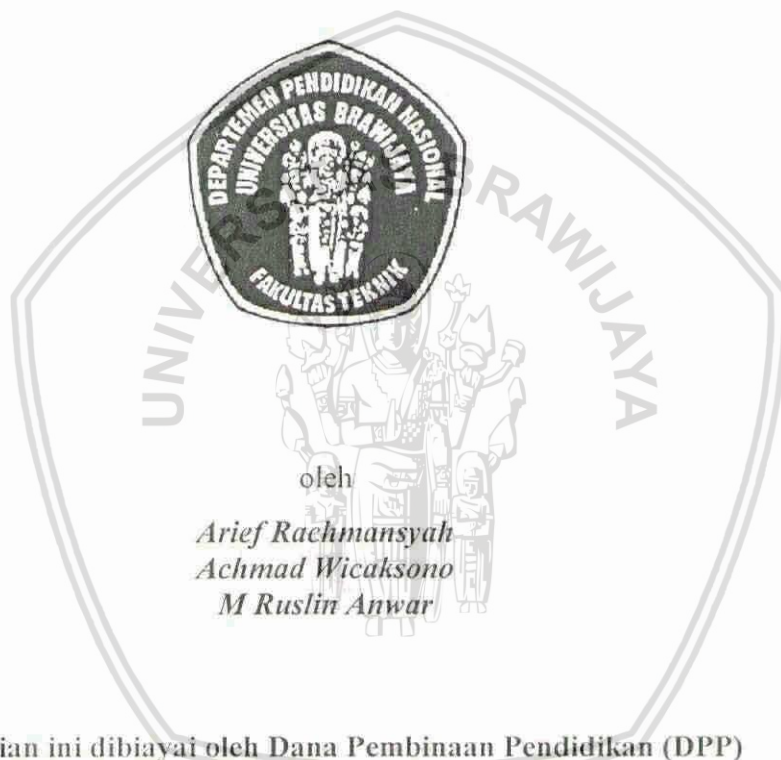


0900314

LAPORAN PENELITIAN

**Pengujian Sedimen Lempung dari daerah Surabaya  
sebagai Bahan Pembuatan "Liner"**

*(Evaluation of Clay Sediment from Surabaya Region as Mineral Sealing Material)*



oleh

*Arief Rachmansyah  
Achmad Wicaksono  
M Ruslin Anwar*

Penelitian ini dibiayai oleh Dana Pembinaan Pendidikan (DPP)  
Universitas Brawijaya dengan Kontrak nomor: 133/J10.1.31/PG/2001  
Tanggal 29 Mei 2001

**Universitas Brawijaya  
Fakultas Teknik  
Malang  
2001**

HALAMAN PENGESAHAN

USULAN PENELITIAN

1. Umum
  - a. Judul Penelitian : Pengujian Sedimen Lempung dari Daerah Surabaya sebagai Bahan Pembuatan "Liner" (*Evaluation of Clay Sediment from Surabaya Region as Mineral Sealing Material*)
  - b. Bidang Ilmu : Teknik
  - c. Katergori Penelitian : 1
  
2. Ketua Peneliti
  - a. Nama lengkap dan gelar : Dr. Ir. Arief Rachmansyah
  - b. NIP : 132 059 302
  - c. Golongan : Penata muda/ IIIa
  - d. Jabatan Fungsional : Asisten Ahli Madya
  - e. Jabatan Struktural : -
  - f. Fakultas / Jurusan : Teknik/ Teknik Sipil
  
3. Anggota Tim Peneliti : 2 orang
  - a. Anggota 1 : Ir. Achmad Wicaksono, M.Eng. PhD.
  - b. Anggota 2 : Ir. M. Ruslin Anwar, Msi
  
4. Lokasi Penelitian : Laboratorium Mekanika Tanah  
Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
  
5. Lama Penelitian : 6 bulan
  
6. Biaya Penelitian : Rp. 2.930.000,- (dua juta sembilan ratus tiga puluh ribu rupiah)
  
7. Sumber Dana : DPP SPP

Malang, 10 Nopember 2001

Mengetahui  
Ketua BPP FT Unibraw

Ketua Tim Penelitian

Dr. Ir. Arief Rachmansyah  
NIP. 132 059 302

Dr. Ir. Arief Rachmansyah  
NIP. 132 059 302



Mengetahui  
Dekan Fakultas Teknik Unibraw

Prof. Dr. Soehardiono, Dipl. HE. MPd.  
NIP. 131 350 752



## KATA PENGANTAR

Laporan ini disusun dalam rangka memenuhi kontrak penelitian nomor 133/J.10.1.31/PG/2001 tanggal 29 Mei 2001 antara penulis dengan Dekan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Biaya penelitian ini berasal dari Dana Pengembangan Pendidikan (DPP SPP)

Ucapan terima kasih penulis sampaikan pada semua pihak yang telah membantu selama penelitian sampai tersusunnya laporan ini. Ucapan terima kasih secara khusus penulis sampaikan pada saudara Bahrul dan Reckie yang banyak membantu mempersiapkan naskah laporan ini.

Malang, 10 Nopember 2001

Tim Peneliti



## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	
KATA PENGANTAR	
DAFTAR ISI	
IKHTISAR	
ABSTRACT	
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang Masalah .....	1
1.2. Tujuan dan Manfaat Penelitian .....	3
BAB II KAJIAN TEORI .....	4
2.1. Umum .....	4
2.1.1. Klasifikasi Tempat Penimbunan Akhir .....	4
2.1.2. Perencanaan TPA .....	6
2.2. Sedimen Lempung .....	8
2.2.1. Komposisi Sedimen Lempung .....	9
BAB III METODE PENELITIAN .....	15
3.1. Bahan Penelitian .....	15
3.2. Peralatan Penelitian dan Cara Pengujian .....	15
3.3. Pelaksanaan Penelitian .....	15
3.4. Analisa Data .....	16
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	17
4.1. Asal dan Ganesa Sedimen Lempung .....	17
4.2. Komposisi .....	18
4.2.1. Komposisi Mineral .....	18
4.2.2. Komposisi Kimia .....	18
4.2.3. pH .....	20
4.3. Sifat Fisik .....	20
4.3.1. Ukuran Butir .....	20
4.3.2. Berat Jenis Butiran .....	21

4.3.3. Angka Keliatan ( <i>plasticity index</i> ) dan Batas Susut .....	22
4.3.4. Kemampuan Menyerap Air .....	23
4.3.5. Berat Isi Kering dan Kandungan Air Optimum .....	23
4.4. Sifat Mekanis Tanah .....	24
4.4.1. Uji Kuat Geser Langsung .....	25
4.4.2. Uji Uniaxial (Unconfined Compression Test) .....	25
4.5. Pemasatan dan Permeabilitas .....	26
4.6. Penilaian .....	30
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	34
5.1. Kesimpulan .....	34
5.2. Saran .....	34
DAFTAR PUSTAKA	



## IKHTISAR

### Evaluasi Sedimen Lempung dari Daerah Surabaya sebagai Bahan Pembuatan Liner

Pembangunan tempat penimbunan akhir (TPA) sampah pada dasarnya merupakan gangguan terhadap lingkungan secara keseluruhan. Konsep multi barrier atau banyak pengaman dapat digunakan untuk menghindari dan menurunkan dampak pencemaran terhadap lingkungan hidup.

Lempung dan mineral lempung selain dapat berfungsi sebagai barrier geologi, juga dapat digunakan untuk bahan pembuatan liner yang baik. Untuk mengetahui karakteristik penting sedimen lempung sebagai bahan pembuatan liner diperlukan beberapa pengujian, yakni: komposisi mineral dan kimia, sifat fisik, sifat mekanis, sifat pemadatan dan mekanisme transport zat pencemar yang meliputi adveksi, difusi dan sorpsi.

Dalam penelitian ini akan dibahas dan disiskusikan hasil pengujian tiga macam sedimen lempung dari daerah Surabaya dan Sekitarnya (Kedamean, Karangpilang dan Warugunung). Dari hasil pengujian keempat parameter utama menunjukkan bahwa, ketiga sedimen lempung yang diuji layak untuk bahan pembuatan liner.



#### ABSTRACT

#### *Evaluation of Clay Sediments from Surabaya Region as Mineral Sealing Material*

*Waste disposal sites have principally an environmental impact and effect to the ecological balance. To protect the environment and decrease the contamination potential of such sites, a multiple barrier concept should be introduce.*

*Clay and clay mineral is the best geological barrier and can be used as mineral sealing material. The important criteria for the evaluation of clayey sediments as mineral sealing material may be determined from the result of different geotechnical test: mineralogical and chemical composition, physical properties, soil mechanics properties and transport mechanism.*

*In this report the result of such test which were carried out on three different types of clayey sediments (Kedamean, Karangpilang and Warugunung) are presented and discussed. Based on the result of the fourth parameter, the selected clayey sediments are suitable as mineral sealing material for waste disposal.*

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang Masalah

Gaya hidup konsumerisme yang melanda masyarakat terutama yang tinggal di perkotaan pada satu sisi berhasil memacu pertumbuhan ekonomi maupun kreativitas untuk menghasilkan produk baru. Pada sisi lain gaya hidup tersebut berakibat pada peningkatan jumlah sampah perkotaan yang sangat tajam. Yang cukup menggembirakan perkembangan tersebut diikuti dengan tumbuhnya kesadaran terhadap keseimbangan lingkungan hidup dan konservasi sumberdaya alam.

