

Pengujian Permeabilitas Tanah Yang Dipadatkan Dengan Metode *Modified Proctor Cubic Permeameter*

Agil Julianto ¹⁾
Lusmeilia Afriani ²⁾
Iswan ³⁾
Andius Dasa Putra ⁴⁾

Abstract

In recent years, Indonesia as a developing country has been aggressively implementing equitable distribution of infrastructure development, one of which is water resources infrastructure. One of important things that forms the basis for the construction of water structures is the strength of the foundation that is built, including the type of soil used and the permeable nature of the soil. In general, the permeability test is carried out using a mold with a cylindrical model. In this study, the permeability test of compacted soil with a modified proctor and a modified press tool on a cubic permeameter was carried out, aiming to determine the value of soil permeability using a rectangular mold and comparing the value of soil permeability from the pressure method and the modified proctor method, as well as knowing the correlation between soil density and the coefficient of soil permeability. The soil sample used came from Pamenang village, Pringsewu. The soil was then compacted using the modified method and the pressure test instrument at a pressure of 5 MPa, 10 MPa, and 15 MPa.. The results of observations in the laboratory show that the greater the pressure applied to the soil, the smaller the coefficient of permeability. The relationship between the coefficient of permeability with the modified compaction method and the pressure method obtains the value of the permeability coefficient so that the pressure is between 5 and 10 MPa, which is at 7,52 Mpa.

Keywords: Soil, Compaction, Pressure and Permeability.

Abstrak

Beberapa tahun terakhir, Indonesia sebagai negara berkembang makin gencar melaksanakan pemerataan pembangunan infrastruktur, salah satunya adalah infrastruktur sumber daya air. Salah satu hal penting yang menjadi dasar pembangunan bangunan air adalah kekuatan pondasi yang dibangun, termasuk jenis tanah yang dipakai dan sifat lolos air (permeabel) tanah tersebut. Umumnya, uji permeabilitas dilakukan menggunakan *mold* dengan model silinder. Pada penelitian ini, dilakukan uji permeabilitas tanah yang dipadatkan dengan *modified proctor* serta alat tekan modifikasi pada *mold* berbentuk kubus (*cubic permeameter*), bertujuan untuk mengetahui nilai permeabilitas tanah dengan menggunakan *mold* segi empat dan membandingkan nilai permeabilitas tanah dari alat *pressure method* dan *modified proctor method*, serta mengetahui korelasi antara kepadatan tanah dengan nilai koefisien permeabilitas tanah. Sampel tanah yang digunakan berasal dari desa Pamenang, Pringsewu. Tanah tersebut selanjutnya dipadatkan dengan metode *modified* dan dengan alat uji metode tekanan pada tekanan 5 MPa, 10 MPa, dan 15 MPa. Hasil dari pengamatan di laboratorium menunjukkan semakin besar tekanan yang diberikan pada tanah maka semakin kecil koefisien permeabilitasnya. Hubungan koefisien permeabilitas dengan metode pemadatan *modified* dan metode tekanan memperoleh nilai koefisien permeabilitas sehingga tekanan berada di antara nilai 5 dan 10 MPa, yaitu di angka 7,52 MPa

Kata kunci : Tanah, Pemadatan, Tekanan dan Permeabilitas.

¹⁾ Mahasiswa S1 pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.
Surel: agiljulianto24@gmail.com

²⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro No. 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

³⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro No. 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

⁴⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro No. 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

1. PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, Indonesia sebagai negara berkembang makin gencar melaksanakan pemerataan pembangunan infrastruktur di berbagai daerah. Terdapat lima kategori infrastruktur yang dijadikan proyek strategis nasional, antara lain pada bidang energi, transportasi, komunikasi, permukiman, dan sumber daya air. Pembangunan infrastruktur sumber daya air meliputi bendungan, irigasi, air minum, serta sanitasi. Salah satu hal penting yang menjadi dasar dalam pembangunan, khususnya pada bangunan air adalah kekuatan pondasi yang dibangun, termasuk jenis tanah yang dipakai dan sifat lolos air (permeabel) tanah tersebut .

