

## PERILAKU UJI MODEL KONSOLIDASI BEBAN STATIS DAN DINAMIS

Irnowaty<sup>1</sup>, AR Djamaluddin<sup>2</sup>, B Muhiddin<sup>2</sup>, Ardy Arsyad<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa S3, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Makassar

<sup>2,3,4</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Makassar

Email: innacivilumi@gmail.com

### ABSTRAK

Konsolidasi merupakan fenomena yang sering menimbulkan permasalahan geoteknik. Konsolidasi tanah adalah peristiwa penurunan tanah akibat terdisipasinya eksese air pori yang berlangsung pada waktu yang lama. Tanah merupakan suatu material multifase yang terdiri dari partikel tanah padat, air, serta udara. Pemberian beban pada tanah, akan menyebabkan meningkatnya tegangan yang bekerja pada tanah tersebut. Tegangan tambahan yang bekerja pada tanah pada awalnya akan dipikul oleh air pori karena sifat incompressible air. Hal ini akan menyebabkan timbulnya eksese air pori. Eksese air pori ini akan terdisipasi dengan mengalir keluarnya air pori tanah melalui pori-pori tanah, sementara tegangan tambahan yang awalnya dipikul air pori secara gradual ditransfer ke partikel tanah padat. Lama waktunya konsolidasi ini dipengaruhi oleh sifat permeabilitas yang kecil. Sifat ini membuat air di dalam tanah lunak tidak terdisipasi dengan sempurna. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya deformasi dan laju konsolidasi terhadap beban dinamis dan beban statis. Model pengujian dibuat di laboratorium dan beberapa pengujian laboratorium yang dilakukan adalah pengujian kadar air, permeabilitas, vanshare, UCT sebelum dan setelah pengujian dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tekanan air pori terhadap beban dinamis lebih besar daripada beban statis. Hal ini menyebabkan peningkatan kuar geser undrained pada tanah uji.

**Kata Kunci:** *Konsolidasi, tekanan air pori, beban statis, beban dinamis.*

### ABSTRACT

*Consolidation is a phenomenon that often causes geotechnical problems. Soil consolidation is an event of land subsidence due to the dissipation of excess pore water that lasts for a long time. Soil is a multiphase material consisting of solid soil particles, water, and air. Giving a load on the soil, will cause an increase in the stress acting on the soil. The additional stress acting on the soil will initially be borne by the pore water due to the incompressible nature of water. This will lead to excess pore water. This excess pore water will be dissipated by flowing out of the soil pore water through the soil pores, while the additional stress initially borne by the pore water is gradually transferred to the solid soil particles. The length of time for this consolidation is influenced by the nature of the small permeability. This property makes the water in the soft soil not dissipate perfectly. This study aims to determine the magnitude of deformation and the rate of consolidation against dynamic loads and static loads. The test model is made in the laboratory and several laboratory tests carried out are testing water content, permeability, vanshare, UCT before and after testing was performed. The results showed that the pore water pressure for dynamic loads was greater than for static loads. This causes an increase in the undrained shear strength in the test soil.*

**Key words:** *Consolidation, pore water pressure, static load, dynamic load.*

### 1. PENDAHULUAN

Masalah yang sering terjadi pada tanah kohesif dan lunak adalah penurunan yang disebabkan proses konsolidasi. Penurunan dapat menyebabkan keretakan pada struktur konstruksi yang berada di atasnya. Jika suatu kegiatan konstruksi dilakukan saat tanah belum terkonsolidasi, maka konstruksi tersebut dapat mengalami penurunan. (Prasetio & Prihatiningsih, 2020). Penurunan tanah

merupakan suatu parameter yang perlu diperhitungkan dalam merencanakan suatu struktur bangunan, dengan melakukan perencanaan penurunan tanah kita dapat mengetahui besarnya penurunan yang akan terjadi pada struktur bangunan sehingga kita dapat melakukan antisipasi tertentu untuk mengatasi permasalahan penurunan tanah tersebut. Konsolidasi satu dimensi merupakan metode pengujian tanah yang bertujuan untuk

