

KORELASI PERMEABILITAS BERDASARKAN UKURAN BUTIRAN DAN PLASTISITAS TANAH

Hendra Irawan

Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil S1 Fakultas Teknik Universitas Riau

Soewignjo Agus Nugroho

Dosen Jurusan Teknik Sipil S1 Fakultas Teknik Universitas Riau

Syawal Satibi

Dosen Jurusan Teknik Sipil S1 Fakultas Teknik Universitas Riau

ABSTRACT

Research to determine the coefficient of permeability based on effective grain size of sand have been carried out by several researches. Those research is mainly aimed to develop equation to predict permeability of soils. However, the relationship between permeability and fine fraction has never been specifically considered. This study was performed to find the relationship between the coefficient permeability and soil properties and soil classification related to fine fraction. In addition to that, the suitability of permeability equation to available data is evaluated.

Nearly 100 undisturbed samples were tested for their coefficient of permeability in laboratory. Grain size, hydrometer, and consistency analyses were also performed. The data obtained from the testing soil properties such as the value of k , liquid limit (LL), plastic limit (PL) plasticity index (PI), percent sand, percent fine, percent silt, and percent clay. The data are than arranged and analyzed for possible correlations.

It is found that previous correlations cannot be used because the soil in this study are mainly fine grained soil, were as the existing equation are suitable for sand. Fat clay is the smallest soil permeability, the next row is, and lean clay, lean clay with sand, sandy lean clay, and most of it are clayey sand. Obtained relationship between permeability and fine grains are $k = (205.15e^{-0.081xF}) \times 10^{-6}$ in cm/sec. The equation applies if the fines contained in the soil between more than 25%.

Keys word : coefficient of permeability, evaluating previous equation, fine fraction

PENDAHULUAN

Dalam analisa geoteknik, misalnya untuk mengetahui kecepatan penurunan tanah, perencanaan *earth dam*, perkiraan volume rembesan dan lain-lain, kecepatan aliran air dalam tanah sangat penting diketahui. Salah satu parameter penting untuk mengetahui kecepatan aliran air di dalam tanah adalah koefisien permeabilitas (k). Koefisien permeabilitas dapat ditentukan langsung di lapangan atau dengan menguji tanah di laboratorium. Pada pengujian laboratorium, koefisien permeabilitas dapat diperoleh dengan dua metode yaitu *constant head permeameter* atau *falling head permeameter*. Studi mengenai prediksi nilai k terhadap fraksi tanah berbutir halus secara khusus belum banyak dilakukan. Persamaan empiris yang disarankan oleh Hazen, Kozeny-Carman, Breyer, Slitcher, Terzaghi, dan USBR (Odong, 2007) dan Shepard (1989) umumnya berlaku untuk tanah kepasiran. Persamaan empiris untuk campuran tanah kepasiran dengan fraksi lempung tertentu belum dianalisa secara mendalam.

Koefisien permeabilitas mempunyai harga berbeda sesuai dengan jenis dan kepadatan tanah. Data koefisien permeabilitas hasil pengujian akan dianalisis kesesuaian rentangnya terhadap rentang-rentang nilai yang telah didapatkan seperti diusulkan oleh beberapa peneliti seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1 Rentang nilai koefisien permeabilitas

Peneliti	Karakteristik	Nilai k (cm/dt)
Bowles (1991)	Lanau Kelempungan	$10^{-4} - 10^{-9}$
Das (1995)	Kerikil sedang sampai kasar	$> 10^{-1}$
	Pasir halus sampai kasar	$10^{-1} - 10^{-3}$
	Pasir halus, pasir berlanau	$10^{-3} - 10^{-5}$
	Lanau, lanau berlempung, lempung berlanau	$10^{-4} - 10^{-6}$
	Lempung gemuk	$< 10^{-7}$

Tabel 2 Rentang nilai koefisien permeabilitas (modifikasi Bear, 1972)

	Karakteristik	Nilai k (cm/dt)
Kerikil dan pasir tak terkonsolidasi	Kerikil bergradasi baik	$10^1 - 10^2$
	Pasir bergradasi baik atau pasir dan kerikil	$1 - 10^{-2}$
	Pasir sangat halus, lanau	$10^{-3} - 10^{-6}$
Lempung dan tanah organik tak terkonsolidasi	Gambut	$10^{-2} - 10^{-3}$
	Lempung	$10^{-4} - 10^{-6}$
	Lempung gemuk	$10^{-7} - 10^{-10}$