Semua jenis tanah memiliki sifat permeabel, dimana air bebas mengalir melalui ruang kosong (pori-pori) yang ada di antara butiran butiran tanah. Air yang merembes dengan cepat dalam tanah dapat mempengaruhi stabilitas tanah sebagai pondasi bangunan. Air tanah dengan kecepatan lebih besar akan mengurangi stabilitas tanah, dan begitu juga sebaliknya. Ada dua macam permeabilitas, yaitu permeabilitas jenuh dan tak jenuh. Permeabilitas jenuh (aliran jenuh) adalah permeabilitas yang terjadi apabila seluruh pori terisi oleh air. Nilai permeabilitas ditentukan dengan data lapangan dan data analisis laboratorium berbeda dengan nilai permeabilitas tanah dalam keadaan jenuh.

Faktor-faktor yang mempengaruhi permeabilitas tanah menurut (Hillel, 1971) antara lain adalah tekstur tanah, porositas distribusi ukuran pori, stabilitas agregat, stabilitas struktur tanah, serta kadar bahan organik. Hubungan yang lebih utama terhadap permeabilitas tanah adalah distribusi ukuran pori. Tanah-tanah yang bertekstur kasar (tanah-tanah berpasir) mempunyai kapasitas dan laju infiltrasi yang tinggi sehingga jika tanah tersebut dalam maka erosi dapat diabaikan, demikian pula dengan tanah bertekstur pasir halus juga mempunyai kapasitas infiltrasi yang tinggi tetapi jika terjadi aliran permukaan maka butir-butir halus ini akan mudah sekali terangkut (Arsyad, 1989).

Pada umumnya uji permeabilitas yang dilakukan menggunakan *mold* dengan model silinder. Pada penelitian ini, dilakukan uji permeabilitas tanah yang dipadatkan dengan *modified proctor* serta alat tekan modifikasi pada *mold* berbentuk kubus (*cubic permeameter*).

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pengertian tanah sudah sangat umum dan luas, dalam ilmu teknik sipil dapat diartikan bahwa tanah merupakan material yang terdiri dari beberapa zat alam yang terbentuk dari pelapukan. Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran), mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1995).

Tanah lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik dan sub-mikroskopik yang berasal dari pembusukan kimiawi unsur-unsur penyusun batuan, dan bersifat plastis dalam selang kadar air sedang sampai luas. Dalam keadaan kering sangat keras, dan tak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan. Permeabilitas lempung sangat rendah (Terzaghi and Peck, 1987).

Pemadatan tanah merupakan proses naiknya kerapatan tanah dengan memperkecil jarak antar partikel sehingga terjadi reduksi volume udara. Tingkat pemadatan diukur dari berat

volume kering yang dipadatkan. Bila air ditambahkan pada suatu tanah yang sedang dipadatkan, air tersebut akan berfungsi sebagai unsur pembasah atau pelumas pada partikel-partikel tanah. Karena adanya air, partikel-partikel tersebut agar lebih mudah bergerak dan bergeseran satu sama lain dengan membentuk kedudukan yang lebih rapat/padat. Besarnya kepadatan tanah, biasanya dinyatakan dalam berat isi keringnya (γ_d).

Apabila tanah dipadatkan dengan adanya pemadatan yang tetap pada kadar air yang bervariasi, maka pada kadar air tertentu akan tercapai kepadatan maksimum (γ_d maks). Kadar air yang menghasilkan kepadatan maksimum disebut kadar air optimum (γ_w opt). Kadar air optimum yang didapatkan dari uji laboratorium akan digunakan untuk pedoman pelaksanaan pemadatan tanah di lapangan, sedangkan berat volume kering maksimum (γ_d max) digunakan untuk standar dalam mengontrol mutu pelaksanaan pemadatan di lapangan.

