

## STUDI *HYDRAULIC CONDUCTIVITY CLAY LINER* DENGAN VARIASI TINGKAT KEPADATAN TERTENTU TERINFILTRASI AIR LINDI

Sitti Hijraini Nur

Universitas Hasanuddin, Fakultas Teknik, Departemen Teknik Sipil, Kampus Teknik UNHAS Gowa  
email: [hijraininur@gmail.com](mailto:hijraininur@gmail.com)

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengetahui berapa koefisien *hydraulic conductivity* yang dimiliki tanah pada tingkat kepadatan tertentu yang dialiri media air lindi. Sampel tanah merupakan material pilihan berupa lempung kelanauan yang merupakan material yang sesuai untuk dipergunakan sebagai lapisan kedap *clay liner* pada sistem *sanitary landfill*. Tanah tersebut dipadatkan sesuai dengan standar *Modified Proctor* dan dipersiapkan dalam 3 kondisi kadar air, yaitu kondisi kering, kadar air optimum dan kondisi jenuh. Juga dipersiapkan kondisi 90% maksimum sebagai standar kriteria *clay liner*. Penentuan *hidraulic conductivity* diuji dengan metode “*falling head*” yang sesuai untuk tanah berbutir halus. Proses pengujian dilakukan dengan 3 kondisi yaitu: infiltrasi air lindi, infiltrasi air suling, dan infiltrasi dengan air suling, kemudian disusul dengan infiltrasi dengan menggunakan lindi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan besaran konduktivitas pada media air lindi seiring dengan peningkatan porositas serta kecenderungan penurunan yang cukup besar pada kondisi jenuh yang nilainya mendekati kondisi dengan infiltrasi air suling.

**Kata kunci:** *hydraulic conductivity, clay liner, air lindi, tingkat kepadatan.*

### ABSTRACT

*This research aimed to find out the number of hydraulic conductivity coefficient that soil has in a certain level of density drained by leachate. Soil sample is a chosen material in the form of silty clay which is a suitable material as impermeable layer of clay liner in the sanitary landfill system. Those soil is compacted based on Modified Proctor standard and prepared in 3 water contents; dry, optimum water content, and saturated. 90% of maximum condition as standard criterion of liner clay is also prepared. The determination of hydraulic conductivity is tested with falling head method that is suitable for fine-grained soil. The testing process is done by 3 conditions; infiltration of leachate, infiltration of distilled water, and infiltration with distilled water, then followed by infiltration using leachate.*

*The result of this research shows that the increasing amount of conductivity on water medium occurs along with the increasing of porosity and a significant decreasing trend on saturated condition with the value comes near to distilled water infiltration condition*

**Keywords :** *hydraulic conductivity, clay liner, leachate, density level.*

## I. PENDAHULUAN

Lindi adalah cairan yang berasal dari dekomposisi sampah padat dan infiltrasi air eksternal dari hujan. Cairan yang sangat kondusif dan korosif ini masuk ke dalam tanah dan menyebabkan pencemaran air tanah (Qasim., et.al, 1994).

Penggunaan lapisan kedap berupa tanah lempung yang telah dipadatkan atau yang biasa disebut sebagai *clay liner* dapat mencegah emisi *liquid* berupa air lindi yang akan melindungi pencemaran air tanah. Apabila dipadukan dengan penggunaan lapisan *geomembran (geotextile)* yang sesuai, maka sistem ini akan mampu

mengontrol emisi gas metan, karbondioksida atau gas berbahaya lainnya akibat proses pemadatan sampah<sup>(Rowe,2000; Rolling., et.al, 1996; Rowe 2009)</sup>.

Dalam perkembangan pengelolaan sampah, keberadaan TPA cenderung menimbulkan berbagai dampak terhadap lingkungan sekitarnya seperti bau, penyakit, pencemaran air tanah, dan lainnya. Dari analisis persepsi masyarakat mengenai dampak pencemaran air tanah yang terjadi di sekitar TPA yang ada di Makassar misalnya, terdapat sedikitnya 63,33% masyarakat yang merasakan dampak buruk akibat pencemaran air tanah<sup>[5]</sup>. Hal tersebut setidaknya telah dibuktikan dengan adanya unsur pencemaran dari galian sumur dan menyebar hingga radius 100 m dari lokasi TPA<sup>(Arifin, 2001)</sup>. Hal tersebut cukup mengkhawatirkan kita semua karena sesungguhnya TPA yang ideal adalah *sanitary landfill* yang membutuhkan proteksi khusus agar tidak menimbulkan kerusakan lingkungan<sup>(Coduto, 199)</sup>.

