

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Tanah

Tanah adalah benda alami di permukaan bumi yang terbentuk dari bahan induk tanah (bahan organik atau bahan mineral) oleh proses pembentukan tanah dari interaksi faktor-faktor iklim, relief/bentuk wilayah, organisme (makro/mikro) dan waktu, tersusun dari bahan padatan organik dan anorganik), cairan dan gas, berlapis-lapis dan mampu mendukung pertumbuhan tanaman. Batas atas adalah udara, batas samping adalah air dalam lebih dari 2 meter atau singkapan batuan dan batas bawah adalah sampai kedalaman aktivitas biologi atau padas yang tidak tembus akar tanaman, dibatasi sampai kedalaman 2 meter (Subardja, 2004).

Tanah dalam pandangan teknik sipil adalah himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*) yang terletak di atas batu dasar (*bedrock*) (Hardiyatmo, H.C., 2001).

Tanah merupakan material yang terdiri dari agregat (butiran) padat yang 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, 1988).

Menurut Bowles (1991), tanah adalah campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut :

1. Berangkal (*boulders*), yaitu potongan batuan yang besar, biasanya lebih besar dari 250 mm sampai 300 mm. Untuk kisaran ukuran 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut sebagai kerakal (*cobbles*) atau *pebbes*.
2. Kerikil (*gravel*), yaitu partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm.
3. Pasir (*sand*), yaitu batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5 mm. Berkisar dari kasar (3 mm sampai 5 mm) samapai halus (< 1mm).
4. Lanau (*silt*), yaitu partikel batuan yang berukuran dari 0,002 mm sampai 0,074 mm.
5. Lempung (*clay*), yaitu partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesif pada tanah yang “kohesif”.

B. Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah pengelompokkan tanah sesuai dengan perilaku umum dari tanah pada kondisi fisis tertentu. Tujuan klasifikasi tanah adalah untuk menentukan dan mengidentifikasi tanah, untuk menentukan kesesuaian terhadap pemakaian tertentu, dan berguna untuk menyampaikan informasi mengenai keadaan tanah dari suatu daerah dengan daerah lainnya dalam bentuk suatu data dasar (Bowles, 1991).

1. Sistem *Unified* (*Unified Soil Classification / USCS*).

(USCS) diajukan pertama kali oleh Casagrande dan selanjutnya dikembangkan oleh *United State Bureau of Reclamation* (USBR) dan *United State Army Corps of Engineer* (USACE). Kemudian *American Society for Testing and Materials* (ASTM) memakai USCS sebagai metode standar guna mengklasifikasikan tanah. Dalam bentuk yang sekarang, sistem ini banyak digunakan dalam berbagai pekerjaan geoteknik. Dalam USCS, suatu tanah diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama yaitu :

- a. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soil*), yaitu tanah kerikil dan pasir yang kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos saringan No.200. Simbol untuk kelompok ini adalah G untuk tanah berkerikil dan S untuk tanah berpasir. Selain itu juga dinyatakan gradasi tanah dengan simbol W untuk tanah bergradasi baik dan P untuk tanah bergradasi buruk.
- b. Tanah berbutir halus (*fine-grained soil*), yaitu tanah yang lebih dari 50% berat contoh tanahnya lolos dari saringan No.200. Simbol kelompok ini adalah C untuk lempung anorganik dan O untuk lanau organik. Simbol Pt digunakan untuk gambut (*peat*), dan tanah dengan kandungan organik tinggi. Plastisitas dinyatakan dengan L untuk plastisitas rendah dan H untuk plastisitas tinggi.

Menurut Bowles, 1991 Kelompok-kelompok tanah utama sistem klasifikasi *Unified* dapat dilihat pada tabel 1. berikut ini :

Tabel 1. Sistem Klasifikasi Tanah *Unified*

Jenis Tanah	Prefiks	Sub Kelompok	Sufiks
Kerikil	G	Gradasi baik	W
		Gradasi buruk	P
Pasir	S	Berlanau	M
		Berlempung	C
Lanau	M		
Lempung	C	$w_L < 50 \%$	L
Organik	O	$w_L > 50 \%$	H
Gambut	Pt		

Sumber : Bowles, 1991.

Keterangan :

G = Untuk kerikil (*Gravel*) atau tanah berkerikil (*Gravelly Soil*).

S = Untuk pasir (*Sand*) atau tanah berpasir (*Sandy soil*).

M = Untuk lanau inorganik (*inorganic silt*).

C = Untuk lempung inorganik (*inorganic clay*).

O = Untuk lanau dan lempung organik.

Pt = Untuk gambut (*peat*) dan tanah dengan kandungan organik tinggi.

W = Untuk gradasi baik (*well graded*).

P = Gradasi buruk (*poorly graded*).

L = Plastisitas rendah (*low plasticity*).

H = Plastisitas tinggi (*high plasticity*).

