengujian pemadatan *standard proctor method* bertujuan untuk menentukan kepadatan maksimum suatu jenis tanah melalui cara tumbukan. Dari hasil uji *standard proctor* didapatkan nilai berat volume kering maksimum (ρ_{dmax}) dan kadar air optimum (w_{opt}) yang selanjutnya akan digunakan pada uji CBR laboratorium. Pengujian berdasarkan ASTM D 698 dan SNI 1742 2008, dengan prosedur pengujian sebagai berikut :

a. Bahan :

- 1) Sampel tanah (*disturbed sample*).
- 2) Air bersih.

b. Peralatan :

- 1) Satu set *mold* standar.
- 2) *Hammer* berat 2,5 kg.
- 3) Pan segiempat.
- 4) Sendok pengaduk.
- 5) Palu karet.
- 6) Gelas ukur 1000 cc.
- 7) Pisau perata.
- 8) Saringan No. 4 (\emptyset 4,75 mm).
- 9) Timbangan kapasitas 1 kg dan 20 kg.
- 10) Kontainer.

11) *Extruder*.

12) Oli.

13) Oven.

c. Prosedur :

1) Menghamparkan sampel tanah hingga kering.

2) Mengayak tanah dengan saringan No.4 (\emptyset 4,75 mm).

3) Menimbang dan mengukur diameter serta tinggi *modal*.

4) Mengambil sampel tanah sebanyak 12,5 kg yang lolos saringan No.4 (\emptyset 4,75 mm), kemudian dibagi menjadi 5 bagian, masing-masing 2,5 kg.

5) Mengambil sebagian butiran tanah yang mewakili sampel untuk menentukan kadar air awal.

6) Mengambil sampel tanah sebesar 2,5 kg dan menambahkan air sedikit demi sedikit sambil diaduk sampai merata. Apabila campuran telah merata, tanah tidak hancur dan lengket ketika dikepalkan oleh tangan.

7) Mendapatkan berapa cc air yang ditambahkan untuk setiap 2,5 kg tanah, penambahan air dengan selisih 3%.

8) Mengolesi bagian dalam *modal* dengan oli hingga merata.

9) Membagi tanah kedalam 3 bagian, lalu masukkan bagian pertama kedalam *modal* dan tumbuk menggunakan *hammer* sebanyak 25 kali sampai merata. Dengan cara yang sama dilakukan untuk bagian kedua dan seterusnya.

- 10) Menimbang *mold* yang berisi sampel tanah yang telah dipadatkan.
- 11) Mengulangi prosedur (8) dan (9) untuk keempat sampel tanah berikutnya.
- 12) Mengeluarkan sampel tanah dari *mold* menggunakan *extruder*.
- 13) Mengambil dan menimbang sebagian sampel tanah hasil percobaan untuk uji kadar air. Kemudian masukkan ke dalam oven selama 24 jam.
- 14) Dari hasil uji *standard proctor* didapatkan nilai berat volume kering maksimum (d_{max}) dan kadar air optimum (W_{opt}).

3.3.3 Pengujian Pemadatan Modified Proctor Method

Pengujian pemadatan *modified proctor method* bertujuan untuk menentukan kepadatan maksimum suatu jenis tanah melalui cara tumbukan. Dari hasil uji *modified proctor* didapatkan nilai berat volume kering maksimum (d_{max}) dan kadar air optimum (w_{opt}) yang selanjutnya akan digunakan pada uji CBR laboratorium. Pengujian berdasarkan ASTM D 698 dan SNI 1742 2008, dengan prosedur pengujian sebagai berikut :

a. Bahan :

- 1) Sampel tanah (*disturbed sample*).
- 2) Air bersih.

b. Peralatan :

- 1) Satu set *mold*.
- 2) *Hammer* berat 4,5 kg.
- 3) Pan segiempat.
- 4) Sendok pengaduk.
- 5) Palu karet.
- 6) Gelas ukur 1000 cc.
- 7) Pisau perata.
- 8) Saringan No. 4 (\emptyset 4,75 mm).
- 9) Timbangan kapasitas 1 kg dan 20 kg.
- 10) Kontainer.
- 11) *Extruder*.
- 12) Oli.
- 13) Oven.

