

PENINGKATAN KAPASITAS DAYA DUKUNG TANAH LEMPUNG DI CANGAR MELALUI STABILISASI DENGAN BATU KAPUR

**Hendro Sutowijoyo^{1,*}, Dimas Setia
Hadi²**

¹Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Narotama,
hendrosutowijoyo@gmail.com

²Program Studi Teknik Sipil Fakultas
Teknik Universitas Narotama,
dimasetia1410@gmail.com

ABSTRAK

Tanah dasar merupakan bagian terpenting pada suatu pembangunan dalam bidang konstruksi baik itu jalan, gedung, ataupun jembatan. Menjaga kestabilan tanah, khususnya perkuatan tanah dibutuhkan perhatian lebih. Tanah lempung lokasi Cangar merupakan tanah subur yang berada di dataran tinggi. Dalam perencanaan pembangunan di daerah tersebut perlu dilakukan pengujian tanah laboratorium untuk mengetahui sifat dan daya dukung perkerasan tanahnya. Cara verifikasi pemaksimalan daya dukung perkerasan tanah ialah dengan mencampurkan 20% batu kapur serta menggunakan metode pengujian compaction modified dan CBR laboratorium. Hasil pengujian mendapatkan tanah lempung di lokasi memiliki plastisitas tinggi, lalu setelah dicampur dengan batu kapur mengalami penurunan plastisitas sebesar 11 poin pada level 15 sehingga dapat digolongkan menjadi tanah lempung berlanau yang memiliki plastisitas sedang. Berdasar pada pengujian CBR tanah lempung asli, didapatkan nilai daya dukung tanah sebesar 22.4%, dan setelah dicampur 20% batu kapur nilainya meningkat mencapai 26.4%, sedangkan kepadatan

maksimum MDD tanah lempung asli sebesar 0.99 gram/cm³ lalu setelah dicampur batu kapur MDD mencapai 1.24 gram/cm³. Distribusi ukuran butiran sebelum dicampur batu kapur yakni kerikil 2.02 gr, pasir 61.03 gr, lempung 436.95 gr. Setelah diberi stabilator batu kapur yakni kerikil 37.06 gr, pasir 123.45 gr, dan lempung 339.49 gr.

Kata Kunci: CBR Laboratorium, Pemadatan Tanah (Compaction), Tanah Lempung, Batu Kapur.

ABSTRACT

Subgrade soil is a crucial component of any construction project, be it roads, buildings, or bridges. Maintaining soil stability, particularly soil reinforcement, requires special attention. The clay soil at the Cangar site is fertile and located in the highlands. Laboratory soil testing is crucial for development planning in this area, as it enables the determination of soil properties and bearing capacity. To verify the maximum bearing capacity of the soil, a 20% limestone mixture was used, using the compaction modification and laboratory CBR testing methods. Test results revealed that the clay soil at the site has high plasticity. After mixing with limestone, the plasticity decreased by 11 points to level 15, classifying it as silty clay with moderate plasticity. Based on the CBR test of the original clay soil, the soil bearing capacity value was 22.4%, and after being mixed with 20% limestone, the value increased to 26.4%. In contrast, the maximum density of the original clay soil MDD was 0.99 grams/cm³; then, after being mixed with limestone, the MDD reached 1.24 grams/cm³. The distribution of grain size before being mixed with limestone was 2.02 grams of gravel, 61.03 grams of sand, and 436.95 grams of clay. After being given a limestone stabilizer, it was 37.06 grams of

gravel, 123.45 grams of sand, and 339.49 grams of clay.

Keywords: Laboratory CBR, Soil Compaction, Clay Soil, Limestone.

1. PENDAHULUAN

Tanah endapan dan residu merupakan jenis tanah yang banyak terdapat di Indonesia. Sehingga dengan ini peneliti mengambil sample salah satu contoh tanah residu di daerah dataran tinggi yang berada di daerah Cangar untuk bahan penelitian. Tanah sangat erat hubungannya dalam bidang konstruksi untuk penunjang bangunan diatasnya baik itu jalan, rumah, maupun pondasi jembatan. Alasan diambilnya contoh sampel tanah Cangar sebagai bahan utama penelitian ini adalah untuk memperbaiki atau meningkatkan daya dukung perkuatan tanahnya. Karakteristik tanah Cangar ialah daya dukung perkuatannya yang rendah, sehingga diperlukan perlakuan khusus yakni dengan mencampur material tanah dengan material batu kapur.

1.1. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah “bagaimana pengaruh nilai CBR dari penambahan material batu kapur terhadap tanah lempung lokasi Cangar”.

1.2. Tujuan Penulisan

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh nilai CBR dari penambahan material batu kapur terhadap tanah lempung lokasi Cangar agar dapat menunjang bangunan konstruksi yang akan berdiri diatasnya.

1.3. Urgensi Penelitian

1.3.1. Kadar Air (*Water Content*)

Kadar air merupakan nilai yang diperoleh dari menimbang contoh tanah sebelum dan sesudah dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu 105-110°C.

Kadar air dapat dihitung dengan rumus berikut:

Rumus perhitungan:

$$W = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\% \dots\dots(1)$$

Keterangan:

w = kadar air (%)

W1 = berat cawan (gram)

W2 = berat basah (gram)

W3 = berat kering (gram)

1.3.2. Berat Satuan Butiran (GS)

Untuk memperoleh nilai berat jenis dibutuhkan tempat khusus yang disebut piknometer. Keunggulannya adalah volume dapat diukur dengan tingkat ketelitian yang tinggi, dapat dihitung dengan rumus berikut.