Ukuran butiran adalah dasar dari persamaan empiris koefisien permeabilitas. Nilai koefisien permeabilitas yang didapatkan dari tanah di lokasi studi akan dievaluasi dengan persamaan-persamaan yang telah dikemukakan oleh peneliti antara lain sebagai berikut :

Persamaan Kozeny-Carman (Odong, 2007)

Persamaan Kozeny-Carman satu dari banyak persamaan yang diterima luas dan awal dari permeabilitas sebagai fungsi dari karakteristik tanah. Persamaan ini awalnya di keluarkan oleh Kozeny (1927) dan telah dimodifikasi oleh Carman (1937, 1956) sehingga disebut persamaan Kozeny-Carman. Persamaan ini tidak tepat untuk salah satu tanah yang mempunyai ukuran butiran efektif diatas 3 mm atau untuk tanah kelempungan (Carrier 2003).

$$k = \frac{g}{v} \times 8.3 \times 10^{-3} \times \left[\frac{n^3}{(1-n)^2} \right] \times d_{10}^2 \dots\dots\dots (1)$$

Persamaan Breyer (Odong, 2007)

Breyer (1964) tidak mempertimbangkan fungsi dari porositas dalam persamaannya, oleh karena itu porositas dianggap 1. Persamaan Breyer berguna untuk material dengan distribusi yang seragam dan berbutir jelek dengan koefisien keseragaman antara 1 dan 20, sedangkan ukuran butiran efektif berkisar antara 0.06 mm sampai 0.6 mm.

$$k = \frac{g}{v} \times 6 \times 10^{-4} \times \log \frac{500}{U} \times d_{10}^2 \dots\dots\dots (2)$$

Persamaan Slitcher (Odong, 2007)

Persamaan Slitcher dapat dipakai untuk ukuran butiran yang berada pada antara 0.01 mm dan 5 mm. Dimana k ditulis :

$$k = \frac{g}{v} \times 1 \times 10^2 \times n^{3.287} \times d_{10}^2 \dots\dots\dots (3)$$

Cheng dan Chen (Odong, 2007) menyimpulkan bahwa untuk pasir kasar, persamaan Terzaghi adalah yang paling cocok digunakan sedangkan untuk pasir dengan ukuran sedang dengan koefisien keseragaman kurang dari 5, persamaan yang dikeluarkan oleh USBR lebih tepat digunakan. Terzaghi memasukkan factor C_t (koefisien sortir) dengan rentang $6.1 \times 10^{-3} < C_t < 107 \times 10^{-3}$, dimana k ditulis :

$$k = \frac{g}{v} \times C_t \times \left(\frac{n - 0.13}{\sqrt[3]{1 - n}} \right)^2 \times d_{10}^2 \dots\dots\dots (4)$$

Persamaan USBR (*United State Bureau of Reclamation*) menghitung nilai k dari ukuran butiran efektif d_{20} dan tidak bergantung pada porositas, sehingga nilai porositas adalah satu.

$$k = \frac{g}{v} \times 4.8 \times 10^4 \times d_{20}^{0.3} \times d_{20}^2 \dots\dots\dots (5)$$

Persamaan Hazen

Hazen (1983) menghubungkan koefisien permeabilitas dengan ukuran butiran efektif (D_{10}) dari suatu analisis saringan yang didasarkan pada pekerjaan filter pasir yang cepat pada suatu tempat pengelolaan air. Ia menemukan bahwa untuk pasir dengan ukuran butiran efektif D_{10} diantara 0.1 dan 3.0 mm, maka koefisien permeabilitas :

$$k = \frac{g}{v} \times 6 \times 10^{-4} \times [1 + 10(n - 0.26)] \times d_{10}^2 \dots\dots\dots (6)$$

Persamaan ini dapat juga ditulis dengan :

$$k = c \cdot (d_{10}^2) \dots\dots\dots (7)$$

Koefisien c nilainya dapat diambil berdasarkan Tabel 3. Dalam persamaan ini, d_{10} adalah ukuran butiran efektif dalam cm.

