

Analisa Rembesan Air Tanah Pada Tanah Soft Clay di Kecamatan Dolat Raya Kabupaten Karo

Masriani Endayanti¹, Mahadianto², Deni Perdianta³

Department of Engineering, Universitas Darma Agung, Medan, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 23 Februari 2022

Revised: 23 Februari 2022

Accepted: 25 Februari 2022

Keywords:

Tanah Soft Clay

Rembesan Air Tanah

Published by

Impression : Jurnal Teknologi dan Informasi

Copyright © 2023 by the Author(s) | This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



ABSTRACT

Kemampuan fluida untuk mengalir melalui medium yang berpori adalah suatu sifat teknis yang disebut permeabilitas. Untuk masalah geoteknik air dan medium yang berpori adalah massa tanah. Setiap bahan yang memiliki rongga disebut berpori, dan apabila rongga tersebut saling berhubungan maka ia akan memiliki sifat permeabilitas. Hasil uji dibandingkan dengan study literature agar di dapat suatu ketetapan dan penjelasan dalam pembahasan masalah yang menyangkut rembesan air di bawah tanah. Dari hasil analisa rembesan air pada tanah soft clay yang didapat dari laboratorium adalah Nilai Permeabilitas tanah k dari hasil uji falling head sebesar $1,30E-06$ cm/detik, dari hasil uji konsolidasi memberikan nilai sebesar $2,93E-06$ cm/detik. Selisih nilai k sebesar $1,63E-06$ cm/detik. Nilai permeabilitas tanah k yang didapat dari uji falling head lebih besar dari pada hasil uji konsolidasi. Perbedaan antara uji falling head dengan konsolidasi adalah pada uji falling head rembesan air tanah terjadi karena adanya beda tekanan, sedangkan pada uji konsolidasi sampel tanah diberi beban sehingga keluarnya air dari pori tanah akibat proses pembebanan. Koefisien permeabilitas yang berbeda menghasilkan waktu yang berbeda tetapi tidak mempengaruhi besarnya debit air yang keluar dari tanah. Untuk mengetahui besarnya rembesan air pada tanah soft clay atau besarnya debit air yang keluar membutuhkan waktu yang cukup lama. Karena permeabilitas tanahnya yang cukup kecil, rembesan air membutuhkan waktu yang sangat lama. Sehingga untuk mengetahui debit air digunakan formula dari Hukum Darcy.

Corresponding Author:

Author

Program Study Teknik Sipil, Universitas Darma Agung, Medan, Indonesia

Jl. DR. TD. Pardede No 21 Kecamatan Medan Baru, Kota Medan Sumatera Utara

Email: endayanti22@gmail.com

PENDAHULUAN

Rembesan air berpengaruh terhadap stabilitas bangunan yang disebabkan adanya pergeseran konsentrasi posisi atau letak dari butiran tanah, sehingga bekerja gaya-gaya seperti gaya geser, normal momen serta gaya torsi terhadap bangunan yang disebabkan oleh beban akibat berat sendiri dan gaya-gaya luar yang bekerja seperti tekanan air, tekanan udara, tekanan tanah, dan lain-lain yang setiap saat bekerja memberikan pengaruh terhadap bangunan seperti terjadinya penurunan dari bangunan. Penurunan ini tidak berbahaya apabila turun secara merata dan serentak, tetapi akan berbahaya apabila penurunannya tidak merata dan tidak serentak. (Zamili, n.d.)

Kemampuan fluida untuk mengalir melalui medium yang berpori adalah suatu sifat teknis yang disebut permeabilitas. Untuk masalah geoteknik air dan medium yang berpori adalah massa tanah. Setiap bahan yang memiliki rongga disebut berpori, dan apabila rongga tersebut saling berhubungan maka ia akan memiliki sifat permeabilitas. Batuan, beton, tanah

dan banyak bahan lainnya kesemuanya merupakan bahan yang berpori dan permeable (tembus air). Bahan dengan rongga yang lebih besar biasanya mempunyai angka pori yang lebih besar pula, dan karena itu tanah yang sangat kecil porinya sekalipun akan lebih permeable dari pada bahan seperti batuan beton. (PROKONS: *Jurnal Teknik Sipil ANALISIS PENINGKATAN NILAI CBR LEMPUNG PLASTISITAS TINGGI TERSTABILISASI SEMEN DAN ABU DASAR* Soewignjo Agus Nugroho¹, Syawal Satibi², n.d.)

Tanah seperti lempung dan lanau di dalam deposit alamiah mempunyai nilai porositas (angka pori) yang lebih besar, tetapi hampir tidak permeable (tidak tembus air), terutama karena rongganya berukuran sangat kecil, walaupun faktor lain juga ikut mempengaruhinya. Istilah porositas “n” dan angka pori “e” digunakan untuk menjelaskan tentang rongga didalam suatu massa tanah.

