

## **Korelasi Uji Pemadatan *Standard Proctor Method* Terhadap Pengujian CBR Laboratorium Berdasarkan Alat Uji Tekan Modifikasi di Laboratorium Untuk Pemadatan Tanah di Lapangan**

**Widyastuty Utami<sup>1)</sup>  
Setyanto<sup>2)</sup>  
Rahayu Sulistyorini<sup>3)</sup>**

### **Abstract**

*To find out the good quality of hoarder soil, it's required to do soil compaction test and California Bearing Ratio (CBR) test to stabilize against both structural or non-structural loads. This research aims to compare CBR value of the standard proctor method with CBR value of the pressure method.*

*The soil samples are used an ordinary pile soil, it consist of six samples for standard proctor method CBR test and eighteen samples for pressure method CBR test using a modification compactor press test tool. The pressure used is 5 MPa, 10 MPa, and 15 MPa using three soil samples in each pressure.*

*From the research, the results of CBR varied value, the value of standard proctor method CBR test without soaking is (2.45%) which lower than the value of pressure method CBR test without soak are 4.87%, 4.9%, and 5%. Otherwise, the value of standard proctor method CBR test with soak is (2%) which higher than the value of pressure method CBR test with soak are 0.78%, 0.8%, and 1.45%.*

*Keywords: Soil Pile, Standard Proctor, California Bearing Ratio (CBR), Modified Compactor Press Test Tools.*

### **Abstrak**

Untuk mendapatkan tanah timbunan dengan kualitas yang baik, diperlukan pemadatan serta pengujian California Bearing Ratio (CBR) agar tanah timbunan kuat dan stabil terhadap beban struktur maupun beban non struktur. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil uji CBR metode tumbukan dengan hasil uji CBR metode tekanan.

Sampel tanah yang digunakan adalah tanah timbunan biasa, terdiri dari enam sampel untuk pengujian CBR metode tumbukan dan delapanbelas sampel untuk pengujian CBR metode tekanan menggunakan alat uji tekan pemadat modifikasi. Tekanan yang digunakan adalah 5 MPa, 10 MPa, dan 15 MPa dengan menggunakan tiga sampel tanah pada masing-masing tekanan.

Dari penelitian diperoleh hasil nilai CBR yang bervariasi, nilai CBR tanpa rendaman metode tumbukan (2,45%) lebih rendah dibandingkan nilai CBR tanpa rendaman metode tekanan yaitu sebesar 4,87%, 4,9%, dan 5%. Sebaliknya, nilai CBR rendaman metode tumbukan (2%) lebih tinggi dibandingkan nilai CBR rendaman metode tekanan yaitu 0,78%, 0,8%, dan 1,45%.

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

---

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

<sup>2)</sup> Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

<sup>3)</sup> Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

## **1. PENDAHULUAN**

Kota Bandar Lampung memiliki banyak daerah dataran rendah dan tanah tidak datar serta kondisi tanah yang berbeda-beda sehingga tidak dapat langsung digunakan sebagai dasar konstruksi. Oleh karena itu, dibutuhkan timbunan dengan pemadatan serta pengujian daya dukung tanah dengan uji *California Bearing Ratio* (CBR) agar tanah dapat benar-benar kuat dan stabil terhadap beban struktur maupun beban non struktur. Udara yang terdapat pada pori-pori tanah dikeluarkan sehingga rongga udara tersebut dapat terisi oleh butiran tanah. Dengan cara melakukan pemadatan tanah diharapkan memperoleh tanah yang stabil dan memenuhi persyaratan teknis.

Untuk memadatkan tanah memiliki beberapa cara yang digunakan, yaitu untuk di lapangan biasa menggunakan mesin penggilas dan di laboratorium biasa menggunakan *hammer* dengan cara menumbuk. Kepadatan yang akan dicapai tergantung pada kadar air yang ada pada tanah tersebut. Untuk mendapatkan pemadatan maksimum maka dibutuhkan kadar air optimum dari tanah tersebut.

