

# **MODIFIKASI TANAH DENGAN CAMPURAN KAOLINITE DAN BENTONITE DALAM MENGURANGI NILAI PERMEABILITAS (K)**

Dita Indah Lestari <sup>1)</sup>, R. M. Rustamaji <sup>2)</sup>, Eka Priadi <sup>2)</sup>

## **Abstrak**

Peningkatan pertumbuhan penduduk di Kota Pontianak akan mempengaruhi perilaku dan gaya hidup serta pola konsumsi masyarakat. Perubahan tersebut akan berpengaruh pula pada volume dan jenis sampah yang dihasilkan. Tumpukan sampah tersebut juga akan menghasilkan limbah cair yang disebut air lindi yang menimbulkan bau tak sedap. Pengumpulan air lindi dilakukan menggunakan saluran di sekeliling sel sampah. Apabila sistem drainase ini kurang dikelola dan dikontrol dengan baik, maka beberapa bagian drainase akan tersumbat/terhalang oleh sampah terutama pada musim hujan dimana air lindi akan tumpah dan masuk ke dalam parit buatan yang ada didekat TPA dan pada akhirnya masuk dan mencemari sungai, air tanah, dan lingkungan disekitar TPA tersebut. Banyak teknik yang dapat digunakan untuk mencegah penyebaran air lindi ke dalam permukaan/air tanah. Salah satu diantaranya adalah konstruksi penghalang lempung (*clay barrier*) dengan memperhatikan nilai koefisien permeabilitas dari penghalang lempung itu sendiri. Dengan hal itu, penelitian dilakukan dalam rangka untuk mendapatkan nilai koefisien permeabilitas dalam modifikasi tanah menggunakan campuran bentonite dengan permeabilitas menggunakan campuran kaolinite pada benda uji tanah jenuh agar berguna sebagai salah satu upaya dalam menghambat dan mengurangi pencemaran air lindi terhadap permukaan/air tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan meningkatnya kadar kaolinite dan bentonite pada suatu tanah maka akan semakin kecil nilai permeabilitas yang didapatkan, dalam arti air akan semakin sulit untuk melewati pori-pori yang terdapat didalam tanah tersebut.

Kata kunci : permeabilitas, penghalang lempung, sel rowe.

## **1. Pendahuluan**

### **1.1. Latar Belakang**

Kota Pontianak merupakan ibu kota dari Provinsi Kalimantan Barat, Indonesia, dengan jumlah penduduk diperkirakan berkisar ± 651.589 jiwa pada tahun 2014 berdasarkan catatan Direktorat Jenderal Kependudukan & Pencatatan Sipil Kementerian Dalam Negeri. Dengan semakin bertambahnya peningkatan jumlah penduduk di Kota Pontianak, maka akan mempengaruhi perilaku dan gaya hidup serta pola konsumsi masyarakat. Perubahan tersebut akan berpengaruh pula pada volume dan jenis sampah yang dihasilkan. Dimana sampah-sampah tersebut akan diangkut dari tempat penghasil sampah ke Tempat Pembuangan Sementara (TPS) dan kemudian akan dibuang ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Tumpukan sampah tersebut juga akan menghasilkan limbah cair yang disebut air lindi yang menimbulkan bau

tak sedap. Air lindi berasal dari proses perkolas/percampuran (umumnya dari air hujan yang masuk kedalam tumpukan sampah), sehingga bahan-bahan terlarut dari sampah akan terekstraksi atau berbaur.

Pengumpulan air lindi dilakukan menggunakan saluran di sekeliling sel sampah. Apabila sistem drainase ini kurang dikelola dan dikontrol dengan baik, maka beberapa bagian drainase akan tersumbat/terhalang oleh sampah terutama pada musim hujan dimana air lindi akan tumpah dan masuk ke dalam parit buatan yang ada didekat TPA dan pada akhirnya masuk dan mencemari sungai dan air tanah serta tanah disekitar TPA. Terkontaminasinya air adalah sumber perhatian utama ketika tumpukan sampah diletakkan di dekat permukaan/air tanah, dan ketika terjadi rembesan aliran dari tumpukan limbah padat ke permukaan/air tanah.

1. Alumni Prodi Teknik Sipil FT Untan  
2. Dosen prodi Teknik Sipil FT Untan

Banyak teknik yang dapat digunakan untuk mencegah penyebaran air lindi ke dalam permukaan/air tanah. Salah satu diantaranya adalah konstruksi penghalang lempung (*clay barrier*) dengan memperhatikan nilai koefisien permeabilitas dari penghalang lempung itu sendiri.

Permeabilitas tanah merupakan kemampuan tanah dalam mengalirkan air melalui pori tanah. Dimana tanah terdiri dari partikel-partikel padat dengan ronggarongga pori diantaranya. Secara umum, pori-pori tanah saling berhubungan, yang menyebabkan air dapat mengalir melalui pori-pori tersebut.