c. Prosedur :

- 1) Menghamparkan sampel tanah hingga kering.
- 2) Mengayak tanah dengan saringan No.4 (\emptyset 4,75 mm).
- 3) Menimbang dan mengukur diameter serta tinggi *mold*.
- 4) Mengambil sampel tanah sebanyak 12,5 kg yang lolos saringan No.4 (\emptyset 4,75 mm), kemudian dibagi menjadi 5 bagian, masing-masing sampel 2,5 kg.
- 5) Mengambil sebagian butiran tanah yang mewakili sampel untuk menentukan kadar air awal.

- 6) Mengambil sampel tanah sebesar 2,5 kg dan menambahkan air sedikit demi sedikit sambil diaduk sampai merata. Apabila campuran telah merata, tanah tidak hancur dan lengket ketika dikepalkan oleh tangan.
- 7) Mendapatkan berapa cc air yang ditambahkan untuk setiap 2,5 kg tanah, penambahan air dengan selisih 3%.
- 8) Mengolesi bagian dalam *mold* dengan oli hingga merata.
- 9) Membagi tanah kedalam 5 bagian, lalu masukkan bagian pertama kedalam *mold* dan tumbuk menggunakan *hammer* sebanyak 25 kali sampai merata. Dengan cara yang sama dilakukan untuk bagian kedua dan seterusnya.
- 10) Menimbang *mold* yang berisi sampel tanah yang telah dipadatkan.
- 11) Mengulangi prosedur (8) dan (9) untuk keempat sampel tanah berikutnya.
- 12) Mengeluarkan sampel tanah dari *mold* menggunakan *extruder*.
- 13) Mengambil dan menimbang sebagian sampel tanah hasil percobaan untuk uji kadar air. Kemudian masukkan ke dalam oven selama 24 jam.
- 14) Dari hasil uji *modified proctor* didapatkan nilai berat volume kering maksimum (γ_{dmax}) dan kadar air optimum (W_{opt}).

3.3.4 Pengujian CBR *Standard* Laboratorium

Dalam penelitian ini, pemadatan tanah dilakukan dengan dua metode yang berbeda, yaitu metode tumbukan dengan menggunakan *hammer* dan metode tekanan menggunakan alat uji tekan modifikasi. Hal ini dilakukan agar mendapatkan nilai CBR dari kedua metode. Apabila nilai yang didapatkan mendekati, maka kedepannya alat tekan modifikasi dapat terus digunakan sebagai alat pemadatan tanah untuk uji CBR di laboratorium, sehingga dapat menghemat waktu dan tenaga saat penelitian.

1. Pengujian CBR Laboratorium Metode Tumbukan

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan nilai CBR material tanah yang dipadatkan menggunakan *hammer* pada kadar air optimum (W_{opt}). Pengujian berdasarkan ASTM D 1883 dan SNI 1744 2012, dengan prosedur pengujian sebagai berikut :

- a. Bahan :
 - 1) Sampel tanah (*disturbed sample*).
 - 2) air bersih.
 - 3) Oli.
- b. Peralatan :
 - 1) Satu set *mold* CBR.
 - 2) *Hammer* seberat 2,5 kg.
 - 3) Pan persegi.

- 4) Sendok pengaduk.
- 5) Oli.
- 6) Kuas.
- 7) Palu karet.
- 8) Pisau perata.
- 9) Gelas ukur 1000 cc.
- 10) Timbangan (kapasitas 1 kg dan 20 kg).
- 11) Kontainer.
- 12) Saringan No.4 (\emptyset 4,75 mm).
- 13) Alat penetrasi CBR.
- 14) Oven.
- 15) Kain lap.
- 16) Kantong plastik.

c. Prosedur :

1. Menjemur sampel tanah hingga kering.
2. Mengayak tanah menggunakan saringan No. 4.
3. Mengambil sampel tanah yang telah lolos saringan No.4 sebanyak 15 kg dan membaginya menjadi 3 bagian, masing-masing bagian seberat 5 kg.
4. Mengambil sampel tanah seberat 5 kg kemudian tambahkan air sedikit demi sedikit sambil diaduk hingga merata. Jumlah air yang digunakan sesuai dengan kadar air optimum yang didapatkan dari pengujian pemadatan standar.