Rumus perhitungan:

$$G_s = \frac{P_s}{P_w} \dots\dots(2)$$

$$G_s = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \dots\dots(3)$$

Keterangan:

Gs = berat jenis

Ps = berat vol. butiran padat, (gram/cm³)

Pw = berat volume air, (gram/cm³)

W₁ = berat piknometer, (gram)

W₂ = berat piknometer + tanah, (gram)

W₃ = berat piknometer + tanah + air, (gram)

W₄ = berat piknometer + air, (gram)

1.3.3. Analisa Ayakan

Sifat-sifat tanah yang diukur pada ilmu mekanika tanah dibagi menjadi dua golongan. Golongan pertama adalah sifat yang memberikan gambaran secara garis besar tentang perilaku tanah. Hubungan antar fase nilai berat satuan, kadar air, berat jenis dan sebagainya. Sedangkan golongan kedua adalah sifat yang diperlukan untuk perancangan, seperti kekuatan, kompresibilitas, permeabilitas, dan sebagainya. Dan tanah biasanya dibagi menjadi dua golongan, yaitu tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus. Masing-masing golongan dibagi menjadi dua jenis, yaitu tanah berbutir kasar terdiri dari kerikil atau pasir dan biasanya disebut bahan granular atau tanah tidak berkoheksi. Tanah

berbutir halus terdiri dari lanau atau lempung dan biasanya disebut tanah berkoheksi. (Wesley, 2012).

a) Kerikil dan Pasir

Kelompok ini terdiri atas pecahan batuan dengan bentuk dan ukuran yang beraneka ragam. Butiran kerikil biasanya terdiri atas pecahan-pecahan batu, tetapi kadang-kadang juga terdiri atas mineral-mineral tunggal, sementara butiran pasir terdiri atas mineral tunggal, biasanya kuarsa. Pada beberapa keadaan pasir yang butirannya berukuran sama disebut pasir seragam, sedangkan pasir yang ada ukuran batuan-batuannya disebut tanah bergradasi baik.

b) Lempung

Lempung terdiri atas butiran yang sangat kecil dan memiliki kohesi dan plastisitas. Sifat kohesi berarti butiran-butirannya saling menempel, sedangkan plastisitas adalah sifat yang memungkinkan tanah dapat berubah bentuk tanpa mengubah volume dan tidak menyebabkan retak atau pecah.

c) Lanau

Lanau adalah bahan yang merupakan peralihan antara lempung dan pasir. Lanau bersifat kurang plastis dibanding lempung. Lanau tidak memiliki sifat plastis. Lanau memiliki permeabilitas yang lebih tinggi, lanau juga memiliki sifat-sifat khusus yaitu *quick behavior* dan dilatansi yang tidak ada pada lempung. *Quick behavior* menunjukkan kecenderungan lanau untuk menjadi cair ketika digetarkan, sementara dilatansi merupakan kecenderungan untuk mengalami penambahan volume ketika berubah bentuk.

1.3.4. Batas Atterberg

Batas atterberg adalah tahapan yang dilalui lempung apabila kadar air berubah. Kadar air yang menjadi batas dari tahap-tahap ini adalah batas plastis (*Plastic Limit/PL*), dan batas cair (*Liquid Limit/LL*).

- 1) Batas Cair (*Liquid Limit*) adalah kadar tanah dalam keadaan batas antara cair dan plastis. Pengujian batas cair bertujuan untuk mengetahui jenis dan sifat-sifat tanah dari bagian tanah yang mempunyai ukuran butir lolos saringan nomor 40. Batas cair dalam pengujian adalah kadar air pada 25 kali pukulan yang diperlukan untuk menutup celah sepanjang 12.7 mm.
- 2) Batas Plastis (*Plastic Limit*) adalah suatu kadar air minimum pada suatu sampel tanah dalam keadaan plastis (kadar air peralihan dari kondisi semi solid ke kondisi plastis) yang dimana tanah masih dalam keadaan plastis atau tanah dapat digulung sampai diameter 3.1 mm (1/8 inci). Tujuan pengujian batas plastis (PL) adalah untuk menentukan kadar air pada kondisi batas plastis.

1.3.5. Pemadatan Tanah (*Compaction*)

Pemadatan adalah proses yang memakai tenaga dinamika untuk menjadikan tanah lebih padat dan sekaligus mengeluarkan udara. Kadar air tanah tidak berubah ketika tanah itu dipadatkan.

Pemadatan dapat dilakukan dengan berbagai cara dilapangan dan dilaboratorium, Pada laboratorium biasanya dipakai alat penumbuk dengan berat dan tinggi jatuh yang sudah ditentukan. Pengujian ini biasa disebut sebagai pengujian pemadatan "*standar proctor*" atau pengujian pemadatan "*modified* atau *heavy proctor*". Pengujian dilakukan dengan memakai sebuah tempat berbentuk silinder (*mold*) dan palu penumbuk. Pengujian ini dilakukan pada sederatan contoh tanah masing-masing dengan kadar air yang berbeda, dari kering sampai basah. Jadi sebelum pengujian dimulai, contoh-contoh tanah disiapkan dengan kadar air yang berbeda, selisih kadar air antara masing-masing contoh tanah diusahakan sama, kemudian contoh ini dipadatkan sesuai urutannya.

Rumus perhitungan:

1. Berat isi basah:

$$\gamma = \frac{B_2 - B_1}{V} \dots\dots(4)$$

γ = berat isi basah

B_1 = berat mold

B_2 = berat tanah + berat mold

V = volume mold

2. Berat isi kering:

$$\gamma_d = \frac{\gamma \times 100}{(100 + w)} \dots\dots(5)$$

γ_d = berat isi kering

W = kadar air sesudah dikompaksi

1.3.6. CBR (California Bearing Ratio)

CBR (*California Bearing Ratio*) adalah perbandingan antara beban penetrasi suatu bahan (dapat berupa tanah ataupun material perkerasan jalan) dengan bahan standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. CBR dapat dilakukan di laboratorium ataupun lapangan. Tujuan pengujian CBR yaitu menentukan nilai CBR tanah atau campuran agregat yang dipadatkan di laboratorium pada variasi kadar air dan jumlah pukulan pada saat pemadatan. Pada penelitian ini dilakukan CBR tidak terendam (*Unsoaked*) dan CBR terendam (*Soaked*). Nilai CBR adalah perbandingan (dalam persen) antara tekanan yang diperlukan untuk menembus tanah dengan piston berpenampang bulat seluas 3 inci dengan kecepatan 0.05 inci/menit terhadap tekanan yang diperlukan untuk menembus bahan standar tertentu. Nilai CBR dihitung pada kedalaman penetrasi 0.1" dan 0.2" yang dirumuskan berikut:

CBR 0.1" =

$$\frac{\text{gaya pada penetrasi 0.1" (lbs)}}{3000 \text{ (lbs)}} \times 100\% \dots\dots(6)$$

serta

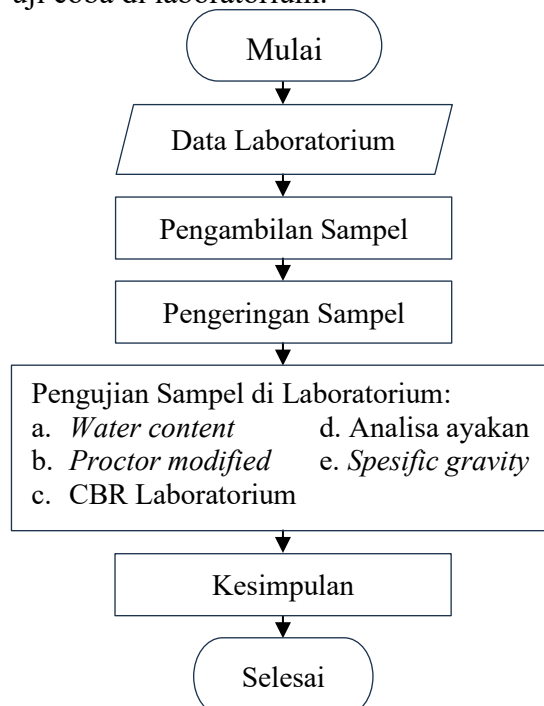
CBR 0.2" =

$$\frac{\text{gaya pada penetrasi 0.2" (lbs)}}{4500 \text{ (lbs)}} \times 100\% \dots\dots(7)$$

Dari perhitungan rumus diatas dapat dilakukan analisis daya dukung tanah terhadap tekanan tertentu dan memperoleh persentase daya dukung kepadatan tanah tersebut.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yakni penelitian yang dalam pemecahan permasalahannya menggunakan uji coba di laboratorium.



Gambar 1.

Diagram Alir Penelitian

Pengujian laboratorium dilakukan guna mengetahui seberapa besar nilai yang didapatkan dari penambahan batu kapur sesuai dengan parameter pengujian yang telah ditetapkan sehingga tidak dilakukan pengujian di lokasi sekaligus menjadi batasan masalah dalam penelitian ini.

Jumlah sampel yang digunakan sebanyak 2 buah sampel yang berbeda untuk masing-masing variasi pengujian. Uji yang dilakukan mengacu pada standar teknis pengujian berlaku sebagai berikut:

- a) Kadar air (*water content*), ASTM D-2216-98.
- b) *Grain Size Analysis*, ASTM D-421 & D-422 .
- c) *Specific Gravity*, ASTM D-854.
- d) *Liquid Limit & Plastic Limit*, ASTM D-4318.
- e) *Compaction Test Using Modified Proctor*, ASTM D-1557.

- f) CBR (*California Bearing Ratio*), ASTM D-1883.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Kadar Air (*Water Content*)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kadar air sampel tanah yang sedang diteliti. Cara pengujian kadar air dilakukan dengan menimbang contoh sampel tanah yang diuji kemudian dimasukan pada oven selama 24 jam. Pengujian kadar air (*water content*) mengacu pada ASTM D-2216-98.

Tabel 1.

Data Pengujian Kadar Air (*Water content*) Contoh Sampel Tanah Lempung Kondisi Belum Dicampur dengan Batu Kapur

Sample	Min.	Min. Opt.	Optim	Opt. Maks.	Maks.
Container No.	12	51	8	15	94
weight of can (gram)	8.03	8.05	8.09	8.50	8.00
weight of water (gram)	7.56	8.82	9.75	10.41	11.47
weight of dry soil (gram)	24.09	22.75	21.12	19.37	19.51
weight of can + wet soil (gram)	39.68	39.62	38.96	38.28	38.98
weight of can + dry soil (gram)	32.12	30.80	29.21	27.87	27.51
water content (%)	31.38	38.77	46.16	53.74	58.79

Tabel 2.

Data Uji Kadar Air dari Pemadatan Contoh Sampel Tanah Lempung untuk Tes CBR Kondisi Belum Direndam Air

Sample No.	Test 1 (10x)	Test 2 (25x)	Test 3 (65x)
Container No.	11	80	12
weight of can (gram)	8.03	8.00	8.04
weight of water (gram)	9.83	9.95	9.51
weight of dry soil (gram)	21.4	21.25	20.61
weight of can + wet soil (gram)	39.26	39.2	38.16
weight of can + dry soil (gram)	29.43	29.25	28.65
water content (%)	45.93	46.82	46.14

Tabel 3.

Data Uji Kadar Air dari Pemadatan Contoh Sampel Tanah Lempung untuk Tes CBR Kondisi Setelah Direndam Air

Sample No.	Test 1 (10x)	Test 2 (25x)	Test 3 (65x)
Container No.	2	80	110
weight of can (gram)	7.83	8.45	8.17
weight of water (gram)	14.82	13.86	13.37
weight of dry soil (gram)	14.37	15.17	16.61
weight of can + wet soil (gram)	37.02	37.48	38.15
weight of can + dry soil (gram)	22.2	23.62	24.78
water content (%)	103.13	91.36	80.49

Tabel 4.

Data Pengujian Kadar Air Contoh Sampel Tanah Lempung Kondisi Setelah Dicampur dengan Batu Kapur

Sample	Min.	Min. Opt.	Optim	Opt. Maks.	Maks.
Container No.	A 78	34	26	75	120
weight of can (gram)	7.78	7.85	7.82	7.87	7.79
weight of water (gram)	6.83	7.77	8.40	8.93	10.05
weight of dry soil (gram)	23.78	23.17	22.83	21.88	21.66
weight of can + wet soil (gram)	38.48	38.79	39.05	38.68	39.50
weight of can + dry soil (gram)	31.65	31.02	30.65	29.75	29.45
water content (%)	28.72	33.53	36.79	40.81	46.40

Tabel 5.

Data Uji Kadar Air Pemadatan Contoh Sampel Tanah Lempung yang Dicampur Batu Kapur untuk Tes CBR Kondisi Belum Direndam Air

Sample No.	Test 1 (10x)	Test 2 (25x)	Test 3 (65x)
Container No.	126	54	11
weight of can (gram)	7.76	7.83	7.87
weight of water (gram)	8.86	8.86	8.83
weight of dry soil (gram)	21.7	22.18	21.95
weight of can + wet soil (gram)	38.32	38.87	38.65
weight of can + dry soil (gram)	30.22	30.48	30.36
water content (%)	36.06	37.04	36.86

Tabel 6.

