

## Pemodelan Infiltrasi Air ke Dalam Tanah dengan Alat "Kolom Infiltrasi" untuk Menghitung Koefisien Permeabilitas Tanah Tidak Jenuh ( $k_w$ )

Moh Muntaha

Staft Pengajar Program Studi Diploma Teknik Sipil FTSP ITS

Email: mohamad\_m74@ce.its.ac.id

### ABSTRAK

Secara alami, tanah di alam dapat dibagi menjadi dua kondisi: pertama, tanah berada pada kondisi jenuh sempurna (fully saturated), dan kedua, tanah dalam kondisi jenuh sebagian (partially saturated). Kondisi kejenuhan yang berbeda ini dapat disebabkan oleh adanya perbedaan fase air/kebasahan di dalam struktur partikel-partikel yang membentuk suatu massa tanah. Satu parameter penting pemahaman perilaku tanah tidak jenuh adalah koefisien permeabilitas tanah tidak jenuh air ( $k_w$ ). Dalam studi ini akan dilakukan penelitian tentang pengaruh perubahan kadar air terhadap koefisien permeabilitas tanah tidak jenuh ( $k_w$ ). Sebuah alat "Kolom Infiltrasi" disiapkan untuk menghitung koefisien permeabilitas tanah tidak jenuh ( $k_w$ ). Persamaan empiris dari Campbell, untuk menghitung koefisien permeabilitas tanah tidak jenuh ( $k_w$ ) digunakan sebagai kalibrasi alat. Dari hasil penelitian, pada kondisi kadar air 12% dengan alat "kolom Infiltrasi" didapat koefisien permeabilitas tanah tidak jenuh ( $k_w$ ) adalah  $1,338 \times 10^{-7}$  m/s. Dengan kondisi yang sama jika dihitung dengan menggunakan perumusan Campbell koefisien permeabilitas tanah tidak jenuh ( $k_w$ ) adalah  $1,35 \times 10^{-9}$  m/s. Perbedaan hasil ini mungkin disebabkan media tanah yang dipakai pengujian berbeda. Campbell menurunkan perumusan, memakai media tanah pasir kelepungan, sedangkan benda uji alat "kolom infiltrasi" adalah lanau kelepungan.

Kata Kunci: *Koefisien Permeabilitas Tanah, Tanah Lanau, Kolom Infiltrasi*

### 1. PENDAHULUAN

Secara alami, tanah di alam dapat dibagi menjadi dua kondisi: pertama, tanah berada pada kondisi jenuh sempurna (fully saturated), dan kedua, tanah dalam kondisi jenuh sebagian (partially saturated). Kondisi kejenuhan yang berbeda ini dapat disebabkan oleh adanya perbedaan fase air/kebasahan di dalam struktur partikel-partikel yang membentuk suatu massa tanah. Pada tanah yang jenuh sempurna, pori-pori tanah terisi seluruhnya dengan air, sedangkan pada tanah yang jenuh sebagian, pori-pori tanah ini dapat terisi oleh fase air maupun fase udara [1].

Pada umumnya kondisi tanah pada lereng, terutama yang berada dekat bagian permukaan merupakan tanah yang selalu mengalami perubahan kondisi dari jenuh ke tidak jenuh (jenuh sebagian) dan sebaliknya, sesuai dengan musim yang sedang berlangsung. Bila musim hujan, maka tanah mungkin akan berada dalam kondisi jenuh, namun pada musim kemarau tanah menjadi

kering (tidak jenuh) akibat penguapan oleh sinar matahari. Air masuk ke dalam tanah tak jenuh melalui infiltrasi air permukaan, rembesan air dalam tanah dan naiknya muka air tanah. Ketiga kondisi di atas dapat mengubah kondisi tanah tak jenuh menjadi jenuh air pada sebagian lapisan tanah.

Dengan adanya air terjadi perubahan pada koefisien permeabilitas tanah dan perubahan parameter-parameter tanah yang lain. Bertambahnya kadar air mengakibatkan terjadinya perubahan koefisien permeabilitas tanah, dari koefisien permeabilitas tidak jenuh ( $k_w$ ) pada kondisi tidak jenuh mempunyai menjadi koefisien permeabilitas jenuh ( $k$ ) pada tanah jenuh. Dalam mekanika tanah klasik, dasar perhitungan koefisien permeabilitas ( $k$ ) tanah adalah menggunakan asumsi tanah jenuh air, padahal kenyataan di lapangan tanah tidak selalu dalam kondisi jenuh air.