Pada awal proses pemadatan, berat volume kering (γ_d) bertambah ketika kadar air bertambah. Pada kadar air nol ($w=0$), berat volume tanah basah (γ_b) sama dengan berat volume tanah kering (γ_d). Ketika kadar air berangsur-angsur ditambah (dengan usaha pemadatan yang sama), berat butiran tanah padat per volume satuan (γ_d) juga bertambah. Pada kadar air lebih besar dari kadar air tertentu, yaitu saat kadar air optimum, kenaikan kadar air justru mengurangi berat volume keringnya. Hal ini karena, air mengisi rongga pori yang sebelumnya diisi oleh butiran padat. Kadar air pada saat berat volume kering mencapai maksimum (γ_{dmak}) disebut kadar air optimum (Hardiyatmo, 2002).

Kemampuan fluida untuk mengalir melalui medium yang berpori adalah suatu sifat teknis yang disebut permeabilitas (Bowless, 1991). Permeabilitas diartikan sebagai kecepatan Bergeraknya suatu cairan pada media berpori dalam keadaan jenuh, atau didefinisikan juga sebagai kecepatan air untuk menembus tanah pada periode waktu tertentu yang dinyatakan dalam cm/jam (Baver, 1969). Permeabilitas tanah bergantung pada ukuran partikel, struktur massa tanah, bentuk partikel tanah, rasio rongga dan sifat resapnya. Namun, faktor utama yang menentukan nilai permeabilitas adalah ukuran partikel dan rasio kekosongan. Beberapa model tersedia dalam literatur yang menghubungkan permeabilitas dengan ukuran partikel (Masch and Denny, 1966). Pori-pori tanah saling berhubungan antara satu dengan yang lainnya. Sehingga air dapat mengalir dari titik yang mempunyai tinggi energi lebih tinggi ke titik dengan energi yang lebih rendah. Permeabilitas juga merupakan pengukuran hantaran hidraulik tanah. Hantaran hidraulik tanah timbul adanya pori kapiler yang saling bersambungan antara satu dengan yang lain. Hantaran hidraulik jenuh dapat diartikan sebagai kecepatan Bergeraknya suatu cairan adalah air dan media pori adalah tanah. Penetapan hantaran hidraulik didasarkan pada hukum (Das, 1993).

$$V = k \cdot I \quad (1)$$

Dimana,

V = kecepatan aliran (m/dtk atau cm/dtk)

k = koefisien permeabilitas

I = gradient hidraulik

Lalu telah diketahui bahwa

$$v = \frac{Q}{A \cdot t} \quad (2)$$

dan

$$v = \frac{\Delta h}{L} \quad (3)$$

Dimana,

- Q = debit konstan, air yang dituangkan ke dalam sumur uji (cm^3/dt)
 A = luas penampang aliran (m^2 atau cm^2)
 t = waktu tempuh fluida sepanjang L (s/detik)
 Δh = selisih ketinggian (m atau cm)
 L = panjang daerah yang dilewati aliran (m atau cm)

Koefisien permeabilitas dapat ditentukan secara langsung di lapangan ataupun dengan cara lebih dahulu mengambil contoh tanah di lapangan dengan menggunakan tabung contoh kemudian diuji di laboratorium. Permeabilitas tanah dapat ditentukan di lapangan atau di laboratorium. Namun, pengukuran permeabilitas tanah di lapangan sangat kompleks, umumnya mahal, pekerjaan terkonsentrasi dan membosankan (Vienken and Dietrich, 2011).

Untuk menentukan koefisien permeabilitas di laboratorium, ada 2 macam cara pengujian yang sering digunakan, yaitu uji tinggi energi tetap (*constant head*) dan uji tinggi energi turun (*falling head*). Uji permeabilitas *constant head* cocok untuk tanah granular, seperti pasir, kerikil atau beberapa campuran pasir dan lanau. Umumnya tanah jenis ini memiliki nilai permeabilitas yang tinggi, karena jenis tanah ini mempunyai angka pori tinggi, yang bergantung pada distribusi ukuran butiran, susunan serta kerapatan butiran.

