

## **Hubungan Pengujian Cbr Metode Tumbukan Dengan Alat Uji Cbr Metode Tekanan Berdasarkan Uji Pemadatan Standard**

**Devrisvansyah Irwan**<sup>1)</sup>

**Andius Dasa Putra**<sup>2)</sup>

**Aminudin Syah**<sup>3)</sup>

**Iswan**<sup>4)</sup>

### **Abstract**

*The importance of soil as construction material needs to be considered carefully. With various soil conditions, a physical test is required to discover the characteristics of the soil and California Bearing Ratio (CBR) test in a laboratory to determine the bearing capacity of the basic land (subgrade). This research was conducted to assess the suitability of the CBR test value with two different compaction tools.*

*The results of the CBR test with the collision method without immersion resulted in the design CBR value of 7.7% and the CBR value of the immersion sample of 3.6%. Meanwhile, the CBR test using a pressure modification device, the CBR values obtained in the samples not immersed at a pressure of 3 MPa, 6 MPa, 9 MPa, and 12 MPa, were 4.2%, 6.8%, 9.8%, and 11.4%. The CBR values for the immersion samples were 2.95%, 4.2%, 4.45%, and 4.56%. The results obtained from the design CBR value of the pressure method with a pressure of 6MPa which is closest to the collision CBR value with a difference of 0.9% for no immersion and 0.6% for immersion. The assumption that the difference between the two methods is due to the compaction energy of 6 MPa strength is not the same as the energy produced from the use of hammer energy according to ASTM D 698, Test Method for Laboratory Compaction Characteristics.*

**Keywords :** *Standard Proctor, Modified Pressure Tool, California Bearing Ratio (CBR).*

### **Abstrak**

Tanah merupakan salah satu material utama yang harus diperhatikan dalam suatu konstruksi pembangunan. Dengan kondisi tanah yang beragam, maka diperlukan proses uji fisik untuk mengetahui karakteristik tanah dan pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) laboratorium untuk mengetahui daya dukung tanah dasar. Penelitian ini dilakukan untuk menilai kesesuaian dan keakuratan hasil nilai yang didapatkan dari uji CBR menggunakan dua alat pemadat yang berbeda.

Hasil pengujian CBR metode tumbukan tanpa rendaman menghasilkan nilai CBR desain sebesar 7,7% dan nilai CBR pada sampel rendaman sebesar 3,6%. Sementara itu uji CBR menggunakan alat modifikasi metode tekanan, nilai CBR yang didapat pada sampel tidak direndam pada tekanan 3 MPa, 6 MPa, 9 MPa, dan 12 MPa, masing-masing bernilai 4,2%, 6,8%, 9,8%, dan 11,4%. Dengan nilai CBR sampel rendamannya yaitu 2,95%, 4,2%, 4,45%, dan 4,56%. Didapatkan nilai CBR desain metode tekanan dengan tekanan 6MPa yang paling mendekati nilai CBR tumbukan dengan selisih 0,9% untuk tanpa rendaman dan 0,6% untuk rendaman. Asumsi terjadinya perbedaan pada kedua metode tersebut ialah karena energi pemadatan yang dihasilkan dari kekuatan 6 MPa tidak sama dengan energi yang dihasilkan dari penyaluran energi menggunakan *hammer* sesuai ASTM D 698, *Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics*

**Kata kunci :** *Standard Proctor, Alat Tekan Pemadat Modifikasi, California Bearing Ratio (CBR).*

<sup>1)</sup> Mahasiswa S1 pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Surel: devrisinvans@gmail.com

<sup>2)</sup> Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 . Gedung Meneng Bandar Lampung. 35145.

<sup>3)</sup> Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro no. 1. Gedung Meneng Bandar Lampung. 35145.

<sup>4)</sup> Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro no. 1. Gedung Meneng Bandar Lampung. 35145.