Untuk mengetahui bagaimana kontaminasi yang terjadi pada lapisan *clay liner* beberapa penelitian telah dilakukan bertujuan untuk menganalisis pengaruh tingkat kepadatan tanah yang berbeda terhadap penetrasi air lindi dan air tanah, serta bagaimana pengaruh air lindi terhadap permeabilitas tanah. Selain itu perlu dilakukan analisa pengaruh air tanah terhadap kondisi perembesan air lindi pada setiap tingkat kepadatan tanah yang berbeda-beda tadi. <sup>[S.Dutta., et.al, 1996; Shaktour., et.al, 1996, Nataraj., et.al, 1996]</sup>.

Penelitian serupa telah dilakukan oleh Yulian Firman Arifin (2002), namun penelitian untuk kondisi tanah yang direkomendasikan oleh Bagchi (1990)<sup>1</sup> perlu dilakukan sebagai standar karakteristik *clay liner* yang disyaratkan.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan pengujian permeabilitas *falling head*. Tanah yang dipergunakan adalah tanah *disturbed*, tanah pilihan yang kemudian diuji sifat-sifat

fisis ( berupa Gs, LL, PI, SL, PI, lolos saringan #200,  $\gamma_d$  masing-masing jenis tanah,  $\gamma_d$  max,  $\omega_{opt}$ ) di laboratorium. Tanah yang akan dipergunakan sebagai *clay liner* pada fasilitas penampungan sampah harus terdiri dari jenis tanah dengan partikel yang berukuran kurang dari  $2\mu m$ . Hubungan timbal-balik antara permeabilitas tanah dengan proporsi butir tanah halus yang terdapat dalam tanah menjadi pertimbangan dalam penggunaan partikel lempung, dan disarankan penggunaan lempung minimal 25-30% berat untuk menghasilkan lapisan *clay liner* yang bagus. Pengujian-pengujian dasar yang telah disebutkan tadi dilakukan untuk menentukan apakah jenis tanah tersebut layak atau tidak dipergunakan sebagai bahan lapisan kedap sesuai dengan kriteria Baghi<sup>(Qasim., et.al, 1994)</sup>.

Tanah *disturbed* yang telah dipilih kemudian dikompaksi dengan variasi kepadatan yang berbeda, mulai dari kepadatan pada kondisi kering (*dry side*), kepadatan optimum, juga kepadatan pada kondisi jenuh (*wet side*). Selain itu dibuat juga sampel uji dengan tingkat kepadatan 90% $\gamma_d$  maks, sehingga diperoleh 7 jenis sampel dengan tingkat kepadatan yang berbeda.

Hasil uji kompaksi tersebut kemudian dicetak dengan diameter 5 cm dan tinggi 3 cm dan 2,5 cm untuk kemudian diuji besaran *hydraulic conductivity* nya. Pengujian ini dilakukan dengan 2 cara, yaitu:

1. Tanah terlebih dahulu dialiri dengan air suling untuk menentukan konduktifitas air murni, kemudian untuk jangka waktu tertentu (3 hari) air suling diganti dengan air lindi. Perlakuan ini diberikan pada 7 tipe sampel yang berbeda untuk menganalisis pengaruh air tanah terhadap kondisi perembesan air lindi. (**Sampel Tipe 1**).
2. Tanah dialiri dengan air lindi untuk menganalisis penetrasi air lindi terhadap lapisan *clay liner* dengan

menggunakan 7 jenis kepadatan tanah yang berbeda (**Sampel Tipe 2**).