Dari uraian di atas dirasa perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh perubahan kadar air terhadap koefisien permeabilitas

tanah (k) akibat perubahan kadar air, untuk itu sebuah alat “Kolom Infiltrasi” disiapkan untuk menghitung koefisien permeabilitas tanah tidak jenuh ( $k_w$ ). Dalam penelitian sebagai media di gunakan tanah lanau, yang diambil dari daerah gunung Kawi Kabupaten Malang Propinsi Jawa Timur.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada beberapa dekade yang lalu, istilah tanah jenuh sebagian (partially saturated soil) digunakan untuk menggambarkan tanah yang tidak memiliki kejenuhan 100%. Tetapi untuk lebih memperjelas klasifikasi, maka sekarang digunakan istilah tanah tidak jenuh (Unsaturated soil), untuk tanah yang mengalami kondisi tidak jenuh sempurna. Dalam hal ini, istilah tidak jenuh tidaklah berarti bahwa suatu tanah memiliki derajat kejenuhan nol, tetapi hanya menggambarkan bahwa derajat kejenuhannya tidak mencapai 100%.

Pada saat ini, istilah tanah tidak jenuh dapat dikenakan pada semua jenis tanah yang memiliki tegangan air pori negatif (Fredlund dan Rahardjo, 1993) [2]. Sedangkan tanah jenuh, merupakan istilah untuk tanah yang mempunyai tegangan air negatif sama dengan nol, yang kebanyakan terletak di bawah muka air tanah. Penggolongan ini menjadi sangat penting untuk dilakukan, mengingat karakteristik dan perilakunya yang berbeda.

### 2.1 Tanah Lanau

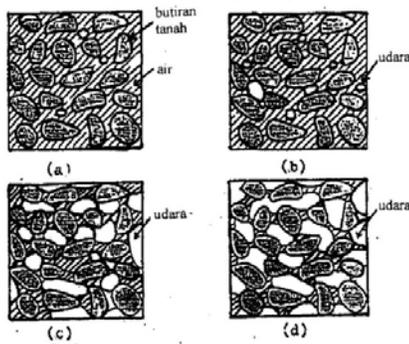
Sama halnya dengan kerikil dan pasir, sebagian besar fraksi lanau tersusun atas mineral bukan lempung (Mitchell, 1976) [3]. Karakteristik fisik tanah yang tersusun bukan dari mineral lempung (nonclay minerals) biasanya disebut sebagai cohesionless soil (tanah yang tidak mempunyai kohesi), ditentukan oleh: ukuran partikel, bentuk, tekstur permukaan dan distribusi ukuran. Material bukan lempung ini, umumnya dihasilkan dari suatu proses pelapukan pecahnya batuan asal akibat pengaruh cuaca. Menurut Mitchell (1976), batuan beku yang merupakan sumber material pembentuk tanah, mengandung

mineral feldspar (sekitar 60%) dan pyroxenes beserta amphibol sekitar 17%. Selain feldspar, pyroxenes dan amphibol, batuan beku juga mengandung quartz sekitar 12%, mika 4% dan mineral lainnya sekitar 8% [3].

Berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) dan USCS (Unified Soils Clasification System), lanau dan lempung tergolong ke dalam material berbutir halus. Menurut Bowles (1991), yang dikatakan lanau (silt) adalah partikel-partikel mineral tanah yang ukurannya berkisar antara 0,002 mm sampai 0,074 mm. Tanah lanau mempunyai kohesi atau tarikan antara partikel dan adhesi serta dapat juga mempunyai kohesi semu. Adanya kohesi pada tanah lanau umumnya disebabkan oleh partikel-partikel mineral lempung yang tersebar di seluruh massa tanah tersebut. Seringkali sejumlah kecil (5% sampai 8%) partikel lempungpun akan memberikan karakteristik lempung yang berpengaruh kepada lanau. Lebih lanjut dikatakan, tanah lanau bukan merupakan bahan pondasi yang baik, kecuali jika kering atau telah mengalami kompresi yang tinggi hingga menjadi batuan sedimen. Selain itu, butiran-butiran partikel tanah lanau bersifat lepas dan sangat kompresibel.

### 2.2. Proses Penurunan Derajat Kejenuhan Tanah

Proses penurunan derajat kejenuhan (desaturation) dari suatu tanah merupakan hal yang penting untuk dibahas, dalam upaya kita untuk lebih memahami perilaku tanah tidak jenuh. Vanapalli (1994) [1] mengemukakan hipotesisnya tentang proses penurunan derajat kejenuhan (desaturation) dalam suatu massa tanah dan hubungannya dengan variasi kadar air dalam pori tanah. Secara umum, ketakjenuhan dibagi menjadi tiga tahap seperti yang terlihat pada Gambar 2.1, yaitu; tahap pengaruh batas (boundary effect), tahap transisi dan tahap sisa (residual). Tahap transisi dibagi dua yaitu tahap transisi primer dan tahap transisi sekunder.