## **I. PENDAHULUAN**

Jalan adalah salah satu prasarana yang penting dalam memenuhi kebutuhan untuk transportasi dan pembangunan nasional. Pada pembangunan dan peningkatan prasarana jalan di Indonesia, lebih dari setengahnya terletak di atas tanah sulit yang memerlukan perbaikan sebelum digunakan sebagai fondasi konstruksinya (Tanzil, 1991).

Pada konstruksi jalan, tanah dasar merupakan lapisan tanah yang akan menerima beban dari lapisan-lapisan perkerasan yang ada di atasnya, yang juga merupakan bagian terakhir yang menerima distribusi beban dari lapisan permukaan (Chairullah, 2011). Oleh karena itu tanah dasar mempunyai andil yang sangat penting dikarenakan lapisan konstruksi perkerasan jalan bergantung pada sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar tersebut.

(Bowles 1984) menyatakan bahwa jika tanah dalam kondisi sangat lepas, mudah tertekan, permeabilitas yang terlalu tinggi, atau sifat lain yang tidak diinginkan untuk suatu proyek pembangunan, maka tanah harus distabilisasi. Salah satu metode stabilisasi tanah yaitu dengan pemadatan tanah. Pemadatan tanah merupakan proses naiknya kerapatan tanah dengan memperkecil jarak antar partikel sehingga terjadi reduksi volume udara (Prihatono, 2011). Untuk memadatkan tanah ada beberapa metode yang dapat digunakan, yaitu dengan mesin penggilas untuk di lapangan dan pemadatan yang dilakukan di laboratorium.

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi memberi dampak kepada pengembangan metode pemadatan timbunan tanah pilihan, pengujian pemadatan tanah di laboratorium turut mengalami kemajuan dengan tujuan menciptakan suatu metode yang dapat memberikan kemudahan bagi para penggunanya. Diperlukan pengujian daya dukung tanah dasar (*subgrade*) dengan uji *California Bearing Ratio* (CBR) agar hasil dari penemuan metode tersebut akurat. *California Bearing Ratio* (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 (Putra, 2017). Pengujian CBR dilakukan untuk mengevaluasi potensi kekuatan material lapis tanah dasar, pondasi, dan juga material yang didaur ulang untuk kepentingan konstruksi perkerasan jalan dan lapangan terbang.

Oleh karena itu, agar dapat mengetahui daya dukung tanah dan kesesuaian alat uji tersebut, didalam penelitian ini akan dilakukan pengujian pemadatan tanah dengan menggunakan alat standar tumbukan menggunakan *hammer* dan dengan alat modifikasi untuk metode tekanan yang dilakukan di laboratorium.

## **II. TINJAUAN PUSTAKA**

Tanah merupakan benda alami yang dapat dengan mudah ditemukan di permukaan bumi yang terwujud dari hasil pencampuran bahan-bahan mineral di lingkungan sekitarnya. Terjadinya proses penghancuran secara fisis dan kimiawi membuat tanah memiliki perbedaan dalam wujud struktur dan sifat tanahnya. Menurut (Verhoef 1994), tanah dibagi menjadi tiga kelompok yaitu tanah berbutir kasar (pasir, kerikil), tanah berbutir halus (lanau, lempung), dan tanah campuran. Perbedaan antara pasir dan kerikil dengan lanau atau lempung, dapat dilihat dari sifat material tersebut. Tanah dapat diklasifikasikan secara umum sebagai tanah tidak kohesif dan tanah kohesif, atau tanah berbutir kasar dan berbutir halus (Bowles 1984).

Klasifikasi tanah adalah suatu sistem informasi pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda namun mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok dan subkelompok berdasarkan penggunaannya (Das 1995). Menurut (Bowles 1991), klasifikasi tanah bertujuan sebagai sumber informasi mengenai keadaan tanah dari suatu daerah yang ditinjau ke dalam bentuk data dasar seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi, dan sebagainya. Dalam penelitian ini menggunakan sistem klasifikasi AASTHO dan USCS.