## 1.2. Rumusan Masalah

- a. Bagaimana karakteristik sifat fisik dan mekanik dari tanah yang digunakan pada penelitian;
- b. Berapa kadar tanah lempung bentonite dan kaolinite yang digunakan sebagai bahan campuran terhadap tanah asli dan tanah pengganti;
- c. Metode permeabilitas apa yang digunakan terhadap campuran bentonite dan campuran kaolinite;
- d. Bagaimana perbedaan antara nilai koefisien permeabilitas menggunakan campuran bentonite dengan nilai permeabilitas menggunakan campuran kaolinite terhadap tanah asli dan tanah pengganti yang diperoleh dari hasil penelitian;

## 1.3. Tujuan Penelitian

Maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai koefisien permeabilitas tanah yang dimodifikasi dengan menggunakan campuran bentonite dan campuran

kaolinite terhadap tanah asli dan tanah pengganti untuk menghambat dan mengurangi pencemaran air lindi terhadap sungai, air tanah, dan lingkungan pada studi kasus TPA Batulayang. Hasil dari penelitian ini diharapkan akan berguna sebagai salah satu upaya dalam menghambat dan mengurangi pencemaran air lindi terhadap permukaan/air tanah.

## 1.4. Pembatasan Masalah

- a. Penelitian menggunakan tanah asli dari TPA Batulayang dan tanah *laterite* (urug) sebagai tanah pengganti dari Peniraman dengan kondisi sampel tanah terganggu (*disturbed soil*);
- b. Sifat-sifat kimia dari benda uji tidak diperiksa;
- c. Tes pemasatan terhadap benda uji dilakukan secara manual dengan *Standart Proctor* untuk memperoleh nilai kadar air maksimum dan kepadatan kering maksimum;
- d. Penggunaan bentonite dan kaolinite sebagai bahan campuran modifikasi tanah hanya ditinjau terhadap nilai pemasatan optimum dan koefisien permeabilitas dengan campuran tanah asli dan tanah pengganti (*laterite*);
- e. Penelitian permeabilitas dilakukan dengan pengujian menggunakan *compaction-mold* dengan memperhitungkan nilai kadar air maksimum dan kepadatan kering maksimum dari pengujian pemasatan standar dengan metode *falling head* serta dengan pengujian menggunakan alat *hydraulic consolidation cell* atau yang biasa dikenal dengan Rowe Cell secara

- vertikal menggunakan satu *back pressure system*;
- f. Pengujian permeabilitas hanya menggunakan air PDAM pada alat *hydraulic consolidation cell*.

## 1.5. Metodologi Penelitian

Proses Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak. Untuk mempermudah proses penelitian, maka perlu dilakukannya tahapan-tahapan penelitian yang meliputi:

- a. Persiapan sampel tanah, yaitu:
  - Tanah asli TPA Batulayang (*organic/peat*)
  - Tanah datang/pengganti (*latosol*) dari Peniraman
  - Tanah kaolinite
  - Tanah bentonite
- b. Pemeriksaan sifat fisik dan mekanik masing-masing tanah  
Pemeriksaan karakteristik fisik tanah meliputi:
  - Pemeriksaan kadar air
  - Pemeriksaan berat jenis tanah
  - Pemeriksaan batas-batas *Atterberg*
  - Pemeriksaan analisa distribusi tanah
- c. Pemeriksaan karakteristik mekanik tanah meliputi:
  - Pengujian pemasatan standar
  - Pengujian permeabilitas (*falling head test*)
- c. Pembuatan benda uji, yang terdiri dari:
  - Campuran tanah asli + 50% kaolinite
  - Campuran tanah asli + 75% kaolinite
  - Campuran tanah asli + 50% bentonite

- Campuran tanah asli + 75% bentonite
- Campuran tanah pengganti + 50% kaolinite
- Campuran tanah pengganti + 75% kaolinite
- Campuran tanah pengganti + 50% bentonite
- Campuran tanah pengganti + 75% bentonite
- d. Pemeriksaan pemasatan terhadap benda-benda uji untuk mendapatkan nilai kadar air optimum dan kepadatan kering maksimum
- e. Pemeriksaan koefisien permeabilitas dengan cara langsung, yakni:
  - *Compaction-mold* secara *falling head*
  - *Consolidation cell* secara *falling head*

## 2. Tinjauan Pustaka

Tanah memiliki rongga-rongga yang saling berhubungan dimana air dapat mengalir dari satu rongga ke rongga lainnya. Dengan mudahnya air mengalir melalui tanah diindikasikan sebagai kemampuan permeabilitas dari tanah itu sendiri (yang biasa dikenal dengan istilah *hydraulic conductivity*). Pasir dan kerikil merupakan material dimana air dapat dengan mudah mengalir melaluiinya, sedangkan lempung secara umum memiliki permeabilitas yang rendah hingga kedap terhadap air. Analisa perawatan dari aliran air tanah sangat penting untuk perencanaan penggalian dibawah muka air, konstruksi bendungan penahan air, dan dinding penahan (*barriers*) (Sarsby, 2013).

Pada kedalaman yang dangkal, rongga-rongga pada partikel tanah mengandung campuran dari gas, biasanya udara, dan air yang berasal dari curah hujan dan salju. Air tersebut berada dalam kondisi berpindah dan bergerak kebawah dengan pengaruh gravitasi atau berada pada suatu posisi tertentu oleh pengaruh kapilaritas. Oleh sebab itu, pada bagian ini, tanah akan sebagian mengalami penjenuhan, tetapi pada kedalaman tertentu rongga-rongga tanah akan terisi sepenuhnya oleh air, dan dibawah kedalaman ini tanah akan menjadi jenuh.