5. Memasukkan sampel tanah kedalam kantong plastik dan diamkan selam 24 jam, agar tanah dan air tercampur dengan merata.
6. Memasang satu set *mold* CBR, mengambil sampel tanah dari dalam plastik kemudian masukkan sampel tanah kedalam talam dan bagi tanah menjadi 3 bagian.
7. Masukkan bagian pertama sampel tanah kedalam *mold* kemudian tumbuk menggunakan *hammer* seperti pada pengujian pemadatan. Ulangi langkah tersebut untuk bagian kedua dan ketiga. Pada pengujian CBR laboratorium terdiri dari 3 sampel yang masing-masing sampel memiliki jumlah tumbukan yang berbeda yaitu 10, 25 dan 55 tumbukan.
8. Melepaskan *collar* kemudian meratakan tanah menggunakan pisau perata. Mengambil sedikit tanah yang tidak terpakai untuk pengujian kadar air.
9. Menimbang *mold* beserta tanah, kemudian melakukan pembacaan penetrasi menggunakan alat penetrasi CBR.
10. Meletakkan *mold* pada alat penetrasi CBR, mengatur posisi *dial* beban dan *dial* penetrasi pada posisi nol, melakukan penetrasi dengan memutar engkol secara konstan. Melakukan pembacaan *dial* beban dan *dial* penetrasi pada penetrasi 0,0125", 0,025", 0,05", 0,075", 0,1", 0,15", 0,2" , 0,3" , 0,4", dan 0,5".

11. Melakukan prosedur yang sama untuk masing-masing tumbukan.

3.3.5 Pengujian CBR *Modified* Laboratorium

1. Pengujian CBR *Modified* Laboratorium Metode Tumbukan

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan nilai CBR material tanah yang dipadatkan menggunakan *hammer* pada kadar air optimum (W_{opt}). Pengujian berdasarkan ASTM D 1883 dan SNI 1744 2012, dengan prosedur pengujian sebagai berikut :

a. Bahan :

- 1) Sampel tanah (*disturbed sample*).
- 2) air bersih.
- 3) Oli.

b. Peralatan :

- 1) Satu set *mold* CBR.
- 2) *Hammer* seberat 4,5 kg.
- 3) Pan persegi.
- 4) Sendok pengaduk.
- 5) Oli.
- 6) Kuas.
- 7) Palu karet.
- 8) Pisau perata.
- 9) Gelas ukur 1000 cc.

10) Timbangan (kapasitas 1 kg dan 20 kg).

11) Kontainer.

12) Saringan No.4 (\varnothing 4,75 mm).

13) Alat penetrasi CBR.

14) Oven.

15) Kain lap.

16) Kantong plastik.

c. Prosedur :

1. Menjemur sampel tanah hingga kering.
2. Mengayak tanah menggunakan saringan No. 4.
3. Mengambil sampel tanah yang telah lolos saringan No.4 sebanyak 15 kg dan membaginya menjadi 3 bagian, masing-masing bagian seberat 5 kg.
4. Mengambil sampel tanah seberat 5 kg kemudian tambahkan air sedikit demi sedikit sambil diaduk hingga merata. Jumlah air yang digunakan sesuai dengan kadar air optimum yang didapatkan dari pengujian pemadatan standar.
5. Memasukkan sampel tanah kedalam kantong plastik dan diamkan selam 24 jam, agar tanah dan air tercampur dengan merata.
6. Memasang satu set *mold* CBR, mengambil sampel tanah dari dalam plastik kemudian masukkan sampel tanah kedalam *mold* dan bagi tanah menjadi 5 bagian.