Daya dukung tanah adalah kekuatan tanah untuk menahan suatu beban yang ada di atasnya. Banyaknya jumlah air, kohesi tanah, dan tegangan normal tanah dapat mempengaruhi daya dukung tanah. Dalam menentukan nilai daya dukung tanah, pada penelitian ini menggunakan uji CBR (*California Bearing Ratio*) yang akan dilaksanakan di laboratorium menggunakan dua alat pemadat yang berbeda yaitu dengan *Standard proctor* dan alat tekan pemadat modifikasi.

Pengujian CBR merupakan uji untuk membandingkan antara beban penetrasi suatu beban standar dengan kedalaman penetrasi dan kecepatan yang sama. CBR desain juga dapat ditentukan melalui pengujian CBR, yaitu dengan menggunakan kurva hubungan antara CBR dan densitas kering dari setiap benda uji. Penentuan nilai CBR pada pengujian CBR di laboratorium adalah pada penetrasi 0,1" dan penetrasi 0,2". Dengan rumus perhitungan dapat dilihat sebagai berikut:

$$\% \text{ CBR pada penetrasi } 0,1" = \frac{\text{beban terkoreksi}}{3000} \times 100\% \quad (1)$$

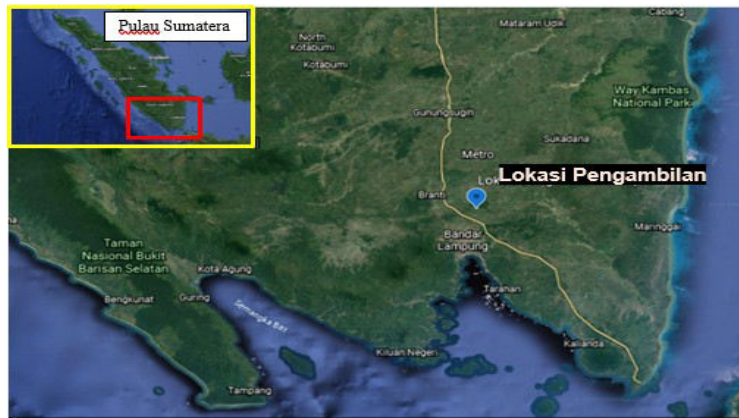
$$\% \text{ CBR pada penetrasi } 0,2" = \frac{\text{beban terkoreksi}}{4500} \times 100\% \quad (2)$$

Adapun rumus kepadatan kering desain adalah sebagai berikut:

$$\text{kepadatan kering desain} = 95\% \text{ kepadatan kering maksimum} \quad (3)$$

### III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini merupakan tanah yang berasal dari daerah Desa Marga Kaya, Kecamatan Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung. Diambil tanah dalam kondisi tak terganggu (*undisturbed*) dan tanah terganggu (*disturbed*).



Gambar 1. Lokasi Peta Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian ini peralatan yang digunakan adalah alat uji kadar air, alat uji berat volume, alat uji berat jenis, alat uji batas *Atterberg*, alat uji analisa saringan, alat uji pemadatan tanah *Standard proctor*, alat uji pemadat tekan modifikasi, dan alat uji CBR.

Adapun prosedur penelitian yang akan dilakukan pada penelitian akan dijelaskan sebagai berikut:

1. Studi Literatur

2. Persiapan Bahan dan Peralatan Penelitian

3. Pengujian Fisik Tanah: Pengujian menggunakan tanah tak terganggu khusus untuk pengujian kadar air, uji berat volume, dan uji analisa saringan. Pengujian menggunakan tanah terganggu yang lolos pada saringan no.200 digunakan untuk pengujian berat jenis, dan uji batas *Atterberg*. Uji batas *Atterberg* terdiri dari uji batas plastis dan uji batas cair untuk menentukan kelompok jenis tanah yang sedang dipakai.

4. Pengecekan Jenis dan Sifat Tanah: Setelah pengujian fisik tanah maka tanah perlu diklasifikasikan berdasarkan sistem AASTHO dan USCS. Jika tanah yang diuji bukan termasuk jenis tanah yang diinginkan, maka perlu dilakukan kembali pengujian fisik menggunakan sampel tanah dengan lokasi yang berbeda.