Tabel 3 Nilai c pada persamaan Hazen

c	Pasir (salah satu atau seluruh sifat-sifat berikut ini berlaku)
40-80	Sangat halus, bergradasi baik atau dengan jumlah butiran halus [(-) No. 200] yang cukup banyak
80-120	Agak kasar, bergradasi buruk ; bersih, kasar bergradasi baik
120-150	Sangat kasar, bergradasi sangat buruk, mengandung krikil, bersih

(Sumber : Das, 1995)

Persamaan Vokovic dan Soro (Odong, 2007)

Vokovic dan Soro (1992) menyimpulkan beberapa metode empiris dari penelitian sebelumnya dan menampilkan persamaan umum untuk menentukan nilai permeabilitas yaitu :

$$k = \frac{g}{v} \times C \times f(n) \times d_e^2 \dots\dots\dots (8)$$

dimana :

g = kecepatan gravitasi

v = viskositas kinematik, dimana $v = \frac{\mu}{\rho}$

C = koefisien sortir

f(n) = fungsi porositas

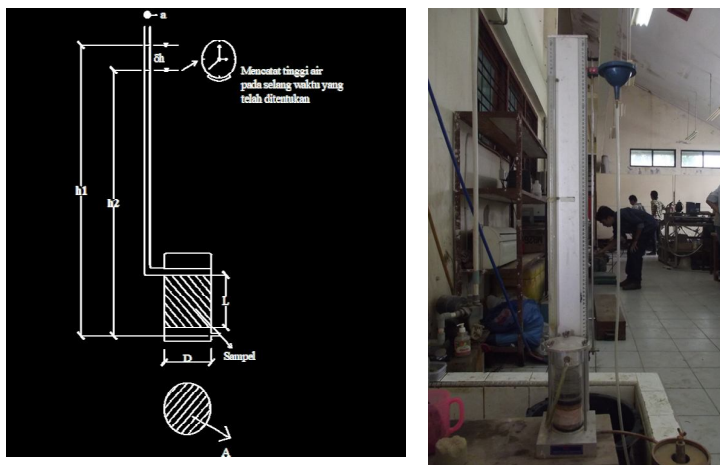
- μ = viskositas dinamik
- ρ = kerapatan jenis
- d_e = ukuran butiran efektif
- $n = 0.255(1 + 0.83^U)$, dimana $U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$

Persamaan-persamaan di atas memiliki keterbatasan dalam penggunaannya. Sebagian besar persamaan tersebut berlaku pada tanah pasir dengan ukuran butiran efektif dan koefisien keseragaman tertentu. Oleh karena itu perlu adanya studi untuk menganalisa permeabilitas tanah terhadap fraksi butiran halus dan melengkapi rentang nilai permeabilitas pada tanah lempung yang telah ada sebelumnya. Studi ini akan menganalisa sebaran permeabilitas terhadap klasifikasi tanah menurut USCS dan mencari persamaan empiris di daerah studi yang dilakukan untuk memprediksi koefisien permeabilitas terhadap prosentase butiran halus.

METODE PENELITIAN

Tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel tak terganggu (*Undisturbed Sample*) yang berasal dari Libo, Minas, Rantau Bais, Bekasap, Balam, Petapahan, Tandun, Kota Batak dan Dumai. Sampel tanah lapangan diambil dengan bor tangan (*hand bore*) dengan keadalaman setengah meter dari permukaan tanah.

Pengujian sifat fisik tanah dilakukan dilaboratorium. Untuk mendapatkan nilai k , dilakukan pengujian permeabilitas yang merujuk pada ASTM D 5084. Alat yang digunakan adalah *combination permeameter test* (Gambar 1). Koefisien permeabilitas (k) diukur dengan metode uji tinggi energi turun (*falling head test*). Sampel yang digunakan adalah sampel tak terganggu yang berasal dari tabung UDS. Sampel yang tersisa di tabung kemudian dioven untuk pengujian konsistensi dan analisa hidrometer.



Gambar 1 *Combination permeameter test*

Pengujian analisa ukuran butiran dengan hidrometer dilakukan berdasarkan ASTM D 422-63 (Gambar 2). Sampel yang digunakan adalah sampel yang lolos saringan No. 4. Sampel untuk pengujian konsistensi adalah sampel terganggu yang lolos saringan No. 40 atau sampel dengan diameter kecil dari 0.425 mm. Pengujian konsistensi terbagi atas pengujian batas cair dan batas plastis tanah yang mengacu pada ASTM D 4318 dengan menggunakan alat Casagrande (Gambar 3). Sedangkan untuk Pengujian konsistensi dan analisa ukuran butiran dilakukan untuk mengklasifikasikan tanah berdasarkan sistem USCS.



