

# Pengaruh Kadar Air dan Energi Pematatan terhadap Hydraulic Conductivity Lempung yang Dipadatkan

Yulian Firmana Arifin<sup>1</sup>

**Abstrak** – This research will observe the effect of water content and compaction effort to the hydraulic conductivity of Karang Pilang Surabaya Clay used for clay liner of municipal waste disposal area.

In this research, clay was taken from Karang Pilang, Surabaya. Clay was compacted with Standard Proctor and Modified Proctor Tests. From each of them, five sample were prepared at different water content ( $w_{c\text{apt}}$ ), 2 (two) at  $w_c < w_{c\text{apt}}$  (wet side). In order to obtain the hydraulic conductivity (k) of the clay liner, falling head test using 0.005 N CaSO<sub>4</sub> was carried out.

The result showed that hydraulic conductivity of compacted clays with the increase of water content until  $\pm 4\%$  over  $w_{\text{opt}}$ . The hydraulic conductivity of compacted at wet side is lower than the clay compacted at dry side. The increase of compaction effort increasing density of clay results in the increase of hydraulic conductivity significantly. For different clays, higher density does not assure lower hydraulic conductivity, the hydraulic conductivity is also influenced by plasticity of clays.

---

*Keywords - clay, compaction, hydraulic, conductivity.*

---

## PENDAHULUAN

Untuk mencegah merembesnya leachate (air sampah) ataupun limbah ke air tanah, dasar dari lokasi penampungan air (LPA) harus dibuat kedap atau tidak tembus air. Jenis lapisan yang umum dipakai sekarang ini adalah clay liner yaitu lapisan lempung yang dipadatkan. Parameter yang paling penting dalam pembuatan clay liner adalah hydraulic conductivity.

*Hydraulic conductivity clay liner* dipengaruhi oleh kadar air dan energi pematatan (Mitchel, 1965, dalam daniel, 1987). Bilamana kadar air pematatan lebih kecil daripada kadar air optimum ( $w_{\text{opt}}$ . Adalah kadar air pada kepadatan maksimum), orientasi partikelnya flocculated (acak) dan bila dipadatkan pada kadar air yang lebih besar dari kadar air optimum maka orientasi partikelnya dispersed atau sejajar (lambe, 1958, dalam benson, 1990). Pada kadar air yang sama, orientasi partikel clay liner yang dipadatkan dengan energi tinggi cenderung lebih dispersed daripada yang dipadatkan dengan energi rendah (B.M. Das, 1985)

Jenis lempung yang berbeda akan memperlihatkan perilaku yang berbeda pula. Artikel ini akan membahas pengaruh kadar air dan energi pematatan terhadap hydraulic conductivity lempung karang pilang surabaya dan membandingkannya dengan perilaku lempung yang lain. Dari perbandingan tersebut diharapkan terlihat faktor lain yang mempengaruhi perilaku hydraulic conductivity lempung yang dipadatkan.

## TINJAUAN PUSTAKA

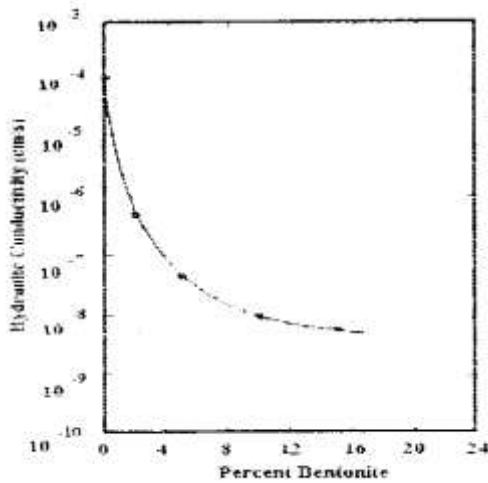
Bilamana tanah lempung dipergunakan sebagai liner yang berfungsi untuk mencegah meresapnya leachate limbah padat ke air tanah, liner yang bersangkutan harus dibuat sedemikian rupa sehingga mempunyai hydraulic conductivity (koefisien rembesan, k) lebih kecil atau sama dengan  $1 \times 10^{-7}$  cm/detik