Persamaan yang dipergunakan untuk menghitung permeabilitas tanah adalah :

$$k = \frac{a.L}{A.t} \log \frac{\Delta h_0}{\Delta h_1} \dots(1)$$

Untuk menghitung angka pori dari masing-masing tingkat kepadatan tertentu dibuat hubungan antar parameter tanah dan diperoleh formula sebagai berikut:

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{\gamma_{basah}/(1+\omega)}{G_s \cdot \gamma_{air}} \dots(2)$$

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Parameter Tanah Pilihan

Tabel.1 Nilai Parameter Sifat Fisik Tanah Pilihan

No	Parameter	Kriteria	Hasil
1	Specific Gravity	-	2,63
2	Batas Cair, LL(%)	25 – 30 %	29,91 %
3	Batas Plastis, PL(%)	-	17,90%
4	Indeks Plastisitas, PI(%)	10 – 15%	12,1 %
5	Lolos Saringan No.200	> 50 %	54,98 %
6	Kurang dari 2µm	18 – 25 %	33,18%
7	Berat volume kering maks	-	1,408%
8	Kadar air optimum, ωopt (%)	-	25,21%

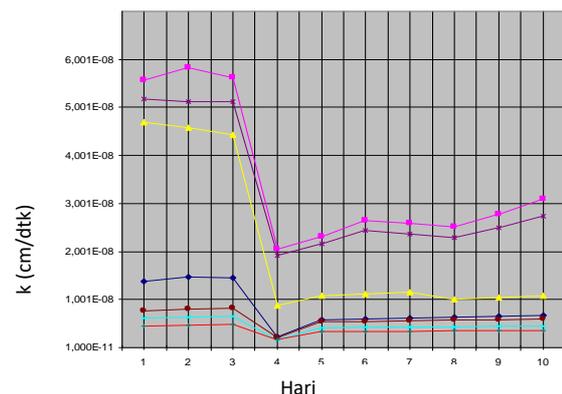
Sumber: Data hasil olahan

Dari hasil pemeriksaan tersebut terlihat bahwa sampel tanah yang dipergunakan adalah jenis tanah lempung inorganik (CL) dan mempunyai plastisitas lebih rendah dari

harga rata-rata (berdasarkan sistem klasifikasi USCS). Dengan demikian tipe tanah lempung tersebut cukup signifikan bila dipakai sebagai lapisan inti dan selimut kedap air (*clay liner*) dengan harga *k* berkisar antara 1.10-6 s/d 1.10-8 cm/dtk. Hal ini terbukti dengan hasil pengujian *permability test* dimana harga *hydraulic conductivity*-nya lebih kecil dari 1.10-7 cm/dtk.

#### 3.2 Pengaruh Tingkat Kepadatan Tanah terhadap Hydraulic Conductivity dengan Menggunakan Media Air Suling dan Air Lindi\*\*

Secara keseluruhan, pert (4) an koefisien permeabilitas untuk masing-masing tingkat kepadatan pada pengaliran dengan media air suling dan air lindi dapat dilihat pada gambar dan tabel sebagai berikut:



Keterangan :  
**Wet Side**  
 - : γd=1,1655 g/cm<sup>3</sup>  
 - : γd=1,2264 g/cm<sup>3</sup>  
 - : γd=1,3528 g/cm<sup>3</sup>  
**Dry Side**  
 - : γd=1,2672 g/cm<sup>3</sup>  
 - : γd=1,3986 g/cm<sup>3</sup>  
 - : γd=1,2536 g/cm<sup>3</sup>  
**Maksimum**  
 - : γd=1,408 g/cm<sup>3</sup>

Gambar 1. Grafik hubungan konduktivitas lapisan *clay liner* terhadap penetrasi air suling dan air lindi (tipe 1)

Penurunan nilai koefisien *hydraulic conductivity* yang terjadi berkisar antara 2.10-9 sampai 3,5. 10-9 cm/dtk. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat rekapitulasinya pada tabel dan grafik berikut:

Tabel.2 Hasil pengujian tingkat kepadatan terhadap nilai *hydraulic conductivity* nya (tipe 1)

Kadar air (%)	$\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$k_{rata-rata,s}$ (cm/dtk)	$k_{rata-rata,l}$ (cm/dtk)	Ket
19,73	1,2536	4,416.10 <sup>-8</sup>	1,034.10 <sup>-8</sup>	Dry side
19,80	1,2672	1,407.10 <sup>-8</sup>	7,436.10 <sup>-9</sup>	$\gamma_d$ 90%
22,45	1,3986	5,367.10 <sup>-9</sup>	6,591.10 <sup>-9</sup>	Dry side
25,21	1,408	1,4.10 <sup>-9</sup>	5,7.10 <sup>-9</sup>	$\gamma_d$ max
28,14	1,3528	7,358.10 <sup>-9</sup>	6,742.10 <sup>-9</sup>	Wet side
30,97	1,2264	5,407.10 <sup>-8</sup>	3,301.10 <sup>-8</sup>	Wet side
32,58	1,1655	5,428.10 <sup>-8</sup>	3,405.10 <sup>-8</sup>	Wet side