5. Menentukan Kadar Air Optimum (KAO) dengan Cara Pemadatan: Pada tahapan ini, penentuan kadar air optimum didapatkan dengan cara uji pemadatan menggunakan *Standard proctor* dengan lima buah sampel yang berbeda. Bila memakai metode standar, pemadatan dilakukan dengan membagi tanah sebanyak tiga lapisan. Lalu masing-masing lapisan ditumbuk sebanyak 25 tumbukan/lapis. Penambahan air dilakukan dengan rentang kadar air 1-2%

6. Pembuatan Benda Uji untuk Pengujian CBR Laboratorium dengan *Standard Proctor*: Pembuatan benda uji dilakukan di mold khusus untuk pengujian CBR dengan kapasitas 2,5 kg. Pemadatan dengan alat *Standard proctor* dibuat 3 sampel berbeda dengan perbedaan jumlah tumbukan yaitu 10, 25, dan 55 tumbukan/lapis. Dengan pembagian 3 lapisan setiap satu sampel tanah yang diuji. Pembuatan benda uji pemadatan dengan *standard proctor* dibagi menjadi benda uji yang direndam dan sampel tanpa rendaman.

7. Pembuatan Benda Uji untuk Pengujian CBR Laboratorium dengan Alat Tekan Modifikasi: Pembuatan benda uji dicetak pada *mold* dengan kapasitas 2,5 kg. Tekanan yang digunakan yaitu 3 Mpa, 6 Mpa, 9 Mpa, dan 12 Mpa. Satu sampel dibagi menjadi tiga lapisan, pada setiap lapisannya tanah dipadatkan dengan tekanan tertentu. Pembuatan benda uji pemadatan dengan alat tekan modifikasi dibagi menjadi benda uji yang direndam dan benda uji tanpa rendaman.

8. Pengujian Uji CBR Laboratorium tanpa rendaman: Setelah pemadatan pada sampel benda uji selesai, maka benda uji dapat segera diuji menggunakan alat CBR. Mengatur posisi *dial* beban dan *dial* penetrasi pada posisi nol sebelum melakukan pengujian. Pembacaan *dial* diperlukan ketelitian dalam melihat *dial* penurunan dan beban pada alat uji dengan pemberian kecepatan memutar engkol secara konstan. Dibutuhkan pengambilan sebagian tanah untuk pemeriksaan kadar air.

9. Pengujian Uji CBR Laboratorium dengan rendaman: Sebelum melakukan pengujian CBR, setelah tanah selesai dipadatkan maka dilanjutkan perendaman selama 4 hari (96 jam). Di dalam *collar mold* dimasukkan keping beban seperti yang diacu pada SNI 1744:2012. Selama perendaman, pertahankan permukaan air di dalam cetakan dan bak perendam sekitar 25 mm diatas permukaan benda uji. Setelah 4 hari, benda uji dikeluarkan air yang masuk kedalam *mold* dengan cara dimiringkan kemudian didiamkan selama 15 menit. Kemudian sampel siap untuk pengujian CBR yaitu dengan pembacaan *dial* penetrasi dan beban pada alat uji.

10. Analisis dan Hasil Pengolahan Data: Analisis data dilakukan untuk mengolah data yang telah diperoleh dari hasil penelitian. Hasil pengolahan data akan diuraikan dalam bentuk grafik berupa hubungan antara nilai CBR dengan berat volume kering. Dan membuat grafik berupa hubungan antara nilai CBR dengan berat volume kering. Dan membuat grafik hubungan untuk membandingkan dua alat pemadat yang berbeda yaitu ketika memakai *Standard proctor* dan ketika menggunakan alat tekan modifikasi pada tekanan 3 Mpa, 6 Mpa, 9 Mpa, dan 12 Mpa.