Untuk mengetahui kuat hambatan tanah terhadap penetrasi biasa dilakukan uji DCP (*Dinamic Conus Penetrometer*) di lapangan dan uji CBR laboratorium metode tumbukan di laboratorium. Dewasa ini mulai dikembangkan inovasi alat uji tekan modifikasi yang digunakan untuk memadatkan tanah dengan metode tekanan. Untuk itu, dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian pemadatan tanah standar metode tumbukan, pengujian pemadatan tanah dengan alat uji tekan modifikasi metode tekanan, serta uji CBR laboratorium.

## **2. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1. Tanah**

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, 1998). Proses pelapukan dari batuan dasar atau proses geologi lainnya yang terjadi didekat permukaan bumi akan membentuk tanah. Pembentukan tanah dari bahan induknya dapat berupa proses fisik dan kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es, manusia atau cuaca/suhu (Hardiyatmo, 2002).

### **2.2. Pemadatan Tanah**

Dasar-dasar teori pemadatan tanah:

#### **2.2.1. Prinsip pemadatan tanah**

Pada awal proses pemadatan, berat volume tanah kering ( $\gamma_d$ ) bertambah seiring dengan ditambahnya kadar air. Pada kadar air nol ( $w=0$ ), berat volume tanah basah ( $\gamma_b$ ) sama dengan berat volume tanah kering ( $\gamma_d$ ). Ketika kadar air ditambah secara bertahap (dengan usaha pemadatan yang sama), berat butiran tanah padat per volume satuan ( $\gamma_d$ ) juga bertambah. Pada kadar air lebih besar dari kadar air optimum (OMC), 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 ( $\gamma_{dmax}$ ) disebut kadar air optimum (Hardiyatmo, 2002).

### 2.2.2. *Optimum moisture content (OMC)*

*Optimum moisture content (OMC)* adalah kadar air di mana berat volume kering maksimum dapat dicapai setelah upaya pemadatan dilakukan. *Optimum moisture content (OMC)* biasanya dinyatakan dalam persen (%). Pengujian pemadatan standar adalah metode laboratorium yang secara eksperimental menentukan kadar air optimum di mana jenis tanah tertentu akan menjadi paling padat dan mencapai kepadatan kering maksimum.

### 2.2.3. *Pengujian 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 (OMC) tertentu untuk mencapai berat volume kering maksimumnya ( $\gamma_{dmax}$ ). Hubungan berat volume kering ( $\gamma_d$ ) dengan berat volume basah ( $\gamma_b$ ) dan kadar air ( $w$ ), dinyatakan dalam persamaan:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{(1+w)} \quad (1)$$

## 2.3. *Daya Dukung Tanah*

Daya dukung tanah dasar (*subgrade*) dipengaruhi oleh jenis tanah, tingkat kepadatan, kadar air, dll (Hendarsin, 2000). 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/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. Nilai CBR diperoleh dari hasil pengujian sampel tanah yang telah disiapkan di laboratorium atau langsung di lapangan.

### 2.4. *California Bearing Ratio (CBR)*

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. Menurut Soedarmo dan Purnomo (1993), berdasarkan cara mendapatkan contoh tanah, CBR dapat dibagi atas :

#### 2.4.1. *CBR lapangan (CBR in place atau field CBR)*

Pemeriksaan CBR dilakukan dalam kondisi kadar air tanah tinggi (musim penghujan) atau dalam kondisi terburuk yang mungkin terjadi. Umum digunakan untuk perencanaan tebal perkerasan yang lapisan tanah dasarnya sudah tidak akan dipadatkan lagi.

#### 2.4.2. *CBR lapangan rendaman (undisturbed soaked CBR)*

Pemeriksaan CBR dilakukan pada keadaan jenuh air dan tanah mengalami pengembangan (*swelling*) yang maksimum. 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.