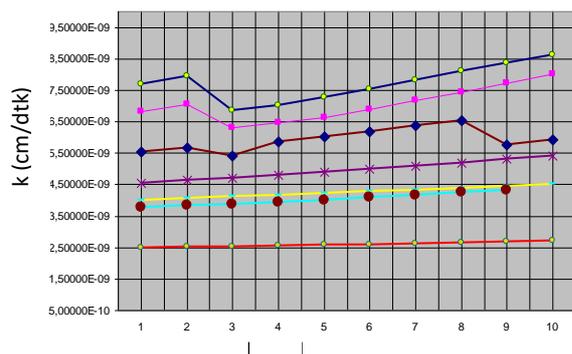
Sumber: Data hasil olahan

Hasil yang terdapat pada tabel di atas menunjukkan penurunan koefisien permeabilitas yang semakin kecil sampai pada tingkat kepadatan maksimum baik dari sisi *wet side* maupun *dry side*. Kondisi ini terjadi pada 2 kondisi media pengaliran yang berbeda, yakni untuk  $k_{rata-rata,s}$  dan  $k_{rata-rata,l}$ .

### 3.3 Pengaruh Tingkat Kepadatan Tanah terhadap Hydraulic Conductivity dengan Hanya Menggunakan Media Air Lindi

Pengujian tipe-2 yang hanya mengalir sampel dengan air lindi menunjukkan bahwa koefisien permeabilitas tanah menurun seiring dengan meningkatnya kadar air yang dikandung oleh tanah. Namun untuk tingkat kepadatan yang mendekati kepadatan optimum dan belum mencapai batas 90% kondisi jenuh, koefisien permeabilitas yang dimiliki masih berada di atas sampel yang memiliki kadar air lebih rendah daripadanya.

Kondisi tersebut dapat dilihat lebih jelas pada grafik dan tabel berikut:



Hari

Keterangan :

- Wet Side
- Dry Side
- :  $\gamma_d=1,1655$  g/cm<sup>3</sup>
- :  $\gamma_d=1,2672$  g/cm<sup>3</sup>
- :  $\gamma_d=1,2264$  g/cm<sup>3</sup>
- :  $\gamma_d=1,3986$  g/cm<sup>3</sup>
- :  $\gamma_d=1,3528$  g/cm<sup>3</sup>
- :  $\gamma_d=1,2536$  g/cm<sup>3</sup>
- Maksimum
- :  $\gamma_d=1,408$  g/cm<sup>3</sup>

Gambar 2. Grafik hubungan konduktivitas lapisan *clay liner* terhadap penetrasi air lindi (tipe 2)

Tabel.2 Hasil pengujian tingkat kepadatan terhadap koefisien nilai *hydraulic conductivity* nya (tipe 2)

Kadar air (%)	$\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$k_{rata-rata,s}$ (cm/dtk)	$k_{rata-rata,l}$ (cm/dtk)	Ket
19,73	1,2536	4,301. 10 <sup>-9</sup>	5,413. 10 <sup>-9</sup>	Dry side
19,80	1,2672	5,19.10 <sup>-9</sup>	4,78.10 <sup>-9</sup>	$\gamma_d$ 90%
22,45	1,3986	4,103.10 <sup>-9</sup>	4,559.10 <sup>-9</sup>	Dry side
25,21	1,408	7,6.10 <sup>-9</sup>	8,6.10 <sup>-9</sup>	$\gamma_d$ max
28,14	1,3528	2,913.10 <sup>-9</sup>	2,762.10 <sup>-9</sup>	Wet side
30,97	1,2264	6,24.10 <sup>-9</sup>	6,63.10 <sup>-9</sup>	Wet side
32,58	1,1655	8,14.10 <sup>-9</sup>	8,13.10 <sup>-9</sup>	Wet side