#### **IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

##### **4.1. Pengujian Fisik**

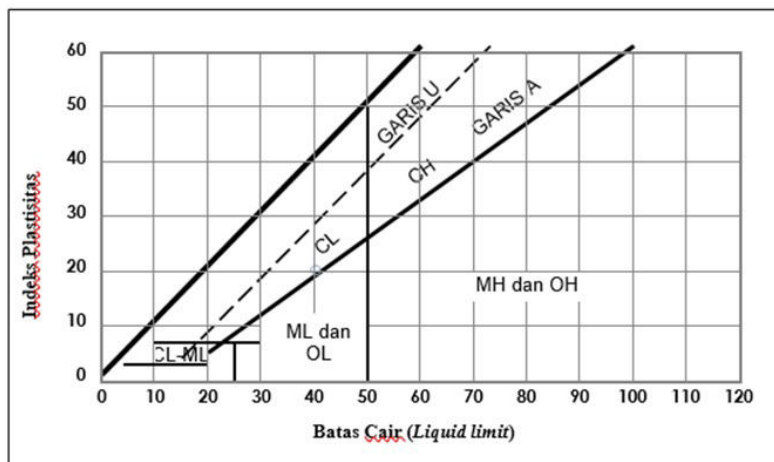
Tanah yang digunakan adalah tanah tak terganggu (*undisturbed*) dan tanah terganggu (*disturbed*) yang meliputi lima tahap pengujian sebelum pengecekan klasifikasi tanah. Lima pengujian itu yaitu pengujian kadar air, uji berat volume, uji berat jenis, dan uji batas *Atterberg*. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Pengujian sifat fisik sampel

| No | Jenis Pengujian            | Metode Uji    | Hasil  |
|----|----------------------------|---------------|--------|
| 1  | Kadar air (%)              | SNI 1965-2008 | 10,38% |
| 2  | Berat Volume               | SNI 1964-2008 | 1,4709 |
| 3  | Berat Jenis                | SNI 1973-2008 | 2,5812 |
| 4  | Batas Atterberg:           |               |        |
|    | a. Batas Cair (LL)         | SNI 1967-2008 | 40,02% |
|    | b. Batas Plastis (PL)      |               | 22,87% |
|    | c. Indeks Plastisitas (PI) |               | 17,15% |
| 5  | Analisa Saringan           | SNI 3423-2008 |        |
|    | a. Lolos saringan no.4     |               | 99,76% |
|    | b. Lolos saringan no.200   |               | 83,86% |

#### 4.2. Klasifikasi Sampel Tanah

Setelah melihat hasil dari pengujian sifat fisik seperti yang ditampilkan pada Tabel 1, dapat diidentifikasi dan mengklasifikasikan tanah berdasarkan golongannya. menurut *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) dengan data hasil uji batas Atterberg yang didapat yaitu batas cair (LL) sebesar 40,02%, batas plastis (PL) yaitu sebesar 22,87%, dan indeks plastisitas (PI) sebesar 17,15%, maka tanah dari Desa Marga Kaya, Lampung Selatan, digolongkan sebagai kelompok tanah A-6 dengan jenis tanah lempung

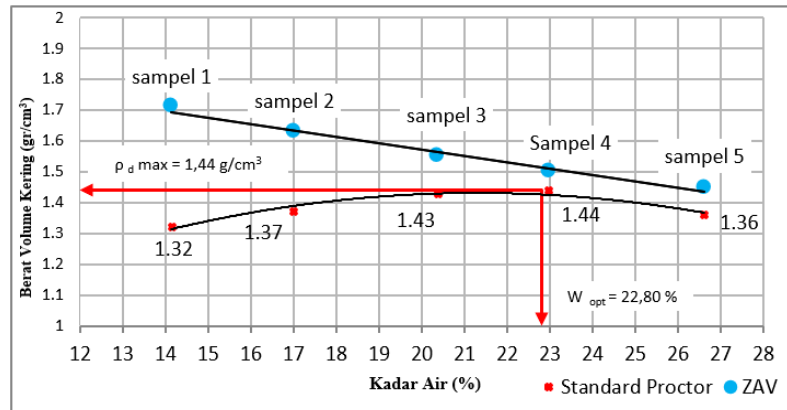


Gambar 2. Diagram Plastisitas.