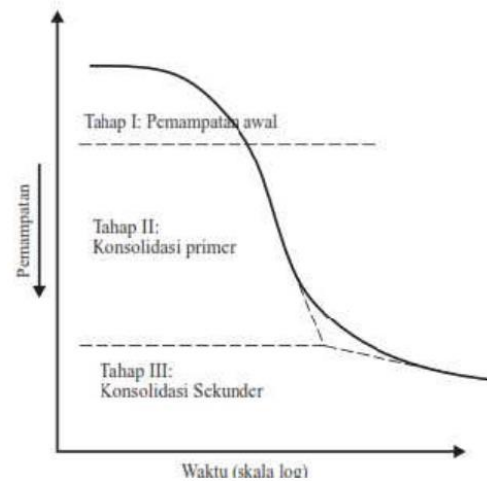
mencari atau mendapatkan parameter konsolidasi, baik primer maupun sekunder. Dimana parameter tersebut diperlukan guna memperkirakan besarnya nilai penurunan tanah yang terjadi akibat adanya beban luar. Berdasarkan ASTM D – 2435, pengujian konsolidasi secara umum terdiri dari tiga tahapan pengujian yaitu, penjenjuran (*saturation*), pembebanan (*loading*), dan pelepasan beban (*unloading*). Pada pelaksanaannya, tahapan-tahapan pengujian tersebut memerlukan waktu yang relatif lama, karena untuk satu sampel tanah, pengujian konsolidasi menghabiskan waktu sekitar delapan hari. Konsolidasi merupakan fenomena dalam mekanika tanah yang sering menimbulkan permasalahan geoteknik. Konsolidasi tanah adalah peristiwa penurunan tanah akibat terdisipasinya eksese air pori yang berlangsung pada waktu yang lama. Tanah merupakan suatu material multifase yang terdiri dari partikel tanah padat, air, serta udara. Pemberian beban pada tanah, akan menyebabkan meningkatnya tegangan yang bekerja pada tanah tersebut. Tegangan tambahan yang bekerja pada tanah pada awalnya akan dipikul oleh air pori karena sifat incompressible air. Hal ini akan menyebabkan timbulnya eksese air pori. Eksese air pori ini akan terdisipasi dengan mengalir keluar air pori tanah melalui pori-pori tanah, sementara tegangan tambahan yang awalnya dipikul air pori secara gradual ditransfer ke partikel tanah padat. Konsolidasi tanah adalah suatu proses pengecilan volume secara perlahan-lahan pada tanah jenuh sempurna dengan permeabilitas rendah akibat pengaliran sebagian air pori. Proses tersebut berlangsung terus sampai kelebihan tegangan air pori yang disebabkan oleh kenaikan tegangan total telah benar-benar hilang. (Soedarmo dan Purnomo, 2001). Pada umumnya, tahapan konsolidasi dapat ditunjukkan oleh grafik hubungan antara pemampatan dan waktu. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa ada tiga tahapan yang berbeda yang dapat dijalankan, yaitu:

Tahap I: Pemampatan awal (*initial compression*), yang pada umumnya terjadi disebabkan oleh pembebanan awal (*preloading*).

Tahap II: Konsolidasi primer (*primary consolidation*), yaitu periode selama tegangan air pori secara lambat laun dipindahkan ke dalam tegangan efektif, sebagai akibat dari keluarnya air dari pori-pori tanah.

Tahap III: Konsolidasi sekunder (*secondary consolidation*), yaitu terjadi setelah tegangan air

pori hilang seluruhnya. Pemampatan yang terjadi adalah disebabkan oleh penyesuaian yang bersifat plastis dari butir-butir tanah setelah konsolidasi primer. (Braja M. Das, 1988).



**Gambar 1** Grafik hubungan waktu-pemampatan selama konsolidasi untuk suatu pembebanan yang diberikan, (sumber: Braja M. Das, 1988)

Kepadatan tanah dipengaruhi oleh besar kecilnya energi pemadatan yang diberikan. Pada proses pemadatan, peningkatan energi tidak dipengaruhi secara linear melainkan nilai optimum energi pemadatan yang diperlukan untuk memperoleh kepadatan maksimum suatu tanah, akan tetapi penambahan air setelah mencapai kadar air optimum justru cenderung menurunkan berat volume kering dari tanah. Hal ini disebabkan karena air tersebut menempati ruang-ruang pori-pori dalam tanah yang seharusnya dapat ditempati oleh partikel-partikel padat dari tanah. Pemadatan yang berlebihan pada tanah tersebut, juga menyebabkan struktur tanah menjadi rusak dan tidak mencapai kepadatan maksimum yang diharapkan. (Nenny1 & Hamzah, 2015). Besarnya energi pemadatan tergantung pada berat alat pemadat, tekanan dan alat pemadat yang digunakan. Besar kecilnya energi pemadatan yang diberikan menentukan besar kecilnya biaya pekerjaan pemadatan. Makin banyak lintasan pemadatan yang dilakukan pada proses pemadatan tanah, makin besar biaya yang digunakan. Oleh karena itu, jumlah lintasan (besarnya energi) yang diperlukan untuk mencapai kepadatan maksimum suatu jenis tanah harus dihitung untuk menghindari pemborosan biaya. (Theo, dkk. 2002).