Data Uji Kadar Air Pemadatan Contoh Sampel Tanah Lempung yang Dicampur Batu Kapur untuk Tes CBR Kondisi Setelah Direndam Air

Sample No.	Test 1 (10x)	Test 2 (25x)	Test 3 (65x)
Container No.	B1	8	37
weight of can (gram)	8.05	8.09	8.08
weight of water (gram)	11.33	10.53	11.03
weight of dry soil (gram)	17.8	18.68	20.15
weight of can + wet soil (gram)	37.18	37.3	39.26
weight of can + dry soil (gram)	25.85	26.77	28.23
water content (%)	63.65	56.37	54.74

3.2 Pengujian Pemadatan Tanah (*Proctor Modified*)

Tujuan dari uji pemadatan tanah adalah untuk mencari nilai kepadatan maksimum (*Maximum Dry Density/MDD*) dan kadar air optimum (*Optimum Moisture Content/OMC*). Dengan mengetahui kadar air optimum, tanah dapat dipadatkan secara efektif untuk mencapai kepadatan yang diinginkan.

Sampel tanah lempung diambil dari lokasi Cagar dalam kondisi asli dan tanah lempung di lokasi yang sama namun dicampur dengan 20% batu kapur. Pengujian pemadatan ini memiliki 5 variasi contoh pengujian dengan kadar air yang berbeda seperti keadaan minimum, minimum-optimum, optimum, optimum-maximum, dan maximum. Penting diketahui bahwa bila kadar air lebih rendah daripada kadar air optimum, maka tanah akan menjadi lebih kering dan kurang padat. Partikel tanah sulit bergerak dalam mengisi ruang pori-pori, sehingga menyebabkan kepadatan kering menjadi rendah.

Sebaliknya, jika kadar air lebih tinggi daripada kadar air optimum, kelebihan air akan mengisi pori-pori tanah, membuat tanah lebih mudah dipadatkan. Namun jika terlalu banyak air, tanah akan menjadi jenuh dan kepadatan kering akan mulai menurun.

Pada sampel juga menyertakan 3 contoh pengujian dengan kadar air optimum

tetapi dengan variasi jumlah tumbukan yang berbeda yakni 10 kali tumbukan, 25 kali tumbukan, serta 65 kali tumbukan yang nantinya akan digunakan untuk pengujian CBR (*California Bearing Ratio*). Pengujian pemadatan tanah *modified proctor* mengacu pada ASTM D-1557.

Tabel 7.

Data Pemadatan (*Proctor modified*) Contoh Sampel Tanah Lempung Kondisi Belum Dicampur Batu Kapur

Sample	Min.	Min. Opt.	Optim	Opt. Maks.	Maks.
weight of mold (gram)	9350	8983	9137	8363	8963
volume of mold (cc)	2125	2125	2125	2125	2125
weight of soil (gram)	2514	2838	3070	3067	3040
weight density (gram/cc)	1.18	1.33	1.44	1.44	1.43
weight of mold + soil (gram)	11864	11815	12207	11430	12023
dry density (gram/cm ³)	0.90	0.96	0.99	0.94	0.90

Perumusan dipakai dalam menghitung berat isi basah dan berat isi kering diambil dari rumus nomor 4 dan 5 dengan pengembangan sebagai berikut:

a. Berat isi basah

$$\gamma = \frac{B_2(\text{weight of mold+soil}) - B_1(\text{weight of mold})}{V(\text{volume mold})} \dots\dots(8)$$

b. Berat isi kering

$$\gamma_d = \frac{\gamma \times 100}{(100 + w(\text{kadar air}))} \dots\dots\dots(9)$$

Contoh perhitungan:

1. *Dry density minimum*

a. Berat isi basah

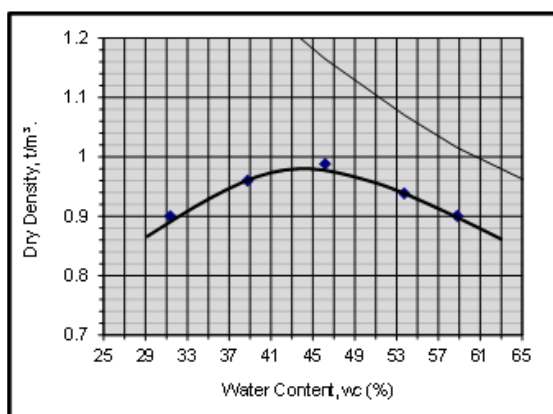
$$\gamma = \frac{(11864 - 9350)}{2125} = 1.18$$

b. Berat isi kering

$$\gamma_d = \frac{1.18 \times 100}{(100 + 31.38)} = 0.90$$

Gambar 2 menunjukkan bagaimana kepadatan kering tanah nilainya berubah seiring dengan perubahan kadar air. Gambar

juga memberikan informasi tentang perilaku tanah di bawah kondisi pemadatan yang berbeda yang penting untuk memahami stabilitas dan kinerja tanah dalam berbagai aplikasi. Gambar 2 juga menjelaskan bahwa nilai kepadatan kering tertinggi (maksimum) yakni 0.99 gram/cm^3 dicapai dengan kadar air optimum sebesar 46.16%.