Uji permeabilitas *falling head* cocok digunakan untuk mengukur permeabilitas tanah berbutir halus. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *falling head*, karena contoh tanah yang digunakan adalah tanah lempung. Rumus mencari nilai permeabilitas metode *falling head* adalah sebagai berikut :

$$k = 2,303 \frac{aL}{At} \log \frac{h_2}{h_1} \quad (4)$$

Dimana,

- K = nilai permeabilitas laboratorium (cm/dtk)
 a = luas penampang melintang pipa pengukur (pipa tegak)
 A = luas penampang melintang contoh tanah (m^2 atau cm^2)
 L = panjang contoh tanah (m atau cm)
 r = waktu tempuh fluida sepanjang L (s/detik)
 h_1 = ketinggian awal (m/cm)
 h_2 = ketinggian akhir (m/cm)

3. METODE PENELITIAN

Bahan penelitian yang digunakan yaitu berupa sampel tanah yang berlokasi di desa Pamenang, Kecamatan Pagelaran, kabupaten Pringsewu. Sampel tanah yang diambil berupa tanah lempung. Tanah yang diambil adalah sampel tanah terganggu (*disturbed*

sample) dan sampel tanah tak terganggu (*undisturbed sample*). Pengambilan sampel tanah dilakukan di tiga titik yang berbeda. Pengambilan sampel dilakukan dengan cara digali terlebih dahulu sedalam ± 2 meter, lalu tanah diambil secukupnya menggunakan karung dan tabung.

Pelaksanaan pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Lampung. Sampel tanah *disturbed* yang telah diambil dihamparkan untuk dijemur hingga kering. Untuk tanah *undisturbed* sampel yang berada dalam tabung dapat langsung dilakukan pengujian sifat fisik tanah. Pengujian sifat fisik tanah terdiri dari pengujian kadar air, pengujian berat jenis, pengujian batas *atterberg*, pengujian analisis saringan, dan pengujian hidrometer. Setelah dilakukan pengujian sifat fisik tanah, dilanjutkan pengujian pemadatan tanah. Pengujian pemadatan *modified proctor method* bertujuan untuk menentukan kepadatan maksimum suatu jenis tanah melalui cara tumbukan.

Setelah dilakukan uji pemadatan tanah *modified*, dilanjutkan dengan uji pemadatan dengan metode tekanan. Cara kerja alat tekan pemadat modifikasi dengan cara memompa dongkrak secara manual, maka pelat yang ada tepat berada di bawah dongkrak akan turun. Saat dongkrak dipompa maka akan menekan tanah yang berada di dalam cetakan dan per yang berada di atas menurun menahan beban yang diterima dari dongkrak. Pada saat tanah di padatkan maka manometer akan bergerak sehingga dapat mengetahui berapa besar tekanan yang di terima oleh tanah dengan membaca pada manometer. Pada uji *pressure method* ini, tekanan yang digunakan adalah 5, 10 dan 15 Mpa. Setelah dilakukan pengujian *pressure method*, sampel tanah langsung dilanjutkan dengan pengujian permeabilitas supaya sampel tanah yang di uji memiliki kondisi yang sama.. Tujuan uji permeabilitas adalah untuk mendapatkan nilai koefisien. Karena tanah yang dipakai adalah tanah lempung maka metode dalam uji permeabilitas yang dipakai cara tinggi energi turun (*falling head*).

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, uji batas *Atterberg*, dan uji analisis ukuran butiran tanah.