Perhatian berbagai ahli pada penanganan sampah ditandai dengan kemunculan cabang ilmu dan teknologi baru yang terkait dengan permasalahan tersebut. Puncak dari perhatian tersebut adalah ditetapkannya berbagai peraturan perundangan tentang pengelolaan sampah perkotaan di berbagai negara industri pada pertengahan tahun 90-an. Peraturan ini kemudian disusul dengan kehadiran petunjuk dan saran teknis maupun baku mutu pengelolaan yang disusun oleh berbagai asosiasi keahlian. Dalam bidang pendidikan penanganan sampah telah menjadi mata kuliah yang populer dan penelitian yang terkait dengan penanganan sampah semakin meningkat.

#### *Sampah Perkotaan*

Sampah perkotaan pada umumnya bersifat padat, sehingga sering disebut *municipal solid waste*. Dalam beberapa literatur maupun peraturan perundangan di berbagai negara terdapat kesamaan pengertian, bahwa sampah perkotaan adalah sampah yang berasal dari kawasan pemukiman, kawasan komersial yang didalamnya termasuk daerah perdagangan, hotel, rumah sakit dsb, sampah industri yang kualitasnya sama dengan sampah dari kawasan pemukiman dan sampah hasil hancuran bangunan serta hasil pembersihan jalan. Lumpur dari septic tank dan hasil pengerukan saluran buangan perkotaan tidak termasuk dalam sampah perkotaan. Jumlah, komposisi dan sifat sampah

yang dihasilkan suatu kota atau negara dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti pertumbuhan penduduk, pendapatan masyarakat, kegiatan ekonomi dan budaya masyarakat.

Karena sifatnya yang sangat beragam, sampah perkotaan menjadi perhatian utama berbagai ahli. Berikut adalah beberapa alasan yang dapat menjelaskan pentingnya penanganan sampah perkotaan.

1. Masalah sampah perkotaan ini dihadapi oleh semua negara dalam berbagai tingkatan pemerintah, terutama pemerintahan kota atau setingkat kabupaten.
2. Sampah perkotaan dihasilkan oleh hampir semua kegiatan manusia dalam rangka memenuhi kebutuhan hidupnya.
3. Meskipun dari segi jumlah atau volume sampah perkotaan lebih kecil dari sampah hasil kegiatan pertambangan, tetapi sampah perkotaan lebih rumit penanganannya.
4. Sampah perkotaan mempunyai komposisi yang sangat beragam, baik dari segi komposisi padatan, kimia maupun biologis, sehingga pencemaran yang diakibatkannya juga sangat beragam.

### *Teknologi Penimbunan Sampah Perkotaan*

Jika tidak dikelola dengan baik, maka timbunan sampah perkotaan dapat menimbulkan dampak negatif, antara lain:

- pencemaran sistem perairan (air tanah dan permukaan) akibat larutan yang mengandung logam berat, seperti Cadmium, Timbal dsb.
- penurunan kualitas tanah, karena tercampur logam berat dan larutan asam
- keindahan pemandangan alam menjadi rusak
- terjadi ledakan gas dan kebakaran
- gangguan kesehatan manusia, akibat bau busuk dan penyebaran penyakit oleh serangga atau keluarga burung



Untuk menghindari pencemaran tersebut dikenalkan konsep multi pengaman (*multi barrier concept*). Barrier tersebut terdiri dari timbunan sampah, barrier geologi dan barrier teknis. Karena sifatnya yang khas, seperti permeabilitas rendah, reaktifitas kimia atau sorpsi terhadap bahan pencemar (*pollutant*) yang sangat tinggi dan plastis, sedimen lempung dapat dimanfaatkan sebagai barrier geologi maupun bahan pembuatan barrier teknis.

## 1.2. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kelayakan sedimen lempung yang dijumpai di daerah Surabaya dan sekitarnya sebagai bahan pembuatan liner.

Dengan mengetahui sifat-sifat sedimen lempung yang dijumpai, maka akan diketahui pula kelayakan sedimen lempung untuk bahan pembuatan liner. Jika pembangunan TPAS di daerah Surabaya dan sekitarnya dapat memanfaatkan tanah / sedimen lempung yang terdapat di sekitar rencana lokasi, maka biaya pembangunan dapat dihemat.

## BAB II KAJIAN TEORI

### 2.1. Umum

Tempat Penimbunan Akhir (*Final Disposal Site*), selanjutnya disebut TPA, pada awalnya diartikan sebagai lahan untuk menimbun sampah yang tidak dapat dimanfaatkan lagi atau didaur ulang. Pada saat ini TPA mempunyai pengertian sebuah bangunan yang dikerjakan dengan standard teknis tertentu.

Pada awalnya TPA dibangun tanpa perencanaan dan tindakan teknis tertentu, karena ada beberapa anggapan.

- Tanah mampu menetralsisir dan menahan substansi kimia dan kimia yang dihasilkan oleh timbunan sampah padat.
- Air hujan yang masuk dalam timbunan sampah mampu mengencerkan air lindi (*leachet*), sehingga bahaya bahan beracun dari timbunan sampah menjadi berkurang.
- Batuan dasar merupakan penyaring yang baik untuk semua bahan pencemar dan mempunyai kemampuan untuk mereduksi bahan beracun.
- Cadangan air tanah secara teoritis sangat besar, sehingga kontaminasi yang terjadi dibawah permukaan dapat diencerkan sampai tidak terpancang.

Pada kenyataannya anggapan tersebut tidak benar. Banyak penelitian membuktikan, bahwa lingkungan (perairan, tanah, dan udara) di sekitar TPA menjadi tercemar. Untuk mengatasi permasalahan ini kemudian perlu dilakukan perencanaan dan tindakan teknis sebelum memanfaatkan sebuah lahan sebagai TPA.

#### 2.1.1. Klasifikasi Tempat Penimbunan Akhir

Setiap negara mempunyai penggolongan TPA tersendiri, yang parameternya disesuaikan dengan permasalahan yang muncul. Secara umum TPA digolongkan

atas dasar letaknya dari permukaan bumi dan jenis sampah yang dibuang. Berdasarkan letaknya dari permukaan bumi, TPA dibedakan menjadi dua yaitu TPA dibawah permukaan dan TPA di atas permukaan. TPA di atas permukaan dibedakan lagi menjadi :

- a) TPA di lekukan, sampah ditimbun di daerah yang relatif lebih rendah dari sekitarnya (dapat terbentuk secara alamiah atau buatan). Timbunan sampah akan membuat daerah yang semula lebih rendah menjadi sama atau sedikit lebih tinggi dari daerah sekitarnya.
- b) TPA di lereng, sampah ditimbun pada permukaan bumi yang relatif miring (lereng bukit, lereng bekas tambang). Timbunan sampah akan membuat kemiringan lereng semula berubah menjadi kecil.
- c) TPA di dataran, sampah ditimbun pada daerah relatif datar. Timbunan sampah akan membentuk morfologi menonjol yang menyerupai bukit.

Berdasarkan jenis sampah TPA dapat dibedakan :

- a) TPA sampah bangunan dipergunakan untuk menimbun material hancuran bangunan (gedung, jalan).
- b) TPA sampah pemukiman dipergunakan untuk menimbun sampah padat dari kawasan pemukiman. Sampah yang termasuk dalam golongan ini pada umumnya mengandung bahan organik cukup tinggi.
- c) TPA sampah industri dipergunakan untuk menimbun sampah industri yang tidak dapat digolongkan dengan sampah pemukiman. Sampah dari golongan ini pada umumnya mengandung logam berat yang cukup tinggi dan bahan organik yang sulit diurai oleh bakteri.
- d) TPA sampah lumpur, dipergunakan untuk menimbun lumpur dari saluran buangan dari daerah pemukiman dan lumpur septic tank. Sampah dari golongan ini pada umumnya berbau busuk dan kandungan bahan beracun lebih beragam.
- e) TPA sampah radioaktif dipergunakan untuk menimbun sampah yang mengandung bahan radioaktif.

Semakin berbahaya dampak suatu TPA terhadap keselamatan manusia, maka persyaratan keamanan yang harus dipenuhi semakin banyak. TPA di bawah permukaan pada umumnya dimanfaatkan untuk menimbun sampah yang mengandung bahan berbahaya dan beracun (sampah industri atau sampah radioaktif).

TPA sampah padat adalah tempat untuk menimbun sampah padat yang berasal dari daerah pemukiman, kegiatan komersial, industri dan hancuran bangunan. Sampah padat tersebut umumnya banyak mengandung bahan organik dan sedikit logam berat. Berdasarkan klasifikasi jenis sampah di atas TPA sampah padat dapat digolongkan dalam TPA sampah dari kawasan pemukiman.

### 2.1.2. Perencanaan TPA

Pembangunan sebuah TPA pada dasarnya merupakan suatu intervensi terhadap lingkungan, karena TPA dapat menjadi sumber pencemaran baik selama operasi maupun setelah ditutup. Perencanaan dan pembuangan sebuah TPA pada dasarnya harus mampu menekan sekecil mungkin dampak negatif yang ditimbulkan.