Tabel 2. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem *Unified*

Divisi utama		Simbol kelompok	Nama umum
Tanah berbutir kasar $\geq 50\%$ butiran tertahan saringan No. 200	Pasir $\geq 50\%$ fraksi kasar lolos saringan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Kerikil dengan Butiran halus	GP Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			GM Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau
			GC Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung
	Kerikil $50\% \geq$ fraksi kasar tertahan saringan No. 4	Pasir bersih (hanyapasir)	SW Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Pasir dengan butiran halus	SP Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			SM Pasir berlanau, campuran pasir-lanau
			SC Pasir berlempung, campuran pasir-lempung
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan lempung batas cair $\leq 50\%$	ML Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	
		CL Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (<i>lean clays</i>)	
		OL Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
	Lanau dan lempung batas cair $\geq 50\%$	MH Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis	
		CH Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (<i>fat clays</i>)	
		OH Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi	
		PT <i>Peat</i> (gambut), <i>muck</i> , dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	

Lanjutan Tabel 2. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem *Unified*

	Kriteria klasifikasi		
<p>Klasifikasi berdasarkan persentase buti</p> <p>≥ 12 % lolos saringan No. 200 GM, GC, SM, SC</p> <p>5 - 12 % lolos saringan No. 200 klasifikasi perbatasan yang memerlukan r halus</p> <p>≤ 5 % lolos saringan No. 200 GW, GP, SW, SP</p> <p>penggunaan dua simbol</p>	$C_u = D_{60} / D_{10} > \text{dari } 4$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3		
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW		
	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda	
	Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$		
	$C_u = D_{60} / D_{10}$ lebih besar dari 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3		
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW		
	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda	
	Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$		
	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat dalam ASTM designation D-2488		

Sumber : “Dasar-dasar Analisis Geoteknik, hal. 34”, Dunn, dkk, 1992.

C. Tanah Lempung

Tanah lempung merupakan tanah yang berukuran mikroskopis sampai dengan sub mikroskopis yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan, tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering dan bersifat plastis pada kadar air sedang. Pada kadar air lebih tinggi lempung bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak (Das, 1988).

Tanah lempung terdiri dari berbagai golongan tekstur yang agak susah dicirikan secara umum. Sifat fisika tanah lempung umumnya terletak diantara sifat tanah pasir dan liat. Pengolahan tanah tidak terlampau berat, sifat merembeskan airnya sedang dan tidak terlalu melekat.

Warna tanah pada tanah lempung tidak dipengaruhi oleh unsur kimia yang terkandung didalamnya, karena tidak adanya perbedaan yang dominan, dimana kesemuanya hanya dipengaruhi oleh unsur Natrium saja yang paling mendominasi. Semakin tinggi plastisitas, grafik yang di hasilkan pada masing-masing unsur kimia belum tentu sama. Hal ini disebabkan karena unsur-unsur warna tanah dipengaruhi oleh nilai Liquid Limit (LL) yang berbeda-beda (Marindo, 2005 dalam Afryana, 2009).

Tanah lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik dan submikroskopik 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 dan Peck, 1987). Ukuran mineral lempung (0,002 mm, dan yang lebih halus)

agak bertindihan (*overlap*) dengan ukuran lanau. Akan tetapi, perbedaan antara keduanya ialah bahwa mineral lempung tidak lembam.

Jadi dari segi mineral, tanah dapat juga disebut sebagai bukan lempung (*non-clay soils*) meskipun terdiri dari partikel-partikel yang sangat kecil. Untuk itu, akan lebih tepat partikel-partikel tanah yang berukuran lebih kecil dari 2 mikron ($= 2 \mu$), atau < 5 mikron ($= 5 \mu$) menurut sistem klasifikasi yang lain, disebut saja sebagai partikel berukuran lempung daripada disebut sebagai lempung saja. Partikel-partikel dari mineral lempung umumnya berukuran koloid ($< 1\mu$) dan ukuran 2μ merupakan batas atas (paling besar) dari ukuran partikel mineral lempung (Das, 1988).

Sifat-sifat yang dimiliki tanah lempung adalah sebagai berikut (Hardiyatmo, 2001) :

1. Ukuran butir halus, kurang dari 0,002 mm.
2. Permeabilitas rendah.
3. Kenaikan air kapiler tinggi.
4. Bersifat sangat kohesif.
5. Kadar kembang susut yang tinggi.
6. Proses konsolidasi lambat.

Tanah butiran halus khususnya tanah lempung akan banyak dipengaruhi oleh air. Sifat pengembangan tanah lempung yang dipadatkan akan lebih besar pada lempung yang dipadatkan pada kering optimum dari pada yang dipadatkan pada basah optimum. Lempung yang dipadatkan pada kering optimum relatif kekurangan air oleh karena itu lempung ini mempunyai kecenderungan yang

lebih besar untuk meresap air sebagai hasilnya adalah sifat mudah mengembang (Hardiyatmo, 2001)

Tanah lempung membentuk gumpalan keras saat kering dan lengket apabila basah terkena air. Sifat ini ditentukan oleh jenis mineral lempung yang mendominasinya. Mineral lempung membentuk partikel pembentuk tanah. Tekstur dari tanah yang seperti ini ditentukan oleh komposisi tiga partikel pembentuk tanah : pasir, lanau (debu), dan lempung. Tanah pasiran didominasi oleh pasir, tanah lempungan didominasi oleh lempung. Tanah dengan komposisi pasir, lanau, dan lempung yang seimbang dikenal sebagai geluh (*loam*). Tanah lempung berpasir merupakan tanah lempung yang bercampur dengan pasir, didominasi oleh lempung.