Gambar 1. Variasi luasan air (water area) pada tahapan desaturasi; (a) tahapan kondisi batas, (b) tahap transisi primer, (c) tahap transisi sekunder dan (d) tahap residu (Vanapalli, 1994)

Pada tahapan pengaruh batas (boundary effect), seluruh pori-pori tanah terisi air (Gambar 1.a), sehingga tanah masih berada pada kondisi jenuh sempurna dan prinsip tegangan efektif dari Terzaghi masih berlaku. Pada tahap transisi (Gambar 1.b dan 1.c), tanah mulai mengalami penurunan derajat kejenuhan. Kadar air di dalam tanah mulai berkurang, dengan diikuti oleh meningkatnya gelembung udara. Harga tegangan air pori negatif mulai terlihat meningkat pada tahapan transisi ini. Luasan meniscus air yang berhubungan dengan partikel atau agregat tanah mulai berkurang dan bersifat diskontinu. Pada tahap residual (Gambar 1.d), dapat terjadi peningkatan tegangan air pori negatif yang tinggi, dengan penurunan kadar air (derajat kejenuhan) yang relatif kecil. Pada tahap ini, kadar air di dalam pori-pori tanah menjadi sangat kecil dan sebaliknya pori-pori tanah hampir seluruhnya terisi oleh udara.

### 2.3. Koefisien Permeabilitas Tanah

Koefisien permeabilitas mempunyai satuan yang sama dengan kecepatan, dimana besarnya adalah tergantung dari faktor kekentalan cairan, distribusi ukuran-butir, angka pori, kekasaran permukaan butiran tanah, dan derajat kejenuhan tanah. Faktor lain yang mempengaruhi sifat rembesan tanah lempung adalah konsentrasi ion dan ketebalan lapisan air yang menempel pada butiran lempung.

**2.3.1 Koefisien Permeabilitas Tanah Jenuh**  
Dalam mekanika tanah klasik, koefisien permeabilitas tanah yang dimaksud adalah koefisien permeabilitas tanah jenuh air ( $k$ ), artinya kondisi tanah dalam kondisi jenuh air 100 %. Ada dua macam uji standar di laboratorium yang digunakan untuk menentukan harga koefisien permeabilitas suatu tanah, yaitu : uji tinggi konstan dan uji tinggi jatuh. Uji tinggi konstan lebih cocok untuk menghitung koefisien permeabilitas tanah berbutir, sedangkan uji tinggi jatuh sangat untuk tanah berbutir halus yang mempunyai koefisien rembesan kecil.

### 2.3.2 Koefisien Permeabilitas Tanah Tidak Jenuh

Semakin berkembangnya mekanika tanah tidak jenuh air (unsaturated soil), maka pemikiran-pemikiran penentuan koefisien permeabilitas tanah tidak jenuh ( $k_w$ ), juga semakin berkembang. Beberapa teori perhitungan koefisien permeabilitas dikemukakan oleh beberapa ahli.

#### 1. Prediksi Koefisien Permeabilitas tanah tidak jenuh dengan rumus Campbell.

Dengan asumsi pada tanah jenuh, aliran air dalam tanah sesuai dengan hukum Darcy, di mana kecepatan aliran air yang melalui massa tanah sebanding dengan gradien hidraulik:

$$v_w = -k_w \frac{\partial h_w}{\partial y} \dots\dots\dots(1)$$

di mana:

- $v_w$  = kecepatan aliran air
- $k_w$  = koefisien permeabilitas
- $\frac{\partial h_w}{\partial y}$  = gradien hidraulik

Menurut Fredlund dan Rahardjo (1993) [4], hukum Darcy juga diterapkan untuk aliran air dalam tanah tidak jenuh. Perbedaannya adalah pada koefisien permeabilitas. Pada tanah jenuh, koefisien permeabilitas dapat dianggap konstan, sebab hanya tergantung pada angka pori. Anggapan ini tidak berlaku pada tanah tidak jenuh. Koefisien permeabilitas tanah tak jenuh dipengaruhi oleh perubahan kadar air atau matric suction. Air tidak dapat mengalir melalui ruang pori yang terisi udara, namun air

hanya dapat mengalir melalui ruang pori yang terisi oleh air. Pada waktu tanah dalam kondisi tak jenuh, udara menempati ruang pori yang besar. Akibatnya air hanya dapat mengalir melalui pori yang lebih kecil. Seiring dengan meningkatnya tegangan air pori negatif, ruang pori lebih banyak terisi oleh udara, sehingga permeabilitas menjadi berkurang. Disamping angka pori, derajat kejenuhan (kadar air) adalah faktor penting lain yang mempengaruhi permeabilitas tanah tak jenuh.