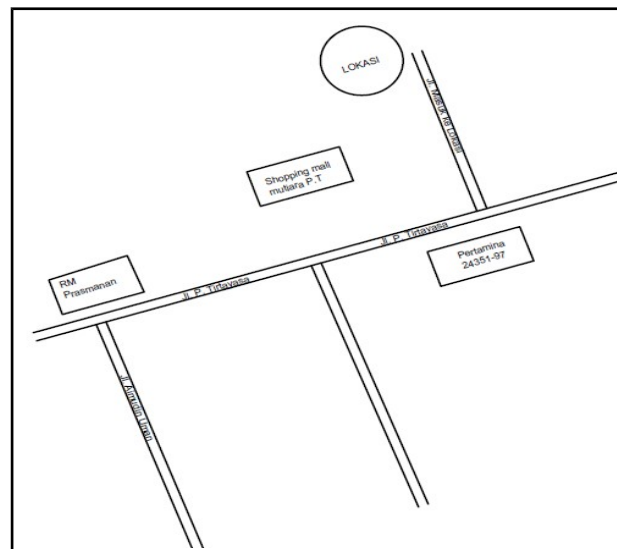
#### 2.4.3. CBR laboratorium (*laboratory CBR*)

CBR laboratorium dapat disebut juga CBR rencana titik. 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 3 inci<sup>2</sup> dan kecepatan gerak vertikal ke bawah 0,05 inci/menit serta *proving ring* yang digunakan untuk mengukur beban yang dibutuhkan pada penetrasi tertentu yang diukur dengan arloji pengukur (*dial*).

### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Bahan Penelitian

Adapun bahan penelitian yang digunakan yaitu sampel tanah yang berasal dari daerah Tirtayasa Kec. Sukabumi, Bandar Lampung. Lokasi berada pada jalan Pangeran Tirtayasa tepat didepan SPBU Pertamina 24-351-97.



Gambar 1. Denah lokasi pengambilan sampel tanah.

#### 3.2. Metode Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan cara pengambilan langsung sampel tanah yang berasal dari daerah Tirtayasa Kec. Sukabumi, Bandar Lampung. Tanah yang diambil adalah sampel tanah terganggu (*disturbed sample*) dan sampel tanah tak terganggu (*undisturbed sample*). *Undisturbed sample* diambil menggunakan tabung digunakan untuk pengujian kadar air, berat volume, dan berat jenis. *Disturbed sample* diambil menggunakan cangkul kemudian dimasukkan kedalam karung.

#### 3.3. Pengujian Sifat Fisik Tanah

Adapun pengujian sifat fisik yang dilakukan di laboratorium antara lain sebagai berikut :

### 3.3.1. 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.

$$\omega = \frac{W_{\omega}}{W_s} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

$W_{\omega}$  = Berat air (gram)

$W_s$  = Berat tanah kering (gram)

### 3.3.2. 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.

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (3)$$

Keterangan:

$W$  = Berat tanah (gram)

$V$  = Volume *ring* (cm<sup>3</sup>)

### 3.3.3. Pengujian berat jenis (*Specific Gravity Test*)

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

$$G_s = \frac{W_s}{(W_{\omega 1} - W_{\omega 2})} \quad (4)$$

Keterangan :

$W_s$  = Berat sampel tanah (gram)

$W_{\omega 1}$  = Berat air mula-mula (gram)

$W_{\omega 2}$  = Berat air setelah dipanaskan (gram)

### 3.3.4. 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*.

$$LL = \omega \times \left(\frac{N}{25}\right)^{0,121} \quad (5)$$

Keterangan :

$LL$  = *Liquid Limit* (%)

$\omega$  = Kadar air (%)

$N$  = Jumlah pukulan

### 3.3.5. 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*.

$$LI = \frac{W_w}{W_d} \times 100\% \quad (6)$$

$$PI = LL - PL \quad (7)$$

Keterangan :

- PI = Plastic Index(%)  
LL = Liquid Limit (%)  
PL = Plastic Limit (%)  
W<sub>w</sub> = Berat Air (gram)  
W<sub>d</sub> = Berat tanah kering (gram)

### **3.3.6. 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 ( $\gamma_{dmax}$ ) dan kadar air optimum (W<sub>opt</sub>).