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Tempat dan waktu penelitian

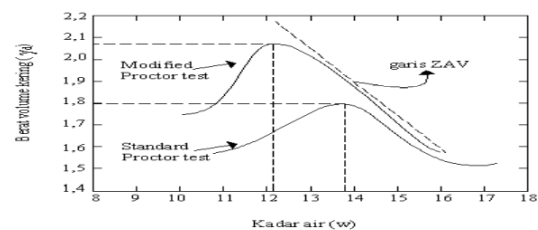
Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin, Gowa, Sulawesi Selatan. Penelitian ini berupa studi perilaku uji model konsolidasi beban statis dan dinamis. Dengan jangka waktu penelitian dari bulan Juli 2021 sampai dengan Oktober 2021.

### 2.2 Rancangan Penelitian

Adapun rancangan penelitian antara lain:

1. Pengambilan Sampel Tanah Pengambilan sampel tanah asli dari lokasi Kampus Teknik Sipil Universitas Hasanuddin, Gowa, Sulawesi Selatan dengan klasifikasi sebagai tanah lempung. Sampel yang akan digunakan dalam penelitian ini merupakan sampel tanah terganggu (disturbed sample)
2. Data Indeks Properties Tanah (Soil properties). Specific gravity, kohesi ( $c$ ), sudut geser ( $\phi$ ), berat isi tanah ( $\gamma$ ), water content ( $w$ ), void ratio ( $e$ ), batas-batas Atterberg (Atterberg limit), Pengujian Berat jenis, dan permeabilitas, distribusi Ukuran Butiran (Grain Size).
3. Pengujian Engineering Properties, Pengujian engineering properties bertujuan untuk mencari nilai parameter teknis dari suatu massa tanah. Dalam penelitian ini, pengujian engineering properties yang dilakukan adalah pengujian pengujian kepadatan standar (standard proctor test) dan pengujian konsolidasi. (Nenny & Imran, 2015; Taqwa, Chayati, et al., 2019)
4. Metode pengujian pemadatan dengan metode Proctor Standar mengacu pada SNI 03-1742-1989. Adapun tahapan pengujian adalah sebagai berikut:
  - a. Keringkan sampel tanah hingga menjadi gembur. Pengeringan dilakukan di udara atau dengan pengeringan lainnya yang suhunya tidak lebih dari  $60^{\circ}$  C. Gumpalan-gumpalan tanah harus ditumbuk tetapi butir aslinya tidak pecah.
  - b. Tanah yang sudah gembur disaring dengan saringan no.4 dan diambil sebanyak 10 kg untuk 4 sampel, kemudian diberi aquades dengan selisih setiap sampel 1 – 3% dari berat tanah.
  - c. Mengaduk secara merata masing-masing sampel kemudian simpan dalam kantong plastik kedap air selama  $\pm$  12 jam.

- d. Timbang cetakan dan keping alas dengan ketelitian 5 gram (B1 gram) kemudian satukan dan tempatkan pada tempat yang kokoh.
- e. Ambil contoh tanah asli, aduk sampai rata (homogen) kemudian padatkan dalam cetakan dengan cara tanah dipadatkan dalam 3 lapisan dengan tiap-tiap lapisan dipadatkan dengan 25 kali tumbukan.
- f. Potong kelebihan tanah dari bagian keliling leher dengan pisau dan lepaskan leher sambung.
- g. Pergunakan alat perata untuk meratakan kelebihan tanah sehingga betul-betul rata dengan permukaan cetakan
- h. Timbang cetakan berisi benda uji dengan ketelitian 5 gram.
- i. Gambar grafik berat isi tanah kering terhadap kadar air, dengan sebuah kurva yang halus yang paling mendekati titik yang digambarkan dan tentukan berat isi kering maksimum dari kurva tersebut dengan ketelitian 0,01 gr/cm<sup>3</sup>. Kadar air yang sesuai dengan berat isi kering maksimum adalah kadar air optimum dan harus dicatat dengan ketelitian 0,5 %.