7. Masukkan bagian pertama sampel tanah kedalam *mold* kemudian tumbuk menggunakan *hammer* seperti pada pengujian pemadatan. Ulangi langkah tersebut untuk bagian selanjutnya. Pada pengujian CBR laboratorium terdiri dari 3 sampel yang masing-masing sampel memiliki jumlah tumbukan yang berbeda yaitu 10, 25 dan 55 tumbukan.
8. Melepaskan *collar* kemudian meratakan tanah menggunakan pisau perata. Mengambil sedikit tanah yang tidak terpakai untuk pengujian kadar air.
9. Menimbang *mold* beserta tanah, kemudian melakukan pembacaan penetrasi menggunakan alat penetrasi CBR.
10. Meletakkan *mold* pada alat penetrasi CBR, mengatur posisi *dial* beban dan *dial* penetrasi pada posisi nol, melakukan penetrasi dengan memutar engkol secara konstan. Melakukan pembacaan *dial* beban dan *dial* penetrasi pada penetrasi 0,0125", 0,025", 0,05", 0,075", 0,1", 0,15", 0,2" , 0,3" , 0,4", dan 0,5".
11. Melakukan prosedur yang sama untuk masing-masing tumbukan.

3.3.6 Perhitungan Energi Pemadatan

1. CBR *Standard Proctor*

a. Energi Pemadatan 10 Tumbukan

Energi yang dibutuhkan untuk pengujian pada pemadatan standar (Hardiyatmo, 2002) dirumuskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 E_{10} &= \frac{N b . N i . W . H}{V} \dots\dots\dots (1) \\
 &= \frac{10 (\text{tumbukan/lapis}) \times 3 (\text{lapisan}) \times 5,5 (\text{lb}) \times 1 (\text{ft})}{1/13,33 (\text{ft})^3} \\
 &= 2199,45 (\text{ft-lb/ft}^3) \\
 &= 105551,60 (\text{J/m}^3) \\
 &= 0,10 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Keterangan :

$$1 \text{ kg} = 2,2 \text{ lb}$$

$$1 \text{ m} = 3,3 \text{ ft}$$

$$1 \text{ ft-lb/ft}^3 = 47,99 \text{ J/m}^3$$

$$1 \text{ J/m}^3 = 10^{-6} \text{ MPa}$$

b. Energi Pemadatan 25 Tumbukan

$$\begin{aligned}
 E_{25} &= \frac{N b . N i . W . H}{V} \dots\dots\dots (2) \\
 &= \frac{25 (\text{tumbukan/lapis}) \times 3 (\text{lapisan}) \times 5,5 (\text{lb}) \times 1 (\text{ft})}{1/13,33 (\text{ft})^3}
 \end{aligned}$$

$$= 5498,62 \text{ (ft-lb/ft}^3\text{)}$$

$$= 263879,01 \text{ (J/m}^3\text{)}$$

$$= 0,26 \text{ MPa}$$

c. Energi Pemadatan 55 Tumbukan

$$E_{55} = \frac{N b . N i . W . H}{V} \dots\dots\dots (3)$$

$$= \frac{55 \text{ (tumbukan/lapis)} \times 3 \text{ (lapisan)} \times 5,5 \text{ (lb)} \times 1 \text{ (ft)}}{1/13,33 \text{ (ft)}^3}$$

$$= 12096,97 \text{ (ft-lb/ft}^3\text{)}$$

$$= 580533,83 \text{ (J/m}^3\text{)}$$

$$= 0,58 \text{ MPa}$$

2. CBR *Modified Proctor*

a. Energi Pemadatan 10 Tumbukan

Energi yang dibutuhkan untuk pengujian pada pemadatan standar (Hardiyatmo, 2002) dirumuskan sebagai berikut :

$$E_{10} = \frac{N b . N i . W . H}{V} \dots\dots\dots (4)$$

$$= \frac{10 \text{ (tumbukan/lapis)} \times 5 \text{ (lapisan)} \times 10 \text{ (lb)} \times 1,5 \text{ (ft)}}{1/13,33 \text{ (ft)}^3}$$