## 2.1. Tanah Lempung

Terdapat tiga mineral lempung utama yang meliputi kaolinite, illite, dan montmorillonite. Kaolinite terbentuk dari perubahan *feldspars*, *feldspathoids*, dan *muscovite* yang merupakan hasil dari pelapukan karena asam. Kaolinite merupakan mineral lempung utama dalam *china clays*, *ball clays*, dan *fireclays* serta merupakan residual terbesar pada tanah deposit. Illite merupakan mineral yang umum disebagaian besar lempung dan *shales*, dan illite sering ditemukan disebagian *tills* dan *loess*, serta jarang ditemukan pada tanah. Illite terbentuk dikarenakan pelapukan dari *feldspars*, mika, dan *ferromagnesium silicates*. Kaolinite dan illite memiliki struktur yang tidak ekspansif sedangkan montmorillonite merupakan tanah ekspansif. Dengan arti lain, montmorillonite memiliki kemampuan dalam mengembang, hal ini dikarenakan montmorillonite dan dengan mudah dalam menyerap air kedalam ruang interlayer pada struktur lapisannya yang memiliki arti bahwa ikatan antara partikelnya sangat lemah. Montmorillonite terbentuk ketika batuan igneous pada daerah dengan kondisi kering yang buruk

mengalami pelapukan. Bentonite merupakan tanah lempung yang termasuk dalam mineral montmorillonite yang memiliki plastisitas yang tinggi dan sering digunakan untuk berbagai macam kegunaan dalam bidang teknik sipil

Salah satu karakteristik utama dari lempung dalam sudut pandang teknik merupakan kelemahan mereka dalam memperlambat perubahan volume yang terjadi dimana dapat menyebabkan pengembangan dan penyusutan. Kemampuan tanah dalam menyerap air menyebabkan pengembangan terhadap tanah, dan ketika tanah tersebut kering disebut dengan penyusutan. Pengembangan pada montmorillonite dapat menyebabkan perubahan volume mencapai 1000% dari volume mula-mula, dan menyebabkan tanah tersebut berubah menjadi gel. Mielenz & King (1955) menunjukkan bahwa pada umumnya kaolinite memiliki kemampuan dalam mengembang yang rata-rata (moderate), dimana pengembangan terjadi pada antar partikel. Sedangkan untuk illite dapat menyembang hingga 15%. Kaolinite dan illite memiliki aktivitas yang tidak aktif sedangkan montmorillonite merupakan tanah dengan aktivitas yang besar. Dimana pada umumnya tanah lempung dengan aktivitas yang relatif besar memiliki kemampuan dalam menyerap air lebih besar. Tanah dengan aktivitas yang tinggi memiliki perubahan volume yang besar ketika kadar air berubah (sebagai contoh tanah akan semakin mengembang dalam kondisi basah dan akan semakin menyusut dalam kondisi kering). Kemampuan suatu tanah dalam mengembang (*swelling*) dan menyusut (*shrinkage*) ditentukan dari tipe dan jumlah mineral lempung yang terdapat dalam tanah tersebut. Pada umumnya, pengembangan dan penyusutan dari suatu

mineral lempung memiliki pola yang sama terhadap indeks plastisitas tanah tersebut, jadi semakin plastis tanah tersebut maka akan semakin tinggi potensi tanah tersebut untuk mengalami penyusutan dan pengembangan

## 2.2. Tanah Tropis

Laterite merupakan residu dari deposit *ferruginous* yang menyerupai lempung dimana pada umumnya terbentuk dibawah lapisan *ferruginous* atau layer dari tanah laterite yang telah mengerasi yang terbentuk dibawah kondisi curah hujan dan temperatur yang tinggi. Laterite pada umumnya mengandung berbagai macam jenis ukuran butir dari lempung hingga bebatuan dan laterite biasanya pada bagian permukaan, batas air dari tanah laterite tidak mencapai 60% dan indeks plastisitasnya kurang dari 30%, dengan arti laterite memiliki plastisitas yang rendah hingga sedang. Aktivitas dari tanah laterite bervariasi dari 0,5 hingga 1,75. Tanah merah atau latosol merupakan residu dari tanah *ferruginous* yang mudah teroksidasi. Tanah tersebut terbentuk dari siklus pelapukan utama dari batuan induk. Tanah merah memiliki sifat seperti lempung namun tidak memiliki *concretion* yang kuat, maka dari itu tanah merah dikategorikan sebagai tanah laterite.

## 2.3. Tanah Gambut

Gambut merupakan akumulasi dari partikel dekomposit dan tanaman-tanaman lapuk yang telah menjadi fosil dibawah kondisi kadar air yang tinggi. Pada sebagian besar gambut, semakin dalam deposit gambut tersebut maka akan memiliki kandungan organik yang tinggi. Angka pori dari gambut berkisar antara 9, dan untuk gambut dengan butiran amorphous yang padat berkisar hingga 25.