Untuk mengetahui nilai permeabilitas tanah k dari rembesan air tanah di gunakan uji lapangan dan laboratorium. Ketepatan hasil pengujian di laboratorium untuk penentuan koefisien permeabilitas suatu contoh tanah tergantung dari sejauh mana contoh tanah tersebut mendekati keadaan tanah sesungguhnya. Untuk suatu proyek penting perhitungan koefisien permeabilitas dianjurkan menggunakan metode pengujian di lapangan.

Untuk menghitung nilai koefisien permeabilitas di laboratorium digunakan uji constant head dan falling head. Tetapi untuk tanah lempung digunakan uji falling head yaitu uji jatuh konstan. Setelah diketahui nilai k, digunakan hukum darcy untuk menghitung kecepatan aliran air dan debit air yang keluar melalui tanah.

Konsep dari uji falling head test berdasarkan adanya perbedaan tekanan dari uji jatuh konstan. Berbeda dengan uji konsolidasi, dimana untuk mendapatkan nilai permeabilitas, sample tanah diberi pembebanan. Kondisi ini memberikan nilai yang berbeda pada nilai permeabilitas, perbedaan ini perlu diteliti. Analisa rembesan air tanah dinilai sangat penting bagi Sarjana Teknik Sipil untuk mengetahui kecepatan aliran air tanah di dalam perencanaan bangunan.

URAIAN TEORI

Variabel Penelitian

Klasifikasi tanah dalam ilmu mekanika tanah ada dua cara sebagai berikut :

1. Klasifikasi tanah cara USCS (*Unified Soil Classification System*) dan metode ini identik dengan ASTM Method.
2. Klasifikasi tanah cara AASHTO (*American Association of State Higaway and Transporttion officials*) identik juga dengan ASTM Method. (Skripsi, n.d.)

Cara USCS digunakan untuk umum, sedangkan AASHTO umumnya digunakan untuk ke Bina Marga, lapangan terbang dan timbunan pada konstruksi timbunan.

Cara USCS (*Unified Soil Clasification System*)

1. Simbol Klasifikasi.

Sistem ini sama seperti yang digunakan dalam ASTM D-2487 dan sistem ini diusulkan oleh Prof. Arthur Cassagrande.

- Dasar Sistem Unified : sistem ini didasarkan pada sifat tekstur tanah
- Pengelompokan tanah

Sistem ini menempatkan tanah dalam 3 kelompok

- a) Tanah berbutir kasar (Coarse Grained Soils)
- b) Tanah berbutir halus (Fine Grained Soils)
- c) Tanah Organik (Organic Soils)

Tanah berbutir kasar (*Coarse Grained*) adalah tanah yang mempunyai Prosentase lolos saringan No. 200 < 50%. Tanah ini dibagi dengan simbol-simbol tertentu sebanyak 15 buah, yaitu:

- Simbol komponen tanah menurut USCS adalah sebagai berikut:
Adapun simbol komponen tanah menurut USCS adalah sebagai berikut:
 - Kerikil = G (*Gravel*)
 - Pasir = S (*Sand*)
 - Lanau = M (*Silt*)
 - Lempung = C (*Clay*)
 - Organik = O (*Organic*)
 - Humus = Pt (*Peat*)
- Simbol Gradasi (*Grading Type*)
dan simbol gradasi adalah sebagai berikut:
 - Bergradasi baik = W (*Well Graded*)
 - Bergradasi buruk = P (*Poorly Graded*)
- Simbol Batas Cair (*Liquid Limit*)
Simbol batas cair suatu contoh tanah adalah:
 - Tinggi = H (*High*)
 - Rendah = L (*Low*)

2. Tanah Berbutir kasar

Tanah berbutir kasar (*Coarse Grained Soils*) dibagi atas:

- Kerikil dan tanah kerikilan (G)
- Pasir dan tanah kepasiran (S)

Yang termasuk dalam kerikil adalah tanah yang mempunyai prosentase lolos saringan No. 4 < 50%, sedangkan tanah yang mempunyai prosentase lolos saringan no. 4 > 50% termasuk kelompok pasir. Pembagian pasir maupun kerikil dibagi dalam 4 kelompok yaitu:

- a. Kolompok GW dan SW : tanah kerikilan dan kepasiran yang bergradasi baik dengan butiran halus yang non plastis (lolos saringan No.200 < 50%)
- b. Kolompok GP dan SP : tanah kerikilan dan kepasiran yang bergradasi buruk dengan butiran halus sedikit yang non plastis (*tidak memenuhi persyaratan Cu dan Cc*).
- c. Kolompok GM dan SM : mencakup tanah kerikil atau pasir kelanauan (*lolos saringan no. 200 > 12%*) dengan plastisitas rendah atau non plastis.
Batas cair dan index plastis terletak dibawah garis A. dalam kelompok ini bisa termasuk bergradasi baik maupun bergradasi buruk. Biasanya kelompok ini tidak mempunyai kekuatan kering atau sedikit sekali. GM dan SM masing-masing dibagi lagi dalam sub kelompok dengan menambahkan huruf d dan u; jika batas cair < 25% dan index plastisitas < 5 dan u untuk sebaliknya. jadi simbol khusus, misalnya adalah GMd, GMu, SMd atau SMu.
- d. Kolompok GC dan SC : mencakup tanah kerikilan atau kepasiran dengan butiran halus (*lolos saringan no.200 < 12%*) lebih bersifat lempung dengan plastisitas rendah sampai tinggi.
Batas cair indeks plastisitas tanah ini terletak diatas garis A dalam grafik plastisitas.