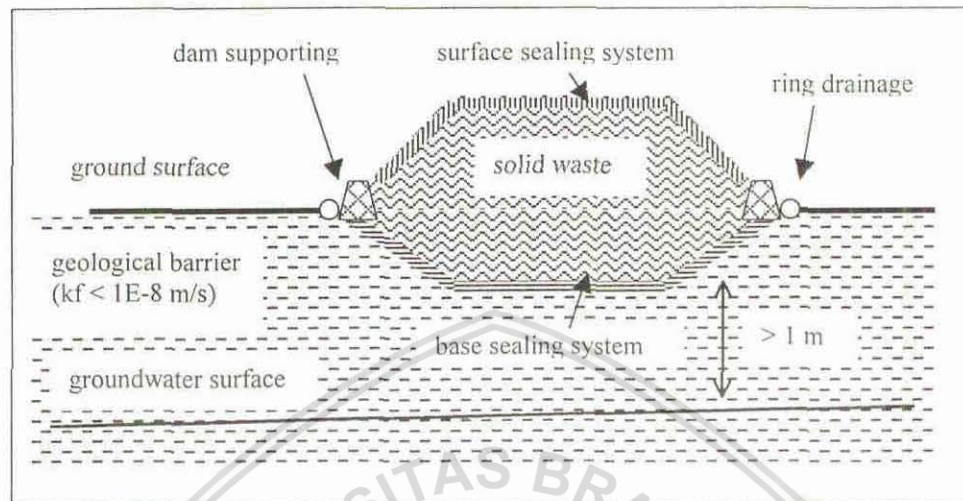
Mengingat dampaknya terhadap kehidupan manusia, lingkungan fisik-kimia maupun biologis, maka bangunan TPA perlu dilengkapi beberapa pengaman (*barrier*). Konsep ini dikenal dengan konsep banyak pengaman (*multibarrier concept*). Barrier tersebut dapat berupa : barrier alamiah atau geologi, barrier buatan atau sistem penutup TPA (*sealing system*), tubuh sampah, penggunaan lahan TPA setelah ditutup serta pemantauan dan pengendalian dampak secara kesinambungan.

Secara sederhana bangunan TPA sampah padat memerlukan dua barrier, yakni barrier geologi dan barrier buatan. Gambar 2-1 menggambarkan skema tempat penimbunan sampah padat.

#### Barrier Geologi

Pengaman geologi atau alamiah, yaitu kondisi batuan (komposisi, tekstur dan struktur) di bawah dan di sekitar lokasi TPA yang mampu menahan dan menghalangi

penyebaran bahan pencemar dari timbunan sampah. Barrier geologi secara kualitatif harus mempunyai permeabilitas sangat kecil ( $k < 1E-8$  m/s), tebal, homogen, kemampuan menyerap bahan beracun yang tinggi dan tahan terhadap bahan beracun.



Gambar 2.1: Skema tempat penimbunan sampah perkotaan

### Barrier Buatan

Pengamanan teknis sering disebut sebagai "*sealing system*" atau sistem penutup TPA. Sistem penutup TPA terdiri dari penutup dasar dan penutup permukaan. Pada kondisi geologi tertentu diperlukan pula penutup samping yang berfungsi menghambat aliran air lindi ke arah horisontal.

Sistem penutup dasar berfungsi sebagai penghambat masuknya air lindi pada jaringan air tanah dan drainage air lindi. Susunan penutup dasar TPA dari bawah ke atas terdiri dari lapisan mineral, plastik (geotekstil) dan drainage (gambar 3.2.a). Standard teknis penutup dasar umumnya dikaitkan dengan kondisi penghambat geologi dan sifat tanah.

0900514



Gambar 2.2. Skema Penutup dasar (dalam GDA,1993)

Fungsi sistem penutup permukaan adalah menghalangi masuknya air hujan ke dalam timbunan sampah dan menyalurkan gas yang dihasilkan timbunan sampah. Susunan penutup permukaan dari bawah ke atas terdiri dari lapisan gas, mineral, plastik (geotekstil), drainage air hujan serta lapisan tanah untuk penanaman tumbuhan (gambar 2.2). Pemasangan penutup permukaan dilakukan setelah TPA penuh.

## 2.2. Sedimen Lempung

Sedimen lempung adalah sedimen yang komponennya didominasi (> 90 %) oleh butiran lempung. Sedimen lempung yang terdiagenesa sehingga terkonsolidasi selama waktu geologi disebut batu lempung.

Pengertian lempung pertama kali diformulasikan oleh Agricola pada tahun 1546.

Definisi tersebut telah mengalami perubahan secara mendasar, terutama yang berkaitan dengan plastisitas, ukuran butir dan kekerasan. Ahli lain yang mendefinisikan mineral lempung antara lain Mackenzie (1963), Bayley (1980) dan Weaver (1989).

Lempung didefinisikan sebagai material alamiah yang penyusun utamanya terdiri dari mineral berbutir halus. Mineral halus tersebut umumnya bersifat plastis jika

mengandung air dan keras bila kering atau dibakar. Lempung pada umumnya tersusun oleh mineral fillosilikat, tetapi mungkin juga berisi mineral lain yang bersifat plastis dan keras bila kering atau dibakar. Dalam lempung sering pula dijumpai material tidak plastis.

Pengertian ukuran butir halus dalam definisi di atas tidak dapat dikuantifikasi, karena ukuran spesifik sebuah partikel ditentukan oleh setiap disiplin ilmu. Sebagai contoh, ahli geologi dan tanah menggunakan ukuran kurang dari  $2\mu\text{m}$ , ahli sedimentologi kurang dari  $4\mu\text{m}$  dan ahli kimia kurang dari  $1\mu\text{m}$  untuk partikel lempung. Untuk mudahnya diberikan pedoman, bahwa lempung adalah partikel berukuran kurang dari  $4\mu\text{m}$  (Guggenheim & Martin, 1995).

### **2.2.1. Komposisi Sedimen Lempung**

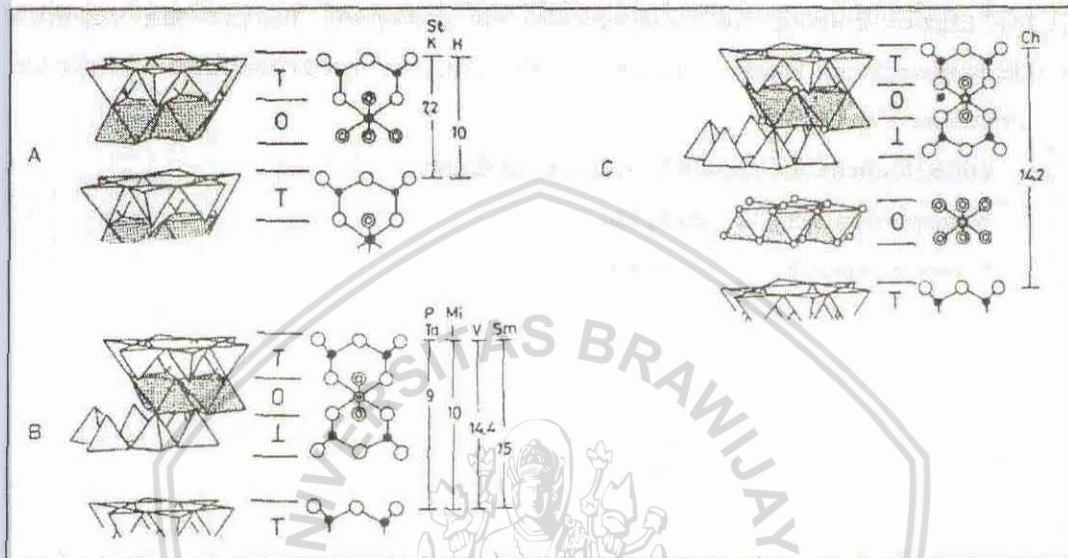
Komponen utama sedimen lempung terdiri dari mineral fillosilikat, kuarsa, mineral karbonat, oksida dan hidroksida logam. Feldspar dalam sedimen lempung berjumlah sedikit. Bahan organik sering dijumpai dalam sedimen lempung yang diendapkan pada lingkungan rawa, delta dan danau. Dalam sedimen lempung yang material sumbernya berasal dari material piroklastik sering terdapat zeolit dan material piroklastik (tuf dan gelas vulkanik) yang belum terdiagenesa.

#### **2.2.1.1. Mineral Filosilikat (silikat berlapis)**

Mineral fillosilikat sering pula disebut dengan mineral silikat berlapis (sheet silicate). Struktur elemen dasar fillosilikat terdiri dari dua ikatan kimia, yakni  $[\text{SiO}_4]$  yang disebut lapisan tetraeder (T-Sheet) dan  $[\text{M}(\text{O},\text{OH})_6]$  yang disebut oktaeder (O-Sheet). Berdasarkan jenis lapisan mineral fillosilikat dapat dikelompokkan dalam tiga golongan.