Berdasarkan dari Gambar 2 yang menunjukkan sampel tanah masuk kedalam klasifikasi CL atau tanah lempung anorganik. Dimana tanah berbutir halus dengan batas cair kurang atau sama dengan 50% berplastisitas sedang sampai tinggi. Nilai indeks plastisitas (PI) sebesar 17,15% dalam buku Hardiyatmo, bahwa dengan nilai  $PI > 17$  memiliki sifat tanah dengan plastisitas tinggi dan jenis tanah berlempung kohesif sebagian.

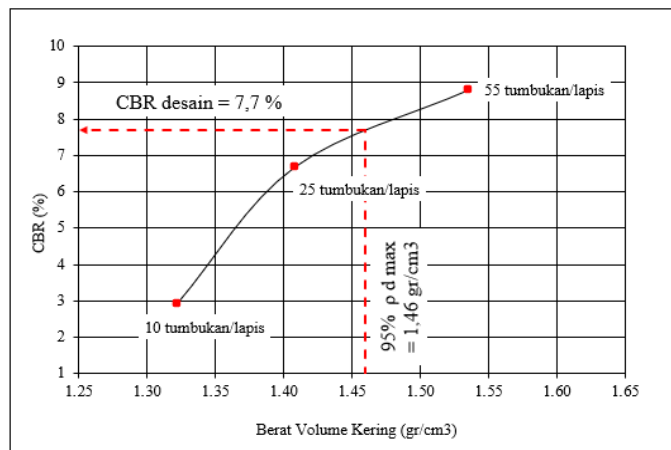
### 4.3. Pengujian Pemadatan Tanah

Pemadatan dengan *Standard Proctor* pada Gambar 3 dibawah ini mendapatkan hasil nilai berat volume kering maksimum sebesar 1,44 gr/cm<sup>3</sup> dan nilai Kadar Air Optimum 22,80%.



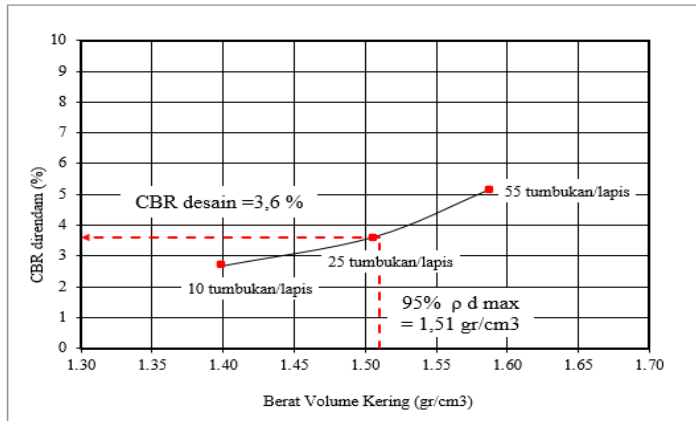
Gambar 3. Grafik Hubungan Berat Volume Kering dengan Kadar Air *Standard Proctor*.

Selanjutnya dilakukan pengujian CBR metode tumbukan tanpa rendaman dapat dilihat pada Gambar 4 nilai berat volume kering optimum didapatkan sebesar 1,46 gr/cm<sup>3</sup> dan nilai CBR sebesar 7,7%