3. Tanah Berbutir Halus

Tanah berbutir halus (*Fine Grained Soils*) dibagi dalam lanau (M) yang berasal dari bahasa Swedia. Mo/Myala dan lempung (C) yang didasarkan pada batas cair dan indexs plastisitasnya. Juga tanah organik (O) termasuk dalam praksi ini. Lanau adalah tanah berbutir halus yang mempunyai batas cair dan indeks plastisitas + terletak dibawah garis A.

Lempung organik adalah pengecualian dari peraturan diatas, karena batas cair dan indeks plastisitasnya berada dibawah garis A. Lanau, Lempung dan tanah organik dibagi lagi menjadi batas cair yang rendah dan tinggi yang ditentukan pada angka 50.

- a. Kelompok ML dan MH adalah tanah yang diklasifikasikan sebagai lanau pasir, lanau lempungan atau lanau organik dengan plastisitas relatif rendah. Juga termasuk tanah jenis butiran lepas, butiran batu, tanah yang mengandung mika juga beberapa jenis lempung Kaolin dan Illite.
 - b. Kelompok CH dan CL terutama dalam lempung anorganis. Kelompok CH adalah lempung dengan plastisitasnya sedang sampai tinggi mencakup lempung gemuk, lempung gumbo, bentonite dan lempung gunung api tertentu. Lempung dengan plastisitas rendah yang diklasifikasikan C1 biasanya adalah lempung kurus, lempung pasir atau lempung lanauan.
 - c. Kelompok OL dan OH adalah tanah yang ditunjukkan sifat-sifatnya dengan adanya bahan organik. Lempung dan lanau organik termasuk dalam kelompok ini dan mereka mempunyai plastisitas berkisar pada kelompok ML dan MH.
4. Tanah Organis Tinggi

Tanah organik tinggi (*High Organic Soils*) ini tidak dibagi lagi tetapi diklasifikasikan dalam satu kelompok Pt. Biasanya mereka sangat mudah ditekan dan tidak mempunyai sifat sebagai bahan bangunan yang diinginkan. Tanah khusus dari kelompok ini adalah "Peat" humus, tanah lumpur dengan tekstur organik yang tinggi.

komponen umum dari tanah ini adalah partikel-partikel daun, rumput, dahan atau bahan-bahan yang regas lainnya. Kadang-kadang titik potong antara kadar air dan IP tetap jauh pada garis A. Dalam hal ini diperlukan dua lambang, sebagai contoh : LL = 50 dan IP = 22, tanah diklasifikasikan sebagai CH-MH dan jika LL = 50 dan IP < 22, maka tanah adalah ML-MH atau OL-OH tergantung dari kadar organisnya yang ada. Untuk lebih jelasnya lihat klasifikasi tanah secara USCS.

Tanah Lempung Lunak (Soft Clay)

Tanah lempung adalah tanah yang mempunyai ukuran butiran yang sangat halus, apabila direndam dalam air dengan waktu yang cukup lama, tanah akan menjadi jenuh. Tanah lempung mempunyai sifat yang kurang baik terhadap permeabilitas, yaitu sulitnya air pori yang keluar dari dalam lapisan tanah. Hal ini dikarenakan tanah lempung mempunyai butiran yang sangat halus dan koefisien permeabilitas yang sangat kecil, sehingga untuk mengeluarkan air pori dari dalam lapisan tanah tersebut memerlukan waktu yang cukup lama. (Soewignjo Agus Nugroho¹, Syawal Satibi², n.d.)

Pada umumnya tanah lempung mempunyai daya dukung yang rendah dan sangat sensitif terhadap pengaruh air. Tanah lempung mempunyai indeks plastisitas (IP) yang cukup tinggi, maka tanah ini digolongkan sebagai tanah yang sangat sensitif terhadap air. Lempung sangat mudah mengembang yang diakibatkan oleh kenaikan kandungan air. Pada saat tanah lempung menyerap air, tanah tersebut akan mudah mengembang dan pada saat melepaskan air, tanah akan mengalami penyusutan yang cukup besar. Sifat kembang susut tanah lempung sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan, seperti perbedaan musim, curah hujan, sistem drainase dan perubahan tinggi muka air. (Skripsi, n.d.)