**Gambar 2** Grafik kepadatan kering kadar air. (Braja M.Das, 1995.1)

### 5. Analisis Data

Data yang diperoleh akan diolah secara manual dengan menggunakan *Microsoft Excel*. Besarnya penurunan total ( $S_{tot}$ ) akibat beban dan lamanya waktu penurunan tanah untuk masing-masing derajat konsolidasi Pada penurunan konsolidasi ada 2 (dua) hal penting yang perlu diperhatikan, yaitu besarnya penurunan yang terjadi dan lamanya waktu penurunan konsolidasi berlangsung. Tahapan analisis penurunan konsolidasi tanah adalah sebagai berikut:

- a. Menentukan besarnya tekanan overburden efektif ( $P_0'$ ) yang terjadi pada tanah.
- b. Menentukan nilai ( $P_c'$ ) berdasarkan pengaruh fluktuasi muka air tanah.
- c. Menentukan besarnya distribusi tegangan tanah.

- d. Menentukan besarnya penurunan konsolidasi.
- e. Menentukan nilai Cv rata-rata
- f. Analisis penurunan tanah (settlement). Analisis penurunan dimaksudkan untuk memperkirakan penurunan suatu konstruksi sebagai akibat tanah yang mengalami konsolidasi.

Penurunan terdiri dari: a. Penurunan segera (*immediate settlement*) b. Penurunan pertama konsolidasi (*Primary consolidation*) c. Penurunan ke dua konsolidasi/rangkak (*Secondary consolidation settlement/creep*).

Penambahan beban vertikal di atas permukaan tanah akan menyebabkan penurunan (*settlement*). Besarnya penurunan yang terjadi pada lapisan tanah yang menentukan lamanya waktu penurunan konsolidasi. (Taqwa, Hutabarat, et al., 2019) Pada tahap ini dapat diketahui berapa lama waktu yang dibutuhkan tanah mengalami penurunan pada derajat konsolidasi tertentu. Waktu konsolidasi yang dibutuhkan tanah lempung biasanya sangat lama hingga berpuluh-puluh tahun.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Data Indeks Properties Tanah

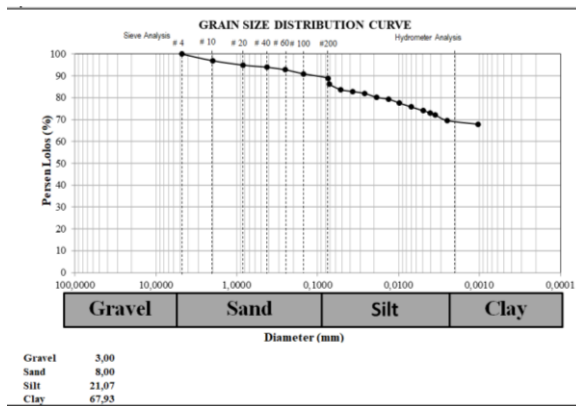
- a. Kadar Air. Dari hasil pengujian kadar air sampel tanah, diperoleh kadar air alami/kadar air natural 40,87 % untuk tanah dasar.
- b. Berat Jenis Spesifik (*Gs*). Hasil pengujian berat jenis (*Gs*) yang sudah dilakukan di laboratorium dilakukan dengan pengujian sebanyak dua sampel diperoleh nilai berat jenis 2,77 untuk tanah dasar. Angka ini menunjukkan bahwa sampel tanah tersebut termasuk dalam golongan tanah lempung.
- c. Uji berat volume adalah pengujian yang didefinisikan sebagai perbandingan antara berat tanah dan volume tanah. Pengujian berat volume tergantung pada jumlah kadar air. Semakin sedikit kadar air yang terkandung di dalam tanah maka semakin besar berat volume kering tanah.