D. Hukum Darcy

Hukum Darcy (1856) menjelaskan tentang kemampuan air mengalir pada rongga-rongga (pori-pori) dalam tanah dan sifat-sifat yang mempengaruhinya. Ada dua asumsi utama yang digunakan dalam penetapan Hukum Darcy ini. Asumsi pertama menyatakan bahwa aliran fluida/cairan dalam tanah bersifat laminar. Sedangkan asumsi kedua menyatakan bahwa tanah berada dalam keadaan jenuh (<http://www.anneahira.com/permeabilitas-tanah.htm>)

Menurut Darcy (1856), kecepatan aliran air di dalam tanah dinyatakan dengan persamaan :

$$v = k \cdot i$$

dengan :

v = kecepatan aliran (m/s atau cm/s)

k = koefisien permeabilitas

i = gradient hidraulik

Lalu telah diketahui bahwa

$$v = \frac{Q}{A.t} \quad \text{dan} \quad i = \frac{\Delta h}{L}$$

dengan :

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)

E. Permeabilitas

Kemampuan fluida untuk mengalir melalui medium yang berpori adalah suatu sifat teknis yang disebut permeabilitas (Bowles, 1991). Permeabilitas juga dapat didefinisikan sebagai sifat bahan yang memungkinkan aliran rembesan zat cair mengalir melalui rongga pori (Hardiyatmo, 2001).

Satuan permeabilitas adalah m^2 . Pada umumnya pada reservoir panas bumi, permeabilitas vertikal berkisar antara 10 - 14 m^2 , dengan permeabilitas horizontal dapat mencapai 10 kali lebih besar dari permeabilitas vertikalnya (sekitar 10 - 13 m^2). Satuan permeabilitas yang umum digunakan di dunia

perminyakan adalah Darcy (1 Darcy = 10⁻¹² m²)
(<http://www.anneahira.com/permeabilitas-tanah.htm>).

Permeabilitas tanah bergantung pada ukuran butiran tanah. Karena butiran tanah lempung berukuran kecil, kemampuan meloloskan air juga kecil. Dalam praktek, tanah lempung dianggap sebagai lapisan yang tak lolos air atau kedap air, karena pada kenyataannya permeabilitasnya lebih kecil daripada beton. Tanah granuler merupakan tanah dengan permeabilitas yang relatif besar hingga sering digunakan sebagai bahan filter. Namun, akibat permeabilitas yang besar, tanah ini menyulitkan pekerjaan galian tanah pondasi yang dipengaruhi air tanah, karena tebing galian menjadi mudah longsor. Lagi pula, aliran yang terlalu cepat dapat merusak struktur tanah dengan menimbulkan rongga-rongga yang dapat mengakibatkan penurunan pondasi (Hardiyatmo, 2001).

Permeabilitas suatu massa tanah penting untuk :

1. Mengevaluasi jumlah rembesan (*seepage*) yang melalui bendungan dan tanggul sampai ke sumur air.
2. Mengevaluasi gaya angkat atau gaya rembesan di bawah struktur hidrolis untuk analisis stabilitas.
3. Menyediakan kontrol terhadap kecepatan rembesan sehingga partikel tanah berbutir halus tidak tererosi dari massa tanah.
4. Studi mengenali laju penurunan (konsolidasi) dimana perubahan volume tanah terjadi pada saat air tersingkir dari rongga tanah pada saat proses terjadi pada suatu gradien energi tertentu.

5. Mengendalikan rembesan dari tempat penimbunan bahan-bahan limbah dan cairan-cairan sisa yang mungkin berbahaya bagi manusia.

1. Koefisien Permeabilitas

Hukum Darcy menunjukkan bahwa permeabilitas tanah ditentukan oleh koefisien permeabilitasnya. Koefisien permeabilitas tanah bergantung pada beberapa faktor (<http://www.anneahira.com/permeabilitas-tanah.htm>).

Setidaknya ada enam faktor utama yang mempengaruhi permeabilitas tanah, yaitu :

- a. Viskositas cairan, semakin tinggi viskositasnya, koefisien permeabilitas tanahnya semakin kecil.
- b. Distribusi ukuran pori, semakin merata distribusi ukurannya, koefisien permeabilitasnya cenderung semakin kecil.
- c. Distribusi ukuran butiran, semakin merata distribusi ukurannya, koefisien permeabilitasnya cenderung semakin kecil.
- d. Rasio kekosongan (*void*), semakin besar rasio kekosongannya, koefisien permeabilitas tanahnya akan semakin tinggi.
- e. Semakin besar partikel mineralnya, semakin kasar partikel mineralnya, koefisien permeabilitas tanahnya akan semakin tinggi.
- f. Derajat kejenuhan tanah. semakin jenuh tanahnya, koefisien permeabilitas tanahnya akan semakin tinggi.

Beberapa harga koefisien permeabilitas tanah diberikan dalam tabel 3.