Selanjutnya dilakukan uji sifat mekanis yaitu pengujian pemadatan tanah yang bertujuan untuk menentukan kepadatan maksimum suatu jenis tanah melalui cara tumbukan, Uji pemadatan dilakukan menggunakan metode *modified proctor*. Hasil pemadatan ini akan digunakan sebagai parameter untuk membandingkan kepadatan tanah dengan uji pemadatan tanah yang menggunakan alat tekan modifikasi. Tingkat pemadatan tanah diukur dari berat volume kering tanah yang dipadatkan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian sifat-sifat fisik tanah yang dilakukan di laboratorium disajikan pada tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Sifat Fisik Sampel Tanah

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian
1	Kadar Air (%)	21,01%
2	Berat Volume (g)	1,59 gr/cm ³
3	Berat Jenis (Gs)	2,57
4	Batas <i>Atterberg</i> :	
	a. Batas Cair (LL)	62,53%
	b. Batas Plastis (PL)	41,83%
	c. Indeks Plastisitas (PI)	20,70%
5	Analisa Saringan	
	a. Lolos Saringan no. 4	98,79%
	b. Lolos Saringan no. 200	61,06%
6	Berat Volume Kering Maks. (γ_{dmax})	1,58 gr/cm
7	Kadar Air Optimum (Wopt)	20,95%

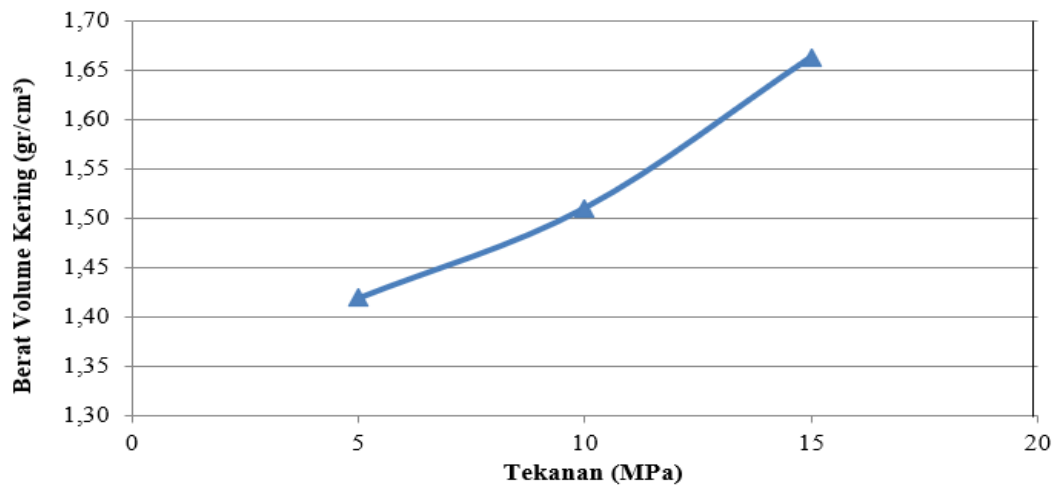
Dari hasil pengujian sifat fisik, tanah dapat diklasifikasikan berdasarkan golongannya untuk mengidentifikasi tanah agar dapat menentukan kesesuaian terhadap pemakaian tertentu. Menurut klasifikasi *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) dengan data hasil uji batas *Atterberg* yang didapat yaitu pengujian nilai batas cair (LL) sebesar 62,53%, batas plastis (PL) sebesar 41,83%, dan indeks plastisitas (PI) sebesar 20,70%, maka tanah dari daerah Pamenang, Pringsewu, digolongkan sebagai kelompok tanah A-7-5 (tanah berlempung).

Selanjutnya hasil yang diperoleh dari pengujian analisis saringan No. 200 yaitu lolos sebesar 61,09% berdasarkan tabel klasifikasi *Unified Soil Classification System* (USCS) dengan nilai persentase lolos saringan No. 200 $\geq 50\%$ (lebih dari 50%) termasuk tanah berbutir halus. Nilai indeks plastisitas sebesar 20,70%, batas cair sebesar 62,53% dan batas-batas *atterberg* di bawah garis A, hal ini menunjukkan bahwa sampel tanah dari daerah Pamenang, Pringsewu secara umum digolongkan dalam kelompok OH yaitu tanah lempung organik.