Menurut Fredlund dan Rahardjo (1993) [5], kurva karakteristik tanah-air (kurva drying atau wetting), dapat digunakan untuk menghitung koefisien permeabilitas  $k_w(\theta_w)$  tanah tak jenuh. Campbell (1973) membuat suatu persamaan empiris untuk menghitung koefisien permeabilitas tanah tak jenuh ( $k_w$ ) seperti berikut:

$$k_w = k_s \left( \frac{\theta_w}{\theta_s} \right)^{2b+3} \dots\dots\dots(2)$$

dengan :

$$b = \frac{\Delta \log \psi}{\Delta \log \theta_w} \dots\dots\dots(3)$$

dimana:

- $k_w$  = koef. permeabilitas tanah tak jenuh
- $k_s$  = koef. permeabilitas kondisi jenuh
- $\theta_w$  = volumetric water content
- $\theta_s$  = vol. water content kondisi jenuh
- $\psi$  = suction

**2.4 Prediksi Koefisien Permeabilitas tanah tidak jenuh dengan Kelistrikan.**

Alat kolom infiltrasi di desain untuk mendeteksi infiltrasi air kedalam tanah dengan menggunakan prinsip kelistrikan. Potensial listrik yang terjadi di bumi disebabkan oleh reaksi elektrokimia atau aktifitas mekanik. Faktor utama penyebab terjadinya potensial tersebut adalah kandungan air dibawah permukaan tanah.

**a. Konduktivitas Listrik**

Arus listrik dapat menjalar dalam batuan dan mineral dengan tiga cara: elektronik (ohm), elektrolisis dan konduksi dielektrik. Yang pertama menunjukkan aliran arus yang berasosiasi dengan aliran bebas elektron

pada material misalnya dalam logam. Tipe kedua mempunyai aliran arus lebih lambat dari tipe pertama sebab material mempunyai sedikit elektron bebas. Tipe ketiga jauh lebih lambat dari tipe pertama dan kedua sebab hampir tidak ada elektron bebas dalam material. Karena pengaruh perubahan medan listrik, elektron pada atom memisahkan diri dari inti. Pemisahan muatan positif dan negatif ini menyebabkan polarisasi dielektrik dari material. Dalam kasus ini, konduksi dielektrik adalah hasil dari perubahan polarisasi elektronik, ionik dan molekular menyebabkan perubahan medan listrik. Resistivitas listrik pada sebuah silinder pejal dengan panjang L dan luas penampang A, mempunyai harga resistan R di antara permukaannya:

$$\rho = \frac{RA}{L} \dots\dots\dots(4)$$

Dengan A dalam meter persegi, L dalam meter dan R dalam ohm, resistivitas dalam ohm-meter. Dari hokum Ohm, resistan merupakan banyaknya tegangan yang terukur pada luasan silinder terhadap resultan aliran arus yang melewatinya:

$$R = \frac{V}{I} \dots\dots\dots(5)$$

Sedangkan untuk menghitung harga resistivitas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\rho = \frac{RA}{L} \dots\dots\dots(6)$$

**2.4.1. Hubungan Resistivitas dengan Permeabilitas**

Untuk mendapatkan nilai permeabilitas tanah Darcy, memberikan perumusan :

$$u = -\frac{k}{\eta} \cdot \nabla p \dots\dots\dots(7)$$

dimana :

- u = kecepatan infiltrasi (m/s)
  - p = tekanan fluida (N/m<sup>2</sup>)
  - $\eta$  = viskositas fluida (Pascal.s); dari tabel (lihat Lampiran C).
  - k = permeabilitas (m/s)
- Kemudian dari prinsip Bernaouilli, dimana besarnya tekanan bergantung massa jenisnya, garvitasnya dan ketinggianya, sesuai rumusan :