Gambar 2 Pengujian analisa hidrometer



Gambar 3 Pengujian konsistensi tanah

Sampel yang diuji sebanyak 80. Data yang diperoleh dari hasil yaitu koefisien permeabilitas (k), batas cair (LL), batas plastis (PL), indeks plastisitas (IP), prosen pasir (s), prosen butiran halus (f) dan klasifikasi tanah berdasarkan USCS. Data pengujian disusun dan di tampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Data di analisis dengan bantuan Ms. Excel Ver. 2010.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengujian terdapat pada Tabel 4. Untuk mendapatkan hubungan yang kuat antara koefisien permeabilitas dan prosen butiran halus maka data-data yang berada di jauh dari kurva estimasi atau garis *trend line* akan dieleminasi.

Tabel. 4 Hasil pengujian sifat fisik tanah

No	Kode Sampel	k (cm/s)	LL (%)	IP (%)	Pasir (%)	Butiran halus (%)	USCS
1	262	2.328E-07	29.30	4.80	1.64	98.36	CL - ML
2	263	2.280E-07	28.28	9.63	11.46	88.54	CL
3	264	1.415E-07	34.89	7.83	10.00	90.00	CL
4	265	6.880E-08	37.74	12.17	2.78	97.22	CL
5	269	6.384E-06	23.15	8.14	58.70	41.30	SC

Tabel. 4 Hasil pengujian sifak fisik tanah (lanjutan)

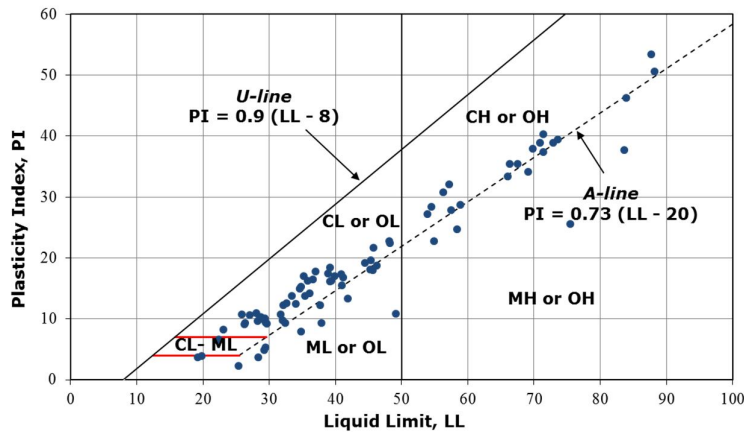
No	Kode Sampel	k (cm/s)	LL (%)	IP (%)	Pasir (%)	Butiran halus (%)	USCS
6	270	1.277E-06	22.32	6.32	33.16	66.84	CL - ML
7	275	8.148E-08	66.04	33.34	5.78	94.22	CH
8	278	7.756E-07	29.69	9.17	39.22	60.78	CL
9	279	4.842E-07	39.26	16.07	3.40	96.60	CL
10	280	6.265E-07	27.13	10.62	26.10	73.90	CL
11	281	7.853E-08	37.01	17.71	4.38	95.62	CL
12	285	1.381E-07	88.30	50.48	2.34	97.66	CH
13	286	1.051E-06	25.89	10.69	6.20	93.80	CL
14	287	8.583E-08	73.66	39.37	7.70	92.30	CH
15	288	8.632E-08	58.97	28.68	8.96	91.04	CH
16	291	2.116E-07	56.34	30.72	50.80	49.20	SC
17	292	1.590E-06	58.42	24.64	24.00	76.00	MH
18	293	4.182E-08	35.45	13.68	4.92	95.08	CL
19	294	5.114E-08	36.14	14.14	2.02	97.98	CL
20	298	1.582E-06	32.19	12.14	37.76	62.24	SC
21	300	8.104E-08	57.22	31.97	7.24	92.76	CH
22	301	3.966E-06	26.38	9.32	27.28	72.72	CL
23	302	1.850E-06	35.28	16.96	43.74	56.26	CL
24	303	9.729E-06	54.92	22.70	66.30	33.70	MH
25	304	6.500E-08	69.16	34.06	2.36	97.64	MH
26	308	3.558E-07	45.76	21.65	39.68	60.32	CL
27	314	2.892E-06	83.68	37.64	40.58	59.42	MH
28	315	1.006E-07	32.67	12.50	1.70	98.30	CL
29	316	1.532E-07	29.48	9.35	10.90	89.10	CL
30	320	4.557E-07	75.57	25.46	24.80	75.20	MH
31	321	8.283E-06	28.85	10.23	63.76	36.24	SC
32	322	5.612E-05	39.42	16.18	77.30	22.70	SC
33	323	3.716E-04	40.88	17.30	83.70	16.30	SC
34	324	1.694E-06	35.84	16.18	41.50	58.50	CL
35	325	3.680E-07	48.13	22.75	2.82	97.18	CL
36	326	1.362E-05	57.54	27.80	71.84	28.16	SC
37	329	1.082E-07	72.98	38.82	9.02	90.98	CH
38	330	3.254E-05	39.98	16.94	74.06	25.94	SC
39	331	3.890E-05	48.27	22.41	76.16	23.84	SC
40	332	1.303E-07	38.94	17.44	9.74	90.26	CL
41	333	6.684E-08	87.79	53.35	2.12	97.88	CH
42	334	2.600E-06	28.80	10.10	45.26	54.74	CL
43	335	1.666E-06	33.46	13.73	38.56	61.44	CL
44	336	3.295E-06	37.90	9.24	51.48	48.52	SM
45	338	3.222E-06	41.20	16.69	50.66	49.34	SC
46	339	1.531E-06	34.09	12.44	35.78	64.22	CL
47	340	1.788E-07	36.64	16.47	11.24	88.76	CL