Prosentase kandungan lempung dari tanah campuran yang akan dipakai untuk liner penting untuk diperhatikan agar hydraulic conductivity dari liner yang bersangkutan menjadi rendah. Tetapi, campuran tersebut menjadi tidak efektif lagi bilamana prosentase dari lempung lebih besar dari 20%. Hal ini dapat dilihat dari hasil studi yang dilakukan

---

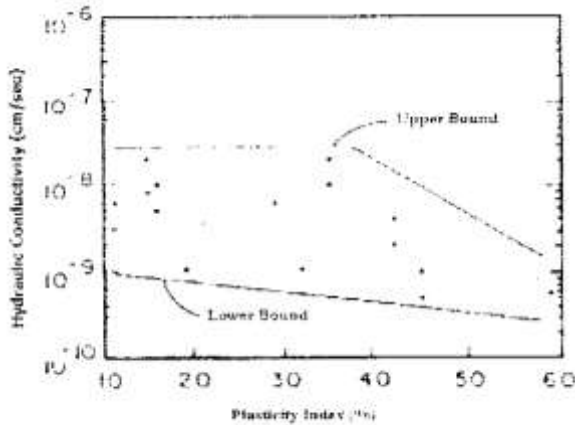
<sup>1</sup> Staf pengajar Fakultas Teknik Unlam Banjarmasin

oleh Daniel (1987) seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Pengaruh lempung terhadap Hydraulic conductivity dari clay liner (Daniel, 1987)

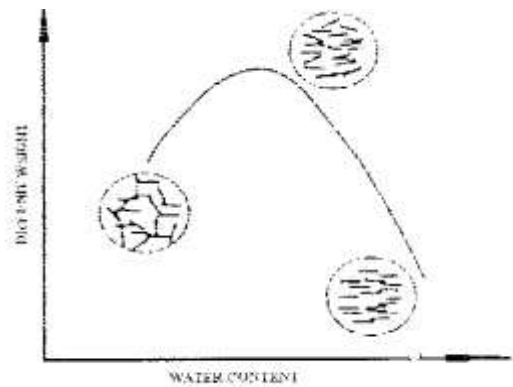
Bertambahnya plastisitas dari campuran lempung yang dipakai untuk liner akan menyebabkan berkurangnya hydraulic conductivity dari clay liner yang bersangkutan seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2. (Daniel, 1987).



Gambar 2. Pengaruh Plastisitas terhadap hydraulic conductivity dari clay liner (Daniel, 1987)

Hydraulic conductivity clay liner sangat dipengaruhi oleh kondisi kadar air campuran pada saat dipadatkan. Bilamana kadar air lempung yang akan digunakan untuk clay liner lebih kecil daripada kadar air Optimum, Wopt. (Wopt. Adalah kadar air pada kepadatan maksimum), orientasi partikelnya adalah flocculated dan bila dipadatkan pada kadar air

yang lebih besar dari kadar air optimum maka orientasi partikelnya dispersed Hydraulic conductivity lempung yang orientasi partikelnya flocculated lebih besar daripada lempung yang orientasi partikelnya dispersed. Hal ini disebabkan pori pada lempung yang flocculated lebih besar daripada pori pada lempung yang dispersed. Hal ini disebabkan pori pada lempung yang flocculated lebih besar daripada pori pada lempung yang dispersed (Lambe, 1958, dalam Benson, 1990). Hubungan antara kadar air dan orientasi partikel dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan kadar air dan orientasi partikel (Lambe, 1958)

Cairan inorganik netral dapat mempengaruhi ketebalan dari lapisan diffusi double layer mineral lempung. Gouy-Chapman (Gouy, 1910; Chapman, 1913) dalam Mitchel (1976) menghubungkan konsentrasi elektrolit, valensi kation dan konstanta dielektrik dengan ketebalan double layer ini. Hubungan tersebut terlihat pada persamaan di bawah ini :

$$\text{Tebal Double Layer} \propto \frac{D}{\sqrt{n_o \cdot v^2}} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana : D = konstanta dielektrik, n<sub>o</sub> = konsentrasi elektrolite dan v = valensi kation.

Berdasarkan persamaan di atas, penambahan konsentrasi ion dan penggantian oleh ion bervalensi tinggi menyebabkan berkurangnya ketebalan diffuse double layer sehingga struktur dari butiran lempung menjadi flocculated.