Tabel Analisis berat spesifik tanah

Sample		A	B
Weight of Vol. Flask + Soil ( <i>W<sub>2</sub></i> )	gram	36,59	32,64
Weight of Vol. Flask ( <i>W<sub>1</sub></i> )	gram	26,59	22,64
Weight of Soil	gram	10,00	10,00
Temp, T (°C)	Degre	28,0	28,0
Weight of Vol. Flask + Water at T ( <i>W<sub>4</sub></i> )	gram	73,85	73,10
Weight of Vol. Flask+Water+Soil ( <i>W<sub>3</sub></i> )	gram	80,07	79,31

Unit Weight of Water at T, <i>g<sub>r</sub></i>	Gram/ cm <sup>3</sup>	0,99624	0,99624
Temp. Corr. Coefficient, <i>a=gT/g200C</i>	-	0,99803	0,99803
Weight of Dry Soil, <i>W<sub>s</sub></i>	gram	9,85	9,84
Specific Gravity of Soil ( <i>G<sub>s</sub>=a*W<sub>s</sub>/W<sub>u</sub></i> )	-	2,708	2,705
Average of <i>G<sub>s</sub></i>	-	2,707	
Remarks:	Unit Weight of Water, 0,99821		

- d. Batas-Batas Atterberg  
Batas Atterberg adalah batas plastisitas tanah yang terdiri dari batas atas kondisi plastis disebut batas plastis (*plastic limit*) dan batas bawah kondisi plastis disebut batas cair (*liquid limit*). Dari pengujian yang telah dilakukan, diperoleh nilai batas cair (LL) sebesar 61,24 %, nilai Batas Plastis (*plastic Limit, PL*) sebesar 46,22%, dan nilai Batas Susut (*Shrinkage Limit, SL*)sebesar 20,18%. Dari hasil pengujian di laboratorium dapat dilihat bahwa nilai batas cair mengalami penurunan akibat bertambahnya persentase pasir. Semakin banyak pasir pada campurannya maka nilai batas cairnya semakin kecil. Hal ini dikarenakan penambahan pasir menyebabkan kadar air pada campuran semakin berkurang sehingga menyebabkan campuran berada dalam keadaan batas cair yang lebih kecil dari semula. Demikian juga yang terjadi pada nilai batas plastis yang mengalami penurunan karena penambahan pasir menyebabkan plastisitas tanah berkurang daripada tanah asli.
- e. Analisa Gradasi Butiran.  
Dari hasil pengujian gradasi yang dilakukan pada tanah dasar dengan analisa saringan diperoleh hasil tanah tersebut lebih dari 50% lolos saringan No.200 yaitu 54,10%. Tanah tersebut merupakan tanah berbutir halus. Hal ini menunjukkan persentase butiran halusnya cukup dominan. Menurut AASHTO tanah ini termasuk dalam tipe A-7-5, jenis tanah berlempung dimana indeks plastisitasnya >11. Peninjauan klasifikasi yang mempunyai ukuran butir lebih kecil dari 0,075 mm, tidak didasarkan secara langsung pada gradasinya sehingga penentuan klasifikasinya lebih didasarkan pada batas-batas Atterberg-nya.



**Gambar 4** Grafik Distribusi Butiran Tanah Dasar

### 3.2 Analisis Konsolidasi

Dari hasil pengujian konsolidasi pada tanah dasar diperoleh nilai koefisien tekanan ( $C_c$ ) sebesar 0,400 dan koefisien mengembang ( $C_s$ ) sebesar 0,031.

- Analisis Penurunan Tanah (*Settlement*)  
Perhitungan penurunan konsolidasi pada perencanaan ini dihitung berdasarkan pemampatan tanah akibat konsolidasi primer (*consolidation primair settlement*) yaitu pada kondisi tanah terkonsolidasi normal. Dari perhitungan tersebut diperoleh besarnya penurunan tanah ( $S_c$ )
- Analisis Koefisien Konsolidasi Vertikal ( $C_v$ ) dan Horizontal ( $C_h$ )

Setelah diperoleh besarnya pemampatan yang terjadi akibat beban, dilakukan perhitungan waktu konsolidasi yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pemampatan tersebut. Karena tanah berlapis-lapis dengan ketebalan dan harga  $C_v$  berbeda, maka nilai  $C_v$  gabungan atau nilai  $C_v$  rata-rata dapat diperoleh:

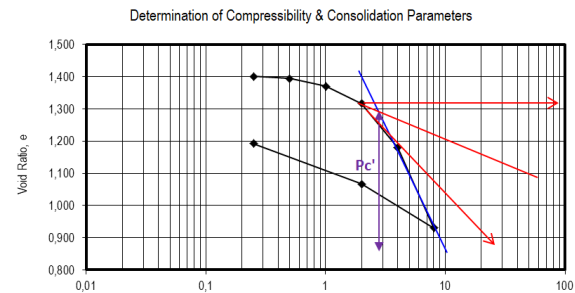
$$C_v = T_v + H^2 = 0,00641 \text{ m}^2/\text{minggu}$$