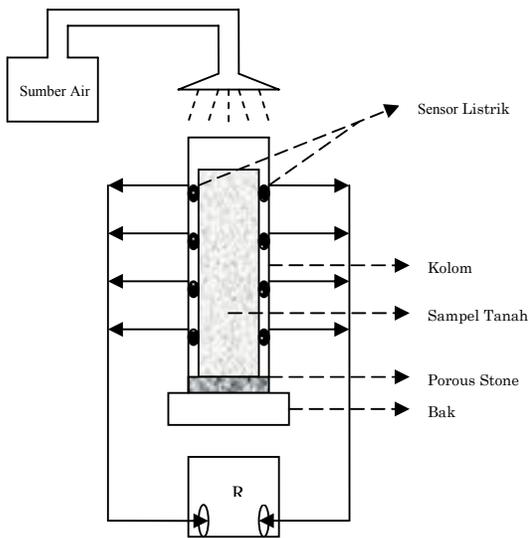
$$P = \rho \cdot g \cdot h \dots\dots\dots (8)$$

dimana :

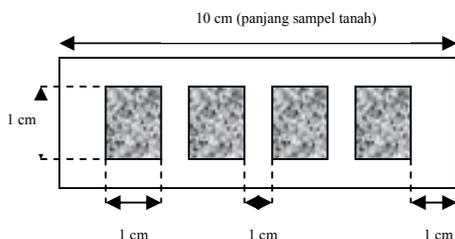
- P = tekanan (N/m<sup>2</sup>)
- $\rho$  = densitas (gr/cm<sup>3</sup>)
- g = gravitasi (m/s<sup>2</sup>)
- h = ketinggian (m)

**3. METODOLOGI**

Uji kecepatan infiltrasi air dipakai alat "Kolom Infiltrasi", alat ini bekerja berdasarkan pada prinsip kerja medan listrik. Suatu tabung berisi sampel tanah yang telah dikondisikan kadar airnya diberi sensor listrik disekelilingnya, kemudian diberi hujan dengan lama tertentu. Model kolom infiltrasi dapat dilihat pada gambar 2 dan gambar 3. Pada perubahan waktu tertentu akibat adanya pergerakan air maka sensor akan membaca perubahan kadar air tanah. Dipasang 4 sensor pada tabung PVC dengan jarak antar sensor 2 cm. Sensor pertama dipasang 2 cm dari atas, demikian dan seterusnya.



Gambar 2. Diagram Alat Kolom Infiltrasi



Gambar 3. Letak Elektroda Pada Tabung PVC

Penelitian Resistivitas dilakukan di Laboratorium Elektronika Jurusan Fisika FMIPA ITS Surabaya dengan sampel tanah lanau yang diperlakukan sedemikian rupa sesuai dengan yang diinginkan. Dimana sampel tanah lanau tersebut diuji dengan menggunakan alat Kolom Infiltrasi. Alat ini terdiri dari kolom yang berbentuk silinder yang didalamnya diisi sampel tanah lanau, lalu pada tiap sisinya diberi sensor listrik (elektroda) yang dihubungkan dengan alat RCL untuk mengukur hambatannya (R). Kolom tersebut pada saat pengukuran juga diberi penghujan secara periodik dengan lama yang telah ditentukan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat Gambar 2. Data yang didapatkan dari pengukuran tersebut berupa harga resistansi dari tanah lanau.

Langkah-langkah pengujian kolom infiltrasi di laboratorium adalah sebagai berikut :

1. Masukkan benda uji tanah dengan kadar air tertentu ( benda uji yang dikondisikan dengan proses pengeringan dan pembasahan).
2. Rendam benda uji dengan tinggi tertentu dan lama hujan bervariasi. Biarkan beberapa saat.
3. Catat pembacaan tahanan pada alat RCL secara periodik.
4. Pembacaan dihentikan bila dalam waktu tertentu tidak terjadi perubahan tahanan atau air sudah keluar, dengan debit yang konstan, dari kolom infiltrasi.
5. Hasil pembacaan tahanan diolah untuk mendapatkan data kecepatan infiltrasi air dalam tanah.

**4. HASIL PENELITIAN**

**4.1. Hasil Pengujian Sifat Fisik Tanah.**

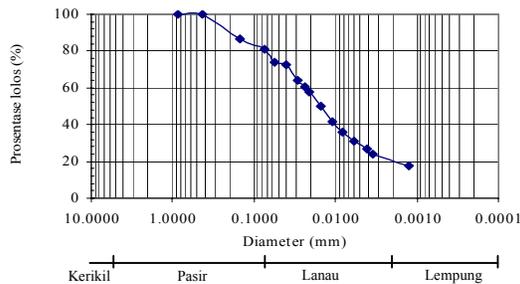
Obyek penelitian yang berupa tanah ini diambil dari daerah Gunung Kawi, Kabupaten Malang, Jawa Timur. Pengujian sifat fisik meliputi: gravimetri-volumetri, konsistensi (batas cair, batas plastis dan batas susut) dan analisa pembagian butir (analisa saringan dan hidrometer). Hasil-hasil pengujian sifat fisik tanah dapat dilihat pada Tabel 1.