$$= 9997,5 \text{ (ft-lb/ft}^3\text{)}$$

$$= 479780,02 \text{ (J/m}^3\text{)}$$

$$= 0,47 \text{ MPa}$$

b. Energi Pemadatan 25 Tumbukan

$$\begin{aligned}
 E_{25} &= \frac{Nb.Ni.W.H}{V} \dots\dots\dots (5) \\
 &= \frac{25(\text{tumbukan/lapis}) \times 3(\text{lapisan}) \times 10(\text{lb}) \times 1,5(\text{ft})}{1/13,33(\text{ft})^3} \\
 &= 24993,75 (\text{ft-lb/ft}^3) \\
 &= 1199450,06 (\text{J/m}^3) \\
 &= 1,19 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

c. Energi Pemadatan 55 Tumbukan

$$\begin{aligned}
 E_{55} &= \frac{Nb.Ni.W.H}{V} \dots\dots\dots (6) \\
 &= \frac{55(\text{tumbukan/lapis}) \times 3(\text{lapisan}) \times 10(\text{lb}) \times 1,5(\text{ft})}{1/13,33(\text{ft})^3} \\
 &= 54986,25 (\text{ft-lb/ft}^3) \\
 &= 2638790,13 (\text{J/m}^3) \\
 &= 2,63 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Berikut ini merupakan sampel tanah yang dibutuhkan pada penelitian pengujian CBR laboratorium *standard* dan CBR laboratorium *modified* dengan menggunakan metode tekanan berdasarkan energi tekanan. Adapun jumlah sampel yang dilakukan terdapat pada tabel 6 dan tabel 7 sebagai berikut:

Tabel 4. Jumlah Sampel Penelitian (*Standard Proctor*)

No Sampel	Tekanan (MPa)	Jumlah
1	0,05	1
2	0,1	1
3	0,21	1
4	0,13	1
5	0,26	1
6	0,52	1
7	0,29	1
8	0,58	1
9	1,16	1
	Total	9

Tabel 5. Jumlah Sampel Penelitian (*Modified Proctor*)

No Sampel	Tekanan (MPa)	Jumlah
1	0,23	1
2	0,47	1
3	0,95	1
4	0,59	1
5	1,19	1
6	2,39	1
7	1,31	1
8	2,63	1
9	5,27	1
	Total	9