Gambar 2.
Grafik Hubungan Antara Berat Tanah Kering Contoh Sampel Tanah Lempung Kondisi Asli

Tabel 8.
Data Pemadatan (*Proctor modified*) Contoh Sampel Tanah Lempung Kondisi Belum Dicampur dengan Batu Kapur untuk Tes CBR Kondisi Asli Belum Direndam Air

Sample No.	Test 1 (10x)	Test 2 (25x)	Test 3 (65x)
weight of mold (gram)	8,345	8,976	8,424
volume of mold (cc)	2,125	2,125	2,125
weight of soil (gram)	2,490	2,779	3,111
weight density (gram/cc)	1.17	1.31	1.46
weight of mold + soil (gram)	10,835	11,755	11,535
dry density (gram/cm^3)	0.80	0.89	1.00

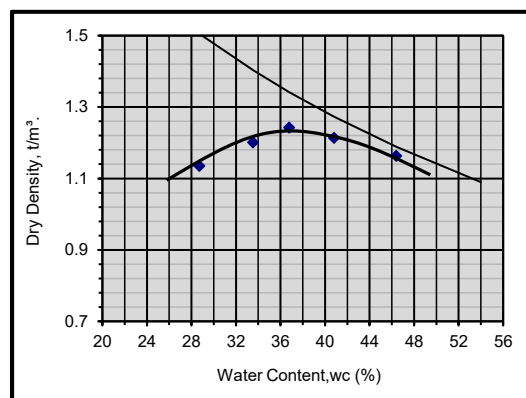
Tabel 9.
Data Pemadatan (*Proctor modified*) Contoh Sampel Tanah Lempung Kondisi Belum Dicampur dengan Batu Kapur untuk Tes CBR Dalam Kondisi Setelah Direndam Air

Sample No.	Test 1 (10x)	Test 2 (25x)	Test 3 (65x)
weight of mold (gram)	8,345	8,976	8,424
volume of mold (cc)	2,125	2,125	2,125

Sample No.	Test 1 (10x)	Test 2 (25x)	Test 3 (65x)
weight of soil (gram)	2,705	3,023	3,232
weight density (gram/cc)	1.26	1.41	1.51
weight of mold + soil (gram)	11,050	11,999	11,656
dry density (gram/cm^3)	0.62	0.74	0.84

Tabel 10.
Data Pemadatan (*Proctor modified*) Contoh Sampel Tanah Lempung Dicampur dengan Batu Kapur

Sample	Min.	Min. Opt.	Optim	Opt. Maks.	Maks.
weight of mold (gram)	8,345	8,315	9,137	8,345	8,120
volume of mold (cc)	2,125	2,125	2,125	2,125	2,125
weight of soil (gram)	3,105	3,408	3,613	3,633	3,620
wet density (gram/cc)	1.46	1.60	1.70	1.71	1.70
weight of mold + soil (gram)	11,450	11,723	12,750	11,978	11,740
dry density (gram/cm^3)	1.14	1.20	1.24	1.21	1.16



Gambar 3.
Grafik Hubungan Antara Berat Tanah Kering Contoh Sampel Tanah Lempung yang Dicampur Batu Kapur

Gambar 3 memberikan pemahaman bahwa nilai kepadatan kering tertinggi (maksimum) yakni 1.24 gram/cm^3 dicapai dengan kadar air optimum sebesar 36.79%. Hal ini berarti tanah akan mencapai kepadatan optimum jika dipadatkan pada kadar air 36.79%, jika tanah dipadatkan pada kadar air 40.81% maka, kepadatan

keringnya akan lebih rendah dari 1.24 gram/cm^3 .

Tabel 11.

Data Pemadatan (*Proctor modified*) Contoh Sampel Tanah Lempung yang Dicampur dengan Batu Kapur untuk Tes CBR Kondisi Asli atau Belum Direndam Air

Sample	Test 1 (10x)	Test 2 (25x)	Test 3 (65x)
weight of mold (gram)	8,535	8,707	8,059
volume of mold (cc)	2,125	2,125	2,125
weight of soil (gram)	3,207	3,473	3,851
weight density (gram/cc)	1.51	1.63	1.81
weight of mold + soil (gram)	11,742	12,180	11,910
dry density (gram/cm^3)	1.11	1.19	1.32

Tabel 12.

Data Pemadatan (*Proctor modified*) Contoh Sampel Tanah Lempung yang Dicampur dengan Batu Kapur untuk Tes CBR Kondisi Setelah Direndam Air

Sample	Test 1 (10x)	Test 2 (25x)	Test 3 (65x)
weight of mold (gram)	8,535	8,707	8,059
volume of mold (cc)	2,125	2,125	2,125
weight of soil (gram)	3,465	3,667	3,937
weight density (gram/cc)	1.62	1.72	1.85
weight of mold + soil (gram)	12,000	12,374	11,996
dry density (gram/cm^3)	0.99	1.10	1.19

Tabel 13.

Data CBR Contoh Sampel Tanah Lempung Belum Direndam Air

Time (minute)	Setting (inch)	Test 1 (10x)		Test 2 (25x)		Test 3 (65x)	
		dial reading	load (lbs)	dial reading	load (lbs)	dial reading	load (lbs)
0.0	0.0000	0		0		0	
0.3	0.0125	3	28.5	4	38.0	6	57.1
0.5	0.0250	7	66.6	8	76.1	11	104.6
1.0	0.0500	12	114.1	15	142.7	23	218.7
1.5	0.0750	19	180.7	23	218.7	35	332.9
2.0	0.1000	25	237.8	32	304.3	50	475.5
3.0	0.1500	37	351.9	48	456.5	77	732.3
4.0	0.2000	48	456.5	72	684.7	106	1008.1
6.0	0.3000	62	589.6	112	1065.1	153	1455.0
8.0	0.4000	73	694.2	151	1436.0		
10.0	0.5000	80	760.8	189	1797.4		
Penetration (inch)		0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
CBR value (%)		7.9	10.1	10.1	15.2	15.9	22.4

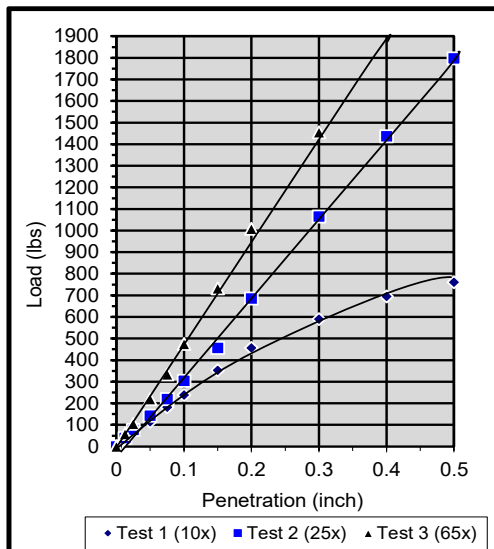
3.3 Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*)

Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*) berguna untuk mengetahui kekuatan tanah dasar. Nilai CBR (%) adalah perbandingan antara tekanan yang diperlukan untuk menembus tanah dengan standar tertentu. Pada penelitian ini dilakukan CBR tidak terendam (*unsoaked*) dan terendam (*soaked*) terhadap sampel tanah asli juga terhadap sampel yang dicampur dengan 20% batu kapur. Kemudian nilai CBR (*California Bearing*

Ratio) yang digunakan adalah nilai CBR rata rata dari kedua buah benda uji tersebut dari hasil bacaan persentase 0.1" dan 0.2" mengacu pada ASTM D-1883.