Dari hasil analisa saringan dan sifat fisik tanah, didapat bahwa 99,78% tanah lolos

saringan no.40, dan lolos saringan no.200 sebesar 78,21%; sehingga sesuai dengan system klasifikasi AASHTO, tanah dapat digolongkan pada kelompok A-4, A-5, A-6 dan A-7. Jika dilihat nilai batas cair, maka tanah digolongkan pada kelompok A-5, A-7-5 atau A-7-6 dan dari nilai plastis indeks (IP<LL-30), maka tanah termasuk golongan A-7-5. Sehingga menurut sistem klasifikasi AASHTO, tanah yang digunakan pada penelitian ini dapat diklasifikasikan pada kelompok A-7-5.

Tabel 1. Hasil uji sifat fisik tanah

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Satuan
<b>Konsistensi</b>		
1. Batas Cair (LL)	82,60	%
2. Batas Plastis (PL)	55,01	%
3. Indeks Plastis (PI)	27,59	%
4. Batas Susut (SL)	27,27	%
<b>Gravimetri dan Volumetri</b>		
1. Spesifik Gravitasi	2,647	
2. Kadar Air, w	51,57	%
3. Berat Volume Tanah, $\gamma_t$	1,442	gr/cm <sup>3</sup>
4. Berat Volume Kering, $\gamma_d$	0,917	gr/cm <sup>3</sup>
5. Angka Pori, e	1,786	-
6. Derajat Kejenuhan, Sr	75,59	%

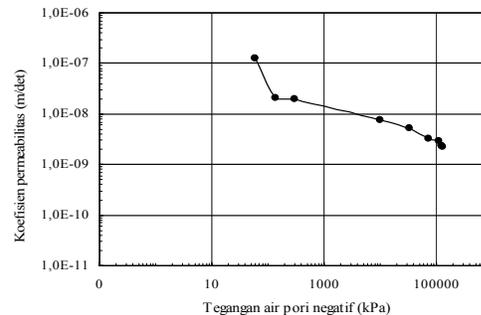


Gambar 4. Grafik Analisa Ayakan dan Hidrometer tanah Lanau Gunung Kawi

#### 4.2. Perhitungan Koefisien Permeabilitas Tanah tidak jenuh ( $k_w$ ) dg Perumusan

Koefisien Permeabilitas tanah tidak jenuh ( $k_w$ ) dapat didekati dengan menggunakan beberapa perumusan yang ada. Perhitungan ini dilakukan sebagai pembandingan (validasi) terhadap hasil perhitungan yang diperoleh dengan menggunakan alat kolom infiltrasi.

Koefisien permeabilitas tanah tidak jenuh ( $k_w$ ) di sini dihitung dengan menggunakan persamaan empiris dari Campbell (1973, rumus nomor 2). Koefisien permeabilitas tanah tidak jenuh ( $k_w$ ) ini adalah fungsi dari tegangan air pori negatif. Adapun hasil perhitungan ditampilkan dalam grafik hubungan antara tegangan air pori negatif dengan koefisien permeabilitas tanah, seperti terlihat pada gambar 5.



Gambar 5. Hubungan koefisien permeabilitas dengan tegangan air pori negatif

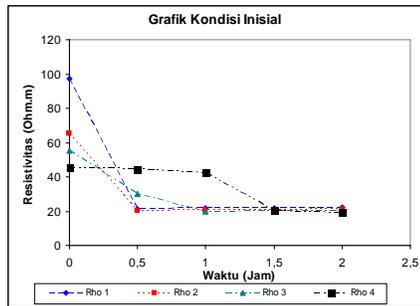
Dari grafik hubungan tegangan air pori negatif dengan koefisien permeabilitas terlihat bahwa nilai koefisien permeabilitas terus mengecil seiring dengan semakin bertambah besarnya nilai tegangan air pori negatif. Ini terjadi karena semakin tinggi tegangan air pori negatif maka derajat kejenuhan akan semakin mengecil, selain itu pada tegangan air pori negatif yang tinggi maka terjadi pengecilan volume pori. Bila tegangan air pori terus meningkat, maka akan semakin sedikit volume pori yang terisi oleh air dan jarak antara partikel semakin dekat, akibatnya koefisien permeabilitas akan mengalami penurunan seiring dengan mengecilnya ruang tempat air mengalir.