Tabel 3. Harga-Harga Koefisien Permeabilitas Tanah Pada Umumnya

Jenis Tanah	k	
	Cm/dt	Ft/menit
Kerikil bersih	1,0 – 100	2,0 – 200
Pasir kasar	1,0 – 0,01	2,0 – 0,02
Pasir halus	0,01 – 0,001	0,02 – 0,002
Lanau	0,001 – 0,00001	0,002 – 0,00002
Lempung	< 0,000001	< 0,000002

Sumber : Das, 1988

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.

2. Uji Permeabilitas di Lapangan

Ada beberapa metode pengujian permeabilitas yang telah banyak dikembangkan dan ada tiga metode yang lazim digunakan untuk keperluan perencanaan pembangunan bendungan yaitu : metode pengujian legon, metode sumur pengujian dan metode pengujian pada lubang bor (Sosrodarsono, 1977).

Metode pengujian legion menggunakan lubang bor dalam keadaan dimana pondasi calon bendungan terdiri dari lapisan batuan. Nilai koefisien permeabilitas yang dihasilkan dari pengujian ini dapat digunakan sebagai dasar untuk pelaksanaan sementasi (*grouting*). Sedangkan metode pengujian pada lubang bor dilaksanakan apabila pada lubang yang akan diuji, permukaan air tanahnya tinggi.

Metode sumur uji merupakan salah satu metode yang paling sering digunakan dalam pelaksanaan uji permeabilitas di lapangan pada pekerjaan pemadatan tanah, karena metode ini dapat digunakan pada lapisan yang terletak di atas permukaan air tanah atau pada lapisan yang dangkal di dekat permukaan tanah. Koefisien permeabilitas (k) dalam metode sumur uji dari lapisan yang diuji dapat diketahui dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$k = \frac{Q}{2\pi H^3} \left\{ H \sinh^{-1} \left(\frac{H}{r} \right) - \sqrt{r^2 + H^2} + r \right\}$$

$$= \frac{Q}{2\pi H^3} \left[H \log_e \left\{ \left(\frac{H}{r} \right) + \sqrt{1 + \left(\frac{H}{r} \right)^2} \right\} - \sqrt{r^2 + H^2} + r \right]$$

dimana :

k = koefisien permeabilitas (cm/detik)

Q = debit konstan, air yang dituangkan ke dalam sumur uji (cm³/dt)

r = radius / jari-jari sumur pengujian (cm)

H = kedalaman air dalam sumur pengujian (cm)

Apabila H/r jauh lebih besar dari harga 1, maka rumus yang dipakai :

$$k = \frac{Q}{2\pi H^3} \left\{ \sinh^{-1} \left(\frac{H}{r} \right) - 1 \right\}$$

$$k = \frac{Q}{2\pi H^2} \left[\log_e \left\{ \left(\frac{H}{r} \right) + \sqrt{1 + \left(\frac{H}{r} \right)^2} \right\}^2 - 1 \right]$$

Dalam penelitian ini digunakan alat uji permeabilitas di lapangan yang telah dimodifikasi menjadi lebih sederhana dan mudah penggunaannya. Alat ini bertujuan mempermudah pembacaan laju penurunan air dalam waktu tertentu.

Alat modifikasi ini menggunakan pipa besi dengan diameter 4' dengan konsep sederhana pembacaan melalui penggaris yang ditempel di sisi pipa dengan alat ukur berupa penggaris (cm).

Prinsip kerja alat modifikasi uji permeabilitas di lapangan ini cukup mudah dan sederhana. Mengisi tabung dengan air yang kemudian dilakukan pembacaan penurunan ketinggian air dengan menggunakan penggaris yang telah ditempelkan pada tabung/sumur uji (pipa 4 inchi).

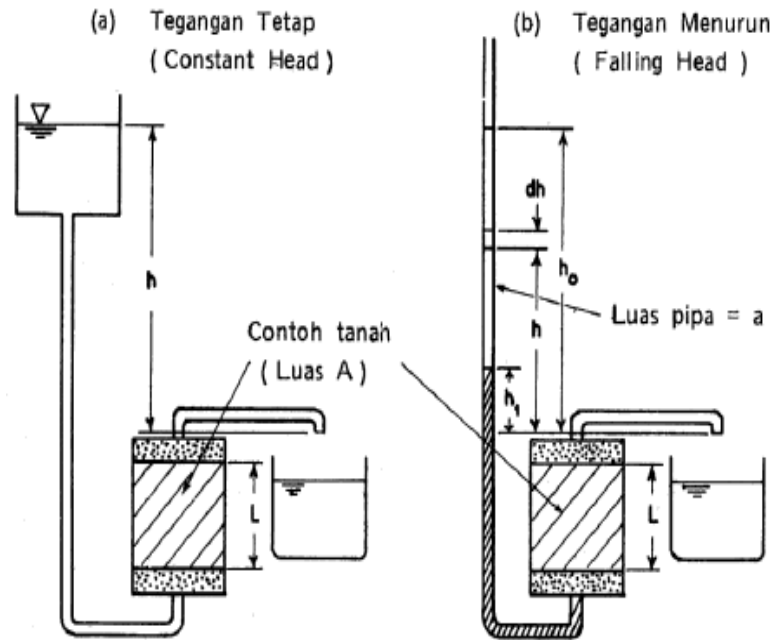
3. Uji Permeabilitas di Laboratorium

Untuk menentukan koefisien permeabilitas di laboratorium, ada dua 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.