Pada pengujian ini, tekanan yang digunakan adalah 5 MPa, 10 MPa, dan 15 MPa dengan metode *modified proctor*. Kadar air yang digunakan yaitu kadar air optimum sebesar 20,95%. Uji permeabilitas menggunakan *burret* diameter 5 cm dengan waktu pembacaan per satu hari (24 jam). Adapun hasil yang didapat dari pengujian adalah sebagai berikut:

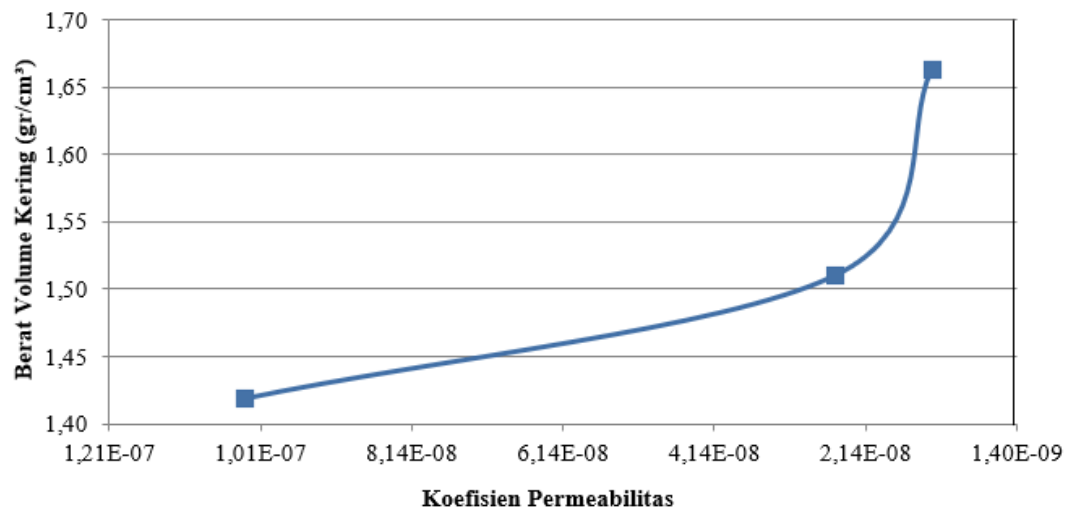
Tabel 2. Hasil Perhitungan Pengujian Permeabilitas Akibat Tekanan

Sampel	Pemadatan	Berat Volume Kering (gr/cm ³)	Koefisien Rembesan (cm/dt)
1	5 MPa	1,42	$1,03 \times 10^{-7}$
2	10 MPa	1,51	$2,54 \times 10^{-8}$
3	15 MPa	1,66	$1,26 \times 10^{-8}$
4	Tumbukan	1,45	$6,39 \times 10^{-8}$



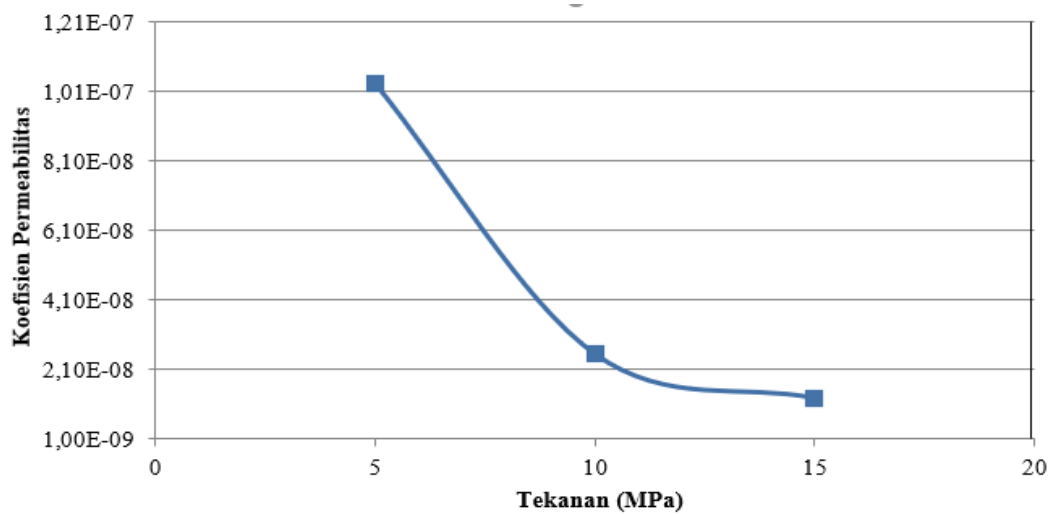
Gambar 1. Hubungan Tekanan dan Berat Volume Kering