Pada saat tegangan air pori negatif sama dengan nol ini merupakan kondisi jenuh, dimana koefisien permeabilitas adalah  $1,28 \times 10^{-5}$  m/detik, dan ini didapat dari percobaan rembesan falling head test (Khaidir, 2004) [6].

#### 4.3. Perhitungan Koefisien Permeabilitas Tanah tidak jenuh ( $k_w$ ) dg Kolom Infiltrasi

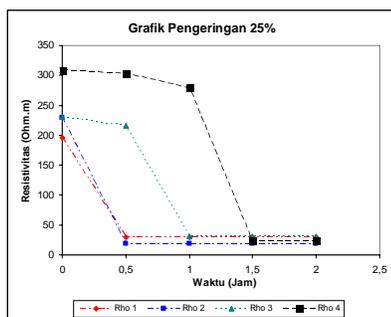
Dengan menggunakan alat kolom infiltrasi, koefisien permeabilitas tanah tidak jenuh ( $k_w$ ) dicoba didekati. Alat ini bekerja dengan menggunakan prinsip listrik. Adapun

skematik alat dan langkah-langkah pengujian di laboratorium adalah seperti pada Metodologi diatas. Hasil percobaan kolom infiltrasi tanah yaitu pembacaan resistensi tanah pada berbagai kondisi kadar air tanah akibat pengaruh perubahan kadar air dapat dilihat pada gambar 6 sampai dengan 7.



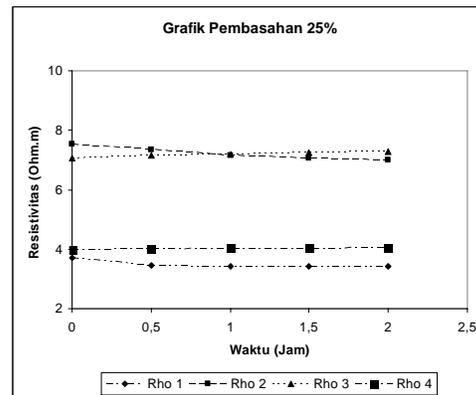
Gambar 6. Grafik Resistivitas tanah pada kondisi kadar air awal (initial)

Terlihat untuk kondisi awal harga resistivitas di tiap-tiap elektroda bervariasi, dimana setelah penghujan selama 0,5 jam harga  $\rho_1$  dan  $\rho_2$  pada sensor no.1 dan no.2 telah terpengaruh oleh air. Hal ini terlihat dari turunnya harga resistivitas dari keadaan awal. Setelah 1 jam perubahan harga  $\rho_1$  dan  $\rho_2$  relatif stabil, sedangkan  $\rho_3$  dari sensor no.3 sudah mengalami perubahan dari keadaan awal. Selanjutnya pada 1,5 jam harga  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  dan  $\rho_3$  relatif stabil dan harga  $\rho_4$  sudah mengalami perubahan, yang berarti air sudah sampai pada  $\rho_4$ . Dan akhirnya pada 2 jam seluruh elektroda harga resistivitasnya sudah berubah dari keadaan awal, yang berarti pada 2 jam ini seluruh sampel telah jenuh air.



Gambar 7. Grafik Resistivitas tanah pada kondisi pengeringan 25%.

Terlihat bahwa pengeringan meningkatkan nilai resistivitas ( $\rho$ ) tanah. Kondisi tanah yang dikeringkan mempunyai nilai  $\rho$  yang lebih besar daripada tanah sebelum dikeringkan. Setelah diberi air pada waktu 30 menit nilai resistivitas pada sensor no.1 dan no.2 langsung turun, hal ini menunjukkan bahwa air sudah mengisi pori-pori tanah pada kedalaman ini. Sedangkan pembacaan  $\rho_3$  dan  $\rho_4$  masih tinggi, artinya tanah masih dalam kondisi kering.



Gambar 8. Grafik Resistivitas tanah pada kondisi pembasahan 25%.

Kondisi sebaliknya terjadi pada saat pembasahan. Terlihat bahwa pembasahan menurunkan nilai resistivitas ( $\rho$ ) tanah. Kondisi tanah yang basah menyebabkan nilai  $\rho$  menjadi sangat kecil. Setelah diberi air pada waktu 30 menit nilai resistivitas pada sensor no.1 sampai no.4 tidak mengalami perubahan yang signifikan, hal ini mengindikasikan tanah sudah dalam keadaan hampir jenuh.