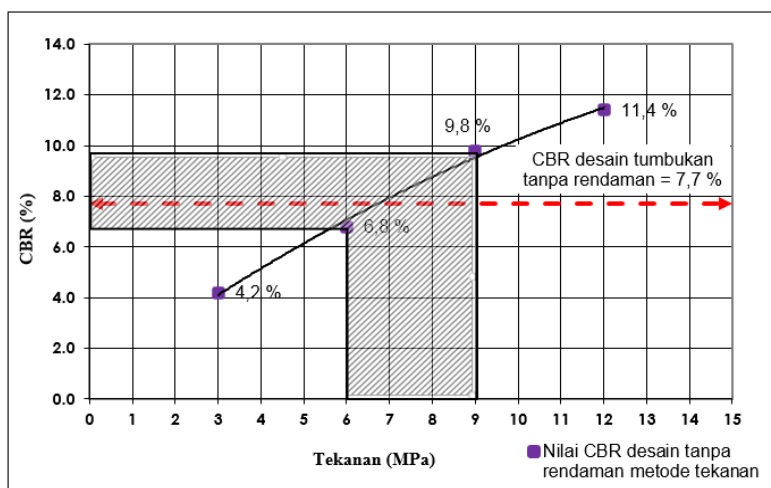
Gambar 4. Hubungan Nilai CBR Tanpa Rendaman Metode Tumbukan dengan Berat Volume Kering.

CBR Metode Tumbukan Rendaman pada Gambar 5 menunjukkan nilai berat volume kering optimum sebesar 1,46 gr/cm<sup>3</sup> dan didapat nilai CBR sebesar 7,7%



Gambar 5. Hubungan Nilai CBR Rendaman Metode Tumbukan dengan Berat Volume Kering.

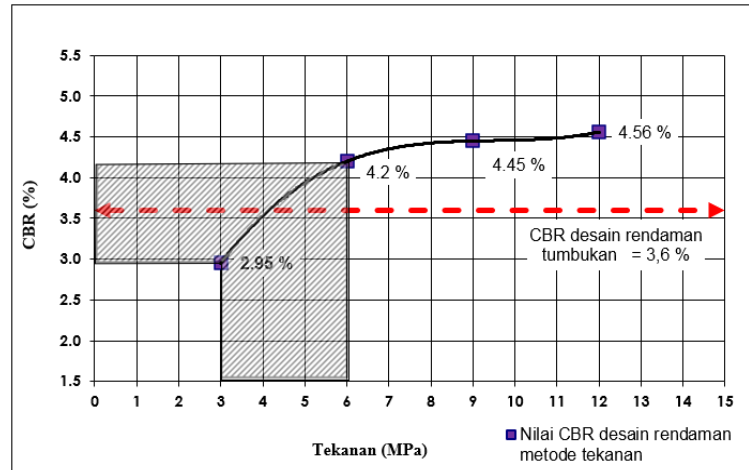
Setelah itu dilanjutkan dengan pemadatan CBR alat tekan tanpa rendaman pada tekanan 3 Mpa, 6 Mpa, 9 Mpa, dan 12 Mpa. Masing-masing tekanan dibuat dan diuji sebanyak dua sampel percobaan, Gambar dibawah ini memperlihatkan hasil pengujian CBR dengan alat pemadat tekan modifikasi pada sampel tanpa rendaman dan menunjukkan hubungan dengan pemadatan metode tumbukan:



Gambar 6. Hubungan Nilai CBR Desain Tumbukan Tanpa Rendaman Dengan Nilai CBR Desain Metode Tekanan

Pada pengujian cbr rendaman metode tekan sampel mengalami masa perendaman selama 4 hari setelah dilakukan pemadatan standar setelah itu dilakukan pengujian CBR.

Gambar dibawah ini memperlihatkan hasil pengujian CBR rendaman dengan alat pemadat tekan modifikasi pada sampel rendaman dan menunjukkan hubungan dengan pemadatan metode tumbukan rendaman.



Gambar 7. Hubungan Nilai CBR Desain Tumbukan Rendaman Dengan Nilai CBR Desain Metode Tekanan Rendaman

Hasil pengujian CBR dengan metode tumbukan tanpa rendaman menghasilkan nilai CBR desain sebesar 7,7% dan nilai CBR pada sampel rendaman sebesar 3,6%. Sementara itu uji CBR menggunakan alat modifikasi metode tekanan, nilai CBR yang didapat pada sampel tidak direndam pada tekanan 3 MPa, 6 MPa, 9 MPa, dan 12 MPa, masing-masing bernilai 4,2%, 6,8%, 9,8%, dan 11,4%. Dengan nilai CBR pada sampel rendamannya yaitu 2,95%, 4,2%, 4,45%, dan 4,56%.