Hydraulic conductivity lempung yang dipadatkan juga dipengaruhi oleh besarnya energi pepadatan. Untuk tanah dengan kadar ait yang sama, hydraulic conductivity dari

tanah yang dipadatkan dengan energi rendah adalah lebih besar dari pada yang dipadatkan dengan energi tinggi (Mitchell, 1965)

**METODE PENELITIAN**

Sampel lempung yang dipergunakan dalam penelitian ini diambil langsung dari lapangan dalam keadaan terganggu (disturbed). Lokasi pengambilan sampel adalah desa Karang Pilang, Surabaya.

Penentuan sifat-sifat fisik terhadap sampel lempung antara lain : specific gravity (ASTM D854-92), Plastisitas (ASTM D4318-93), Distribusi ukuran butir (ASTM D422-63). Tipe pemadatan yang dilakukan yaitu standar proctor test (ASTM d698) dan Modified proctor test (ASTM D1557).

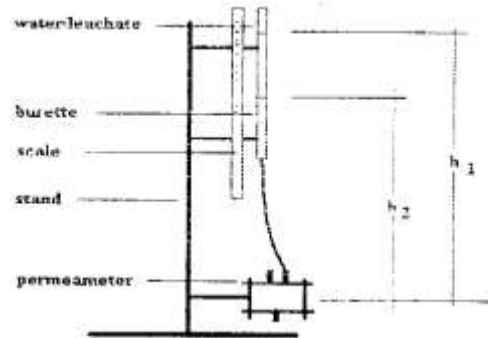
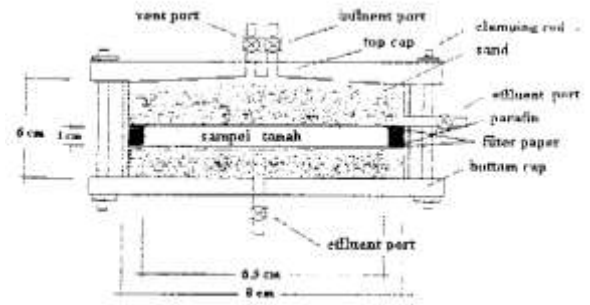
Jumlah benda uji yang dicari harga k-nya adalah 10 buah. Yang terdiri dari : benda uji mempunyai kepadatan minimum 95%  $\gamma_{dmax}$  standar proctor test (ASTM D1557). Hasil pemadatan tersebut diambil masing- masing 2 benda uji pada dry side, 1 benda uji pada kadar air optimum dan 2 benda uji pada wet side.

**Falling Head Test (ASTM D18.04.85.03)**

Untuk mempersingkat waktu pelaksanaan penelitian di laboratorium, maka sampel yang dites setebal (L)  $\pm 1$  cm diameter 6,5 cm dengan hydraulic gradient ( $\Delta H/L$ ) sebesar 200. Benda uji dimasukkan ke alat permeameter seperti yang ditunjukkan gambar 4. Untuk membaca terjadinya penurunan permukaan air pada burette digunakan skala/ penggaris. Larutan (0,005  $N_{CaSO4}$ ) dialirkan melalui benda uji untuk mendapatkan *hydraulic conductivity* :

$$k = 2,303 \frac{a.L}{A.t} \log \frac{h_1}{h_2} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana : a = luas burette (cm<sup>2</sup>), A = luas sampel (cm<sup>2</sup>), L = panjang sampel (cm), t = waktu (detik), h1 = tinggi *head* mula-mula (200 cm), h2 = tinggi *head* akhir (cm).



Gambar 4. Alat Permeameter

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil pengujian sifat fisik dan test proctor dapat dilihat pada tabel 1. Dilihat dari harga LL 63.88 %, PI 35,84% dan % butiran lolos ayakan # No.200 adalah 94%, maka lempung yang digunakan dalam penelitian ini diklasifikasikan sebagai lempung anorganik dengan plastisitas tinggi (USCS). Dari klasifikasi tersebut dapat disimpulkan bahwa lempung Karang Pilang cocok untuk digunakan sebagai clay liner karena lempung tersebut mempunyai harga PI yang tinggi sehingga mempunyai harga k (hydraulic conductivity) yang kecil. Hal ini terbukti dari hasil permeability test dimana harga hydraulic conductivity yang didapatkan lebih kecil dari  $1 \times 10^{-7}$  cm/detik.