### **3.3.7. Pengujian CBR Laboratorium**

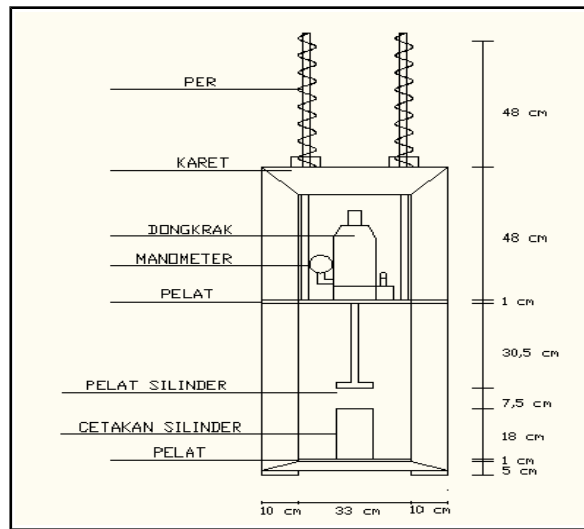
Dalam penelitian ini, pemadatan tanah dilakukan dengan dua metode yang berbeda, yaitu metode tumbukan menggunakan *hammer* dan metode tekanan menggunakan alat uji tekan modifikasi.

#### **1. Pengujian CBR Laboratorium Metode Tumbukan.**

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan nilai CBR material tanah yang dipadatkan menggunakan *hammer* pada kadar air optimum (W<sub>opt</sub>). Pengujian dibagi menjadi dua metode, yaitu pengujian CBR laboratorium rendaman dan pengujian CBR laboratorium tanpa rendaman (SNI 1744:2012 ).

#### **2. Pengujian CBR Laboratorium Metode Tekanan.**

Sampel tanah pada pengujian ini dipadatkan menggunakan alat uji tekan modifikasi dengan cara menekan secara manual terhadap sampel tanah yang berada didalam *mold* CBR. Alat uji tekan modifikasi dibuat dengan memodifikasi sebuah dongkrak yang memiliki kuat tekan yang tinggi. Dengan menggunakan sistem hidrolik secara manual menggunakan *dial* untuk mengukur tekanan yang diberikan pada saat pengujian. Cetakan yang akan digunakan yaitu silinder (*mold*) dengan diameter 15,24 cm, tinggi 17,78 cm, dan dilengkapi leher sambung (*extension collar*) dengan tinggi 5 cm (SNI 1744:2012 ).



Gambar 2. Sketsa alat uji tekan modifikasi.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Hasil Pengujian Sampel Tanah

Nilai-nilai dari hasil pengujian laboratorium mengenai sifat fisik dan sifat mekanik dari tanah selengkapnya di tabelkan pada tabel berikut :

Tabel 1. Hasil pengujian sampel tanah.

No	Pengujian	Hasil
1.	Kadar air ( w )	26,84%
2.	Berat Jenis ( Gs )	2,58
3.	Batas <i>Atterberg</i> :	
	a. Batas Cair ( LL )	41,39%
	b. Batas Plastis ( PL )	24,50%
	c. Indeks Plastisitas ( PI )	16,89%
4.	Analisa Saringan	
	a. lolos Saringan No. 4	99,17%
	b. lolos Saringan No. 200	0,04%

##### 4.2. Klasifikasi Sampel Tanah

Dari hasil pengujian sifat fisik tanah maka tanah dapat diklasifikasikan berdasarkan golongan.