Tabel. 4 Hasil pengujian sifak fisik tanah (lanjutan)

No	Kode Sampel	k (cm/s) (cm/s)	LL (%)	IP (%)	Pasir (%)	Butiran halus (%)	USCS
48	341	1.648E-06	44.53	19.10	38.38	61.62	CL
49	344	1.190E-06	32.05	9.75	31.88	68.12	CL
50	345	3.674E-06	32.51	9.31	52.10	47.90	SC
51	346	1.275E-07	53.93	27.19	36.54	63.46	CH
52	347	2.996E-07	49.21	10.81	16.10	83.90	CL
53	348	3.856E-04	45.68	17.93	85.02	14.98	SC
54	349	6.633E-04	46.32	18.68	85.18	14.82	SC
55	350	3.069E-05	29.39	10.04	72.76	27.24	SM
56	351	1.804E-05	26.31	9.07	72.20	27.80	SC
57	352	8.414E-08	69.85	37.90	2.28	97.72	CH
58	354	1.294E-07	22.47	6.59	9.34	90.66	CL - ML
59	355	3.082E-07	28.06	10.84	3.20	96.80	CL
60	356	1.486E-07	28.57	9.93	49.54	50.46	CL
61	358	6.538E-06	41.89	13.28	59.52	40.48	SM
62	359	1.234E-05	25.37	2.18	66.38	33.62	SM
63	360	1.759E-07	28.38	3.67	6.04	93.96	ML
64	361	4.073E-07	31.81	10.71	35.54	64.46	CL
65	3D - 74	3.630E-07	71.45	40.20	21.82	78.18	CH
66	4A - 55	2.641E-07	41.07	15.46	14.76	85.24	CL
67	4A - 69	2.073E-07	83.93	46.21	6.70	93.30	CH
68	4B - 48	3.395E-07	66.39	35.37	48.92	51.08	CH
69	GS 6 - 01	4.538E-07	54.59	28.38	2.76	97.24	CH
70	GS 6 - 02	2.987E-07	70.90	38.84	15.64	84.36	CH
71	Kota Batak 1	3.018E-07	34.84	15.24	69.98	30.02	SC
72	Kota Batak 2	1.566E-07	34.70	14.86	68.86	31.14	SC
73	Lindai 1	3.161E-07	45.38	19.53	18.90	81.10	CL
74	Lindai 2	3.293E-07	45.25	18.01	20.28	79.72	CL
75	Petapahan 1	1.013E-06	19.89	3.85	30.40	69.60	ML
76	Petapahan 2	6.311E-07	19.23	3.59	28.00	72.00	ML
77	T.1	2.894E-07	71.40	37.35	2.38	97.62	CH
78	T.2	4.352E-07	39.21	18.38	23.00	77.00	CL
79	T.3	1.275E-05	29.45	5.22	53.12	46.88	SM
80	T.4	2.816E-07	67.53	35.40	69.72	30.28	SC

Sumber : Hasil Perhitungan, 2012

Berdasarkan tabel diketahui bahwa sebagian besar tanah yang diuji adalah tanah berbutir halus dengan kriteria prosentase butiran halus lebih besar 50% dari prosentase pasir. Data batas cair dan batas plastis dari tanah tersebut dimasukkan dalam grafik klasifikasi tanah berdasarkan USCS seperti yang terdapat pada Gambar 4. Dari gambar terlihat bahwa data yang berada pada atau di atas garis A sangat mendominasi, hal ini mengindikasikan bahwa tanah yang diuji sebagian besar merupakan tanah lempung. Tanah yang berada di bawah garis A atau tanah lanau akan dieleminasi karena studi ini akan mengestimasi rentang nilai koefisien permeabilitas pada tanah lempung.