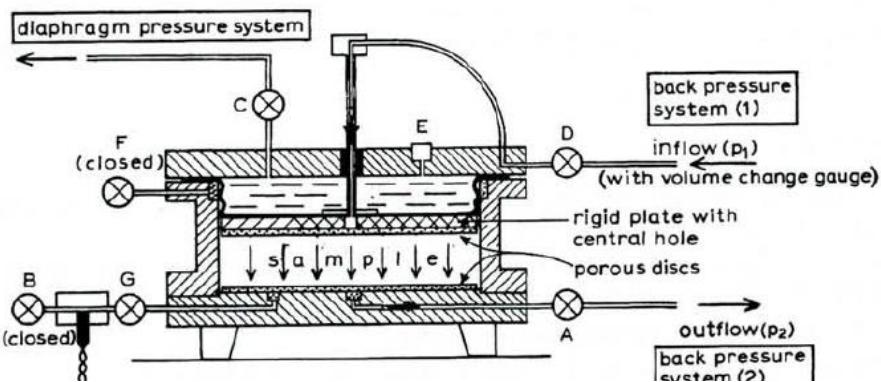
Volume penyusutan dari gambut terjadi hingga batas maksimum dan kemudian akan tetap konstan hingga penurunan maksimum, jumlah penyusutan dari gambut dapat terjadi dari 10% hingga 75% dari volume asli dari gambut itu sendiri, dan akan menyebabkan penurunan angka pori dari 12 ke 2. Karena didapatkan berbagai macam gambut di lapangan, nilai permeabilitas yang dilakukan di laboratorium tidak tepat digunakan. Namun Hanrahan (1979) menunjukkan nilai permeabilitas dari gambut saat pengujian konsolidasi dilakukan bervariasi bergantung dengan beban dan panjang waktu yang digunakan, dimana sebelum pengujian dilakukan gambut memiliki angka pori 12 dengan permeabilitas  $4 \times 10^{-6}$  m/s, sedangkan setelah tujuh bulan dilakukan pengujian dengan beban 55 kPa, gambut memiliki angka pori berkisar 4,5 dengan koefisien permeabilitas sebesar  $8 \times 10^{-11}$  m/s. Hal ini menunjukkan setelah diberikan pembebanan selama tujuh bulan, permeabilitas dari gambut berkurang 50000 kali dari permeabilitas awal.

## 2.4. Permeabilitas

Rowe cell dapat digunakan untuk mengukur koefisien permeabilitas secara langsung secara vertikal maupun horizontal (Gambar 2.1). Dari itu, alat tersebut digunakan untuk menguji tanah yang mengandung bahan lain yang dapat mempengaruhi permeabilitas itu sendiri (Contohnya akar-akar yang membusuk, laminasi horizontal). Alat ini juga dapat digunakan untuk pengetesan terhadap material yang telah dipadatkan, dimana pada kasus ini pemanatan dilakukan langsung terhadap badan sel sehingga tidak akan menyisakan rongga-rongga antara sampel dan badan sel. Alat ini dikembangkan untuk tes konsolidasi

terhadap tanah. Pada rowe cell, sampel biasanya memiliki ukuran 250 mm untuk diameter dan dengan ketebalan 100 mm, yang dimana biasanya sampel diperoleh dari deposit yang dangkal. Kemampuan untuk mendapatkan jenuh sempurna pada sampel (dengan memberikan tekanan balik) sangat dapat dilakukan. Terdapat berbagai kondisi aliran yang dapat diaplikasikan: secara vertikal (satu arah atau dua arah)

atau secara radial (masuk ke bagian tengah sand drain atau keluar ke peripheral porous lining). Dengan tambahan untuk mengukur koefisien konsolidasi secara vertikal ataupun horizontal, Rowe cell dapat juga digunakan untuk menentukan koefisien permeabilitas secara vertikal dan horizontal secara langsung dibawah tekanan efektif yang benar.



Gambar 1. Pengujian permeabilitas arah vertikal menggunakan alat rowe cell  
(Head, 1994)

### 3. Hasil & Analisa

#### 3.1. Pengujian Karakteristik Sifat Fisik & Mekanik Tanah

Sebelum dilakukannya pengujian permeabilitas, perlu diketahui karakteristik fisik dan mekanik masing-masing tanah yang akan digunakan. Dimana pengujian sifat fisik terhadap masing-masing tanah meliputi pemeriksaan kadar air, berat jenis,

batas atterberg, hidrometer dan analisa distribusi tanah, dengan sifat mekanik terhadap masing-masing tanah yang meliputi pemeriksaan pemasangan dan permeabilitas. Serta dilakukannya pengujian CEC atau Cation Exchange Capacity untuk mengetahui total kapasitas dari tanah dalam menangkap ion-ion positif.

Tabel 1. Hasil pemeriksaan karakteristik sifat fisik dan mekanik tanah

Pengujian	Satuan	Tanah Asli TPA Batulayang*	Tanah Pengganti Peniraman	Kaolinite	Bentonite (Artificial)
Kadar Air	%	330.23	30.36	177.05	NP
Berat Jenis		1.5	1.85	2.08	2.02
<b>Batas-batas Atterberg</b>					
Batas Cair	%	261.67	40.25	351.75	358.47
Batas Plastis	%	121.33	25.27	124.15	25.02
Indeks Plastisitas	%	140.34	14.98	227.6	333.45
<b>Pemasangan</b>					
Kadar Air Optimum	%	97	22.5	34.4	42.4
Kepadatan Kering Maksimum	gr/cm <sup>3</sup>	0.55	1.54	1.12	0.99