Berdasarkan Gambar 6 dan 7, disimpulkan bahwa nilai uji CBR desain tumbukan sebesar 7,7% berada di rentang 6 Mpa sampai 9 Mpa sedangkan pada sampel rendamannilai CBR yang didapat sebesar 3,6% berada di rentang 3 Mpa sampai 6 Mpa disebabkan oleh kepadatan tanah yang hampir sama diantara rentang tersebut

Asumsi terjadinya perbedaan pada kedua metode tersebut ialah karena energi pemadatan yang dihasilkan dari kekuatan 6 MPa tidak sama dengan energi yang dihasilkan dari penyaluran energi menggunakan *hammer* sesuai (ASTM D 698 2008), *Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Efforts (12 400 ft-lbf/ft<sup>3</sup> [600 kN-m/m<sup>3</sup>])*.

## V. KESIMPULAN

Tanah yang dipakai didalam penelitian ini, berdasarkan sistem klasifikasi USCS termasuk di dalam kelompok CL yaitu Tanah lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung “kurus” dan klasifikasi berdasarkan AASTHO masuk pada kelompok tanah A-6 yaitu tanah lempung yang masih mengandung butiran pasir dan kerikil, tetapi sifat perubahan volumenya cukup besar.

Berdasarkan hasil uji laboratorium uji CBR *standard proctor* memperoleh nilai rata-rata dari nilai CBR modifikasi dengan pola tekanan. Pada tanah tanpa rendaman ( unsoaked )

nilai CBR modifikasi yang paling efisien berada di antara tekanan 6-9 MPa, hal ini ditunjukkan oleh grafik CBR desain *standard proctor* yang digabungkan dengan CBR desain modifikasi metode tekanan.

Hasil uji laboratorium CBR *standard proctor* memperoleh nilai rata-rata dari nilai CBR modifikasi dengan pola tekanan. Pada tanah rendaman (soaked ) nilai CBR modifikasi yang paling efisien berada di antara tekanan 3-6 MPa, hal ini ditunjukkan oleh grafik CBR desain yang digabungkan dengan CBR desain modifikasi metode tekanan.

Hasil uji CBR dengan tekanan ini difungsikan untuk mempercepat waktu pelaksanaan, hasil ini lebih bersifat interpretasi, tidak disarankan untuk digunakan sebagai dasar analisis. Permasalahan yang didapat bahwa pemadatan dengan pola tekanan memberikan mekanisme pemadatan yang sangat berbeda dengan pemadatan standar (*standard proctor*).

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- ASTM D 698, 2008. *est Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Efforts (12 400 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (600 kN-m/m)), (SNI 1742:2008, Cara uji kepadatan ringan untuk tanah).*
- Bowles, 1984. *No Title Physical and Geotechnical Propertiees od Soils, Second Edition, McGraw.* Second Edi. New York.
- Bowles, J.E., 1991. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah).* Jakarta.
- Chairullah, B., 2011. *tabilisasi Tanah Lempung Lunak Untuk Material Tanah Dasar S ub Grade Dan Sub Base Jalan Raya.*
- Das, B., 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid I.* Jakarta.
- Prihatono, Y., 2011. *Pemadatan Tanah* [online]. Available from: <https://yogoz.wordpress.com/2011/01/31/pemadatan-anah-2>.
- Putra, M.D.H., 2017. *Pengaruh Perbaikan Tanah Lempung Ekspansif Dengan Metode Deep Soil Mixing Pada Berbagai Kadar Air Lapangan Tanah Asli Terhadap Nilai Cbr Dan Pengembangan.* Malang.
- Tanzil, A., 1991. *Sifat-sifat Lempung Kembang dan Permasalahanya, Makalah Teknik pada Konferensi Regional Teknik jalan ke I Wilayah Barat.* Palembang.
- Verhoef, P.N.W., 1994. *Geologi Untuk Teknik Sipil.* Jakarta.