Tabel 1. Harga rata-rata parameter sifat fisik sampel tanah

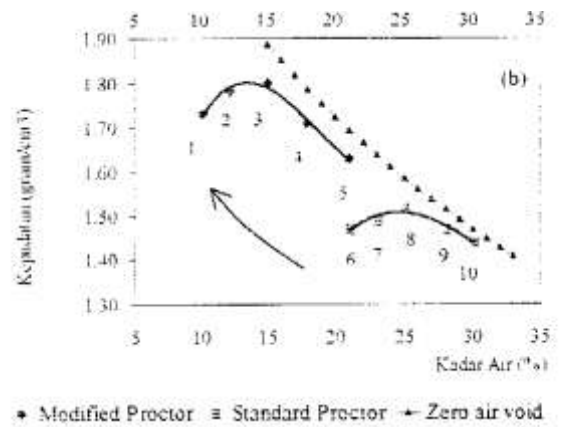
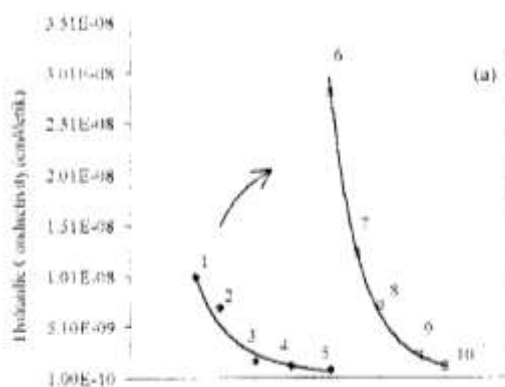
No	Parameter Tanah	Hasil
1	Specific Gravity, Gs	2.63
2	Batas Cair, LL (%)	63.88
3	Batas Plastis, PL (%)	28.04
4	Batas Susut, SL (%)	13.00

5	Indeks Plastis, PI (%)	35.84
6	Lolos Saringan No. 200	94.00
7	Berat Volume Kering Maksimum (Standar Proctor), $V_d \text{ max (gr/cm}^3\text{)}$	1.52
8	Kadar Air Optimum (Standard Proctor), $w_{opt} \text{ (%)}$	24
9	Berat Volume Kering Maksimum (Modified Proctor) $V_d \text{ max (gr/cm}^3\text{)}$	1.80
10	Kadar Air Optimum (Modified Proctor), $w_{opt} \text{ (%)}$	15

**Pengaruh kadar air terhadap Hydraulic Conductivity lempung yang dipadatkan**

Gambar 5 memperlihatkan pengaruh kadar air pada saat pemadatan terhadap Hydraulic Conductivity dengan kadar air ( $w_c$ ). sedang pada Gambar 5.b adalah hubungan antara kepadatan ( $\gamma_d$ ) dengan kadar air ( $W_c$ ).

Dari grafik terlihat bahwa Hydraulic Conductivity clay liner mengicil dengan bertambahnya kadar air dan hal ini terlihat pada kedua tipe tes pemadatan. Jadi harga Hydraulic Conductivity clay liner yang dipadatkan dengan kadar air di daerah dry side lebih besar daripada harga Hydraulic Conductivity clay liner yang dipadatkan dengan kadar air di daerah wet side. Hal ini disebabkan karena bongkahan-bongkahan (clods) tanah untuk clay liner yang dipadatkan dengan kadar air di daerah dry side masih keras sehingga sulit untuk hancur pada saat pemadatan; hal ini menyebabkan terjadinya pori-pori yang cukup besar disekitar bongkahan-bongkahan (clods) tersebut.



Gambar 5. Hubungan kadar air dan hydraulic conductivity untuk dua tipe pemadatan yang berbeda terhadap Lempung Karang Pilang

Sebaliknya pada daerah wet side, bongkahan-bongkahan tanah lebih lunak sehingga dapat dibentuk kedalam suatu massa tanah yang impermeable yang relatif homogen.

Selain itu, pada kadar air rendah, diffuse double layer disekitar butiran tanah itdak berkembang sepenuhnya sehingga gaya tolak menolak antar butiran tanah kecil. Hal ini akan menghasilkan keadaan dimana partikel tanah lebih acak (flocculated). Sedangkan pada daerah wet side, penambahan kadar air akan mempertebal lapisan diffuse double layer yang menyebabkan penambahan gaya antar partikel sehingga derajat flocculated menajdi berkurang yang menghasilkan susunan yang lebih dispersed.