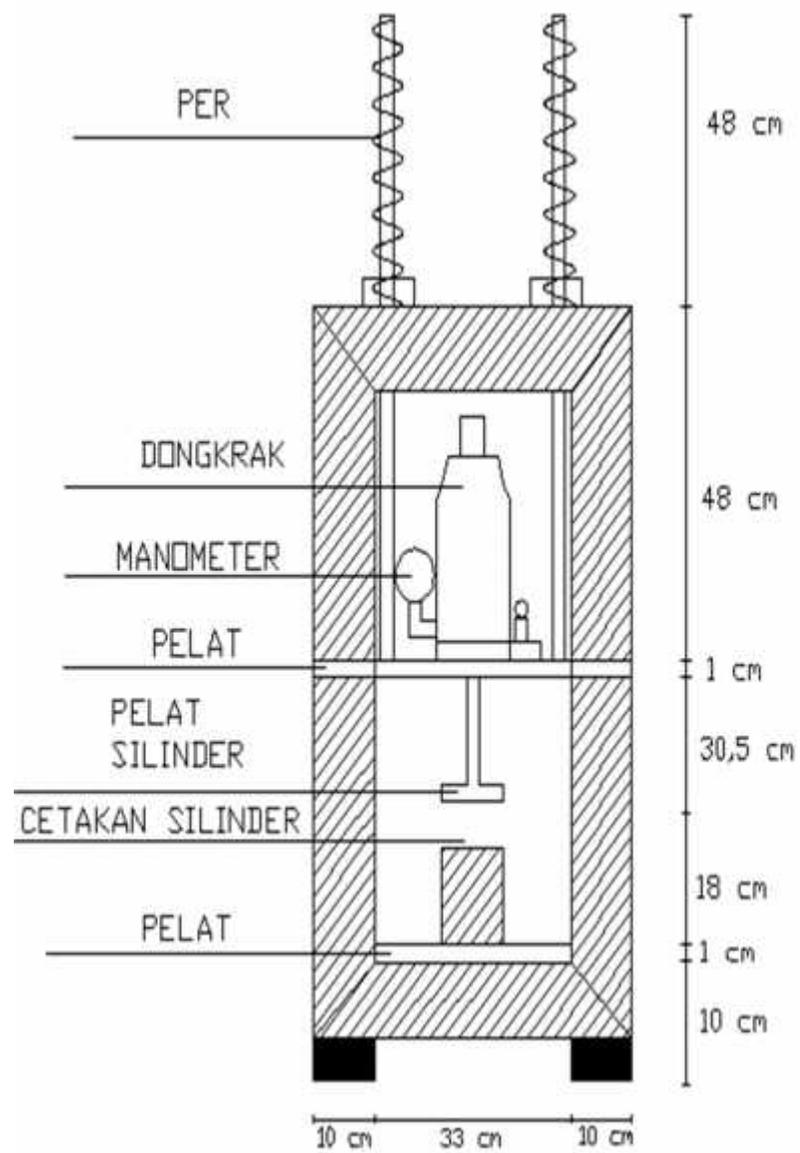
Berdasarkan dalam tabel 6 dan tabel 7 dapat disimpulkan untuk sampel pengujian CBR *standard* dengan menggunakan metode tekanan berdasarkan energi pemadatan menggunakan 9 sampel benda uji dengan tekanan yang berbeda-beda. Dan untuk sampel pengujian CBR *modified* metode tekanan berdasarkan energi pemadatan menggunakan 9 sampel benda uji dengan tekanan yang berbeda-beda.

3.3.7 Alat Uji Tekan CBR Laboratorium Berdasarkan Metode Tekanan

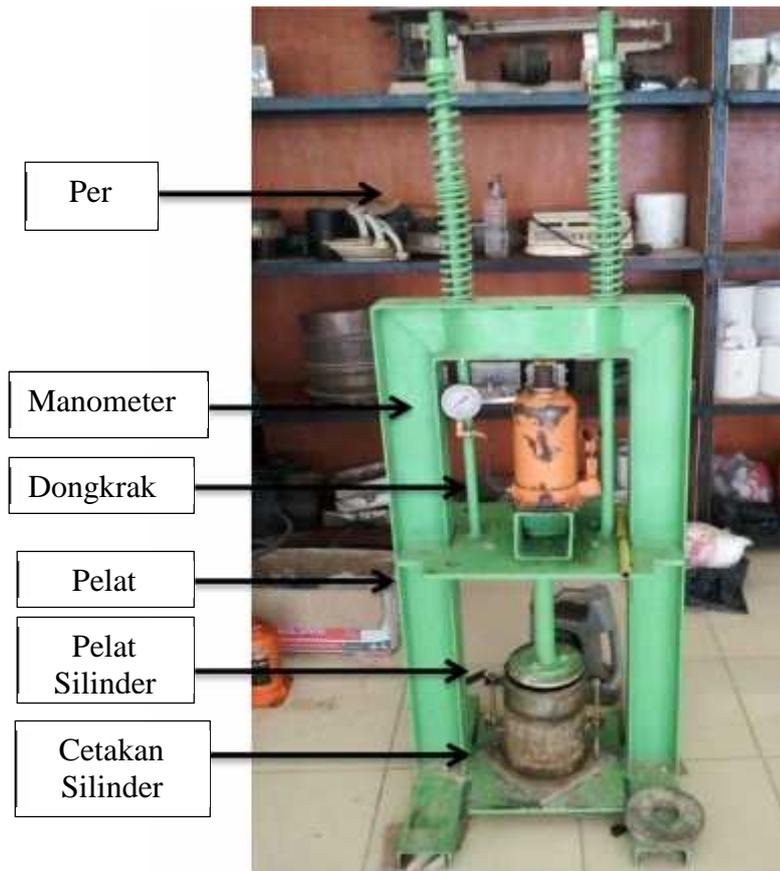
4

Alat uji tekan modifikasi CBR laboratorium dibuat dengan memodifikasi sebuah dongkrak yang memiliki kuat tekan yang tinggi. Dengan menggunakan sistem hidrolis secara manual menggunakan dial untuk mengukur tekanan yang diberikan pada saat mengalami tekanan. Cetakan yang akan digunakan yaitu silinder (*mold*) dengan diameter 15,24 cm dan tinggi 17,8 cm.