Dengan:

- $C_v$  = koefisien konsolidasi ( $\text{cm}^2/\text{dtk}$ )
- $T_v$  = faktor waktu tergantung dari derajat konsolidasi ( $U$ )
- $H$  = tebal lapisan tanah *compressible* (m)

Derajat konsolidasi yang ingin dicapai adalah  $U=90\%$ , maka didapat  $T_v = 0,848$  (berdasarkan tabel 2.1) sedangkan tebal lapisan drainase ( $H_{dr}$ ) sebesar 14 m sehingga didapat waktu konsolidasi dengan menggunakan persamaan :

$$t = \frac{T_v \cdot H_{dr}^2}{C_p} = 25,927 \text{ minggu atau } 498 \text{ tahun}$$

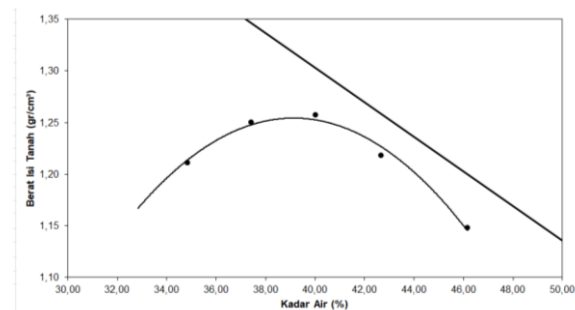


**Gambar 5** Grafik hubungan konsolidasi dengan void ratio

### 3.3 Analisis Proctor

Tujuan dilakukannya pengujian pemadatan tanah ini bertujuan untuk meningkatkan kekuatan tanah dengan cara dipadatkan sehingga rongga-rongga udara pada sampel tanah asli dapat berkurang yang mengakibatkan kepadatan menjadi meningkat.

Dari hasil pengujian pemadatan standar (*proctor test*) pada tanah timbunan diperoleh kadar air optimum adalah  $W_{opt} = 30,97\%$  dan berat isi kering maksimum  $\gamma_{dmaks} = 1,43 \text{ gr/cm}^3$

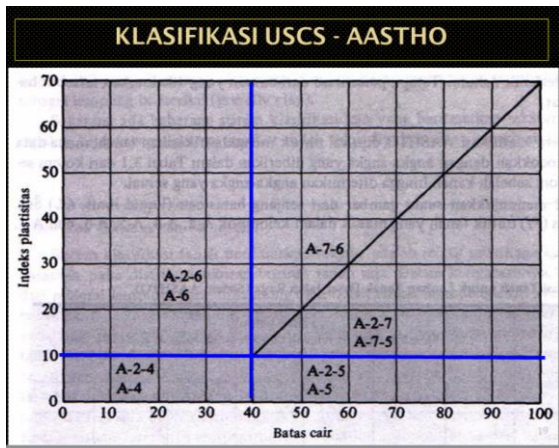


**Gambar 6** Grafik Hubungan Kadar Air dengan Berat isi kering tanah

### 3.4 Sistem Klasifikasi Tanah

- AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*)

Berdasarkan analisa persentase bagian tanah yang lolos saringan No.200 diperoleh hasil tanah tersebut lebih dari 50% ( $>35\%$ ) sehingga tanah di klasifikasikan dalam kelompok tanah berlanau atau berlempung (A-4, A-5, A-6, A-7). Berdasarkan nilai batas cair (LL) sebesar 50,36% dan indeks plastisitasnya (PI) sebesar 13,12%, maka tanah tersebut masuk kategori A-7-5 termasuk dalam klasifikasi tanah berlempung dimana indeks plastisitasnya (PI)  $> 11$ .



**Gambar 7** Grafik penentuan klasifikasi tanah menurut AASHTO

## 2. USCS (*Unified Soil Classification System*)

Dari analisis saringan didapatkan tanah lolos saringan No.200 lebih dari 50% sehingga masuk kedalam klasifikasi tanah berbutir halus. Dengan batas cair (*LL*) sebesar 50,36% dan indeks plastisitas (*PI*) sebesar 13,12%, maka tanah tergolong dalam klasifikasi *MH* & *OH* (lempung organik dengan plastisitas sedang & lanau anorganik atau pasir halus *diatomae*).