###### 4.2.1. Sistem Klasifikasi AASHTO

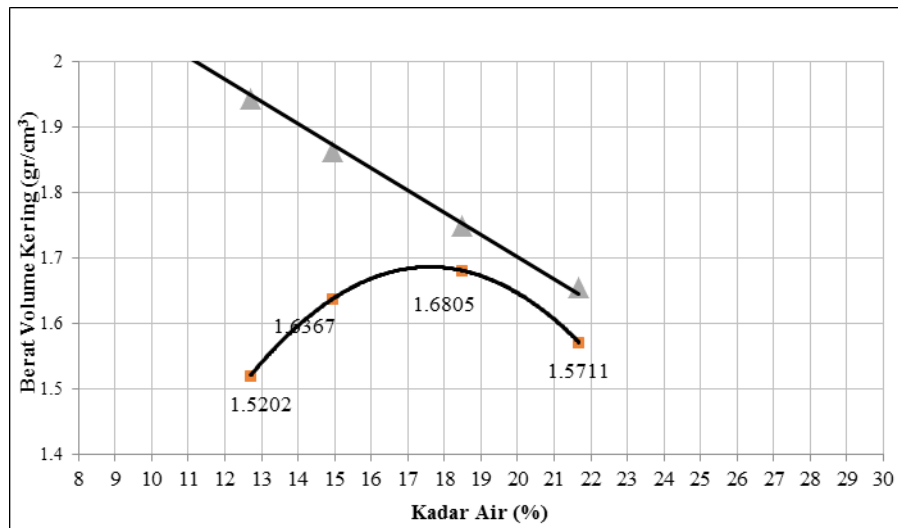
Dari hasil pengujian analisis saringan diperoleh 0,04% butiran tanah lolos saringan No. 200. Menurut sistem klasifikasi AASTHO, berdasarkan hasil penelitian nilai batas cair (LL) sebesar 41,39%, batas plastis (PL) sebesar 24,50%, dan indeks plastisitas (PI) sebesar 16,89%, menunjukkan bahwa tanah tersebut memiliki angka indeks plastisitas

yang lebih dari 11% dengan nilai batas cair di atas 41%. Hal ini menunjukkan bahwa sampel tanah dari daerah Tirtayasa, Bandar Lampung digolongkan sebagai kelompok tanah A-2-7 (pasir berlanau) yang sangat baik digunakan sebagai bahan tanah dasar.

#### 4.2.2. Sistem Klasifikasi *Unified Soil Classification System (USCS)*

Menurut sistem klasifikasi USCS, berdasarkan Tabel klasifikasi USCS dengan nilai persentase lolos saringan No. 4 sebesar 99,17% (lebih dari 50%) menurut kriteria klasifikasi nilai  $C_u$  sebesar  $6,72 > 6$  dan nilai  $C_c$  sebesar 0,79 tidak termasuk di antara 1 (satu) dan 3 (tiga). Nilai indeks plastisitas sebesar 16,89% dan batas-batas *Atterberg* dibawah garis A. Hal ini menunjukkan bahwa sampel tanah dari daerah Tirtayasa, Bandar Lampung secara umum digolongkan dalam kelompok SM yaitu tanah pasir berlanau.

#### 4.3. Pemadatan Tanah (*Standard Proctor Method*)



Gambar 3. Hubungan Berat Volume Kering dengan Kadar Air.

Dari grafik diperoleh hasil pemadatan tanah yaitu berat volume kering maksimum sebesar  $1,68 \text{ gr/cm}^3$  dan nilai kadar air optimum sebesar 17,8%. Kadar air optimum (OMC) tersebut selanjutnya akan digunakan dalam pencampuran air untuk sampel pengujian CBR (metode tumbukan dan metode tekanan).

#### 4.5. CBR Metode Tumbukan (*CBR Proctor Method*)

Pengujian ini dibagi menjadi dua, yaitu uji cbr rendaman dan uji tanpa rendaman.



#### 4.5.1. CBR Tanpa Rendaman

Tabel 2. Hasil Perhitungan Pengujian CBR Tanpa Rendaman Metode Tumbukan.

Tumbukan	Berat Tanah (gr)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Berat Volume (gr/cm <sup>3</sup> )	Kadar Air (%)	Berat Volume Kering (gr/cm <sup>3</sup> )	Nilai CBR
10	5398	2993	1,803	19,339	1,511	1,911
25	5805	2938	1,975	18,627	1,665	2,978
55	5759	2666	2,160	19,543	1,806	6,267

#### 4.5.1. CBR Rendaman

Tabel 3. Hasil Perhitungan Pengujian CBR Rendaman Metode Tumbukan.