Cara kerja dari alat tekan pemadat modifikasi adalah dengan memompa dongkrak, sehingga pelat yang ada tepat berada di bawah dongkrak akan turun. Saat dongkrak dipompa, pelat silinder turun dan menekan tanah yang berada di dalam cetakan. Pada saat tanah di padatkan maka manometer akan bergerak sehingga kita dapat mengetahui besaran tekanan yang kita butuhkan berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan. Berikut merupakan sketsa alat uji tekan modifikasi CBR laboratorium :



Gambar 9. Alat Uji Tekan CBR Laboratorium Berdasarkan Metode Tekanan



Gambar 10. Alat Tekan Pematik Modifikasi

Berikut merupakan prosedur dalam pengujian CBR metode tekanan :

- 1) Mengulangi langkah (1) sampai (6) pada pengujian CBR metode tumbukan.
- 2) Masukkan bagian pertama sampel tanah ke dalam *mold*, kemudian sampel ditekan untuk pengujian CBR *standard* menggunakan tekanan 0,10 MPa. Ulangi langkah tersebut untuk bagian kedua (tekanan 0,26 MPa) dan ketiga (0,58 MPa). Pada pengujian CBR *standard* metode tekanan menggunakan alat uji tekan modifikasi digunakan tiga tekanan yaitu 0,10 MPa, 0,26 MPa dan 0,58 MPa.

Sedangkan pada pengujian CBR *modified* metode tekanan menggunakan alat uji tekan modifikasi menggunakan tiga sampel yaitu 0,47 MPa, 1,99 MPa dan 2,63 MPa. Dimana masing-masing tekanan dibagi lagi menjadi tiga agar mendapatkan nilai CBR rata-rata.

- 3) Mengulangi langkah (8) sampai (10) pada pengujian CBR metode tumbukan.
- 4) Mengulangi prosedur-prosedur diatas untuk sampel selanjutnya untuk tekanan 0,26 MPa dan 0,58 MPa.

Pada pengujian ini akan didapatkan nilai CBR tanah, yang selanjutnya nilai CBR ini akan dibandingkan dengan nilai CBR yang didapatkan dari uji CBR metode tumbukan.

Berikut ini merupakan fungsi dari setiap elemen yang terdapat pada alat uji tekan modifikasi. Adapun fungsinya adalah sebagai berikut :

1. Per berfungsi untuk menahan beban yang diterima dari dongkrak pada saat proses pemadatan tanah.
2. Dongkrak berfungsi untuk memberikan gaya tekanan pada sampel tanah di dalam cetakan silinder (*mold*).
3. Manometer berfungsi untuk mengetahui besarnya tekanan yang diterima oleh sampel tanah pada saat proses pemadatan tanah.

4. Pelat silinder berfungsi untuk meneruskan gaya tekanan yang diberikan oleh dongkrak kepada sampel tanah di dalam cetakan silinder (*modal*).
5. Cetakan silinder (*modal*) berfungsi sebagai wadah sampel tanah yang akan diuji.
6. Pelat berfungsi sebagai alas dudukan dongkrak dan cetakan silinder (*modal*).