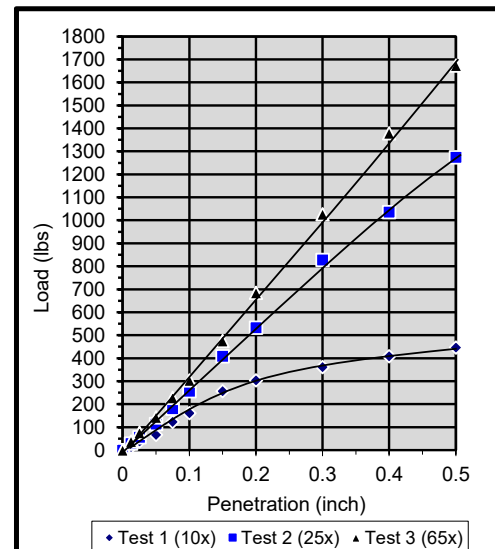
Contoh perhitungan dengan menggunakan rumus nomor 6 dan 7 untuk CBR 10 kali tumbukan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{a. CBR } 0.1'' &= \frac{25 \times 9.51}{3000} \times 100 = 7.9\% \\ \text{b. CBR } 0.2'' &= \frac{48 \times 9.51}{4500} \times 100 = 10.1\% \end{aligned}$$



Gambar 4.

Grafik Hubungan Antara Penetrasi dengan Bacaan CBR dari Contoh Sampel Tanah Lempung Kondisi Belum Direndam Air



Gambar 5.

Grafik Hubungan Antara Penetrasi dengan Bacaan CBR dari Contoh Sampel Tanah Lempung Kondisi Setelah Direndam Air

Tabel 14.

Data CBR Contoh Sampel Tanah Lempung Setelah Direndam Air

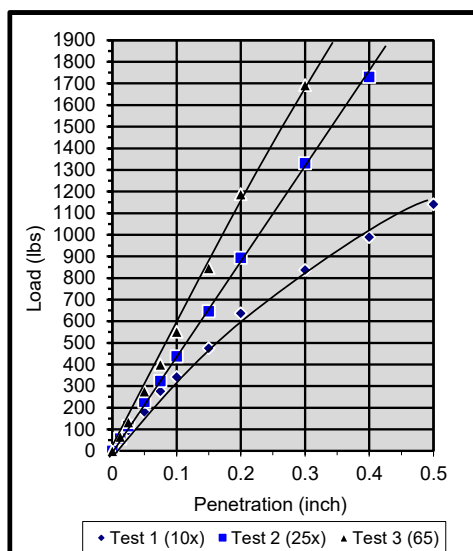
Time (minute)	Setting (inch)	Test 1 (10x)		Test 2 (25x)		Test 3 (65x)	
		dial reading	load (lbs)	dial reading	load (lbs)	dial reading	load (lbs)
0.0	0.0000	0		0		0	
0.3	0.0125	1.5	14.3	3	28.5	4	38.0
0.5	0.0250	4	38.0	6	57.1	8	76.1
1.0	0.0500	7	66.6	12	114.1	15	142.7
1.5	0.0750	13	123.6	19	180.7	24	228.2
2.0	0.1000	17	161.7	27	256.8	32	304.3
3.0	0.1500	27	256.8	43	408.9	50	475.5
4.0	0.2000	32	304.3	56	532.6	72	684.7
6.0	0.3000	38	361.4	87	827.4	108	1027.1
8.0	0.4000	43	408.9	109	1036.6	145	1379.0
10.0	0.5000	47	447.0	134	1274.3	176	1673.8
Penetration (inch)		0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
CBR value (%)		5.4	6.8	8.6	11.8	10.1	15.2

Tabel 15.

Data CBR Contoh Sampel Tanah Lempung yang Dicampur Batu Kapur Kondisi Belum Direndam Air

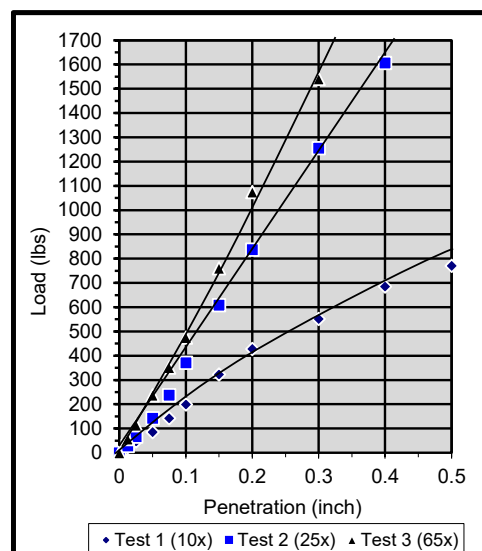
Time (minute)	Setting (inch)	Test 1 (10x)		Test 2 (25x)		Test 3 (65x)	
		dial reading	load (lbs)	dial reading	load (lbs)	dial reading	load (lbs)
0.0	0.0000	0		0		0	
0.3	0.0125	5	47.6	6	57.1	7	66.6
0.5	0.0250	10	95.1	12	114.1	14	133.1
1.0	0.0500	19	180.7	24	228.2	29	275.8
1.5	0.0750	29	275.8	34	323.3	42	399.4
2.0	0.1000	36	342.4	46	437.5	58	551.6
3.0	0.1500	50	475.5	68	646.7	89	846.4

Time	Setting	Test 1 (10x)		Test 2 (25x)		Test 3 (65x)	
(minute)	(inch)	dial reading	load (lbs)	dial reading	load (lbs)	dial reading	load (lbs)
4.0	0.2000	67	637.2	94	893.9	125	1188.8
6.0	0.3000	88	836.9	140	1331.4	178	1692.8
8.0	0.4000	104	989.0	182	1730.8		
10.0	0.5000	120	1141.2				
Penetration (inch)		0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
CBR value (%)		11.4	14.2	14.6	19.9	18.4	26.4



Gambar 6.