Tumbukan	Berat Tanah (gr)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Berat Volume (gr/cm <sup>3</sup> )	Kadar Air (%)	Berat Volume Kering (gr/cm <sup>3</sup> )	Nilai CBR
10	3928	2104	1,867	31,437	1,420	1,133
25	4413	2132	2,070	27,700	1,621	2,067
55	4624	2160	2,141	23,463	1,734	2,400

#### 4.6. CBR Metode Tekanan (*CBR Pressure Method*)

Pada pengujian ini, sampel tanah dipadatkan menggunakan alat uji tekan modifikasi.

##### 4.6.1. CBR Tanpa Rendaman

Tabel 4. Hasil Pengujian CBR Tanpa Rendaman Metode Tekanan.

Nama Sampel	Nilai CBR (%)	Berat Volume Kering (gr/cm <sup>3</sup> )
5 Mpa	4,87	1,597
10 Mpa	4,90	1,685
15 Mpa	5,00	1,693

##### 4.6.1. CBR Rendaman

Tabel 5. Hasil Pengujian CBR Rendaman Metode Tekanan.

Nama Sampel	Nilai CBR (%)	Berat Volume Kering (gr/cm <sup>3</sup> )
5 Mpa	0,78	1,593
10 Mpa	0,80	1,715
15 Mpa	1,45	1,841

#### **4.6.3. CBR Rendaman dan Tanpa Rendaman Metode Tekanan**

Pada pengujian CBR metode tumbukan dan tekanan, nilai CBR tanpa rendaman lebih tinggi dibandingkan nilai CBR rendaman. Hal ini disebabkan pada uji CBR tanpa rendaman sampel tanah menjadi sangat padat bahkan mencapai kepadatan maksimum (rongga antar butiran tanah yang seharusnya berisi air dan udara telah digantikan oleh butiran padat). Sedangkan pada uji CBR rendaman, air dan udara dapat masuk kembali mengisi rongga antar butiran tanah selama proses perendaman (4 hari) sehingga dapat menurunkan kepadatan sampel tanah. Dari hasil-hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa nilai CBR tanpa rendaman metode tekanan lebih tinggi dibandingkan nilai CBR rendaman metode tekanan. Hal ini membuktikan bahwa pemadatan metode tekanan menggunakan alat uji tekan modifikasi sama baiknya dengan pemadatan metode tumbukan menggunakan *hammer*.

#### **5. KESIMPULAN**

Nilai CBR tanpa rendaman metode tekanan menggunakan alat uji tekan modifikasi jauh lebih besar dibandingkan nilai CBR tanpa rendaman metode tumbukan menggunakan *hammer*. Hal ini disebabkan keseragaman tekanan yang diterima oleh permukaan tanah pada saat pemadatan menggunakan alat uji tekan modifikasi. Sedangkan, Nilai CBR rendaman metode tekanan menggunakan alat uji tekan modifikasi jauh lebih kecil dibandingkan nilai CBR rendaman metode tumbukan menggunakan *hammer*, hal ini berbanding terbalik dengan nilai CBR tanpa rendaman metode tekanan. Pada umumnya disebabkan oleh kesalahan peneliti saat pembacaan *dial* penetrasi atau saat melakukan pemutaran tuas pada alat penetrasi CBR.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- SNI 1744, 2012, *Metode Uji CBR Laboratorium*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, 32 hlm.
- Das, B.M., 1995, *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid I*, Erlangga, Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 2002, *Mekanika Tanah 1 Edisi 3*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Hendarsin, S.L., 2000, *Penuntun Praktis Perencanaan Teknik Jalan Raya*, Politeknik Negeri Bandung, Bandung.
- Soedarmo, G.D., dan S.J. Edy Purnomo, 1993, *Mekanika Tanah 1*, Kanisius, Malang.