Hasil penelitian ini mendukung hasil penelitian yang dilakukan oleh lambe (1958). Lambe menyatakan bahwa lempung yang orientasi partikelnya flocculated mempunyai pori-pori lebih besar daripada lempung yang orientasi partikelnya dispersed sehingga tanah yang dipadatkan di daerah dry side akan mempunyai harga Hydraulic Conductivity yang lebih besar dari pada di daerah wet side.

Hasil penelitian ini juga sesuai dengan teori Gouy-Chapman (1913). Penambahan kadar air akan mengakibatkan mengecilnya konsentrasi elektrolite pada diffuse double layer. Mengecilnya konsentrasi elektrolite ini berdasarkan Gouy-Vhapman akan mempertebal double layer yang menyebabkan derajat flokulasi menjadi berkurang sehingga

menghasilkan susunan partikel yang lebih dispersed.

### ***Pengaruh energi pemadatan terhadap Hydraulic Conductivity lempung yang dipadatkan.***

Gambar 5 juga menunjukkan pengaruh energi pemadatan terhadap *Hydraulic Conductivity* dari *clay liner*. Gambar 5.b memperlihatkan bahwa peningkatan energi pemadatan menghasilkan peningkatan kepadatan maksimum tanah. Gambar 5.a memperlihatkan hasil falling head test untuk kedua metode pemadatan.

Dari grafik terlihat bahwa dua clay liner yang mempunyai kadar air yang sama jika dipadatkan dengan energi pemadatan yang lebih tinggi akan menghasilkan *Hydraulic Conductivity* yang lebih kecil dibandingkan dengan clay liner yang dipadatkan dengan energi pemadatan yang lebih rendah. Jadi peningkatan energi pemadatan menghasilkan penurunan *Hydraulic Conductivity* secara signifikan.

### ***Faktor lain yang mempengaruhi Hydraulic Conductivity lempung yang dipadatkan.***

Jika dibandingkan dengan hasil penelitian lain, ada perbedaan antara *Hydraulic Conductivity* lempung Karang Pilang yang cenderung mengecil setelah kadar air optimum sedangkan yang lainnya cenderung membesar (Gambar 6). Hal ini disebabkan karena kadar air yang digunakan pada penelitian ini hanya untuk kadar air yang dibatasi oleh 95%  $Y_d$  maksimum untuk proctor standard dan 90%  $Y_d$  maksimum untuk proctor modified.

Jadi untuk menghindari membesarnya nilai *Hydraulic Conductivity*, jika lempung yang dipadatkan digunakan sebagai clay liner maka kadar air yang diberikan tidak lebih 4% dari kadar air optimum

Gambar 6 juga memperlihatkan bahwa walaupun lempung Oak Ridge (West) mempunyai kepadatan yang lebih tinggi daripada lempung Karang Pilang dan Oak Ridge (East) akan tetapi harga *Hydraulic Conductivity*nya lebih besar. Hal ini

disebabkan harga indeks plastis lempung oak ridge (west) lebih kecil daripada kedua jenis lempung tersebut (Tabel 2). Hasil ini sesuai dengan Daniel (1987) dimana peningkatan plastisitas tanah akan mengakibatkan pengecilan *Hydraulic Conductivity* lempung yang dipadatkan.