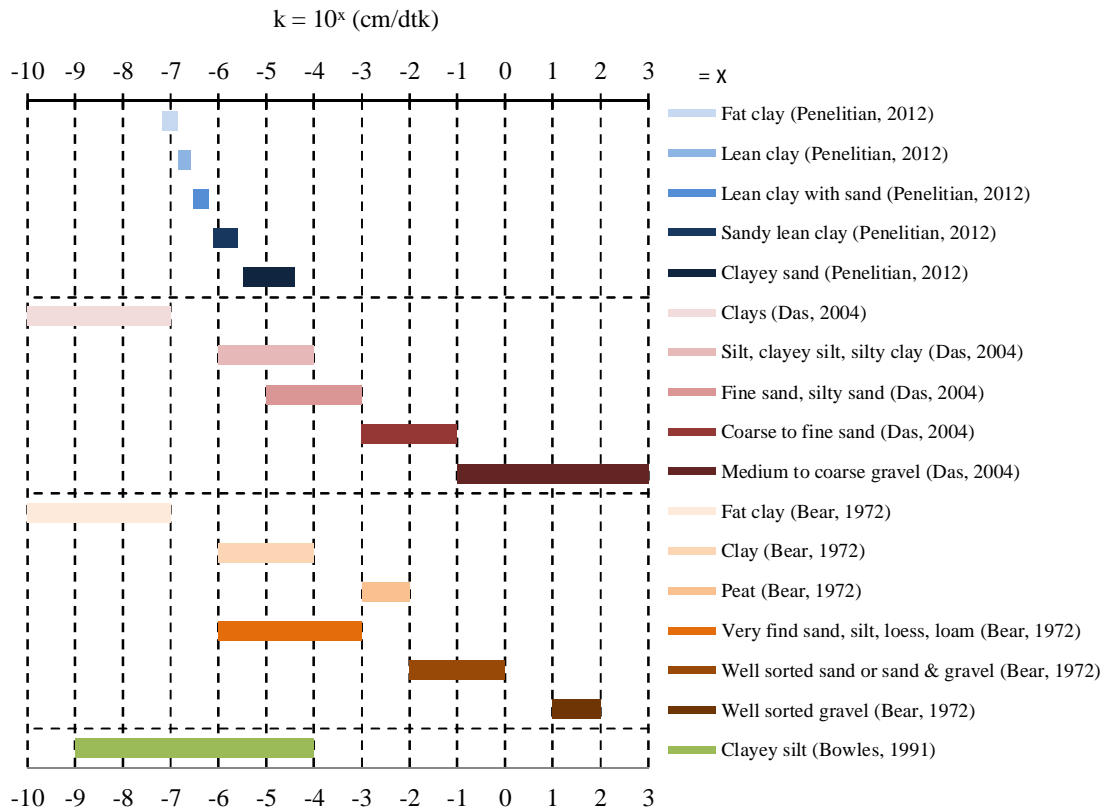
Gambar 4 Hubungan batas cair dan indeks plastisitas tanah

Nilai k disusun mulai dari nilai yang sangat kecil dengan klasifikasi *fat clay*, berikutnya lempung dengan batas cair kurang dari 50% (*lean clay*) dan dilihat prosen pasir yang terkandung didalamnya lebih atau kurang dari 30% (*lean clay with sand* atau *sandy lean clay*). Tanah dengan kandungan lempung kurang dari 50% (*clayey sand*) berada pada susunan terakhir dari pengklasifikasian ini. Setelah diurutkan, klasifikasi tanah lempung berdasarkan nilai k dapat dilihat pada Tabel 5 dan tergambar pada Gambar 5.

Tabel. 5 Rentang koefisien permeabilitas pada tanah lempung.