Gambar 1. Dua metode pengujian koefisien permeabilitas di laboratorium

Pada pengujian ini, air dari dalam pipa tegak yang dipasang di atas contoh tanah mengalir melalui contoh tanah. Ketinggian air pada awal pengujian h_1 pada saat waktu $t_1 = 0$ dicatat, kemudian air dibiarkan mengalir melalui contoh tanah hingga perbedaan tinggi air pada waktu t_2 adalah h_2 .

Jumlah air yang mengalir melalui contoh tanah pada suatu waktu (t) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$Q = k \times \frac{h}{L} \times A = - a \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

dimana :

Q = debit aliran yang mengalir melalui contoh tanah (cm³/dt)

a = luas penampang melintang pipa pengukur (pipa tegak)

A = luas penampang melintang contoh tanah (m² atau cm²)

L = panjang contoh tanah (m atau cm)

Δt = waktu tempuh fluida sepanjang L (s/detik)

Δh = selisih ketinggian (m atau cm)

Jika persamaan di atas diturunkan lagi, maka akan didapat :

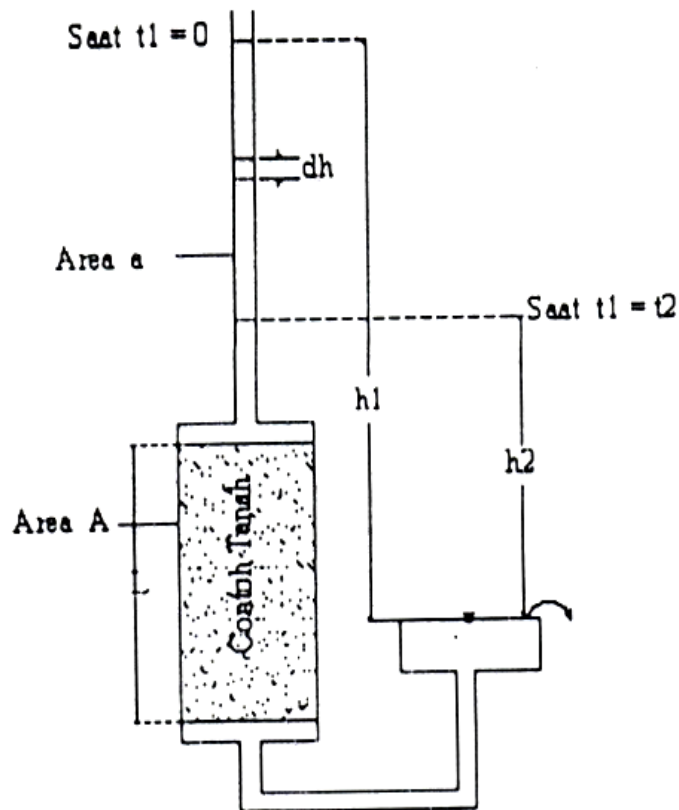
$$\Delta t = \frac{aL}{Ak} \left(- \frac{\Delta h}{h} \right)$$

Yang jika diintegrasikan dengan batas kiri atas t = 0 dan batas kiri bawah

t = t, batas kanan atas h = h₁ dan batas kanan bawah h = h₂ maka didapat :

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

Uji Tinggi Jatuh sangat cocok untuk tanah berbutir halus dengan koefisien rembesan kecil.



Gambar 2 . Pinsip Uji Permeabilitas Metode *Falling Head*

F. Pengujian Kadar Air (*Water Content*)

Kadar air adalah perbandingan berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat kering tanah tersebut. Kadar air tanah dapat digunakan untuk menghitung parameter sifat-sifat tanah.

Besarnya kadar air dinyatakan dalam persen dan dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\text{Kadar Air} = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_3} \times 100 \%$$

dimana :

W_1 = berat cawan + tanah basah (gram)

W_2 = berat cawan + tanah kering (gram)

W_3 = berat cawan kosong (gram)

$W_1 - W_2$ = berat air (gram)

$W_2 - W_3$ = berat tanah kering (gram)

G. Pengujian Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Berat jenis tanah adalah suatu nilai dari perbandingan antara berat butir tanah dengan berat isi air suling dengan isi yang sama pada suhu 40 °C. Berat jenis tanah diperoleh dengan melakukan pengujian di laboratorium dan dihitung dengan menggunakan rumus :

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

dimana :

G_s = berat jenis

W_1 = berat picnometer (gram)

W_2 = berat picnometer tanah kering (gram)

W_3 = berat picnometer

tanah + air (gram)

W_4 = berat picnometer air (gram)

H. Pengujian Batas-Batas Atterberg

1. Pengujian Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair tanah adalah kadar air minimum dimana sifat suatu tanah yang akan berubah dari keadaan cair menjadi keadaan plastis. Besaran batas cair tanah digunakan untuk menentukan sifat dan klasifikasi tanah.