Grafik Hubungan Antara Penetrasi dengan Bacaan CBR dari Contoh Sampel Tanah Lempung Dicampur Batu Kapur Kondisi Belum Direndam Air



Gambar 7.

Grafik Hubungan Antara Penetrasi dengan Bacaan CBR dari Contoh Sampel Tanah Lempung Dicampur Batu Kapur Kondisi Setelah Direndam Air

Tabel 16.

Data CBR Contoh Sampel Tanah Lempung yang Dicampur dengan Batu Kapur Setelah Direndam Air

Time	Setting	Test 1 (10x)		Test 2 (25x)		Test 3 (65x)	
(minute)	(inch)	dial reading	load (lbs)	dial reading	load (lbs)	dial reading	load (lbs)
0.0	0.0000	0		0		0	
0.3	0.0125	2.5	23.8	3	28.5	6	57.1
0.5	0.0250	5	47.6	7	66.6	12	114.1
1.0	0.0500	9	85.6	15	142.7	25	237.8
1.5	0.0750	15	142.7	25	237.8	37	351.9
2.0	0.1000	21	199.7	39	370.9	50	475.5
3.0	0.1500	34	323.3	64	608.6	80	760.8
4.0	0.2000	45	428.0	88	836.9	113	1074.6
6.0	0.3000	58	551.6	132	1255.3	162	1540.6
8.0	0.4000	72	684.7	169	1607.2		
10.0	0.5000	81	770.3				
Penetration (inch)		0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
CBR value (%)		6.7	9.5	12.4	18.6	15.9	23.9

3.4 Pengujian Berat Jenis GS (*Specific Gravity*)

Pengujian berat jenis tanah bertujuan untuk menentukan nilai perbandingan antara berat butiran tanah dengan berat air destilasi di udara dengan volume yang sama pada temperature tertentu. Cara pengujian ini memerlukan sebuah tempat khusus yang disebut piknometer wadah ini digunakan untuk tempat dari suatu sampel yang akan di uji dan isi air setelah itu ditimbng dan di oven untuk menghilangkan udaranya kemudian didiamkan selama 24 jam. Pengujian ini dilakukan dengan dua kali pengujian yanag pertama pengujian contoh sampel tanah lempung lokasi Cangar kondisi sebelum dicampur dengan batu kapur dan pengujian ke dua dilakukan dengan contoh sampel tanah lempung lokasi Cangar dicampur dengan 20% batu kapur. Pengujian yang mengacu sesuai GS (*Specific Gravity*) ASTM D-854.

Tabel 17.

Data GS (*Specific Gravity*) Contoh Sampel Tanah Lempung Kondisi Asli

<i>weight of picnometer (gram)</i>	26.10
<i>volume of picnometer + soil (gram)</i>	36.50
<i>weight of picnometer + soil + water (gram)</i>	82.62
<i>weight of picnometer + water (gram)</i>	76.34
GS	2.52

Contoh perhitungan dengan bantuan rumus nomor 2 dan 3 adalah seperti berikut ini:

$$G_s = \frac{P_s}{P_w} = 2.52$$

Tabel 18.

Data GS (*Specific Gravity*) Contoh Sampel Tanah Lempung Dicampur dengan Batu Kapur

<i>weight of picnometer (gram)</i>	21.23
<i>volume of picnometer + soil (gram)</i>	31.61
<i>weight of picnometer + soil + water (gram)</i>	77.26
<i>weight of picnometer + water (gram)</i>	70.8
GS	2.65

3.5 Pengujian Analisa Ayakan (*Grain Size Analysis*)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan persentase ukuran butiran tanah pada benda uji yanag tertahan saringan nomor 200. Dengan cara mencuci contoh sampel tanah pada saringan nomor 200 dengan air sampel dalam kondisi hilang lempungnya atau lumpurnya. Setelah itu sisa butiran yang tertahan ditiriskan dilenser dan oven sampai kering hingga setelah kering untuk kemudian dilakukan penyaringan atau diayak dengan saringan nomor 2", 1.5", 1", 3/4", 3/8", 4, 8, 16, 30, 40, 100,dan 200 kemudian dipisahkan dan ditimbang sesuai ukuran yang tertahan ayakan. Sampel tanah yang digunakan untuk mencuci ada dua jenis yakni, contoh sampel tanah lempung lokasi Cangar dan contoh sampel tanah lempung lokasi Cangar yang dicampur dengan batu kapur serta memiliki berat masing-masing 500 gram. Pengujian dilakukan sesuai *grain size analysis* ASTM D-422.

Tabel 19.

Data Analisa Ayakan Contoh Sampel Tanah Lempung Kondisi Asli

<i>Sieve opening</i>		<i>Mean weight</i>
No.	mm	
2"	50.8	
1.5"	38.1	
1"	25.4	
3/4"	19	
3/8"	9.5	
4	4.75	2.02
8	2.36	2.54
16	1.18	6.58
30	0.6	9.05
40	0.425	8.42
100	0.15	19.83
200	0.075	14.61
Pan		436.95

Tabel 20.

Data Analisa Ayakan Contoh Sampel Tanah Lempung Kondisi Setelah Dicampur dengan Batu Kapur

Sieve opening		Mean weight
No.	mm	
2"	50.8	
1.5"	38.1	
1"	25.4	
3/4"	19	
3/8"	9.5	18.05
4	4.75	19.01
8	2.36	32.84
16	1.18	16.68
30	0.6	20.42
40	0.425	14.47
100	0.15	24.46
200	0.075	14.58
Pan		339.49

3.6 Pengujian Atterberg Limit

Pengujian ini adalah bertujuan untuk mengetahui batas-batas plastis PL (*Plastic Limit*) dan batas cair LL (*Liquid Limit*) pada masing-masing contoh sampel uji. pengujian ini dilakukan melalui dua kali percobaan untuk pengujian batas plastis PL dan tiga kali percobaan pada pengujian batas cair LL pada masing-masing sampel ujinya baik itu sampel tanah lempung lokasi Cagar kondisi belum dicampur dengan batu kapur dan sampel tanah lempung lokasi Cagar kondisi sudah dicampur dengan batu kapur. Sesuai dengan uji PL dan batas cair LL menurut ASTM D-4381.