Tanah lempung adalah tanah yang mempunyai ukuran butir atau partikel - partikel halus yang menghasilkan sifat plastis bila dicampurkan dengan air. Pada umumnya tanah lempung mempunyai tiga komposisi yang berbeda, yaitu partikel - partikel padat, air dan udara. Tanah lempung sangat sensitif terhadap pengaruh air, akibat bercampurnya tanah lempung dengan mineral, tanah lempung memiliki sifat - sifat plastis. Air dan udara adalah sebagai partikel pengisi ruang kosong (pori - pori tanah) pada lapisan tanah tersebut. Tanah lempung adalah tanah yang terdiri dari partikel - partikel berukuran kecil dengan koloid. Tanah

lempung digolongkan kedalam tanah kohesif dimana komposisi tanah ini akan saling mengikat (lengket) apabila dicampurkan dengan air. (Permeabilitas yang Dipengaruhi Campuran Semen Berdasarkan et al., 2021)

Umumnya struktur tanah lempung lunak (soft clay) mempunyai sifat – sifat sebagai berikut :

1. daya rembesnya sangat kecil karena partikelnya halus dan memiliki angka pori kecil.
2. kuat geser rendah
3. menyusut bila dikeringkan dan mengembang saat adanya penambahan volume air.
4. kuat geser berkurang dengan adanya penambahan kadar air.
5. kuat geser berkurang bila struktur tanahnya terganggu.
6. berubahnya volume dengan bertambahnya waktu akibat adanya creep pada beban yang konstan.

Sifat Fisik Tanah Lempung Lunak

Sifat fisik tanah lempung sangat dipengaruhi oleh kadar air yang dikandung di dalamnya serta ukuran butirannya. Apabila tanah lempung mempunyai kadar air yang tinggi, maka tanah tersebut dapat mengembang. Dan apabila tanah airnya kering, maka tanah tersebut akan mengalami penyusutan. Sifat fisik tanah dapat ditentukan dengan melakukan analisa penelitian tanah di laboratorium. Dengan diketahuinya sifat fisik dari suatu tanah baik itu bentuk ukuran dan sifat lainnya, kita dapat mengklasifikasikan tanah tersebut dengan sistem yang ada yaitu dengan sistem klasifikasi AASTHO dan Unified. (Zamili, n.d.)

Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengetahui sifat – sifat fisik tanah, yaitu dengan melakukan penelitian terhadap berat jenis, permeability, sieve analisis, atterberg limit dan hydrometer. Untuk mengetahui nilai kadar air pada tanah lempung lunak digunakan uji Atterberg Limit untuk menentukan sifat cair, sifat plastis dan sifat kembang susutnya suatu lapisan tanah apabila dikeringkan. (Permeabilitas yang Dipengaruhi Campuran Semen Berdasarkan et al., 2021)

Tabel 1. Harga – Harga Batas Atterberg Untuk Mineral Lempung

Mineral Lempung	Batas Cair	Batas Plastis	Batas Susut
Montmorillonite	100-90	50-100	8,5-15
Nontronite	37-72	19-27	
Illite	60-120	35-60	15-17
Kaolinite	30-110	25-40	25-29
Halloysite terhidrasi	50-70	47-60	
Halloysite	35-55	30-45	
Attapulgite	160-230	100-120	
Chlorite	44-47	36-40	
Allophance	200-250	130-140	

Sumber : Mekanika Tanah Braja M.Das (Erlangga,1993). Jilid I hal 296

Perbedaan Tanah Soft Clay dengan Tanah Clay

Perbedaan dari tanah soft clay dengan tanah clay ditinjau dari :

1. Koefisien Permeabilitas k , tanah clay berkisar $0,00001 \text{ cm / detik}$ sedangkan tanah soft clay $0,000001 \text{ cm / detik}$.
2. Ditinjau dari sensitivitas terhadap air tanah soft clay memiliki nilai indeks plastisitas (IP) yang cukup tinggi yaitu diatas 50%.
3. Berdasarkan nilai angka pori, kadar air, berat volume kering untuk tanah adalah :
 tanah clay : $e = 0,6$; $W = 21$; $\gamma_d = 17 \text{ kN/m}^3$
 tanah soft clay : $e = 2,5 - 3,2$; $W = 90 - 120$; $\gamma_d = 6 - 8 \text{ kN/m}^3$

4. Hubungan antara konsistensi, tegangan geser unconfined dan N-SPT

Jenis Clay	N
Sangat lunak	Kurang dari 2
Lunak	2-4
Sedang	4-8
Keras	8-15
Sangat Keras	15-30
Padat	Lebih dari 30

Hubungan Volume - Berat

Suatu lapisan tanah, apabila diberikan beban, tanah akan mengalami perubahan volume dan berat. Perubahan volume dan berat terjadi akibat berubahnya tebal lapisan tanah dan keluarnya udara dan air pori dari lapisan tanah. Beberapa faktor yang mempengaruhi hubungan volume (V) dan berat (W) tanah adalah butiran padat, air, dan udara. Maka hal ini dapat dihitung dengan persamaan berikut (*PROKONS: Jurnal Teknik Sipil ANALISIS PENINGKATAN NILAI CBR LEMPUNG PLASTISITAS TINGGI TERSTABILISASI SEMEN DAN ABU DASAR Soewignjo Agus Nugroho1, Syawal Satibi2, n.d.*):

Volume total contoh tanah dapat dinyatakan sebagai :

$$V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

V_s : volume butiran padat
 V_v : volume pori
 V_w : volume air di dalam pori
 V_a : volume udara di dalam pori.