Sumber: Data hasil olahan

Sumber: Data hasil olahan

Trend yang terjadi hampir sama dengan kondisi penetrasi air lindi tipe 1. Nilai *hydraulic conductivity* rata-rata 3 hari dan 7 hari tidak terlalu jauh berbeda, selisih terbesar hanya terjadi pada kondisi angka pori tertinggi sekitar  $1,1.10^{-9}$ , sementara untuk porositas di bawah 0,45 tidak memiliki perubahan koefisien yang berarti (dibawah  $0,8.10^{-9}$ ). Untuk kondisi ini perubahan orientasi partikel tanah tidak terlalu besar karena media yang dialirkan tetap. Berbeda dengan hasil yang diperoleh pada tipe 1, perubahan media dapat membuat perubahan “force” serta orientasi partikel. Sementara yang terjadi pada tipe 2 hal yang berpengaruh pada perbedaan porositas masing-masing sampel hanya diakibatkan oleh perbedaan volume pori dan porositas sesuai dengan kondisi kadar air dan tingkat kepadatan dari masing-masing sampel yang diuji.

#### IV. KESIMPULAN

Dari berbagai pengujian, analisis dan pembahasan di atas maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Peningkatan kepadatan hingga mencapai kepadatan maksimum memberikan kecenderungan penurunan nilai  $k$  sampai nilai terkecil pada kepadatan maksimum.
2. Untuk kondisi tanah tipe 1, terjadi penurunan  $k$  rata-rata masing-masing untuk  $k_{rata-rata,s}$  sebesar  $4,27 \cdot 10^{-8}$  pada kondisi *dry side* dan  $5,288 \cdot 10^{-8}$  pada kondisi *wet side*.  
Sementara untuk  $k_{rata-rata,l}$  terjadi penurunan  $k$  sebesar  $4,64 \cdot 10^{-9}$  untuk kondisi *dry side* dan penurunan sebesar  $2,835 \cdot 10^{-8}$  untuk kondisi *wet side*.
3. *Hydraulic Conductivity* tanah pada media air lindi memberikan hasil yang lebih kecil dikarenakan air lindi memiliki parameter kimia yang sangat berbeda dengan air suling sehingga mempengaruhi orientasi partikel serta gaya-gaya antar partikel tanah dan larutan yang mengalami adveksi dan difusi di dalamnya.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis ucapkan kepada Prof. Mary Selintung dan Ir. Iskandar Maricar, M.T yang telah meluangkan banyak waktu untuk berdiskusi terkait metode pengujian dan pemanfaatan hasil penelitian terhadap dampak yang bisa ditimbulkan akibat pencemaran air lindi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, Yulian Firman, dan Noor Endah Mochtar, 2002. *Pengaruh Leacheate Sampah Perkotaan Terhadap Hidrolik Conductivity Clay Liner*, Prosiding Pertemuan Ilmiah Geoteknik (VI) : V1-9
- Arifin, Fauzi, 2001. *Sistem Pengelolaan TPA di Kota Makassar*, Tesis Program Pasca Sarjana UNHAS

- Coduto, Donalad P, 1999. *Geotechnical Engineering: Principal and Practices*, Prentice Hall.
- Qasim, Syed R, and Walter Chiang, 1994. *Sanitary Landfill Leacheate*, Technomic Publishing Company, Inc.
- Rahman, Natalia, dan Nurjannatun, 2006. *Evaluasi Pengelolaan Sampah Padat pada TPA Tamangapa*, Tugas Akhir Teknik Sipil Universitas '45 Makassar
- Rowe, R. Kerry, 2000. *Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Kluwer Academic Publisher, London, 721-729.
- Rollings, Marian.P.PE, and Raymond S. Rollings,JR.PE, 1996. *Geotechnical Materials in Construction*, Mc. Graw Hill, 450-459.
- S. Dutta, and D. Cornell, 1996. *Inter Relationships and Realistics Implication of Soil Leaching Method*, Proceeding of the 3rd International Symposium Environmental Geotechnics, 3(1) : 125-136.
- Shaktour K.M, and Daignault L.G, 1996. *A Study on Factors Affecting the Permeability of Clay Liner*, Proceeding of the 3rd International Symposium Environmental Geotechnics, 3(1) : 255-262.
- Nataraj,M.s, and Sinduvalli, K.L, 1996. *Evaluation of Leakage Rates and Pollutant Transport from Landfill*, Proceeding of the 3rd International Symposium Environmental Geotechnics, 3(1) : 272-281.
- Rowe, R. Kerry, 2009. *System Engineering The Design and Operational of Munifical Solid Waste Landfills to Minimize Contamination of Ground Water*, *Proceeding of International Symposium on Geoenvironmental Engineering in Hangzou China* (p. 3), e-ISBN 978-3-642-04460-1