A. Pengujian PL

Tabel 21.

Data Pengujian Batas Plastis PL dari Contoh Sampel Tanah Lempung Kondisi Asli Belum Dicampur Batu Kapur

Sample No.	Test 1	Test 2
weight of can (gram)	8.10	8.09
weight of can + wet soil (gram)	12.42	12.12
weight of can + dry soil (gram)	11.26	11.00
PL: water content (%)	36.70	38.48

Contoh perhitungan kadar air pada kolom Test 1 dengan menggunakan rumus nomor 1 dapat ditunjukkan sebagai berikut:

$$W = \frac{(12.42 - 11.26)}{(11.26 - 8.10)} \times 100 = 36.70\%$$

Tabel 22.

Data Pengujian Batas Plastis PL dari Contoh Sampel Tanah Lempung Kondisi Setelah Dicampur Batu Kapur

Sample No.	Test 1	Test 2
weight of can (gram)	8.09	7.87
weight of can + wet soil (gram)	12.95	12.15
weight of can + dry soil (gram)	11.85	11.18
PL: water content (%)	29.25	29.30

B. Pengujian LL

Tabel 23.

Data Pengujian Batas Cair LL Contoh Sampel Tanah Lempung Kondisi Asli Belum Dicampur Batu Kapur

Sample No.	Test 1	Test 2	Test 3
number of trokes (N)	5	3	2
weight of can (gram)	7.99	7.65	7.60
weight of can + wet soil (gram)	33.17	30.58	37.48
weight of can + dry soil (gram)	22.28	20.16	23.55
water content (%)	76	83	87
LL	63	64	64

Contoh perhitungan batas cair (*Liquid Limit*) untuk hasil pada kolom Test 1 dapat disimak sebagai berikut:

$$LL = W_N \times \left(\frac{N}{25}\right) \times 0.121 \dots (10)$$

sehingga,

$$LL = 76\% \times \left(\frac{5}{25}\right) \times 0.121 = 63\%$$

Tabel 24.

Data Pengujian Batas Cair LL dari Contoh Sampel Tanah Lempung Kondisi Setelah Dicampur Batu Kapur

Sample No.	Test 1	Test 2	Test 3
number of trokes (N)	7	5	3
weight of can (gram)	7.65	7.60	7.93
weight of can + wet soil (gram)	31.40	30.87	30.00

Sample No.	Test 1	Test 2	Test 3
weight of can + dry soil (gram)	23.25	22.62	22.01
water content (%)	52	55	57
LL	45	45	44

Dari pengujian PL (*Plastic Limit*) dan LL (*Liquid Limit*) diatas dapat dikatakan bahwa PI (indek plastisitas) dari contoh sampel tanah lempung lokasi Cangar sebelum dicampur dengan batu kapur adalah pada level 26 tergolong tanah lempung yang memiliki plastisitas tinggi, dan indek plastisitas dari contoh sampel tanah lempung lokasi Cangar setelah dicampur dengan batu kapur adalah level 15 yang tergolong tanah lempung berlanau yang memiliki plastisitas sedang.

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan pengujian, dapat ditarik beberapa kesimpulan terkait perilaku dan sifat tanah lempung setelah distabilisasi menggunakan batu kapur.

1. Tanah lempung sebelum dicampur dengan batu kapur memiliki plastisitas tinggi dengan nilai 26 yang tergolong tanah lempung, dan setelah dilakukan pencampuran 20% batu kapur tanah mengalami penurunan tingkat plastisitas menjadi 15 dan dapat digolongkan menjadi tanah lempung berlanau dengan plastisitas sedang.
2. Nilai CBR yang diperoleh dari hasil uji dalam kondisi asli sebesar 22.4% dan dalam kondisi setelah direndam dalam air bernilai 15.2%. Setelah dilakukan stabilisasi dengan campuran 20% batu kapur nilai CBR meningkat menjadi 26.4% dan dalam kondisi setelah direndam mencapai 23.9%.
3. Nilai kepadatan maksimum (*Maximum Dry Density*/MDD) kondisi sampel sebelum dicampur dengan batu kapur 0.99 gram/cm^3 dan setelah dicampur MDD-nya meningkat menjadi 1.24 gram/cm^3 .
4. Distribusi ukuran butiran yang didapat tergolong kerikil 2.02 gram, tergolong

pasir 61.03 gram, dan tergolong lempung 436.95 gram 87.39%. Sedangkan tanah lempung yang dicampur dengan batu kapur 20% tergolong kerikil sebanyak 37.06 gram, tergolong pasir 123.45 gram, dan yang tergolong lempung 339.49 gram 67.89%.

Penelitian ini dilakukan melalui serangkaian uji di laboratorium, serta dengan nilai prosentase penambahan batu kapur sebesar 20%. Oleh sebab itu sebagai bahan penelitian lebih lanjut dapat dikembangkan untuk berbagai variasi prosentase penambahan serta serangkaian uji di lokasi juga dapat pula dikembangkan untuk jenis tanah lainnya.

5. DAFTAR PUSTAKA

- ASTM (American Society for Testing and Material) D2216-98. (2017). Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass, USA.
- ASTM (American Society for Testing and Material) D854. (2000). Standard Test Methods for Spesific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer, USA.
- ASTM (American Society for Testing and Material) D4318. (2000). Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, Plasticity Index of Soils, USA.
- ASTM (American Society for Testing and Material) D1557. (2007). Standard Test Method for Laboratory Compaction Characteristic of Soil Using Modified Proctor, USA.
- ASTM (American Society for Testing and Material) D1883. (1991). Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils, USA.
- ASTM (American Society for Testing and Material) D422-63. (2007). Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils, USA.

- ASTM (American Society for Testing and Material) D421-85. (2007). Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants, USA.
- Wesley, Laurence D. (2012). *Mekanika tanah untuk tanah endapan dan residu*. Yogyakarta: ANDI.



Copyright© by the authors. Licensee Jurnal Ilmiah MITSU, Indonesia. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike (CC BY-NC-SA 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)