Mineral fillosilikat dua lapis (1:1 sheet silicate) dibentuk oleh satu lapis tetraeder dan satu lapis oktaeder. Mineral lempung yang termasuk dalam kelompok ini adalah

Serpentin  $\{Mg_3[Si_2O_5(OH)_4]\}$  dan Kaolin  $\{Al_2[Si_2O_5(OH)_4]\}$ . Pada Serpentin semua oksigen dari lapis oktaeder berikatan dengan tiga ion magnesium dan dikenal dengan mineral trioktaedris. Dalam Kaolin dua ion aluminium berikatan dengan oksigen dari lapis oktaeder, sehingga sepertiga tempat oksigen masih kosong dan dikenal dengan mineral dioktaedris.



Gambar 2.3. Struktur kristal mineral filosilikat, sayatan memotong tegak lurus bidang dasar (dari Konta, 1995)

Mineral filosilikat tiga lapis (2:1 sheet silicate) tersusun oleh dua lapis tetraeder dan satu lapis oktaeder. Kedua lapis tetraeder menempati bagian muka lapisan, sehingga pada permukaan setiap lapisan terdapat muatan negatif. Diantara kedua muka lapisan tersebut, sering diisi kation lain atau air. Mineral lempung yang termasuk dalam kelompok ini banyak macamnya, diantaranya smektit, illit dan mika.

Mineral filosilikat empat lapis (2:1:1 sheet silicate) tersusun oleh dua lapis tetraeder dan satu lapis oktaeder, serta satu lapis oktaeder yang berdiri sendiri. Chlorit adalah mineral filosilikat yang termasuk dalam kelompok ini. Struktur dasar mineral filosilikat ditunjukkan pada gambar 2.3, sedangkan klasifikasinya disajikan pada tabel 2.1.



Hampir semua mineral filosilikat dalam sedimen lempung merupakan hasil ubahan mineral silikat lain baik selama sedimentasi maupun setelah sedimentasi. Feldspar dan mineral silikat yang tidak stabil merupakan sumber utama ion pembentuk mineral filosilikat. Material piroklastik (tuf dan gelas vulkanik) juga mudah terdiagenesa menjadi mineral filosilikat.

Tabel 2.1. Penggolongan mineral filosilikat (Lagaly &amp; Koster, 1992)

JENIS LAPISAN	GROUP	SUBGROUP	CONTOH
1:1	Serpentin	Serpentin (tr)	Chrysotil Antigorit
	Kaoinit	Kaoline (di)	Kaolit Halloysit
2:1	Talk – Pyrophytit	Talk (tr) Pyrophytit (di)	Saponit Hectorit Montmorillonit Beidelit Nontronit  Biotit Phlogopit Lepidoloi Muskovit Paragonit  Margarit
	Smektit	Smektite (tr)  Smektit (di)	
	Vermikulit	Vermikulit (tr) Vermikulit (di)	
	Illite	Illit (tr) Illit (di)	
	Mika	Mika (tr)  Mika (di)	
	Sprodig Mika	Sprodig Mika (di)	
	2:1:1	Chlorit	
	Sepiolith- Paligorskit		Sepiolith Polygorskit

### 2.2.1.2. Kuarsa

Baik dalam sedimen lempung maupun sedimen lainnya Kuarsa ( $\text{SiO}_2$ ) merupakan mineral hasil hancuran, karena kuarsa mempunyai resistensi kimia dan kekerasan

cukup tinggi. Dalam sedimen lempung kuarsa pada umumnya berupa butiran berukuran lanau.

### 2.2.1.3. Karbonat

Kelompok mineral karbonat dalam sedimen lempung dijumpai baik sebagai butiran maupun sebagai pengikat butiran (semen). Mineral karbonat dalam batuan sedimen dapat terbentuk selain melalui proses organik juga melalui proses anorganik. Mineral karbonat yang banyak dijumpai pada batuan sedimen adalah kalsit [ $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ ] dan Dolomit [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ].

### 2.2.1.4. Oksida dan Hidroksida Logam

Kelompok mineral oksida dan hidroksida logam yang banyak dijumpai baik dalam batu lempung adalah oksida besi dan oksida mangan. Oksida aluminium dan titan juga dijumpai, tetapi dalam jumlah sedikit.

Besi oksida dan besi hidroksida merupakan contoh khas mineral hasil pelapukan. Mineral silikat yang kaya Fe, seperti Piroksin, Hornblende dan Biotit merupakan sumber utama ion besi. Sebagian kecil ion besi hasil proses pelapukan bereaksi dengan unsur lain membentuk mineral lempung, sedangkan sisanya membentuk ikatan oksida dan hidroksida. Hematit adalah mineral besi oksida yang banyak terdapat pada sedimen lempung, sedangkan Maghemit terdapat hanya sedikit

Manganoksida pada sedimen berukuran lempung terbentuk oleh proses yang relatif sama dengan besi oksida. Biotit merupakan sumber utama ion mangan. Oksida mangan biasanya berbentuk amorf atau mempunyai kristal jelek dan relatif mudah dikenali sebagai kerak, konkresi dan lapisan berwarna hitam.

Berbeda dengan oksida besi dan mangan, dalam sedimen sedimen lempung oksida aluminium terdapat hanya sedikit, karena sebagian besar ion aluminium bersama

dengan ion lainnya membentuk mineral lempung. Mineral silikat kaya Al, seperti Feldspar dan Mika merupakan sumber utama ion aluminium. Mineral Gipsit  $[Al(OH)_6]$  adalah oksida yang sering dijumpai pada sedimen lempung.

Kandungan oksida titan ( $TiO_2$ ) ataupun Besi – Titan oksida dalam sedimen lempung kurang dari 1%. Ion Titan berasal dari pelapukan mineral yang mudah lapuk (Biotit, Amphibol) maupun mineral yang tahan pelapukan (Ilmenit, Titanit).

#### 2.2.1.5. Feldspar

Feldspar dalam sedimen lempung umumnya berjumlah sangat sedikit, karena Feldspar mempunyai resistensi kimia rendah dan mudah hancur. Dalam sedimen lempung butiran Feldspar biasanya berukuran lanau. Feldspar merupakan sumber utama ion aluminium dan silisium dalam pembentukan mineral filosilikat.

#### 2.2.1.6. Material organik

Material organik adalah bahan sisa yang ditinggalkan oleh hewan dan tumbuhan, serta hasil ubahnya. Bahan organik dapat mempengaruhi reaktifitas kimia lempung yang cukup berarti. Mereka berpengaruh terhadap keseimbangan asam, basa dan ikatan kompleks.

#### 2.2.1.7. Material piroklastik

Material piroklastik terutama gelas vulkanik dalam sedimen lempung hanya dijumpai dalam sedimen lempung berumur Tertier dan Kwartar yang selama pembentukannya dipengaruhi oleh kegiatan/letusan gunung api, karena material piroklastik mudah terdiagenesa menjadi mineral filosilikat atau zeolit. Gelas vulkanik adalah material silikat yang terbentuk oleh proses pembekuan magma secara cepat, sehingga bentuknya amorf. Secara teoritis gelas vulkanik dapat disejajarkan dengan mineral. Komposisi kimia gelas vulkanik sulit dirumuskan, sebagai gantinya digunakan sifat kimia batuan seperti riolitik, andesitik, dasitik dan basaltik. Gelas vulkanik basa yang

mengalami proses ubahan hidrotermal akan menjadi smektit (Inou & Utada, 1983). Gelas vulkanik asam yang mengalami proses pelapukan dan ubahan hidrotermal akan menjadi halloysit, montmorillonit atau zeolit (Wimmenauer, 1985).

#### 2.2.1.8. Zeolit

Zeolit adalah kelompok mineral aluminosilikat mengandung air. Rumus kimia Zeolit dapat dituliskan  $M^+, M^{++} Al_2O_3 ySiO_2 zH_2O$ , dimana  $M^+$  biasanya adalah Na atau K, sedangkan  $M^{++}$  adalah Mg, Ca atau Fe. Kadang-kadang Li, Sr dan Ba mengganti  $M^+$  dan  $M^{++}$ .

Struktur primer Zeolit adalah tetraeder oksigen yang bagian tengahnya diisi oleh atom Silisium atau Alumunium. Dalam kondisi ideal setiap atom oksigen milik dari dua tetraeder, sehingga tetraeser dalam segala arah saling terikat dan membentuk jaringan tiga dimensi. Pola tertentu dari struktur tetraeder dapat membentu rongga atau kanal yang dalam kondisi normal terisia air. Proses pergantian isomorphi dari ion silisium oleh alumunium dapat menghasilkan muatan negatif terutama dalam rongga . berdasarkan pengaturan dan struktur bangun tetraeder dan jumlah tetraeder pembentuknya mineral Zeolit dibedakan menjadi 7 sub kelompok. Sub kelompok Klinoptilolit adalah jenis yang sering dijumpai pada sedimen lempung dengan provenence material piroklastik.