Dari gambar 1 dapat dilihat bahwa sampel tanah lolos saringan no. 4 memiliki berat volume kering terbesar pada tekanan 15 MPa yaitu sebesar 1,66 gr/cm³. Hal ini dikarenakan semakin besar nilai tekanan maka semakin rapat kepadatannya.



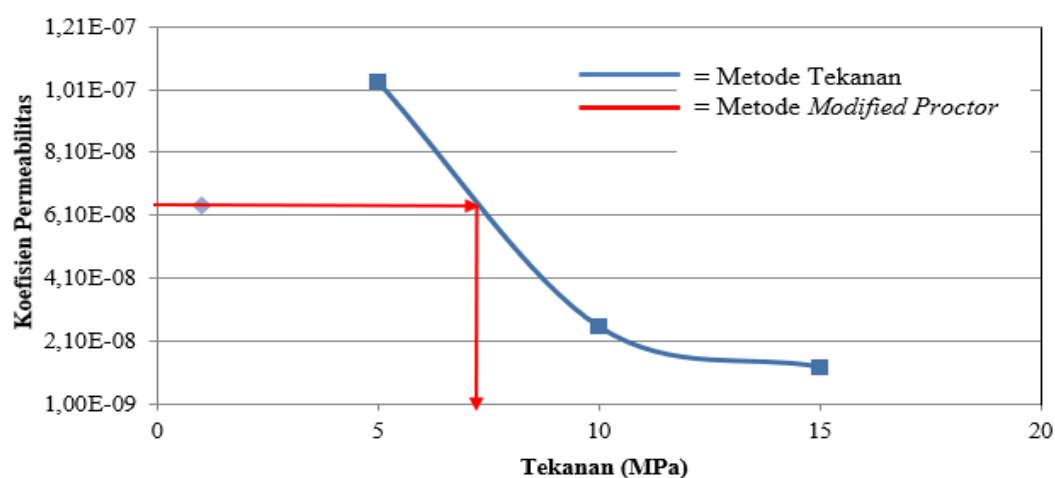
Gambar 2. Hubungan Koefisien dan Berat Volume Kering

Dari gambar 2. dapat dilihat hubungan antara koefisien permeabilitas dengan berat volume kering. Grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin besar berat volume kering maka semakin kecil nilai koefisien permeabilitas.



Gambar 3. Hubungan Tekanan Dari Alat Uji Modifikasi dan Koefisien Permeabilitas

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa tekanan mempengaruhi nilai koefisien permeabilitas. Semakin besar tekanan yang diberikan maka semakin kecil koefisien permeabilitasnya. Hal ini disebabkan karena semakin besar tekanan pada tanah akan membuat pori – pori pada tanah mengecil, sehingga menyebabkan rasio kekosongan (*void*) juga semakin kecil.



Gambar 4. Hubungan Permeabilitas Metode Pemadatan *Modified* dan Tekanan

Dari gambar 4. dapat dilihat bahwa nilai permeabilitas dengan pemadatan metode tumbukan memiliki koefisien yang lebih kecil dari pemadatan dengan tekanan 5 MPa, tetapi tidak melebihi permeabilitas dengan tekanan 10 MPa. Dari gambar di atas dilakukan perhitungan interpolasi dan didapatkan nilai tekanan pada metode tumbukan berada di angka 7,52 Mpa.