Apabila udara dianggap tidak mempunyai berat, maka berat total dari contoh tanah dapat dinyatakan sebagai :

$$W = W_s + W_w \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

W_s : berat butiran padat
 W_w : berat air

1. Angka Pori (e) didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dan volume butiran padat. Maka :

$$e = \frac{V_v}{V_s} \dots\dots\dots (3)$$

V_v = volume pori
 V_s = volume butiran padat

2. Porositas (n) didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dan volume tanah total :

$$n = \frac{V_v}{V} \dots\dots\dots (4)$$

V_v = volume pori
 V = volume total

3. Derajat Kejenuhan (S) didefinisikan sebagai perbandingan antara volume air dengan volume pori yang dinyatakan dalam persen :

$$S = \frac{V_w}{V_v} \dots\dots\dots (5)$$

V_w = volume air
 V_v = volume pori

4. Kadar Air (w) disebut juga sebagai water content didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dengan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki.

$$W = \frac{W_w}{W_s} \dots\dots\dots (6)$$

W_w = berat air

W_s = berat butiran padat

5. Berat Jenis spesifik grafiti (G_s), didefinisikan sebagai perbandingan antara berat butiran padat dengan volume butiran padat dikalikan dengan berat satuan air. Berat jenis butir tanah dihitung sebagai :

$$G_s = \frac{W_s}{V_s \cdot W_w \cdot \gamma_w} \gamma_s \dots\dots\dots (7)$$

6. Berat Volume (γ) adalah berat tanah persatuan volume, sehingga :

$$\gamma = \frac{W}{V} \dots\dots\dots (8)$$

W = berat tanah

V = volume tanah

Maka dari persamaan – persamaan tersebut di atas, berat volume dapat juga dinyatakan dalam berat butiran padat, kadar air dan volume total.

Tabel 2. Angka Pori, Kadar Air, Berat Volume Kering untuk Tanah Lempung

Tanah Lempung	Angka Pori e	Kadar Air dalam keadaan jenuh (%)	Berat Volume Kering γ_d (kN/m^3)
Lempung Kaku	0,6	21	17
Lempung Lunak	0,9 – 1,4	30 – 50	11,5 – 14,5
Tanah	0,9	25	13,5
Lempung Organik	2,5 – 3,2	90 – 120	6 – 8
Pasir Lepas	0,8	30	14,5
Pasir Padat	0,45	16	18
Pasir berlanau lepas	0,65	25	16
Pasir berlanau padat	0,4	15	19

Tekanan Efektif

Tekanan efektif merupakan gaya persatuan luas yang dipikul oleh butiran tanah. Perubahan volume dan kekuatan tanah tergantung pada tekanan efektif. Semakin tinggi tekanan efektif suatu tanah maka tanah tersebut semakin padat. (Zahera et al., n.d.) Tekanan efektif pada suatu titik di dalam massa tanah akan mengalami pengurangan dikarenakan oleh adanya rembesan air yang melaluinya. Tekanan efektif ini akan bertambah besar atau kecil tergantung pada arah rembesannya.

Prinsip tekanan efektif pertama sekali dikembangkan oleh Terzaghi dengan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma' = \frac{P_{1v} + P_{2v} + P_{3v} + \dots + P_{nv}}{A}$$

atau

$$\sigma' = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (9)$$

dimana :

σ' = tekanan efektif (kg/cm^2)

P = beban (kg)

A = luas penampang (cm^2)

Pada lapisan tanah lempung lunak, apabila diberi penambahan beban, maka air tanah akan mengalami tekanan, sehingga air tanah akan mencari celah untuk keluar. Lapisan tanah lempung lunak di bawah permukaan tanah dan persamaan tekanan efektifnya di daerah A sebelum adanya pertambahan p adalah :

$$\sigma' = \sigma + p - u \dots \dots \dots (10)$$

dimana

σ' = tegangan efektif ; u = tekanan air pori

σ = tegangan total ; p = beban

Penentuan Koefisien Permeabilitas

Untuk menentukan koefisien permeabilitas atau daya rembes pada tanah dapat dilakukan dengan dua cara yaitu pengujian di laboratorium dan pengujian di lapangan. Pada pengujian standart di laboratorium yang digunakan untuk menentukan koefisien rembesan suatu tanah ada dua macam, yaitu uji tinggi konstan (constant head test) dan uji tinggi jatuh (falling head test). (Kurokawa et al., 2018) Penjelasan untuk tiap - tiap tipe dapat dijelaskan sebagai berikut :(Ridha et al., n.d.)

METODE PENELITIAN

1. Metode Laboratorium

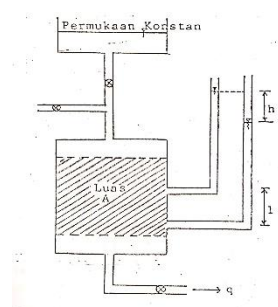
Uji Tinggi Konstan (Constan Head Test)

Penentuan koefisien untuk tanah berbutir dapat ditentukan dari uji tinggi konstan (constan head test, gambar 2.4). Contoh tanah di tempatkan pada sebuah silinder tembus pandang (perspek), dengan luas penampang A . Contoh tanah tersebut beralaskan sebuah filter kasar atau sebuah jaringan kawat, pada saat pengujian, air mengalir konstan dalam arah vertikal dengan tinggi energi total yang konstan pula. Kemudian volume pengaliran air persatuan waktu (q) dihitung. Disini silinder terdapat kran-kran, yang digunakan dalam penentuan gradien hidrolik (h/l).