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1. Bahan Penelitian

Sedimen lempung diambil dari batuan yang mengandung mineral lempung dan dijumpai di daerah Surabaya dan sekitarnya. Dalam penelitian ini diambil tiga macam sedimen lempung yang menunjukkan sifat berbeda. Contoh pertama diambil dari singkapan batu lempung yang dijumpai di Desa Kedamean, Kecamatan Kedamean, Kabupaten Gresik; contoh kedua dan ketiga diambil dari singkapan di Desa Karangpilang dan Desa Warugunung, Kecamatan Karangpilang, Kota Surabaya

### 3.2. Peralatan Penelitian dan Cara Pengujian.

Untuk mengetahui kandungan mineral dari sedimen lempung dilakukan penyelidikan dengan XRD (X-Ray Defraction). Hasil pengujian ini hanya menggambarkan komposisi mineral secara kualitatif. Kandungan kimia sedimen lempung diketahui dari analisis titrasi untuk unsur non logam dan AAS untuk unsur logam.

Dalam penelitian ini digunakan peralatan yang biasa digunakan dalam penentuan ukuran butir, kerapatan butir, batas susut, plastis, cair serta indeks plastisitas, kemampuan serapan air, kerapatan kering dan kandungan air optimum, sifat mekanis dan permeabilitas yang terdapat di laboratorium mekanika tanah. Pengujian dilakukan sesuai dengan cara yang dijelaskan dalam ASTM atau DIN.

### 3.3. Pelaksanaan Penelitian

Sebagian besar pengujian akan dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah milik Jurusan Sipil FT Unibraw. Sebagian penelitian, seperti penentuan kandungan karbonat, komposisi kimia dan mineralogi dari sedimen lempung, dilakukan di Pusat Kegunungapian

Yogyakarta, karena peralatan untuk penelitian tersebut tidak tersedia di lingkungan UNIBRAW.

### 3.4. Analisa Data

Kelayakan sebuah tanah atau sedimen lempung sebagai bahan pembuatan liner dapat diketahui dengan cara membandingkan hasil pengujian dengan baku mutu yang telah diundangkan di beberapa negara maupun literatur.



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui kelayakan sedimen lempung sebagai bahan pembuatan liner diperlukan beberapa pengujian antara lain:

- komposisi mineral dan kimia, termasuk kandungan karbonat, bahan organik dan pH
- sifat fisik, yang meliputi penyebaran ukuran butir, berat jenis butiran, indeks plastisitas, batas penyusutan, daya serap terhadap air serta berat isi kering.
- sifat mekanis tanah, yang bertujuan untuk perhitungan stabilitas lereng
- pemadatan, yang berkaitan dengan proses pemadatan untuk mendapatkan permeabilitas sekecil mungkin.

### 4.1. Asal dan Ganesa Sedimen Lempung

Batu lempung yang diambil dari singkapan di Desa Kedamaian, Kecamatan Kedamean, Kabupaten Gresik (selanjutnya disebut Lempung Kedamean) merupakan anggota Formasi Sonde. Batu lempung dari Formasi Sonde pada umumnya berwarna putih kekuningan, ringan dan sangat keras bila kering. Batuan lempung ini kaya fosil dan mengandung tanah diatom. Formasi Sonde diendapkan di lingkungan sublitoral luar pada kala Pliosen. Tebal Formasi ini diperkirakan 300 meter.

Batu lempung dari Formasi Lidah diambil di dua tempat, karena batu lempung ini mempunyai kenampakan fisik yang beragam. Contoh pertama diambil di tambang lempung untuk bahan genting di Desa Karangpilang (selanjutnya disebut Lempung Karangpilang). Batulempung dari lokasi ini berwarna abu-abu kecoklatan. Contoh kedua diambil dari singkapan batulempung di desa Warugunung (selanjutnya disebut Lempung Warugunung). Batu lempung dari lokasi ini berwarna coklat kemerahan. Formasi Lidah berumur Pliosen dan diendapkan di lingkungan laut dangkal. Tebal Formasi Lidah mencapai 250 meter.

## 4.2. Komposisi

### 4.2.1. Komposisi Mineral

Untuk mengetahui komposisi mineral contoh batulempung hanya dianalisa secara kualitatif dengan alat X-Ray Difrraction di Pusat Pengembangan Teknologi Mineral, Bandung. Analisa secara petrografi dan dengan mikroskop elektron juga dilakukan terhadap lempung Kedamean. Rangkuman hasil analisis mineralogi disajikan pada tabel 4.1.

Dilihat dari identifikasi lapangan dan komposisi mineral dapat dinyatakan, bahwa lempung Kedamean mewakili sedimen lempung karbonatan. Sedimen lempung Karangpilang didominasi oleh Kaolinit, sedangkan lempung Warugunung didominasi oleh Montmorillonit-Ca

Tabel 4.1. Komposisi mineral contoh terambil

Jenis Mineral	Kedamean	Karangpilang	Warugunung
<b>Kwarsa</b>	+	+	+
<b>Montmorillonit</b>	+	+	+
<b>Kaolinit</b>	+	+	+
<b>Kalsit</b>	+	-	-
<b>Dolomit</b>	-	+	-
<b>Feldspar (Albit)</b>	+	-	-
<b>Tanah diatom</b>	+	-	-

Keterangan : + = dijumpai  
- = tidak dijumpai

### 4.2.2. Komposisi Kimia

Analisa untuk mengetahui komposisi kimia sedimen lempung dilakukan dengan cara baku yang berlaku di Balai Pusat Penelitian Keguniungapian Yogyakarta. Hasil analisa kimia disajikan pada tabel 4.2.



Tabel 4.2. Komposisi kimia utama contoh lempung (prosen berat)

Unsur	Kedamean	Karangpilang	Warugunung
SiO <sub>2</sub>	49,86	65,17	65,91
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,93	14,11	13,80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,54	6,02	6,54
CaO	6,95	1,47	0,25
MgO	2,28	1,01	0,69
Na <sub>2</sub> O	0,85	0,33	0,88
K <sub>2</sub> O	0,91	0,78	0,81
MnO	0,10	0,10	0,02
TiO <sub>2</sub>	0,84	0,70	0,66
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,12	0,19	0,05
H <sub>2</sub> O	0,40	0,20	0,71
Hilang Terbakar	16,81	9,84	9,44
Jumlah	99,92	99,92	99,76

Analisa kandungan karbonat dari contoh sedimen lempung dilakukan sesuai dengan DIN 18129. Kandungan karbonat lempung Kedamean mencapai 19,39%, lempung Karangpilang sebesar 4,18%, sedangkan Warugunung hanya 0,35 %. Kandungan karbonat lempung Sonde yang tinggi tidak hanya disebabkan kehadiran Kalsit, tetapi juga fosil Foraminifera. Karbonat dari lempung Karangpilang berasal dari Dolomit (lihat tabel 4.1).

Karena secara genetik, ketiga contoh lempung berasal dari sedimen laut, maka dilakukan pula analisa kandungan Cl<sup>-</sup> guna mengetahui kandungan garam chlorida yang terikat dalam contoh sedimen lempung. Pengukuran dilakukan dengan mencampur 5 g padatan yang telah dikeringkan 60°C selama 24 jam dengan 50 ml air deionisasi, dikocok selama 24 jam. Dari hasil analisa ini kandungan Cl<sup>-</sup>, dalam hal ini garam MCI (M=Alkali, Alkali Tanah), terlarut dalam air dari contoh Lempung Warugunung mencapai 70 mg/l dan Lempung KarangPilang sekitar 20 mg/l. Lempung Kedamean mengandung Cl<sup>-</sup> tidak lebih dari 5 mg/l.

Untuk penggunaan sedimen lempung sebagai mineral sealing, peraturan di Jerman (TA Siedlungabfall) menyarankan agar mineral sealing mengandung karbonat tidak lebih dari 15%. Namun beberapa negara bagian (Niedersachsen) mengizinkan sampai

20%. Semua sedimen lempung yang telah diuji mempunyai kandungan karbonat kurang dari 20%.

#### 4.2.3. pH

Pengukuran pH contoh sedimen lempung dilakukan sesuai dengan metode yang berlaku di ilmu tanah. Sepuluh gram contoh sedimen lempung yang telah dikeringkan pada suhu 60°C selama 24 jam dicampur dengan 25 ml air deionisasi atau 0.01 M CaCl<sub>2</sub>. Campuran tersebut dikocok selama 25 menit. Harga pH larutan menunjukkan pH tanah (tabel 4.3)

Tabel 4.3: Angka pH dari contoh sedimen lempung

Pelarut	Kedamean	Karangpilang	Warugunung
H <sub>2</sub> O (deionisasi)	8,2	7,8	8,4
0,01 M CaCl <sub>2</sub>	7,7	7,5	7,9
Δ pH	-0,5	-0,3	-0,5

Harga perubahan pH yang negatif menggambarkan bahwa sedimen lempung mengandung muatan negatif. Tingginya harga pH dari lempung Kedamean dan Karangpilang disebabkan oleh kandungan karbonat kedua lempung tersebut yang tinggi. Tingginya harga pH dari Lempung Warugunung dapat disebabkan oleh tingginya kandungan Na<sup>+</sup> dan K<sup>+</sup> dalam tanah (Scheffer, et al, 1991; Rowell, 1994). Kandungan Cl<sup>-</sup> dari lempung Warugunung yang tinggi dapat menunjukkan kandungan alkali tanah yang tinggi pula. Tingginya harga pH dan kandungan karbonat mempunyai peranan penting dalam proses sorpsi dalam hal ini pengendapan.