Pengetahuan permeabilitas tanah sangat penting untuk kemajuan dalam studi ketersediaan air. Dalam bendungan tanah, semakin kecil nilai koefisien permeabilitas, maka semakin baik kemampuan tanah dalam menahan air. Nilai koefisien permeabilitas yang didapat

dari penelitian ini berkisar antara $1.E-08$ cm/dt yang berarti dalam satu detik kemampuan air dalam melalui tanah sepanjang 1×10^{-8} cm. Tanah di daerah Pringsewu memiliki ukuran pori yang kecil sehingga rembesan yang terjadi akan sangat kecil dan kemampuan tanah dalam menahan air menjadi besar. Sehingga, penggunaan tanah dari lokasi sampel tanah dalam penelitian ini sebagai urugan inti badan bendungan Way Sekampung adalah sangat memungkinkan.

Dalam penelitian sebelumnya oleh (Alnasir, 2020), menunjukkan bahwa besaran tekanan yang diberikan pada pemadatan tanah berpengaruh terhadap nilai koefisien permeabilitasnya. Semakin besar tekanan yang diberikan pada tanah, maka semakin kecil koefisien permeabilitasnya. Data hasil yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan bahwa nilai koefisien permeabilitas lebih kecil jika dibandingkan dengan penelitian tersebut, hal ini disebabkan karena perbedaan metode tekanan, dimana dalam penelitian ini menggunakan *modified proctor*, sedangkan penelitian tersebut menggunakan pemadatan *standard proctor*.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO, sampel tanah yang digunakan dalam penelitian digolongkan pada kelompok tanah A-7-5 (tanah berlempung) dan berdasarkan sistem klasifikasi USCS, sampel tanah digolongkan ke dalam kelompok OH atau tanah lempung organik.

Diperoleh nilai koefisien permeabilitas pada tekanan 5 MPa sebesar $1,03E-07$ cm/detik, pada tekanan 10 MPa sebesar $2,542E-08$ cm/detik dan pada tekanan 15 MPa sebesar $1,264E-08$ cm/detik. Hal ini membuktikan bahwa sampel tanah yang digunakan layak sebagai bahan inti bendungan, karena standar nilai permeabilitas untuk inti bendungan maksimal sebesar $1E-07$ cm/detik.

Berat volume kering pada tanah mempengaruhi permeabilitas karena semakin besar berat volume kering semakin kecil nilai koefisien permeabilitas yang diakibatkan oleh kemampuan air mengalir pada pori – pori tanah yang mengecil. Sehingga tekanan maupun tumbukan yang semakin besar diberikan pada tanah mengakibatkan nilai koefisien permeabilitasnya semakin rendah.

Koefisien permeabilitas dengan metode pemadatan *modified* jika dibandingkan dengan metode tekanan 5 MPa, 10 MPa dan 15 MPa maka diperoleh nilai koefisien permeabilitas yang berada di angka tekanan 5 dan 10 MPa, tepatnya di angka 7,52 MPa.

DAFTAR PUSTAKA

- Alnasir, M.Y., 2020. Analisa Permeabilitas Tanah yang Dipadatkan dengan Menggunakan Metode Cubic Parameter. Universitas Lampung.
- Arsyad, S., 1989. *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Baver, L.D., 1969. *Soil Physics*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Bowless, J.E., 1991. *Sifat - Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Jakarta: Erlangga.
- Das, B., 1993. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid I*. Jakarta: Erlangga.

- Das, B., 1995. *Mekanika Tanah Jilid II*. Jakarta: Erlangga.
- Hardiyatmo, H.C., 2002. *Mekanika Tanah I*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Hillel, D., 1971. *Soil and Water: Physical Principles and Processes*. New York: Academic Press.
- Masch, F.D. and Denny, K.J., 1966. Grain Size Distribution and its Effect on Permeability. *Water Resources Research*, 2 (4), 665–677.
- Terzaghi, K. and Peck, R.B., 1987. *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Vienken, T. and Dietrich, P., 2011. Field Evaluation of Methods for Determining Hydraulic Conductivity from Grain Size Data. *J Hydrol*, 400, 58–71.