Batas cair ditentukan dengan terlebih dahulu menghitung kadar air dari masing-masing sampel tanah sesuai dengan jumlah pukulan, kemudian menggambarkan jumlah pukulan dan kadar dalam suatu grafik, lalu menarik sebuah garis lurus melalui titik-titiknya. Besarnya kadar air pada jumlah pukulan ke-25 merupakan batas cair dari sampel tanah tersebut.

2. Pengujian Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis adalah kadar air dimana suatu tanah berubah sifatnya dari keadaan plastis menjadi semi padat. Besaran batas palstis tanah biasanya digunakan untuk menentukan jenis, sifat dan klasifikasi tanah.

Nilai batas plastis meruapakan harga kadar air rata-rata dari sample tanah yang diuji. Indeks plastis dihitung dengan menggunakan rumus:

$$PI = LL - PL$$

dimana:

PI = indeks plastis

LL = batas cair

PL = batas plastis

I. Pengujian Analisis Saringan (*Sieve Analysis*)

Analisis saringan adalah penentuan persentase berat butiran tanah yang lolos dari satu set saringan. Analisis saringan bertujuan untuk menentukan persentase ukuran butiran tanah dan susunan butiran tanah (gradasi) dari suatu jenis tanah yang tertahan di atas saringan no. 200.

Analisis saringan digunakan untuk pembagian butir (gradasi) tanah dengan tujuan untuk memperoleh distribusi besarnya. Hasil dari analisis saringan dapat digunakan antara lain untuk penyelidikan *quarry agregat*, untuk perencanaan campuran dan pengendalian mutu.

J. Sumur Resapan

Sumur Resapan (infiltration Well) adalah sumur atau lubang pada permukaan tanah yang dibuat untuk menampung air hujan/aliran permukaan agar dapat meresap ke dalam tanah

Sumur resapan ini memiliki banyak manfaat diantaranya, sebagai pengendali banjir, melindungi serta memperbaiki kualitas air tanah, menekan laju erosi dan dalam jangka waktu lama dapat memberi cadangan air tanah yang cukup. Secara sederhana, prinsip kerja sebuah sumur resapan yaitu menyimpan (untuk sementara) air hujan dalam lubang yang sengaja dibuat, selanjutnya air tampungan akan masuk ke dalam tanah sebagai air resapan (*infiltrasi*). Air resapan ini selanjutnya menjadi cadangan air tanah.

(http://pengairan.banyuwangikab.go.id/index.php?option=com_content&view=article&id=28:manfaat-sumur-resapan&catid=2:berita&Itemid=138)

Beberapa faktor yang menjadi pertimbangan untuk memilih lokasi pembuatan sumur resapan (*menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) tentang Tata Cara Perencanaan Sumur Resapan Air Hujan untuk Lahan Pekarangan*) adalah:

a. Keadaan muka air tanah

Untuk mengetahui keadaan muka air tanah dapat ditentukan dengan cara mengukur kedalamannya permukaan air tanah terhadap permukaan tanah dari sumur di sekitarnya pada musim hujan.

b. Permeabilitas tanah

Permeabilitas tanah merupakan kemampuan tanah untuk dapat dilalui air. Permeabilitas tanah yang dapat dipergunakan untuk sumur resapan terbagi dalam tiga kelas, yaitu :

- permeabilitas tanah sedang (jenis tanah berupa geluh/lanau, memiliki daya serap 2,0 – 6,5 cm/jam)
- permeabilitas tanah agak cepat (jenis tanah berupa pasir halus, memiliki daya serap 6,5 – 12,5 cm/jam)
- permeabilitas tanah cepat (jenis tanah berupa pasir kasar, memiliki daya serap 12,5 cm/jam)

1. Desain Sumur Resapan

Di bawah ini terdapat tabel yang dapat dijadikan bahan acuan mengenai volume sumur resapan pada kondisi tanah permeabilitas rendah :

Tabel 4. Volume Sumur Resapan Pada Kondisi Tanah Permeabilitas Rendah

No	Luas Kavling (m ²)	Volume Resapan (terdapat saluran drainase seagai pelimpahan, dalam m ³)	Volume Resapan (tidak terdapat saluran drainase sebagai pelimpah, dalam m ³)
1	50	1,3 - 2,1	2,1 - 4
2	100	2,6 - 4,1	4,1 - 7,9
3	150	3,9 - 6,2	6,2 - 11,9
4	200	5,2 - 8,2	8,2 - 15,8
5	300	7,8 - 12,3	12,3 - 23,4
6	400	10,4 - 12,3	16,4 - 31,6
7	500	13 - 20,5	20,5 - 39,6
8	600	15,6 - 24,6	24,6 - 47,4
9	700	18,2 - 28,7	28,7 - 55,3
10	800	20,8 - 32,8	32,8 - 63,2
11	900	23,4 - 36,8	36,8 - 71,1
12	1000	26 - 41	41 - 79

(sumber : SK Gubernur No. 17 Tahun 1992)

Untuk mengetahui bagaimana metode perhitungan pembangunan sumur resapan agar memberikan kontribusi yang maksimum, gunakan metode perhitungan sebagai berikut (Sunjoto, 1992). Menghitung debit air hujan yang masuk sebagai fungsi karakteristik luas atap bangunan dengan Metode Rasional

$$Q = C.I.A$$

Dimana :