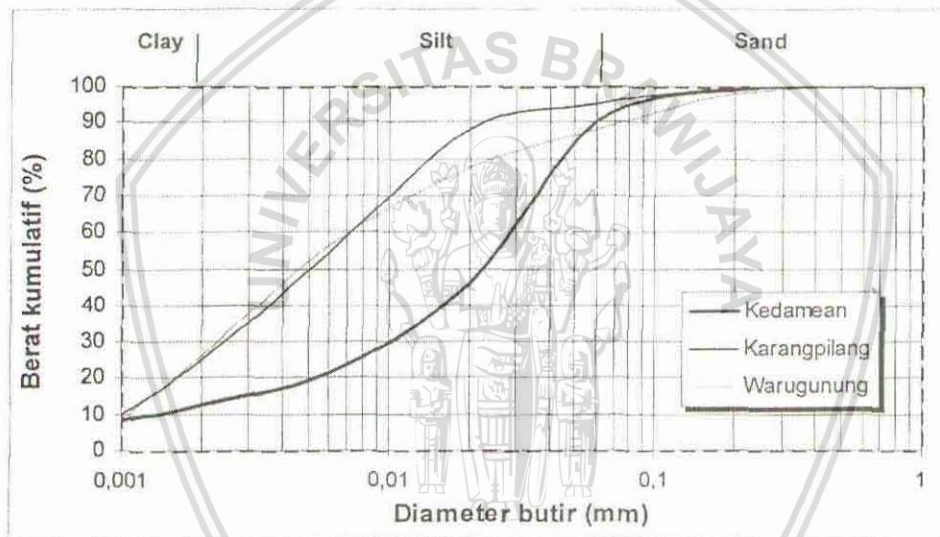
### 4.3. Sifat Fisik

#### 4.3.1. Ukuran Butir

Analisa ukuran butir dilakukan sesuai dengan ASTM nomor D 421 dan D 422. grafik hasil analisa ukuran butir disajikan pada gambar 4.1. Fraksi Lempung Warugunung

berkisar 25 sampai 30%, fraksi lanau berkisar 60 sampai 65%. Lempung Karangpilang mempunyai fraksi lempung antara 25 sampai 30% sedangkan fraksi lanaunya 65 sampai 70%. Lempung Kedamean mempunyai kandungan fraksi lempung 8 sampai 12% dan lanau sebanyak 74 sampai 85%.

Peraturan di RFJ mensyaratkan, bahwa mineral sealing minimal mempunyai butiran lempung lebih dari 10% (TA Siedlungabfall) atau butiran halus (lempung dan lanau) lebih dari 50% (Niedersachsen) dan maksimum 10% butiran berukuran kerikil. Semua sedimen yang diteliti mempunyai kandungan butiran lempung lebih dari 10% atau lebih dari 70% butiran halus dan tidak mengandung pecahan batu.



Gambar 4.1. Grafik penyebaran ukuran butir dari ketiga contoh sedimen lempung

#### 4.3.2. Berat Jenis Butiran

Pengujian berat jenis butiran contoh terambil sesuai dengan ASTM D854. Berat jenis butiran lempung Kedamean  $2,57 \text{ gr/cm}^3$ , Karangpilang  $2,59 \text{ gr/cm}^3$  dan Warugunung  $2,65 \text{ gr/cm}^3$ . Meskipun Lempung Kedamean mengandung butiran lanau cukup banyak, namun berat jenisnya kecil. Hal ini disebabkan kehadiran tanah diatom.

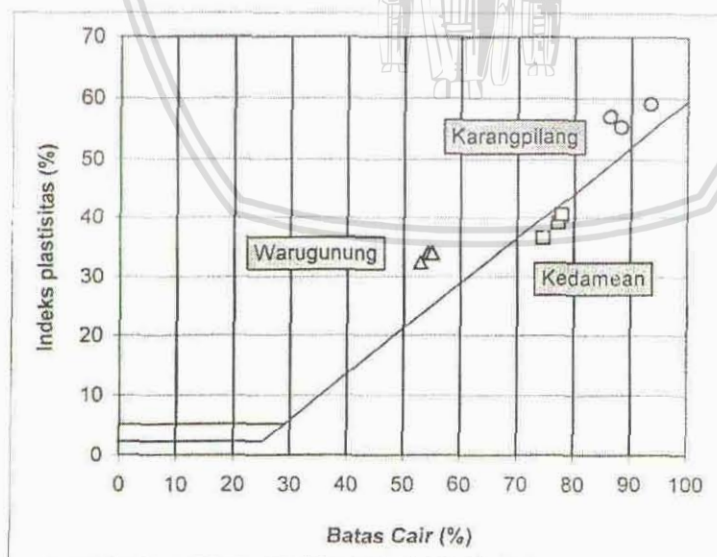
### 4.3.3. Angka Keliatan (*plasticity index*) dan Batas Susut

Pengujian batas Atterberg dilakukan sesuai dengan ASTM D4318 dan D4943, hasilnya disajikan pada gambar 4.2 dan tabel 4.4.

Menurut Oeltschner (1992), tanah dengan batas cair ( $W_L$ ) lebih dari 35 dan indeks plastisitas ( $I_p$ ) lebih dari 15% baik untuk digunakan sebagai bahan mineral sealing. Seymour dan Peacock (1994) menyatakan, bahwa tanah dengan batas cair lebih dari 90% dan indeks plastisitas lebih dari 65% tidak dapat digunakan sebagai liner atas pertimbangan pengerjaan. Semua jenis sedimen lempung yang dievaluasi mempunyai batas cair antara 35% sampai 90% dan indeks plastisitas antara 15% sampai 65%.

Tabel 4.4: Tabel hasil pengujian indeks plastisitas dan batas susut

CONTOH	BATAS CAIR $W_L$ (%)	BATAS PLASTIS $W_P$ (%)	INDEKS PLASTISITAS $I_p$ (%)	BATAS SUSUT $W_s$ (%)	KLASIFIKASI MENURUT DIAGRAM PLASTISITAS
Kedamean	76,4	37,6	39,8	20,1	Lanau plastisitas sedang mengandung diatum (MH)
Karangpilang	87,3	31,0	56,3	8,7	Lempung sangat plastis (CH)
Warugunung	53,8	20,3	33,5	11,4	Lempung sangat plastis (CH)

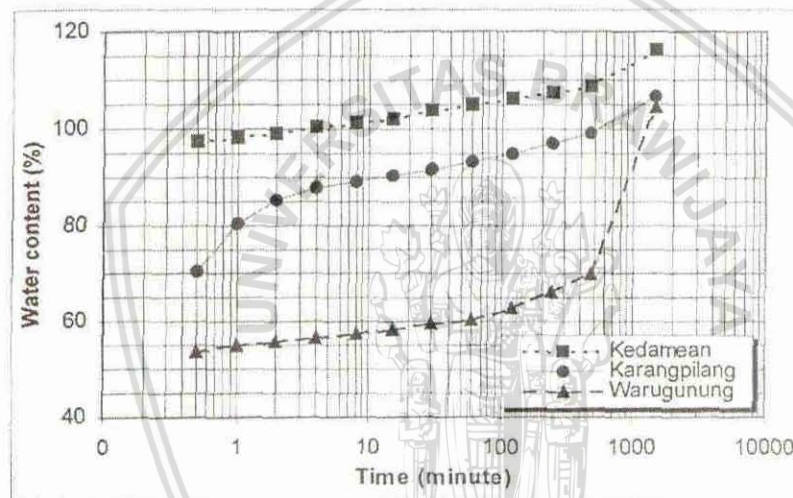


Gambar 4.2. Plotting hasil pengujian contoh pada diagram plastisitas

#### 4.3.4. Kemampuan Menyerap Air

Pengujian daya serap air dilakukan sesuai dengan DIN 18132. Hasilnya disajikan pada gambar 4.3.

Kehadiran diatom dalam lempung Kedamean dapat meningkatkan kemampuan daya serap air sampai 30%, karena diatom mempunyai bentuk yang berongga. Material yang didominasi oleh material berukuran lanau pada umumnya mempunyai kemampuan menyerap air maksimum 80% selama 24 jam (DGEG, 1993). Tingginya serapan air dari lempung diatomic juga dijumpai oleh Galan, et. Al. (1992).

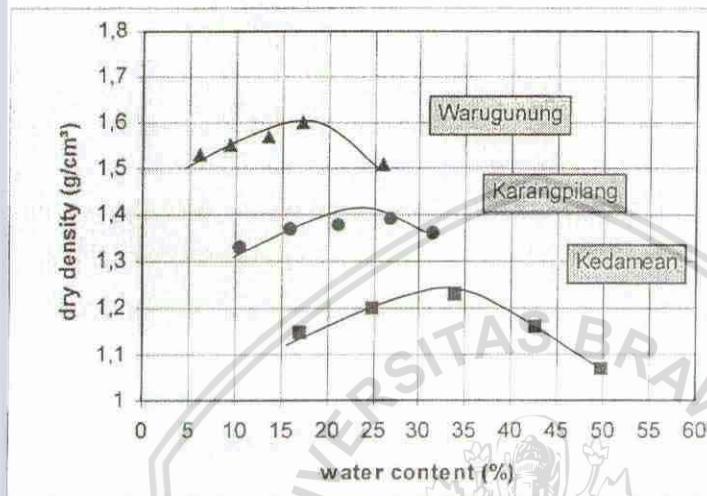


Gambar 4.3. Grafik hasil uji kemampuan menyerap air

#### 4.3.5. Berat Isi Kering dan Kandungan Air Optimum

Pengujian untuk mengetahui berat isi kering dari contoh lempung dilakukan sesuai dengan ASTM D698-78. Kurva hasil uji untuk agregat berukuran kurang dari 5 mm yang dikeringkan di udara terbuka disajikan pada gambar 4.4. Dari hasil pengujian didapatkan berat isi kering maksimum Lempung Kedamean  $1,25 \text{ g/cm}^3$  dengan kandungan air 33%, Lempung Karangpilang  $1,38 \text{ g/cm}^3$  dengan kandungan air 25%, dan Lempung Warugunung  $1,59 \text{ g/cm}^3$  dengan kandungan air 17%.