Tabel 2. Harga Plastisitas beberapa jenis lempung

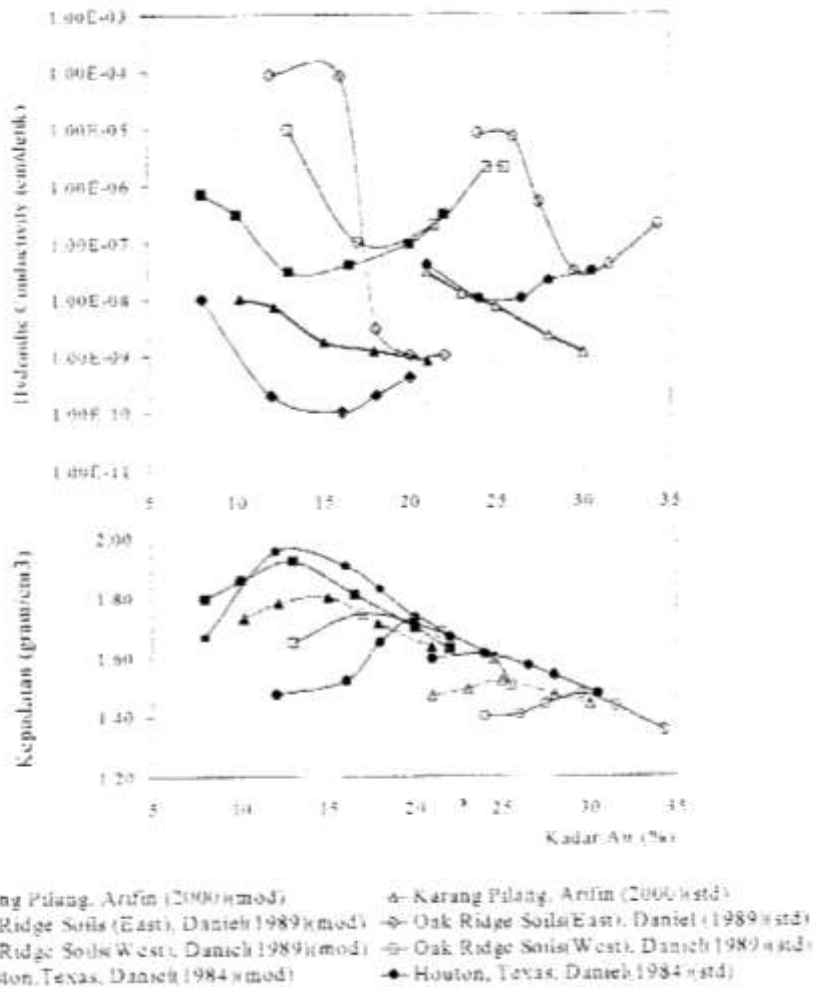
Lempung	LL (%)	PL (%)	PI (%)
Karang Pilang	63.88	28.04	35.84
Oak Ridge Soils (East)*	55.00	28.00	27.00
Oak Ridge Soils (West)*	31.00	16.00	18.00
Houston, Texas*	56.00	15.00	41.00

- Daniel, 1990

## **KESIMPULAN**

Harga *Hydraulic Conductivity* lempung yang dipadatkan mengecil dengan meningkatnya kadar air (daerah wet side lebih kecil daripada daerah dry side) sampai  $\pm 4\%$  di atas  $w_{opt}$ . Terbukti dari berapa tipe lempung bahwa *Hydraulic Conductivity* membesar setelah kadar air melebihi 4% dari  $w_{opt}$ .

Peningkatan energi pemadatan yang menghasilkan kepadatan lempung mengakibatkan peningkatan harga *Hydraulic Conductivity* secara signifikan. Lebih besarnya kepadatan tidak menjamin harga *Hydraulic Conductivity*nya lebih kecil untuk lempung yang berbeda. Pada jenis lempung yang berbeda, plastisitas tanah juga menentukan harga *Hydraulic Conductivity*nya.



Gambar 6. Hubungan kadar air pematatan dengan hydraulic conductivity lempung yang dipadatkan dengan dua tipe pematatan yang berbeda terhadap beberapa lempung.

**REFERENSI**

Arifin, 2001 pengaruh kadar air dan energi pematatan terhadap Hydraulic Conductivity dari clay liner di lokasi penampungan akhir sampah perkotaan, tesis program pascasarjana ITS, Surabaya.

Benson, C.H. and Daniel de 1990 the influence of clods on the Hydraulic Conductivity of compacted clay, journal of geotechnical engineering, asce vol 116 no.8

Daniel de 1987 earthen liners for land disposal facilities, geotechnical practice for waste disposal '87, geotechnical special publication no.13 asce

Daniel de and Benson ch, 1990 water content density criteria for compacted liners,

journal of geotechnical engineering asce

Das bm 1985, principles of geotechnical engineering bws publishers, Texas

Mitchel, Jk hopper dr. and Campanella, rg 1965, permeability of compacted clay journal of the soil mechanics and foundation divisions, asce vol 91, sm 4

Mitchel Jk 1976, fundamentals of soil behaviour, John Wiley & son, New York.