## 4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian indeks properties tanah, dapat diketahui bahwa:

1. tanah dapat diklasifikasikan ke dalam jenis tanah lempung.
2. Adanya kerikil dan pasir sebagai *filler* dapat meningkatkan nilai kuat tekan, semakin tinggi berat isi yang diperoleh maka akan lebih tinggi kuat tekan.
3. Nilai konsolidasi menunjukkan bahwa penurunan untuk konsolidasi membutuhkan waktu lebih lama.
4. Kepadatan kering optimal dicapai pada penumbukan 25 kali setiap lapis dengan persentase kepadatan yaitu 97.29% dari kepadatan kering maksimum. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kepadatan kering tanah dengan jenis *MH* pada pengujian standar belum mencapai nilai maksimum. Namun jika tanah ini akan digunakan untuk tanah timbunan untuk inti bendungan, sudah dianggap cukup ( $MDD \geq 95\%$ ).
5. Energi pemadatan yang diperlukan untuk memadatkan jenis tanah *MH* hingga kepadatan kering maksimum mencapai 8.220 kg/cm<sup>2</sup> dan jika jenis tanah ini akan digunakan untuk timbunan inti bendungan, maka energi pemadatan cukup dengan 5.708 kg/cm<sup>2</sup>.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bowles. J. E. 1989. Sifat – sifat Fisis Dan Geoteknis Tanah. Edisi Kedua. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Das, Braja M. (1988). *Mekanika Tanah: Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis*. Diterjemahkan oleh Noor Endah dan Indrasurya B. Mochtar. Surabaya: Erlangga.
- Jamaluddi, A. (2018). Analisis Pengaruh Metode Rapid Consolidation terhadap Parameter Konsolidasi Tanah. *Repository Universitas Pendidikan Indonesia repository.upi.edu/perpustakaan.upi.edu*.
- Hutabarat, L. E., Rainaldo, D., Ilyas, T., & Prakoso, W. A. (2019). Site Characterization of Marine Clay Consolidation Ratio on Kamal Muara Area, Northern Jakarta. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 258, No. 1, p. 012020). IOP Publishing.
- Nenny, & Imran, H. Al. (2015). Uji Pemadatan Tanah Samaya sebagai Bahan Timbunan pada Bendungan Urugan. *Prosiding SNTT FODT*.
- Prasetyo, A., & Prihatiningsih, A. (2020). Analisis Penggunaan Prefabricated Vertical Drain (PVD) Pada Tanah Lempung Lunak Yang Terdapat Lapisan Lensa. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil Vol. 3, No. 1, Februari 2020*
- Shen, Yan-Jun, Yu-Liang Zhang, Feng Gao, Geng-She Yang, and Xing-Ping Lai. Influence of Temperature on the Microstructure Deterioration of Sandstone. *Energies*, Vol. 11(7) 1753. doi:10.3390/en11071753
- Soedarmo G. Djatmiko dan S. J. Edy Purnomo. 2001. *Mekanika Tanah 2*. Malang: Kanisius.
- Taqwa, F. M. L., Chayati, N., Alimuddin, A., & Salman, N. (2019). Pemeriksaan Hasil Pelaksanaan Pemadatan Timbunan Tanah di Lokasi Pembangunan Jalan Akses Gardu Induk PLN Kasus Pembangunan Gardu Induk PLN Pd. Indah II Kec. Ciputat Timur, Kota Tangerang Selatan. *Jurnal Komposit*, 3(2), 53-57.
- Taqwa, F. M. L., Hutabarat, L. E., Ilyas, T., & Prakoso, W. A. (2019). Estimation of Settlement Induced Land Subsidence of Marine Clay on Kamal Muara Area, Northern Jakarta, Based on the Change of Pore Water Pressure. *Journal of Physics: Conference Series* Vol. 1376, No. 1, p. 012007. IOP Publishing.
- Theo, N. F., Soectiono, C. (2002). Metode Analisis Stabilitas Lereng Statik Bendungan

Tipe Urugan. *RSNI M-03-2002*. Jakarta.  
Pusat Litbang Sumber Daya Air  
Wang, Chu, and Fox. P. J. (2020). Analytical  
Solutions for Heat Transfer in Saturated

Soil with Effective Porosity. *Journal of  
Geotechnical and Geoenvironmental  
Engineering* 146, no. 9 04020095.  
doi:10.1061/(asce)gt.1943- 5606.0002324.