Kemudian dari rumus Darcy di dapat :

$$k = \frac{q \cdot L}{A \cdot H}$$

Pengujian ini harus di lakukan beberapa kali, masing-masing dengan laju aliran yang berbeda-beda. Sebelum pengujian di lakukan, contoh tanah di vakumkan dahulu untuk mendapatkan tingkat kejenuhan yang mendekati 100%. Kalau tingkat kejenuhan yang tinggi harus dipertahankan, air yang digunakan dalam pengujian harus tanpa udara



Gambar 1: Uji Tinggi Konstan (Constant Head Test)

Uji Tinggi Jatuh (Falling Head Test)

Untuk tanah soft clay (berbutir halus) dengan rembesan kecil digunakan uji tinggi jatuh (falling head test). Dalam hal ini di gunakan contoh tanah tidak terganggu (undisturbed) dan silinder yang digunakan dalam pengujian adalah tabung penyimpanan contoh tanah tersebut. Panjang contoh tanah dalam pengujian ini adalah L dan potongan melintangnya A . Sebuah filter kasar di tempatkan di kedua ujung contoh tanah tersebut dan bagian atas silinder disambung dengan sebuah pipa tegak yang memiliki luas penampang A . Pada saat percobaan, air memiliki luas penampang A .

Pada saat percobaan, air yang mengalir keluar di tampung pada sebuah reservoir dengan tinggi air yang diusahakan konstan. Pipa tegak di isi penuh dengan air dan dalam kurun waktu tertentu (t_1) di lakukan pengukuran terhadap tinggi muka air pipa relatif terhadap tinggi muka air pada reservoir. Dalam kurun waktu tersebut, tinggi muka air pipa turun dari h_p menjadi h_1 . Pada suatu waktu antara t_1 tinggi muka air pada pipa adalah h dan laju perubahannya dh/dt . Pada saat itu perbedaan tinggi energi total adalah h . Sehingga berdasarkan rumus Darcy.

$$-a = \frac{dh}{dt} = A \cdot k \cdot \frac{h}{L}$$

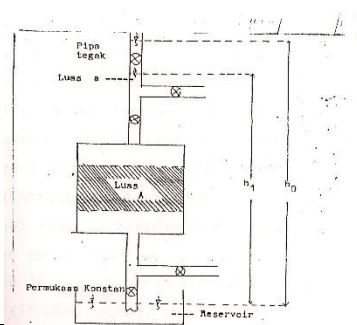
$$-a \int_{h_0}^{h_1} \frac{dh}{h} = \frac{A \cdot K}{L} \int_0^t dt \dots\dots\dots (2.25)$$

$$k = \frac{a \cdot 1}{a \cdot t_1} \ln \frac{h_0}{h_1} \dots\dots\dots \leftrightarrow \leftrightarrow$$

$$k = 2,3 \frac{a \cdot 1}{A \cdot t_1} \log \frac{h_0}{h_1} \dots\dots\dots (2.27)$$

Pada pengujian ini tanah harus dijaga tingkat kejenuhannya mendekati 100%. Pengujian ini harus dilakukan beberapa kali, dengan H_0 dan h_1 yang berbeda dan / atau dengan diameter pipa yang berbeda. (Zamili, n.d.)

k	=	Koefisien rembesan (m/dt)
a	=	Diameter pipa (m)
L	=	Tebal tanah (m)
A	=	Luas penampang tanah (m)
h_0	=	Tinggi muka air mula-mula (m)
h_1	=	Tinggi muka air setelah mengalami rembesan (m)
t_1	=	Waktu penurunan (dt)



Gambar 2. Uji Tinggi Jatuh (Falling Head Test)

2. Metode Lapangan

Ketepatan hasil pengujian di laboratorium untuk penentuan koefisien permeabilitas suatu contoh tanah tergantung dari sejauh mana contoh tanah tersebut mendekati keadaan tanah sesungguhnya. Untuk suatu proyek penting perhitungan koefisien permeabilitas dianjurkan menggunakan metode pengujian di lapangan.