<b>Konduktivitas Hidrolik dengan kondisi dipadatkan (compacted)</b>					
$K_{unsat}$ (compaction-mold)	m/s	3.96E-08	1.37E-08	1.23E-09	4.83E-09
$K_{sat}$ (consolidation cell)	m/s	2.1E-10	8.5E-10	3.7E-13	2.4E-12
<b>Klasifikasi Tanah</b>					
USDA	Loamy Sand	Loam	Clay	Silty Clay	
AASHTO	A-2-7	A-7-6	A-7-5	A-7-6	
USCS	PT	ML	MH	MH	
Pasir	%	79	48	6	3
MIT	Lanau	%	19	21	45
	Lempung	%	2	31	52
Cation Exchange Capacity (CEC)	cmol <sup>+</sup> /kg	89.43	10.85	13.17	10.03

\* selected - compacted

Dari Tabel 1 didapatkan bahwa tanah asli dari TPA Batulayang berada di kategori loamy sand untuk klasifikasi secara USDA, dan masuk dalam kategori A-2-7 dalam klasifikasi secara AASHTO dengan kadar pasir sebesar 79%, lanau 19%, dan lempung 2% dimana partikel yang memiliki ukuran sebesar 0,06 – 2,00 mm bukan merupakan material pasir, namun material yang berasal dari akar-akar dan batang-batang tanaman yang terdapat di tanah gambut tersebut, sehingga klasifikasi menggunakan USDA, AASHTO, dan MIT kurang tepat digunakan untuk tanah gambut.

Untuk klasifikasi secara USCS didapatkan bahwa tanah dari TPA Batulayang masuk dalam kategori PT (*peat*), dimana tanah memiliki warna yang gelap dan memiliki bau khas tanah organik. Von Post (1922) menyatakan bahwa gambut (*peat*) terbagi menjadi tiga kategori, dan tanah asli dari TPA Batulayang merupakan kategori *amorphous peat*, dimana tanah memiliki kelembaban yang sangat tinggi (Lihat pemeriksaan kadar air) dan memiliki warna cokelat kehitaman hingga hitam. Jika tanah digenggam maka lebih dari setengah material akan keluar melewati

jari-jari tanpa ada air yang merembes dan menyisakan beberapa komponen padat di tangan, seperti akar-akar dan batang-batang tanaman. Pada pengujian permeabilitas terhadap tanah asli TPA Batulayang dengan kondisi tanah telah dipadatkan dalam kondisi optimum didapatkan nilai permeabilitas sebesar  $3,96 \times 10^{-8}$  m/s (untuk tanah tidak jenuh) dan sebesar  $2,103 \times 10^{-10}$  m/s (untuk tanah yang sudah dijenuhkan).

Environment Protection Authority (EPA) NSW (2016) memberikan persyaratan dalam pembuatan penghalang air lindi, dimana salah satu tipe penghalang harus menggunakan material lempung (clay) dengan ketebalan setelah dipadatkan harus lebih dari 1000 mm dan koefisien permeabilitas lapangan kurang dari  $10^{-9}$  m/s. Meskipun tanah asli TPA Batulayang memiliki nilai koefisien permeabilitas yang memenuhi untuk syarat diatas, namun tanah asli TPA Batulayang bukan merupakan tanah lempung, namun tanah gambut. Dimana sudah banyak diketahui bahwa tanah gambut merupakan tanah yang mudah terbakar, dan bila gambut dijadikan lapisan penghalang air lindi tanpa menggunakan campuran tanah lainnya, maka jika terjadi kebakaran

sewaktu-waktu, lapisan penghalang air lindi tersebut akan ikut terbakar dan dengan mudahnya air lindi akan masuk mencemari air tanah dan lingkungan disekitar TPA tersebut.

### 3.2. Pembuatan Benda Uji

Setelah didapatkannya data karakteristik sifat fisik dan mekanik masing-masing tanah, kemudian dilakukan pembuatan sampel benda uji yang terdiri

dari 8 benda uji. Dimana 4 diantaranya menggunakan tanah asli dari TPA Batulayang, dan 4 lainnya menggunakan tanah pengganti dari Peniraman sebagai alternatif. Dimana masing-masing tanah dari TPA Batulayang dan Peniraman dicampur dengan kadar kaolinite dan bentonite sebanyak 50% dan 75% dari banyak tanah TPA Batulayang dan tanah Peniraman yang digunakan.

Tabel 2. Presentase campuran benda uji

Nomor Sampel	Tanah			
	Tanah Asli TPA Batulayang	Tanah Pengganti Peniraman	Kaolinite	Bentonite
1	100%		50%	
2	100%		75%	
3	100%			50%
4	100%			75%
5		100%	50%	
6		100%	75%	
7		100%		50%
8		100%		75%

Setelah campuran benda uji dibuat, dilakukan pengujian pemedatan secara standar proctor untuk mendapatkan nilai

kadar air optimum dan berat kering maksimum yang akan digunakan untuk pengujian permeabilitas.

Tabel 3. Hasil pengujian pemedatan secara *standard proctor* terhadap benda uji

Nomor Sampel	Kadar Air Optimum	Kepadatan Kering Maksimum
	%	gr/cm <sup>3</sup>
1	54.35	0.753
2	57.74	0.729
3	54.40	0.751
4	56.10	0.713
5	29.10	1.511
6	30.30	1.402
7	21.80	1.411
8	22.70	1.39

### **3.3. Pengujian Permeabilitas Menggunakan Compaction-mold secara Falling Head**

Pengujian permeabilitas menggunakan compaction-mold dimana

tanah dipadatkan dengan kadar air optimum dan berat kering maksimum yang telah didapatkan dari pengujian pemandatan dengan standar proctor.