Kontrol terhadap kandungan air pada saat pemadatan mempunyai arti penting, karena peningkatan atau pengurangan kandungan air selama pemadatan akan mengurangi berat isi kering dalam hal ini permeabilitas dari liner. Untuk memperoleh berat isi kering sekecil mungkin sedimen lempung dipadatkan dengan kandungan air antara 95% sampai 105% dari kandungan air optimum hasil uji proctor.



Gambar 4.4. Diagram hasil pengujian berat isi kering (proctor).

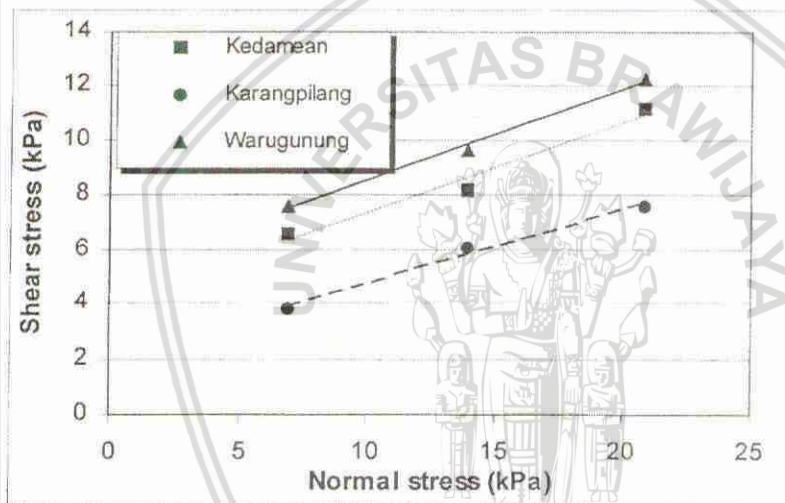
#### 4.4. Sifat Mekanis Tanah

Sifat mekanis tanah sedimen lempung atau tanah kohesif ditentukan oleh sifat mineral lempung. Perubahan sifat dari mineral lempung, akibat kontak dengan larutan asam atau basa, dapat menyebabkan perubahan sifat mekanis.

Tujuan pengujian sifat mekanis sedimen lempung baik sebagai barrier geologi maupun bahan mineral sealing adalah untuk mengetahui parameter yang diperlukan dalam perhitungan kestabilan lereng TPA. Parameter tersebut meliputi sudut geser dalam, kohesi dan tegangan uniaxial maksimum. Parameter tersebut dapat diketahui dari uji kuat geser langsung (direct shear test), uji uniaxial (unconfined compression test) dan/atau triaxial test (DGEG, 1993).

#### 4.4.1. Uji Kuat Geser Langsung

Pengujian kuat geser sedimen lempung dilakukan dengan alat “simple direct shear test equipment”. Metode pengujian dilakukan sesuai dengan ASTM 3080-90. pengujian dilakukan pada sample terganggu yang dipadatkan dalam alat proctor dengan kandungan air sesuai hasil pemadatan (gambar 4.7.). Dalam pengujian dibentuk sample berbentuk bulat dengan diameter 6 cm dan tebal mencapai 3 cm. Gaya normal yang digunakan selama pengujian berturut-turut 196,14 , 392,28 dan 588,42 kPa. Grafik hasil pengujian kuat geser disajikan pada gambar 4.5. serta tabel 4.5.



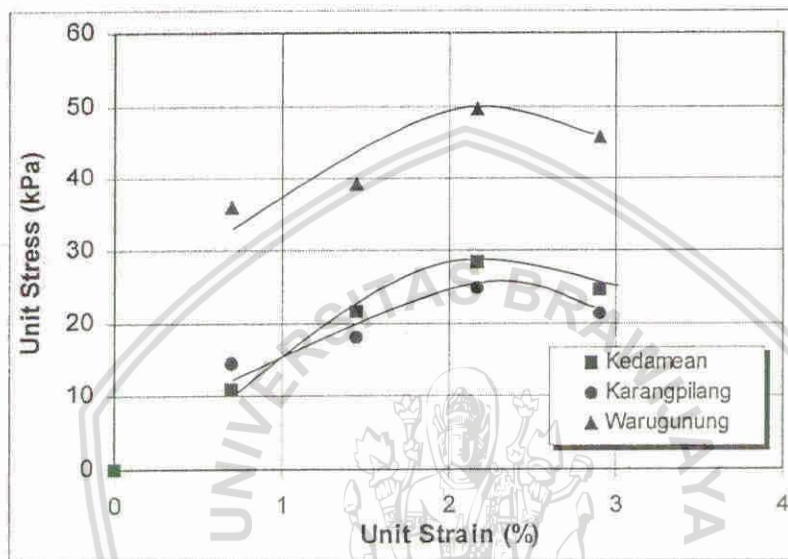
Gambar 4.5. grafik hasil uji kuat geser langsung (direct shear test).

#### 4.4.2. Uji Uniaxial (Unconfined Compression Test)

Pelaksanaan pengujian uniaxial terhadap contoh yang dipadatkan dengan alat proctor dilakukan sesuai dengan ASTM D 2166-85. untuk setiap jenis sedimen lempung dilakukan dua kali pengujian. Dari dua pengujian tersebut digambarkan kurva rerata dalam diagram tegangan-deformasi. Hasil pengujian disajikan pada gambar 4.6 dan tabel 4.5.

Tabel 4.5 : Rangkuman hasil uji kuat geser langsung dan uniaxial

Nama contoh	Uji kuat geser langsung		Uji uniaxial (unconfined compression test)	
	sudut geser dalam 6 ( $^{\circ}$ )	kohesi $c$ (kPa)	kuat tekan uniaxial $q_u$ (kPa)	kuat geser uniaxial $s_u$ (kPa)
Kedamean	18,20	4,07	3,2	1,6
Karangpilang	15,32	2,03	2,9	1,5
Warugunung	18,68	5,14	5,6	2,8



Gambar 4.6. Grafik hasil uji uniaxial ketiga contoh terambil

#### 4.5. Pemasatan dan Permeabilitas

Koefisien kelulusan (*koefisien of permeability*) merupakan salah satu parameter penting yang menentukan kelayakan sedimen lempung, baik sebagai barrier geologi maupun bahan pembuatan liner. Koefisien kelulusan sedimen lempung atau tanah dapat diketahui dari perhitungan penyebaran ukuran butir (teoritis) dan pengujian di laboratorium maupun pengukuran di lapangan.

Koefisien kelulusan dari lempung yang dipadatkan dikontrol oleh dua faktor yang dapat diklasifikasikan dalam mekanik dan fisik-kimia (Mesri & Olson, 1971). Faktor Mekanik berkaitan dengan ukuran, bentuk dan susunan geometri partikel lempung.



Penurunan koefisien permeabilitas pada porositas yang sama dari kaolinit, illit ke smektit sebagian besar disebabkan oleh penurunan ukuran saluran secara individual dan peningkatan jarak aliran (*tortuosity of the flow path*).

Faktor fisik-kimia dipengaruhi oleh kecenderungan lempung untuk terdispersi atau membentuk agregat. Agregasi akan mempengaruhi pembentukan jumlah “*tiny flow channels*” yang seperti saluran kecil dan sedikit saluran lebih besar, sehingga permeabilitas meningkat. Dispersi mempengaruhi pembentukan saluran yang relatif sama dan nonequidimensional, sehingga memperkecil koefisien kelulusan.