No	k (cm/dtk)	USCS	No	k (cm/dtk)	USCS
1	6.684E-08	CH	18	6.265E-07	CL with sand
2	8.104E-08	CH	19	7.756E-07	sandy CL
3	8.148E-08	CH	20	1.190E-06	sandy CL
4	8.414E-08	CH	21	1.531E-06	sandy CL
5	8.583E-08	CH	22	1.648E-06	sandy CL
6	8.632E-08	CH	23	1.666E-06	sandy CL
7	1.082E-07	CH	24	1.694E-06	sandy CL
8	1.381E-07	CH	25	1.850E-06	sandy CL
9	1.415E-07	CL	26	2.600E-06	sandy CL
10	1.532E-07	CL	27	3.222E-06	SC
11	1.788E-07	CL	28	3.674E-06	SC
12	2.280E-07	CL	29	6.384E-06	SC
13	2.641E-07	CL	30	8.283E-06	SC
14	2.996E-07	CL with sand	31	1.362E-05	SC
15	3.161E-07	CL with sand	32	1.804E-05	SC
16	3.293E-07	CL with sand	33	3.254E-05	SC
17	4.352E-07	CL with sand	34	3.890E-05	SC

Sumber : Hasil Perhitungan, 2012



Gambar 5 Rentang nilai permeabilitas pada tanah lempung

Berdasarkan Gambar 5 terlihat bahwa rentang hasil pengujian untuk tanah pasir berlempung (SC) dan lempung kurus berpasir (CL) berada dalam rentang lempung menurut Bear dan pasir halus, lanau berpasir, lanau, lanau berlempung, dan lempung berlanau menurut Das. Sedangkan hasil pengujian untuk lempung kurus dengan pasir (CL), lempung kurus (CL), dan lempung gemuk (CH) melengkapi rentang yang kosong menurut Bear dan Das. Semua nilai hasil pengujian berada pada rentang lanau berlempung menurut Bowles.

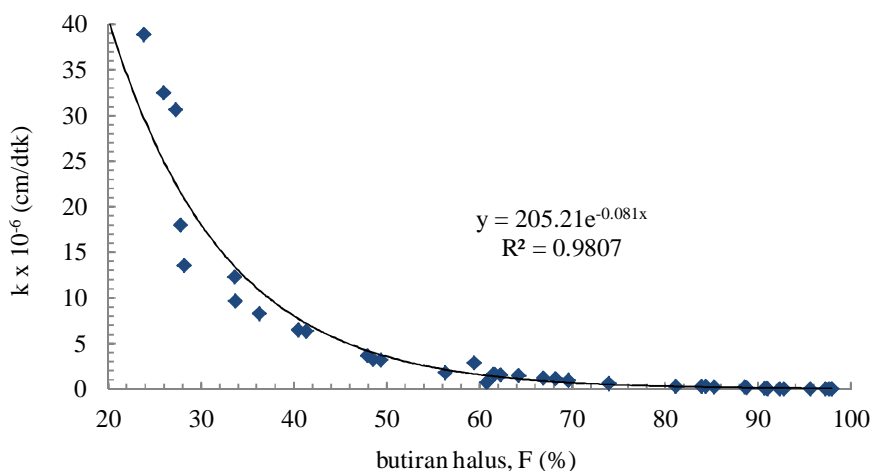
Sebagian besar persamaan pada literatur penggunaannya terbatas pada tanah pasir, hanya beberapa yang memasukkan unsur butiran halus, sehingga persamaan yang ada sekarang belum dapat disesuaikan dengan data lapangan, oleh karena itu perlu dicari korelasi tersendiri untuk menentukan koefisien permeabilitas di lokasi studi. Penelitian ini merupakan penelitaian tambahan yang mengevaluasi permeabilitas pada tanah butir halus.

Untuk mendapatkan hubungan yang kuat antara keduanya maka data-data yang berada jauh dari kurva estimasi atau *trend line* akan dieleminasi. Hubungan antara permeabilitas dan prosen butiran halus (Gambar 6) terlihat bahwa semakin banyak prosentase butiran halus yang terkandung dalam tanah maka koefisien permeabilitas tanah tersebut akan semakin kecil. Adapun persamaan empiris yang diperoleh yaitu :

$$k = (205.15e^{-0.081F}) \times 10^{-6} \text{ dalam cm/dtk} \dots\dots\dots (9)$$

Persamaan (9) berlaku bila prosen butiran halus yang terkandung pada tanah besar dari 25%. Persamaan yang telah didapatkan kemudian divalidasi dengan sepuluh data diluar data yang membentuk persamaan. Hasil perhitungan validasi dapat dilihat pada Tabel 6 dan tergambar pada Gambar 7.