Q : Debit Hujan (m³/dtk)

C : Koefisien Aliran

I : Intensitas curah hujan (mm/jam)

A : Luas daerah Hujan (m²)

$$I : \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Dimana :

R_{24} : Intensitas hujan maksimum (mm)

T : Lama nya hujan dalam 1 hari (jam)

I : Intensitas hujan (mm/jam)

Tabel 5. Koefisien Limpasan untuk Metode Rasional

No	Deskripsi Laham / Karakter Permukaan	Koefisien C	
1.	Bisnis		
	<ul style="list-style-type: none"> • Perkotaan • Pinggiran 	0.70 – 0.95 0.50 – 0.70	
2.	Perumahan		
	<ul style="list-style-type: none"> • Rumah Tunggal • Multiunit terpisah • Multiunit, tergabung • Perkampungan • Apartemen 	0.30 – 0.50 0.40 – 0.60 0.60 – 0.75 0.25 – 0.40 0.50 – 0.70	
	3	Industri	
	<ul style="list-style-type: none"> • ringan • berat 	0.50 – 0.80 0.60 – 0.90	
	Perkerasan		
<ul style="list-style-type: none"> • Aspal dan Beton • Batu bata, Paving 	0.70 – 0.95 0.50 – 0.70		
	Atap	0.75 – 0.95	
	Halaman tanah berpasir		
	Datar 2%	0.05 – 0.10	
	Rata-rata 2-7%	0.10 – 0.15	
	Curam 7%	0.15 – 0.20	
	Halaman tanah berat		
	Datar 2%	0.13 – 0.17	
	Rata-rata 2-7%	0.18 – 0.22	
	Curam 7%	0.25 – 0.35	
	Halaman kereta api	0.10 – 0.35	
	Taman tempat bermain	0.20 – 0.35	
	Taman Pekuburan	0.10 – 0.25	
	Hutan		
	Datar 2%	0.10 – 0.40	
	Rata-rata 2-7%	0.25 – 0.50	
	Curam 7%	0.30 – 0.60	

(sumber : McGuen, 1989 dalam Suripin 2003)

Dengan metode yang sama, kita juga dapat memperkirakan debit air yang masuk pada sumur resapan dari air hujan yang turun pada area rumah selain dari atap rumah. Untuk menghitung debit sumur optimum diformulakan sebagai berikut :

$$H = \frac{Q}{FK} \left[1 - e^{\left(\frac{-FKT}{\pi R^2} \right)} \right]$$

Dimana:

H : Kedalaman sumur resapan (m)

Q : Debit Sumur (m³/dtk)

F : Faktor Geometrik

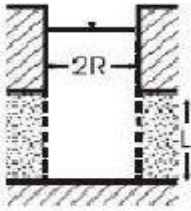

R : Jari-Jari sumur resapan (m)

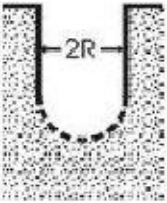
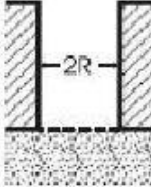

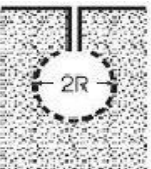
T : Durasi aliran (dtk)

K : Permeabilitas lapangan (m/dtk)

Untuk menentukan faktor geometri ditentukan berdasarkan entuk sumur resapan.

Tabel 6. Nilai Faktor Geometrik Menurut Bentuk Sumur Resapan

No	Desain / Bentuk Sumur Resapan	Faktor Geometri
1		$\frac{2 \cdot \pi \cdot L}{\ln \left\{ \frac{2(L + 2L)}{R} \sqrt{\left(\frac{2L}{R} \right)^2 + 1} \right\}}$
2		$2 \cdot R$

3		$\pi^2 \cdot R$
4		$4 \cdot R$
5		$2 \cdot \pi \cdot R$
6		$4 \cdot R$

(Sumber : Sunjoto, 1992)

Sedangkan untuk menghitung volume air hujan yang meresap pada sumur resapan untuk perkarangan rumah (berdasarkan tata cara perencanaan sumur resapan air hujan untuk lahan perkarangan – SNI : 03 – 2453 – 2002), adalah sebagai berikut :

$$V_{rsp} = \frac{te}{24} A_{total} K$$

Dimana :

V_{rsp} : Volume air hujan yang meresap (m^3)

A_{total} : Luas penutup tabung + Luas Tabung (m^2)

Te : Durasi hujan efektif (jam) $te = 0.92 R^{0.92/60}$

K : Nilai Permeabilitas (m/hari)

Adapun untuk menghitung kebutuhan sumur resapan dengan cara membagi antara debit hujan yang kita hitung (Q_{total}) dengan debit sumur resapan (Q_{sumur}), sehingga di peroleh jumlah sumur resapan yang dibutuhkan untuk daerah tersebut. Adapun cara lain yang dapat digunakan yaitu dengan melihat table di bawah ini:

Tabel 7. Jumlah Sumur Resapan Berdasarkan Nilai Permeabilitas dan Luas Tanah

No	Luas Bidang Tadah (m^2)	Jumlah Sumur (buah)					
		Permeabilitas sedang		Permeabilitas agak sedang		Permeabilitas cepat	
		80 cm	140 cm	80cm	140 cm	80 cm	140 cm
1	20	1	-	-	-	-	-
2	30	1	-	1	-	-	-
3	40	2	1	1	-	-	-
4	50	2	1	1	-	1	-
5	60	2	1	1	-	1	-
6	70	3	1	2	1	1	-
7	80	3	2	2	1	1	-
8	90	3	2	2	1	2	1
9	100	4	2	2	1	2	1
10	200	8	3	4	2	3	2
11	300	12	5	7	3	5	2
12	400	15	6	9	4	6	3
13	500	19	8	11	5	7	4

(sumber : Kusnaedi, Sumur Resapan, Penebar Swadaya: 2011. Hal 21)

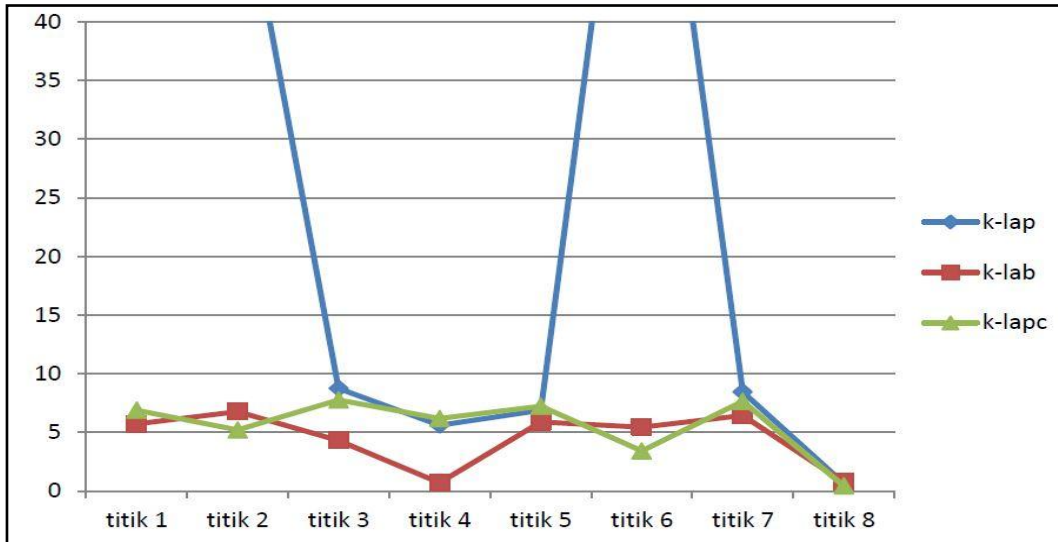
K. Tinjauan Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan ini berjudul “Koefisien Permeabilitas Lapangan dan Laboratorium Pada Tanah Lempung” tentang perbandingan alat uji permeabilitas lapangan dengan alat uji modifikasi dengan parameter uji permeabilitas laboratorium menggunakan *falling head* yang telah dirangkum oleh Andius Dasa Putra (2012).

Dalam penelitian ini dilakukan secara bersamaan antara pengujian permeabilitas di lapangan dengan pengujian permeabilitas di laboratorium. Hal ini dimaksudkan agar tanah yang diujikan masih memiliki kualitas yang baik. Pengujian yang dilakukan di lapangan bertujuan untuk mendapatkan nilai data uji lapangan yang kemudian akan dibandingkan dengan data uji di laboratorium.

Tabel 8. Perbandingan Nilai Uji Permeabilitas Lapangan dan Laboratorium Pada Tanah Lempung Yang Pernah Dilakukan

Lokasi	Klasifikasi Tanah	k. Lapangan (cm/detik)	k. Lapangan (cm/detik)	Korelasi antara k. Lapangan dan k. Lab. (cm/detik)
Titik 1	CH	$7,43 \times 10^{-8}$	$5,72 \times 10^{-7}$	$6,89 \times 10^{-7}$
Titik 2	CH	$5,46 \times 10^{-8}$	$6,78 \times 10^{-7}$	$5,21 \times 10^{-7}$
Titik 3	CH	$8,75 \times 10^{-7}$	$4,32 \times 10^{-7}$	$7,77 \times 10^{-7}$
Titik 4	CH	$5,62 \times 10^{-7}$	$7,14 \times 10^{-6}$	$6,19 \times 10^{-7}$
Titik 5	CH	$6,89 \times 10^{-7}$	$5,89 \times 10^{-7}$	$7,23 \times 10^{-7}$
Titik 6	CH	$7,23 \times 10^{-8}$	$5,45 \times 10^{-7}$	$3,42 \times 10^{-7}$
Titik 7	CH	$8,45 \times 10^{-7}$	$6,45 \times 10^{-7}$	$7,65 \times 10^{-7}$
Titik 8	CH	$6,53 \times 10^{-6}$	$7,62 \times 10^{-6}$	$4,39 \times 10^{-6}$



Gambar 3. Perbandingan k. Lapangan dengan k. Laboratorium yang pernah dianalisa