Dari grafik resistivitas diatas kemudian dihitung permeabilitas dari tanah yang diteliti menggunakan persamaan Darcy:

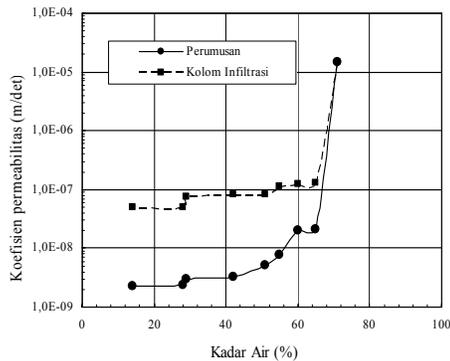
$$u = -\frac{k}{\eta} \cdot \nabla p$$

dimana :

- u = kecepatan infiltrasi (m/s)
- p = tekanan fluida (N/m<sup>2</sup>)
- $\eta$  = viskositas fluida (Pascal.s)
- k = permeabilitas (m/s)

Dengan menggunakan perumusan diatas di dapat harga permeabilitas tanah pada kondisi awal ( $k_w$ ) adalah  $1,388 \text{ E-7 m/s}$ .

Hasil perhitungan secara lengkap dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Hubungan koefisien permeabilitas dengan kadar air dengan menggunakan perumusan Campbell (1973) dan menggunakan alat Kolom Infiltrasi

Dari gambar diatas terlihat bahwa koefisien permeabilitas tanah tidak jenuh ( $k_w$ ) terus menurun seiring dengan meningkatnya kadar air tanah. Apabila dibandingkan dengan hasil perhitungan dengan hasil perumusan, kedua grafik terlihat mempunyai pola yang hampir sama, keduanya menunjukkan bahwa nilai koefisien permeabilitas terus mengecil seiring dengan semakin bertambah besarnya nilai kadar air tanah. Dari grafik juga terlihat, ada perbedaan nilai koefisien permeabilitas tanah untuk masing-masing kondisi kadar air, hal ini terjadi mungkin karena media tanah yang dipakai berbeda dan asumsi-asumsi yang berbeda (Muntaha, 2005) [7].

## 5. KESIMPULAN

1. Resistivitas tanah ( $\rho$ ) semakin mengecil seiring meningkatnya derajat kejenuhan/kadar air tanah. Demikian juga pada kondisi sebaliknya.
2. Pada kondisi kadar air 12% koefisien permeabilitas tanah tidak jenuh ( $k_w$ ) adalah  $1,35 \times 10^{-9} \text{ m/s}$  jika dihitung dengan menggunakan perumusan Campbell (2), sedangkan jika dihitung dengan alat "kolom Infiltrasi" didapat

harga koefisien permeabilitas tanah tidak jenuh ( $k_w$ ) adalah  $1,338 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ .

3. Perbedaan ini dimungkinkan karena media tanah yang dipakai pengujian berbeda. Pada perumusan tanah yang dipakai adalah pasir kelempungan, sedangkan benda uji alat "kolom infiltrasi" adalah lanau kelempungan.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

Acuan yang dipakai untuk penulisan artikel ini antara lain:

- [1] Das, B.M, 1990, "Principles of Foundation Engineering", Second Edition, PWS Kent Publishing Company, Boston.
- [2] Fredlund, D.G., Xing, A. and Barbour, S. L. (1995). "The Relationship of the Unsaturated Soil Shear Strength to the Soil-water Characteristic Curve", Canadian Geotechnical Journal, 39, 159-167.
- [3] Mitchell, 1976, "Perilaku Mikroskopik Tanah Lunak", Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [4] Fredlund and Raharjo, (1994). "Unsaturated Soils", Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [5] Vanapalli, S.K, Fredlund, D.G, Pufahl, D.E. dan Clifton, A.W. (1996). "Model for the Prediction of Strength with Respect to Soil Suction", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 33, pp. 33-392.
- [6] Khaidir. (2004), "Pengaruh Pengeringan dan Pembasahan Terhadap Kestabilan Lereng Tanah Lanau Daerah Gunung Kawi", Tesis, Pascasarjana ITS, Surabaya.
- [7] Muntaha, M. (2005), "Studi Pengaruh Infiltrasi Air Terhadap Kestabilan Lereng Tanah lanau Kelempungan Dari Daerah Gunung Kawi-Jawa Timur", Tesis, Pascasarjana ITS, Surabaya.