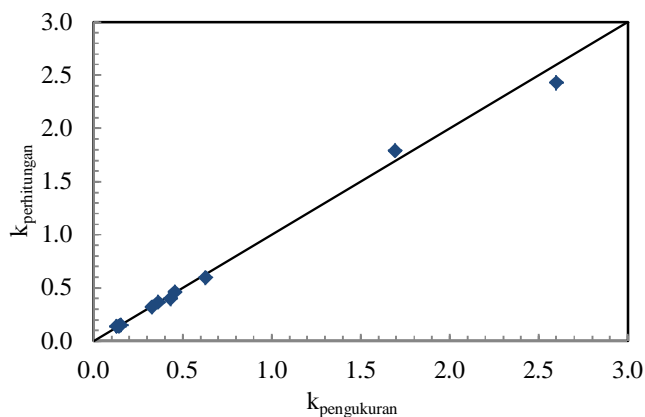
Hubungan Permeabilitas dan Persen Butiran Halus



Gambar 6 Kurva hubungan permeabilitas dengan prosen butiran halus

Tabel. 6 Validasi hubungan permeabilitas dengan prosen butiran halus

$k_{\text{pengukuran}}$	$k_{\text{perhitungan}}$	% error	$k_{\text{pengukuran}}$	$k_{\text{perhitungan}}$	% error
0.456	0.463	1.499	0.130	0.136	4.704
0.141	0.139	1.473	0.435	0.400	8.144
0.153	0.150	2.129	0.631	0.599	5.010
0.329	0.321	2.620	2.600	2.428	6.595
0.363	0.363	0.073	1.694	1.790	5.712



Gambar 7 Kurva validasi hubungan permeabilitas dengan prosen butiran halus

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan analisis rentang koefisien permeabilitas pada tanah lempung dan korelasinya diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Persamaan yang ada hanya berlaku untuk tanah pasir, sehingga untuk tanah pada lokasi studi persamaan tersebut belum dapat digunakan.

2. Korelasi empiris permeabilitas dengan prosen butiran halus yang diperoleh adalah $k = (205.15e^{-0.081F}) \times 10^{-6}$ dimana k dalam cm/dtk. Persamaan ini dapat digunakan apabila prosen butiran halus yang terkandung pada tanah besar dari 25%.
3. Rentang permeabilitas untuk tanah lempung gemuk (CH) berkisar antara 6.684×10^{-8} sampai 1.381×10^{-7} cm/dtk, untuk tanah lempung kurus (CL) 1.415×10^{-7} sampai 2.641×10^{-7} cm/dtk. Sedangkan untuk tanah lempung kurus dengan pasir berada pada rentang 2.996×10^{-7} sampai 6.265×10^{-7} cm/dtk dan untuk tanah lempung kurus berpasir rentangnya berkisar antara 7.756×10^{-7} sampai 2.6×10^{-6} cm/dtk. Rentang tanah pasir berlempung yaitu 3.222×10^{-6} sampai 3.89×10^{-5} cm/dtk.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM Soil and Rock.** 1997, *Standard Test Method for Particle Size Analysis of Soils. Annual Book of ASTM Standard, Easton, USA.*
- ASTM Soil and Rock.** 1997, *Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. Annual Book of ASTM Standard, Easton, USA.*
- ASTM Soil and Rock.** 1997, *Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter. Annual Book of ASTM Standard, Easton, USA.*
- Bear, J.** 1972. *Dynamics of Fluids in Porous Media.* Dover Publications. ISBN 0-486-65675-6.
- Bowles, J.E.** 1991. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah* : Erlangga.
- Das, B.M.** 2007. *Principles of Foundation Engineering, Sixth Edition.* United States : Nelson a division of Thomson Canada Limited.
- Hazen, A.** 1893. *Some physical properties of sand and gravels.* Massachusetts State Board of Health, 24th Annual Report.
- Odong, J.** 2007. *Evaluation of Empirical Formulae for Determination of Hydraulic Conductivity based on Grain-Size Analysis. J. Am. Sci.,3(3): 54-60.*
- Shepard, R.G.** 1989. *Correlations of Permeability and Grain Size, Journal of Ground Water, Vol. 27, No. 5 : 663-638*