Tabel 4. Nilai koefisien permeabilitas yang diuji menggunakan *compaction-mold permeameter* secara *falling-head*

Nomor Sampel	$k_{unsat} 20^{\circ}\text{C}$	
	cm/s	m/s
1	3.45902E-07	3.45902E-09
2	2.35522E-07	2.35522E-09
3	6.43265E-06	6.43265E-08
4	9.94488E-08	9.94488E-10
5	9.75165E-08	9.75165E-10
6	1.32864E-08	1.32864E-10
7	2.29393E-07	2.29393E-09
8	1.11543E-07	1.11543E-09

Selama pengujian  $\pm 2$  minggu pada masing-masing benda uji, didapatkan masalah, yaitu air PDAM yang digunakan sebagai cairan untuk permeabilitas tidak keluar dari keran outlet yang tersedia. Hal ini menunjukkan benda uji belum dalam keadaan jenuh sempurna, dimana koefisien permeabilitas yang didapatkan bukan merupakan kemampuan tanah dalam mengalirkan air melalui pori-nya, karena air yang mengalir pada benda uji masih mengisi pori-pori tanah yang kosong, sehingga nilai koefisien permeabilitas yang diperoleh dapat berubah sewaktu-waktu. Dari hal tersebut, pengujian permeabilitas menggunakan air lindi dari TPA Batulayang tidak dapat dilakukan, karena diperlukannya jangka waktu yang lama untuk air lindi keluar dari keran outlet yang tersedia.

### **3.4. Pengujian Permeabilitas Menggunakan Consolidation-cell (Rowe Cell) secara Falling Head**

Maka dari itu diperlukannya pengujian permeabilitas untuk tanah yang jenuh sempurna menggunakan alat consolidation-cell yang lebih dikenal dengan istilah rowe cell. Pada pengujian permeabilitas menggunakan rowe cell, benda uji dipersiapkan dengan kondisi kadar air optimum, berat kering maksimum, dan energi yang sama pada persiapan benda uji untuk permeabilitas secara compaction-mold. Dimana benda uji perlu dijenuhkan dan dikonsolidasikan terlebih dahulu sebelum dilakukannya pengujian permeabilitas. Dan didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 5. Hasil pengujian permeabilitas menggunakan alat consolidation cell (Rowe Cell)

Benda Uji			Tanah Asli (TA)	Tanah Pengganti (TP)	Kaolinite (K)	Bentonite (B)	1 (TA + K 50)	2 (TA + K 75)
Penjenuhan	Penyusutan	mL	25.5	23.5	3.7	13	37.3	16.4
	Pengembangan		14	65.6	14.6	34	24.6	29.5
	Perubahan Volume		11.5	42.1	10.9	21	12.7	13.1
Permeabilitas	Maksimum	m/s	2.677E-10	1.116E-09	1.275E-12	3.983E-12	4.622E-11	3.187E-12
	Minimum		2.018E-10	9.325E-10	7.967E-14	1.275E-12	1.061E-12	1.673E-12
	Rata-rata ( $k_{sat}$ )		2.528E-10	1.027E-09	4.439E-13	2.845E-12	8.766E-12	2.618E-12
	Koreksi Temperatur ( $k_{sat} 20^\circ$ )		2.103E-10	8.543E-10	3.692E-13	2.367E-12	7.291E-12	2.177E-12
Berat Benda Uji	Sebelum	g	101.453	169.383	110.114	115.675	107.93	95
	Setelah		114.091	179.035	105.462	113.53	132.59	120
Tinggi Benda Uji	Sebelum	mm	25	25	25	25	25	25
	Setelah		25.25	26.75	22.1	24.24	23.5	22.55

Benda Uji			3 (TA + B 50)	4 (TA + B 75)	5 (TP + K 50)	6 (TP + K 75)	7 (TP + B 50)	8 (TP + B 75)
Penjenuhan	Penyusutan	mL	32.7	14.1	39.5	19.7	18.5	62.4
	Pengembangan		27.5	44.9	24.1	39.8	35.5	21.5
	Perubahan Volume		5.2	30.8	15.4	20.1	17	40.9
Permeabilitas	Maksimum	m/s	2.648E-10	9.560E-12	2.836E-11	4.780E-12	5.741E-11	7.967E-12
	Minimum		2.323E-10	6.375E-13	3.030E-12	3.187E-14	3.989E-12	6.374E-14
	Rata-rata ( $k_{sat}$ )		2.501E-10	3.620E-12	1.113E-11	1.177E-12	3.669E-11	2.297E-12
	Koreksi Temperatur ( $k_{sat} 20^\circ$ )		2.080E-10	3.011E-12	9.262E-12	9.789E-13	3.052E-11	1.910E-12
Berat Benda Uji	Sebelum	g	110	99.654	149.24	153.9	147.728	145
	Setelah		114.757	131.266	175.82	192.14	176.811	180.089
Tinggi Benda Uji	Sebelum	mm	25	25	25	25	25	25
	Setelah		17	23	26.45	27.15	25.45	27.7

Dari empat tanah yang digunakan, didapatkan bahwa tanah kaolinite memiliki koefisien permeabilitas paling rendah yaitu sebesar  $3,692 \times 10^{-13}$  m/s, sedangkan tanah pengganti dari Peniraman memiliki koefisien permeabilitas paling tinggi yaitu sebesar  $8,543 \times 10^{-10}$  m/s.