Salah satu metode pengujian di lapangan adalah uji pemompaan sumur (wall pumping test), yang sangat cocok untuk lapisan tanah homogen berbutir kasar atau lapisan tanah batas (unconfined aquifer). Pada metode ini dilakukan pemompaan secara terus-menerus pada sebuah sumur yang menembus sampai ke dasar lapisan tanah (tanah keras). Pada daerah yang berdekatan dengan sumur tersebut dilakukan pengamatan terhadap tinggi muka air, dengan menggali beberapa lubang bor. Pemompaan ini dilakukan terus sampai tercapai kondisi rembesan yang steady (Steady seepage). Rembesan terjadi pada unsur-unsur dan lubang-lubang secara radial. Untuk menentukan suatu jalur radial dari pusat sumur diperlukan paling sedikit dua lubang, seperti pada gambar 2.6. Terlihat adanya surutan (draw down) muka air akibat adanya pemompaan. Pada saat keadaan steady, tinggi air pada lubang-lubang tersebut sesuai dengan tinggi muka air tanah yang baru. Lubang-lubang tersebut berada pada jarak r_1 dan r_2 dari sumur dan tinggi muka air tanah berturut-turut adalah h_1 dan h_2 relatif terhadap dasar lapisan tanah.

Analisisnya di dasarkan atas asumsi bahwa gradien hidrolik pada suatu jarak r dari sumur adalah konstan pada setiap kedalaman, dan benarnya nama dengan kemiringannya muka air yaitu :

$$i_r = \frac{dh}{dr} \dots \dots \dots (2.28)$$

dimana :

$$\begin{aligned} i_r &= \text{Gradien hidrolik dari air tanah pada jarak } r. \\ dh &= \text{Perubahan tinggi dari muka air tanah} \\ dr &= \text{Tinggi muka air tanah pada radius } r \end{aligned}$$

Asumsi ini dikenal dengan nama Asumsi Dupuit dan hasilnya akurat untuk daerah yang berdekatan dengan sumur. Pada jarak r dari luas daerah dimana terjadi pengaliran air adalah sebesar $2\pi r.h$, maka dengan menggunakan rumus Darcy didapat:

$$q = 2\pi . h . k \frac{dh}{dr} \dots \dots \dots (2.29)$$

$$q \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = 2\pi k \int_{h_1}^{h_2} h dh \dots \dots \dots (2.30)$$

$$q \ln \frac{r_2}{r_1} = h(h^2_2) - h^2_1)$$

$$k = \frac{2,3q \log \frac{r_2}{r_1}}{h^2_2 - h^2_1} \dots \dots \dots (2.31)$$

dimana :

$$\begin{aligned} h &= \text{Koefisien rembesan (cm / dt)} \\ q &= \text{Debit air rembesan (cm}^3 \text{ / dt)} \\ r_1 &= \text{Jarak sumuran dengan lubang bor ke 1 (m)} \\ r_2 &= \text{Jarak sumuran dengan lubang bor 2 (m)} \\ h_1 &= \text{Tinggi muka arus tanah [ada lubang bor 1} \end{aligned}$$

h_2 = Tinggi muka aurs tanah pada lubang bo r 2 (m)

Persamaan ini digunakan sepasang lubang dan nikai K yang dihasilkan adalah nilai K rata-rata. Metode pengujian di lapangan lainnya adalah uji lubang bor (borshole test), yang meliputi pengujian dengan tinggi energi berubah-ubah (variable head). Pada uji pertama, air melalui contoh lapisan tanah menuju kedasar lubang bor dengan tinggi energi yang konstan.

Pada lubang dinding tersebut dipasang selubung pipa (cacing). Keadaan diatas ditunjukkan pada gambar 2.7, dimana batas akhir dasar lubang tidak boleh kurang dari 5d dari puncak lapisan maupun dasar lapisan, dimana adalah diameter dalam selubung pipa. Tinggi muka air pada lubang bor dipertahankan konstan dengan pemompaan sebesar q. Perbedaan tinggi mula air pada lubang ini dengan tinggi muka air tanah adalah h. Dengan menggunakan persamaan di bawah ini, yang diturunkan berdasarkam percobaan-percobaan yang analoq dengan sifat-sifat

PEMBAHASAN

Dari pengujian falling head untuk tanah soft clay sampai hari ke tujuh air yang keluar dari sampel tanah sangat sedikit yaitu sebesar 3,449 E-09 liter/detik. Untuk mengetahui banyaknya air yang mengalir digunakan rumus :

$$Q = A.k.i = 33,17 \times 1,30E-06 \times 0,08 = 3,449 E-06 \text{ cm}^3 / \text{detik}$$

$$Q = 3,449 E-09 \text{ liter} / \text{detik}$$

$$Q = 2,9799 E-04 \text{ liter} / \text{hari}$$

Berisikan pembahasan hasil penelitian yang dijabarkan untuk menjawab hipotesis penelitian dengan menyajikan hasil penelitian yang dikaitkan dengan temuan penelitian di lapangan, pendapat para ahli, teori yang berkaitan hingga penelitian tedahulu yang mendukung penelitian ini.

Analisa Nilai Permeabilitas Tanah k Dari Uji Laboratorium

Nilai Permeabilitas tanah k dari hasil uji falling head sebesar 1,30E-06 cm/detik, dari hasil uji konsolidasi memberikan nilai sebesar 2,93E-06 cm/detik. Selisih nilai k sebesar 1,63E-06 cm/detik. Dengan kata lain besarnya nilai permeabilitas tanah k yang didapat dari uji falling head lebih besar dari pada hasil uji konsolidasi. Kisaran besaran sampai mencapai 100 %. Tetapi hal ini perlu didukung penelitian lebih lanjut. Hal ini terjadi karena pada uji falling head rembesan air tanah terjadi karena adanya beda tekanan, sedangkan pada uji konsolidasi sampel tanah diberi beban sehingga keluarnya air dari pori tanah akibat proses pembebanan.