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Lampung, tanah timbunan yang berasal dari Tirtayasa, Kec. Sukabumi, Bandar Lampung memperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Sampel tanah yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO digolongkan pada kelompok tanah A-2-7 (pasir berlanau) dan klasifikasi berdasarkan USCS tanah tersebut digolongkan kedalam kelompok SC yaitu tanah pasir berlanau.
2. Nilai kadar air (w) dan berat volume kering (d) pada kondisi optimum berbanding terbalik. Semakin besar nilai berat volume kering (d) dan nilai (zav), semakin menurun nilai kadar air (w).
3. Pada hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar tekanan yang diberikan pada sampel tanah, maka berat volume kering dan nilai CBR yang dihasilkan akan semakin meningkat.
4. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan nilai CBR *standard* dan CBR *modified* metode tumbukan di laboratorium lebih tinggi dibandingkan dengan pengujian CBR berdasarkan energi pemadatan menggunakan alat tekan modifikasi.
5. Berdasarkan hasil pengujian nilai CBR *Standard* lebih rendah dibandingkan nilai CBR *Modified* untuk metode tekanan maupun metode tumbukan.

B. Saran

Untuk penelitian selanjutnya mengenai perbandingan uji CBR metode tumbukan menggunakan *hammer* dengan uji CBR metode tekanan menggunakan alat uji tekan modifikasi, disarankan beberapa hal dibawah ini untuk dipertimbangkan:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk jenis tanah yang berbeda serta dengan tekanan yang lebih detail.
2. Peneliti sebaiknya lebih teliti saat melakukan pemadatan sampel tanah menggunakan *hammer*, agar pada saat penumbukan menghasilkan kepadatan tanah yang merata antara sisi satu dan yang lainnya.
3. Peneliti sebaiknya melakukan pengecekan terhadap kondisi alat atau mesin sebelum pengujian-pengujian dilaboratorium dimulai.
4. Peneliti harus lebih memperhatikan keselarasan perlakuan tanah antara satu dengan yang lainnya agar nilai kadar air yang didapatkan sama.

DAFTAR PUSTAKA

- Bina Marga, Direktorat Jendral. *Spesifikasi Umum 2010*. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Craig, R.F., 1994, "*Mekanika Tanah*". Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Das, Braja M, 1993, *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis), Jilid I*, Erlangga, Jakarta.
- Das, Braja. M. 1995, *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid II*, Erlangga. Jakarta.
- Dermawan, Herwan. 2010, *Uji California Bearing Ratio(CBR) ASTM D1883*. Bandung. Universitas Pendidikan Indonesia.
- Hardiyatmo, H.C. 2002. "*Mekanika Tanah 1*", Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Novalia, A. 2017. "*Studi Eksperimen Derajat Kepadatan Tanah Standard Proctor Laboratorium Terhadap Alat Tekan Pematik Modifikasi Menggunakan Tanah Timbunan Pilihan*". Skripsi. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Soedarmo, G. D. & Purnomo, S. J. E. 1997. *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta. SNI 03-1744-1989. 1989. *Metode Pengujian CBR Laboratorium*. Badan Standarisasi Nasional. Bandung
- SNI 03-3637-1994. 1994. *Metode pengujian berat isi tanah berbutir halus dengan cetakan benda uji*. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga. Bandung
- SNI 1743-2008. 2008. *Cara Uji Kepadatan Berat untuk Tanah*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1964-2008. 2008. *Cara Uji Berat Jenis Tanah*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1965-2008. 2008. *Cara Uji Penentuan Kadar Air Untuk Tanah dan Batuan di Laboratorium*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

- SNI 1966-2008. 2008. *Cara Uji Penentuan Batas Plastis dan Indeks Plastisitas Tanah*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1967-2008. 2008. *Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 3423-2008. 2008. *Cara Uji Analisis Ukuran Butir Tanah*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Soedarmo, G. D, Purnomo, S. J. E. 1997. *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta.
- Surendro, Bambang. 2014. *Mekanika Tanah - Teori, Soal, dan Penyelesaian*. Andi Offset. Yogyakarta
- Ulfa, S.Z., 2017. “*Studi Konversi Energi Pematatan Tanah dengan Modified Proctor Method untuk Tanah Pasir Berlempung*”. Skripsi. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Universitas Lampung. 2018. *Pedoman Penulisan Karya Ilmiah Universitas Lampung*. Unila Offset. Bandar Lampung.