Dan dari delapan benda uji, didapatkan perbedaan yang cukup signifikan terhadap campuran tanah dengan kaolinite atau bentonite sebesar 50% dan 75%. Dimana pada tanah yang memiliki campuran kaolinite atau

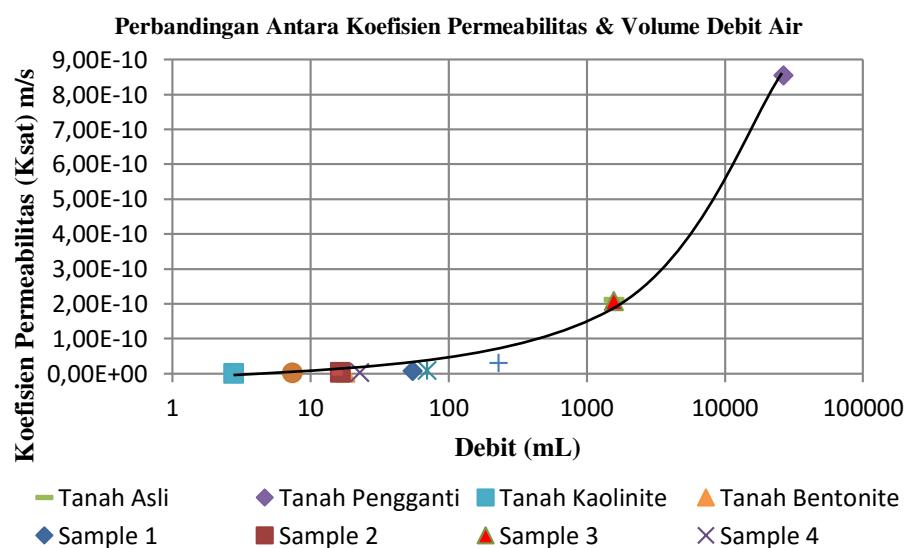
bentonite sebesar 75% memiliki koefisien yang lebih rendah dibanding dengan tanah yang memiliki campuran sebesar 50%, hal ini menunjukkan bahwa semakin besar kadar lempung dari suatu tanah maka akan semakin sulit untuk mengalirkan air melewati pori-porinya.

Dari tabel tersebut didapatkan bahwa benda uji nomor 6 yang merupakan campuran tanah pengganti dari Peniraman dengan kadar kaolinite sebesar 75% mempunyai koefisien permeabilitas yang paling rendah yaitu sebesar  $9,789 \times 10^{-13}$

m/s, sedangkan benda uji nomor 3 yang merupakan campuran dari tanah asli TPA Batulayang dengan kadar bentonite sebesar 50% memiliki koefisien permeabilitas tersebut yaitu  $2,080 \times 10^{-10}$  m/s.

Ditemukan juga perbedaan berat dan tinggi pada contoh benda uji setelah dilakukan pengujian. Dimana benda uji mengalami kenaikan berat setelah pengujian dilakukan, hal ini menunjukkan bahwa pori-pori yang dahulunya terisi oleh udara telah tergantikan dengan air, yang menyebabkan benda uji dalam keadaan jenuh sempurna. Pada sebelum pengujian masing-masing benda uji memiliki ketinggian  $\pm 25$  mm, dan ditemukan

bahwa pada benda uji dengan campuran tanah asli TPA Batulayang mengalami penurunan tinggi setelah pengujian selesai dilaksanakan, sedangkan untuk benda uji dengan campuran tanah pengganti Peniraman mengalami kenaikan ketinggian benda uji setelah selesai dilakukan pengujian, hal ini dikarenakan perbedaan karakteristik tanah utama yang digunakan sebagai bahan campuran. Dimana pada penggunaan tanah asli TPA Batulayang merupakan tanah gambut, sedangkan untuk penggunaan tanah pengganti dari Peniraman merupakan tanah merah yang memiliki sifat seperti lempung namun bukan masuk dari kategori lempung.



Gambar 2. Grafik perbandingan nilai koefisien permeabilitas untuk benda uji jenuh dengan volume debit air yang mengalir melaluiinya

Dari Gambar 3.1 didapatkan bahwa tanah pengganti dari Peniraman memiliki koefisien permeabilitas yang paling besar yaitu sebesar  $8.543 \times 10^{-10}$  m/s dengan volume debit rata-rata sebesar  $26421,43$  cm<sup>3</sup> tiap menitnya, hal ini menunjukkan bahwa air dapat mengalir melalui pori-pori tanah pengganti dari Peniraman dengan mudah. Sedangkan koefisien permeabilitas tanah asli TPA Batulayang memiliki

koefisien permeabilitas dan volume debit rata-rata yang tidak jauh berbeda terhadap benda uji nomor 3 yang merupakan campuran tanah asli TPA Batulayang dengan kadar bentonite sebesar 50% dengan nilai koefisien permeabilitas masing-masing sebesar  $2,103 \times 10^{-10}$  m/s dan  $2,080 \times 10^{-10}$  m/s serta dengan volume debit rata-rata sebesar  $1584,714$  cm<sup>3</sup> tiap menitnya dan  $1567,57$  cm<sup>3</sup> tiap menitnya,

sehingga penggunaan bentonite sebesar 50% terhadap tanah asli TPA Batulayang tidak cukup memberikan perbedaan yang signifikan dengan tanah asli TPA Batulayang tanpa campuran apapun.