Pada uji falling head untuk mengetahui debit air yang keluar pada tanah soft clay membutuhkan waktu yang cukup lama. Karena permeabilitas tanahnya yang cukup kecil, rembesan air membutuhkan waktu yang sangat lama. Sehingga untuk mengetahui debit air digunakan formula dari Hukum Darcy.

Analisa dari hasil uji falling head dan konsolidasi adalah lebih bersifat suatu perkiraan. Akan tetapi meskipun terdapat sejumlah teori rembesan air tanah yang cukup teliti, sampai saat ini uji falling head masih cukup populer digunakan sehubungan dengan hasil yang diberikan dianggap masih cukup seksama dan lebih sederhana dalam pelaksanaannya. Hasil yang lebih cermat akan diperoleh dalam hal bila kondisi lapangan dan laboratorium lebih mendekati anggapan – anggapan dari teori rembesan air tanah. Penyimpangan dalam memperkirakan besarnya air yang keluar dari pori tanah adalah karena sifat permeabilitas tanah soft clay sangat kecil sehingga membutuhkan waktu yang lama untuk proses rembesan air dari dalam tanah.

PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil analisa rembesan air pada tanah soft clay yang didapat dari laboratorium dapat diambil kesimpulan :

1. Nilai Permeabilitas tanah k dari hasil uji falling head sebesar $1,30E-06$ cm/detik, dari hasil uji konsolidasi memberikan nilai sebesar $2,93E-06$ cm/detik. Selisih nilai k sebesar $1,63E-06$ cm/detik. Nilai permeabilitas tanah k yang didapat dari uji falling head lebih besar dari pada hasil uji konsolidasi.
2. Perbedaan antara uji falling head dengan konsolidasi adalah pada uji falling head rembesan air tanah terjadi karena adanya beda tekanan, sedangkan pada uji konsolidasi sampel tanah diberi beban sehingga keluarnya air dari pori tanah akibat proses pembebanan.
3. Koefisien permeabilitas yang berbeda menghasilkan waktu yang berbeda tetapi tidak mempengaruhi besarnya debit air yang keluar dari tanah.
4. Untuk mengetahui besarnya rembesan air pada tanah soft clay atau besarnya debit air yang keluar membutuhkan waktu yang cukup lama. Karena permeabilitas tanahnya yang cukup kecil, rembesan air membutuhkan waktu yang sangat lama. Sehingga untuk mengetahui debit air digunakan formula dari Hukum Darcy.

REFERENSI

- Kurokawa, A., Chaidir, D., & Makarim, A. (2018). ANALISIS PLAXIS UNTUK DEWATERING BASEMENT DI TANAH KELEMPUNGAN DAN KEPASIRAN. In *Jurnal Mitra Teknik Sipil* (Vol. 1, Issue 2).
- Permeabilitas yang Dipengaruhi Campuran Semen Berdasarkan, K., Indira Adhi Ariana, S., & Syah, A. (2021). *Hubungan Sifat-Sifat Fisik Tanah dan Aktivitas Tanah Terhadap Nilai* (Vol. 9, Issue 2).
- PROKONS: Jurnal Teknik Sipil ANALISIS PENINGKATAN NILAI CBR LEMPUNG PLASTISITAS TINGGI TERSTABILISASI SEMEN DAN ABU DASAR Soewignjo Agus Nugroho¹, Syawal Satibi². (n.d.).
- Ridha, R., Rahmawaty, A. A., Santoso, H., Wilayah, P., Kota, D., Mataram, U. M., Pengendali, T., Rehabilitasi, K., Bpbd, R., Nusa, P., Barat, T., Ahli, S., Provinsi, G., & Tenggara Barat, N. (n.d.). *Strategi Percepatan Rehabilitasi dan Rekonstruksi Pasca Gempa Melalui Zonasi Rumah Tahan Gempa (RTG) di Kabupaten Lombok Utara*.
- Skripsi. (n.d.). ANALISA PENURUNAN PONDASI TIANG KAYU GELAM AKIBAT ADANYA PEMBEBANAN MERATA DIATAS TANAH LEMPUNG LUNAK.
- Zahera, N., Widiastuti, M., & Sharly Arifin, T. P. (n.d.). *JURNAL TEKNOLOGI SIPIL Jurnal Ilmu Pengetahuan dan teknologi sipil (Studi Kasus : Landasan Bandara Samarinda Baru, Kota Samarinda)*.
- Zamili, W. (n.d.). ANALISA PERBAIKAN TANAH DASAR MELALUI PROSES KONSOLIDASI AKIBAT TANAH TIMBUNAN PADA PEMBANGUNAN JALAN TOL MEDAN BINJAI SEKSI SATU TANJUNG MULIA HELVETIA STA 0+175-1+200.