### 3.5. Penerapan Hasil Pengujian di Lapangan

Setelah dilakukannya pengujian permeabilitas dengan kondisi tanah dipadatkan dan jenuh ( $\pm 0,95$ ) terhadap tanah asli dari TPA Batulayang yang merupakan tanah gambut (peat) dan tanah datang dari Peniraman sebagai tanah pengganti yang merupakan tanah merah (laterite/latosol) dengan campuran tanah kaolinite dan bentonite, didapatkan beberapa kelemahan yaitu dimana tanah gambut merupakan tanah dengan kondisi mudah terbakar, sehingga jika tanah gambut digunakan sebagai bahan lapisan penghalang air lindi dan sewaktu-waktu terjadi kebakaran maka sistem lapisan dari tanah gambut tersebut akan ikut terbakar dan menyebabkan lapisan akan rusak dan air lindi akan dengan mudahnya masuk kedalam air tanah dan mencemari lingkungan disekitar.

Terdapat pula kelemahan terhadap penggunaan tanah datang (laterite) sebagai penghalang air lindi, dimana diperlukannya tanah datang dalam jumlah yang cukup besar sebagai pengganti (replacement) dari tanah asli di TPA Batulayang. Lapisan penghalang lempung dari campuran kaolinite dan bentonite dengan ketebalan lebih dari 1000 mm saja tidak cukup digunakan sebagai penghalang air lindi untuk masuk dan mencemari air tanah serta lingkungan disekitar. Untuk jangka waktu yang lama, diperlukannya juga lapisan seperti geomembrane, *geosyntethic clay liners*, *geotextiles*, serta

sistem drainase yang baik agar air tanah tidak tercemari oleh air lindi.

### 4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan analisa data yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a. Dari pengujian karakteristik sifat fisik dan mekanik masing-masing tanah yang digunakan untuk bahan campuran, pengklasifikasian dari tanah asli TPA Batulayang tidak cocok menggunakan klasifikasi USDA, AASHTO, dan MIT. Pengklasifikasian dapat menggunakan metode USCS dimana dengan memperhatikan warna serta plastisitas dari tanah tersebut;
- b. Nilai koefisien permeabilitas harus diperoleh dari pengujian permeabilitas pada tanah dalam kondisi jenuh, karena koefisien permeabilitas yang didapatkan pada benda uji yang tidak jenuh dapat berubah sewaktu-waktu dikarenakan air masih mengisi rongga-rongga pori tanah yang kosong atau terisi udara yang terdapat pada benda uji.
- c. Benda uji dengan campuran bentonite 50% dan 75% terhadap tanah asli TPA Batulayang dan tanah datang Peniraman memiliki koefisien permeabilitas yang besar dibandingkan dengan benda uji dengan campuran kaolinite 50% dan 75% pada tanah yang sama, hal ini disebabkan karena bentonite merupakan tanah dalam kategori montmorillonite yang berarti bahwa bentonite memiliki aktivitas yang lebih tinggi dengan kemampuan untuk menyusut dan

mengembang sangat besar dibandingkan dengan tanah kaolinite, dengan arti aktivitas yang tinggi akan mempengaruhi nilai koefisien permeabilitas yang didapatkan, karena air akan dengan mudahnya memasuki pori-pori dari tanah tersebut;

d. Nilai koefisien permeabilitas mengalami penurunan dengan kenaikan kadar lempung yang digunakan sebagai bahan campuran pada tanah asli TPA Batulayang dan tanah pengganti dari Peniraman, hal ini disebabkan karena tanah kaolinite dan bentonite memiliki kemampuan menahan air untuk mengalir melewati pori-pori tanah, sehingga penggunaan kaolinite dan bentonite sebagai penghalang air lindi untuk masuk ke dalam permukaan/air tanah dapat digunakan.

## 5. Daftar Pustaka

- Bell, F.G., 1983. *Engineering Properties of Soils and Rocks.*, Second Edition, Butterworth & Co. London, UK.
- ELE International (1990). *Operating Instructions for ELE/Rowe-Type Consolidation Cells.*, 9901X0075 Issue 5. ELE International Ltd.
- EPA NSW. (2016) "Environmental Guidelines: Solid Waste Landfill", Environment Protection Authority.
- Hazelton PA, Murphy BW (2007) *Interpreting Soil Test Results: What Do All The Numbers Mean?*. CSIRO Publishing: Melbourne.
- Head, K.H. 1994. *Manual of Soil Laboratory Testing Volume 2 Permeability, Shear Strength & Compressibility Tests* Second Edition. John Wiley & Sons, Inc, New York, USA.
- Head, K.H. 1998. *Manual of Soil Laboratory Testing Volume 3 Effective Stress Tests* Second Edition. John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, UK.
- Knappett, J.A Craig R.F *Craig's Soil Mechanics* Eighth Edition 2012 Spon Press 2 Park Square, Milton Park, Abingdon, Oxon OX14 4RN
- Mitchell, J.K. 2005, *Fundamentals of Soil Behaviour*, Third Edition, John Wiley & Sons Inc., New York.
- Rowe, P.W, Barden, L. 1966. *A New consolidation cell*. Géotechnique 16(6): pp. 162-170.
- Sarsby, Robert W. 2013. *Environmental Geotechnics* Second Edition. ICE Publishing, One Great George Street, Westminster, London SW1P 3AA.