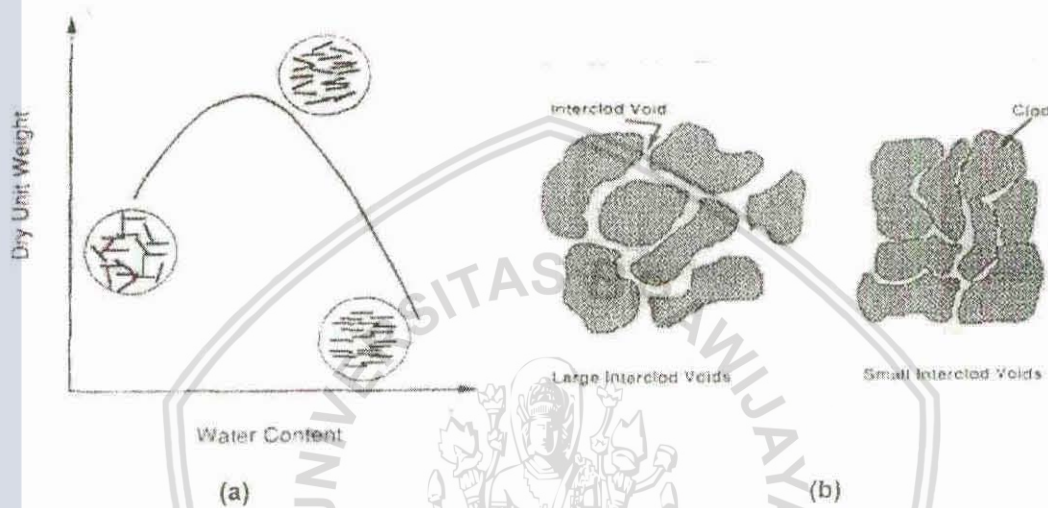
Dalam kaitannya dengan faktor mekanik terdapat dua teori, yakni teori orientasi partikel (*particle orientation*) dan teori struktur gumpalan (*clods structure*). Dalam teori orientasi partikel (Lambe, 1959) partikel sedimen lempung akan membentuk flocculated pattern, jika dipadatkan pada sisi kering dari kurva pemadatan dan akan membentuk dispersed pattern, jika dipadatkan pada sisi basah. Koefisien kelulusan dari lempung yang dipadatkan pada sisi basah akan lebih kecil dari yang dipadatkan pada sisi kering, karena sedimen lempung dengan partikel berpola “*flocculated*” mempunyai lubang yang lebih besar daripada sedimen lempung berpola “*dispersed*”

Teori struktur gumpalan (Olsen, 1962) menyatakan, bahwa aliran air dalam lempung terpadatkan lebih banyak terjadi melalui pori yang terletak antara gumpalan lempung, dibandingkan melalui pori yang terletak antara partikel lempung. Menurut teori ini gumpalan yang lunak dan basah lebih mudah dipadatkan daripada gumpalan yang keras dan kering. Sedimen lempung dipadatkan dengan kandungan air pada sisi basah optimum, gumpalannya lebih lunak dan lebih mudah dipadatkan, sehingga pori antar gumpalan menjadi lebih kecil dan permeabilitas lebih rendah. Gambaran atas dua teori tersebut disajikan pada gambar 4.7.

#### **a. Pengujian pengaruh ukuran gumpalan/agregat terhadap kelulusan**

Untuk mengetahui pengaruh gumpalan/agregat sedimen lempung yang dipadatkan terhadap koefisien kelulusan dilakukan pengujian terhadap agregat berukuran <5 dan

<2 mm. Pengukuran permeabilitas dilakukan dengan metode falling head parameter dengan aliran dari bawah ke atas. Pematatan material dilakukan sesuai dengan hasil uji pematatan. Untuk mengurangi efek samping (celah antara contoh dengan dinding gelas dari alat) permukaan samping contoh yang telah dipadatkan diberi vaselin. Hasil pengujian koefisien permeabilitas dengan cara falling head permeameter disajikan pada tabel 4.6.



Gambar 4.7. Pengaruh proses pematatan sedimen lempung terhadap koefisien permeabilitas (a) teori orientasi partikel (Lambe, 1958) dan (b) teori struktur gumpalan (Olsen, 1962).

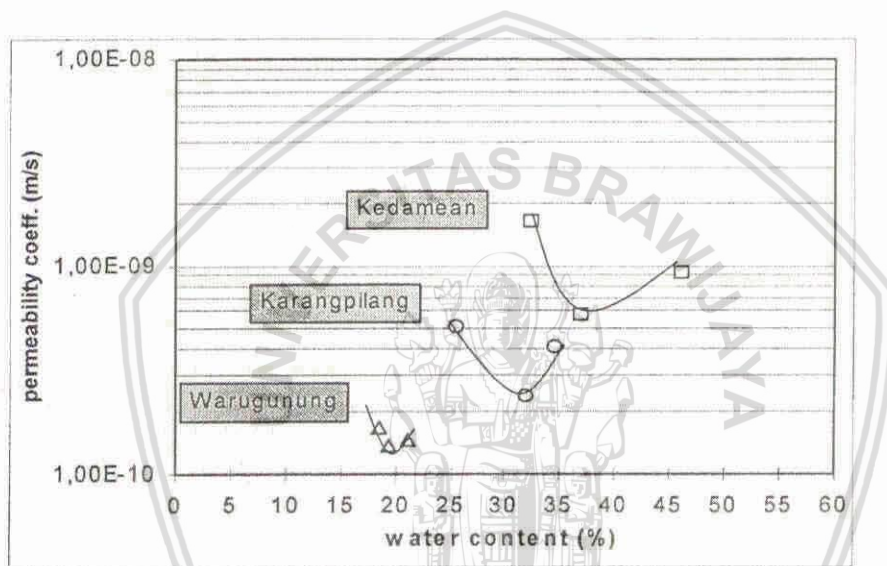
Tabel 4.6 : Koefisien permeabilitas hasil pengujian dengan falling head permeameter

Jenis Lempung	Koefisien permeabilitas dalam m/s (t=20°C)	
	Agregat <5 mm	Agregat <2 mm
Kedamean	1,16 E-9	1,44 E-10
Karangpilang	5,45 E-10	1,91 E-11
Warugunung	1,87 E-10	1,71 E-11

Dari hasil pengujian tersebut membuktikan, bahwa pematatan sedimen lempung yang berasal dari agregat lebih kecil mempunyai koefisien permeabilitas lebih kecil.

### b. Pengujian pengaruh kandungan air saat pemadatan terhadap kelulusan

Untuk mengetahui pengaruh kandungan air saat pemadatan terhadap kelulusan, pengujian dilakukan hanya terhadap agregat berukuran <5 mm. Sedimen lempung dipadatkan dengan kandungan air bervariasi, pada sisi basah dari kurva proctor (gambar 4.4). Pengukuran koefisien permeabilitas dilakukan dalam alat triaxial dengan tekanan hidraulik konstan untuk semua sample ( $i=30$ ). Gambar 4.8 menunjukkan hubungan antara koefisien permeabilitas dengan kandungan air pada saat pemadatan, sedangkan tabel 4.7 menunjukkan perbandingan beberapa parameter dari hasil uji pemadatan dengan uji permeabilitas minimum.



Gambar 4.8. Grafik hubungan antara koefisien kelulusan dengan kandungan air saat pemadatan, koefisien permeabilitas dihitung pada suhu 20°C.

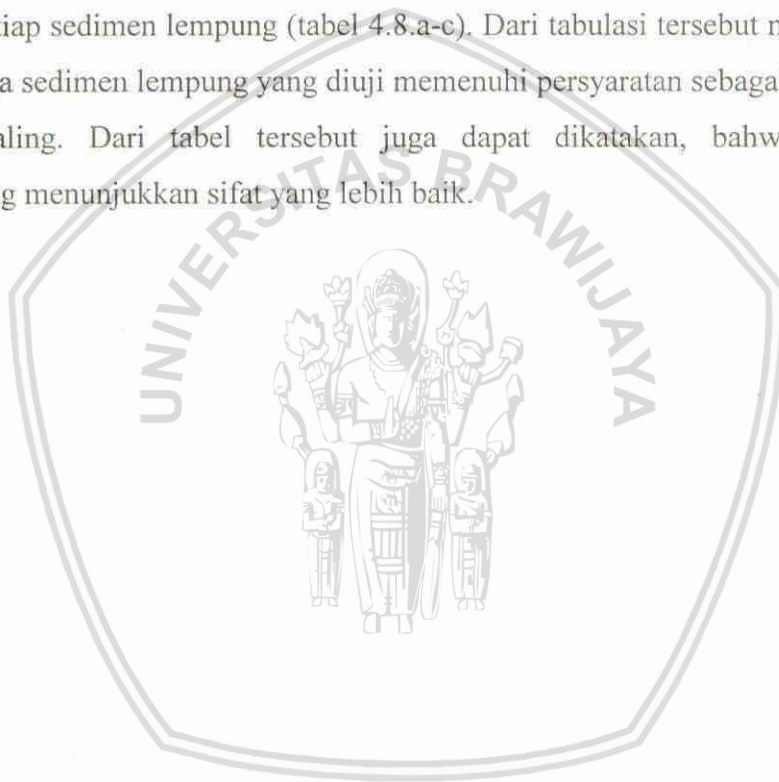
Tabel 4.7 : Perbandingan parameter hasil uji permeabilitas minimum dengan Uji proctor (harga koefisien permeabilitas dihitung pada suhu 20°C).

Jenis Lempung	$W_{pr}$ (%)	$\rho_{pr}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$k_{pr}$ (m/s)	$W_{min}$ (%)	$\rho_{min}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$K_{min}$ (m/s)
Kedamean	33	1,25	1,1E-9	38	1,20	4,1E-10
Karangpilang	25	1,38	5,45E-10	31	1,36	2,5E-10
Warugunung	17	1,59	1,87E-10	21	4,57	1,2E-10

Peraturan di RJF mensyaratkan, bahwa mineral sealing sebaiknya mempunyai koefisien permeabilitas  $K_f < 5E-10$  ( $k_{20} = 6.5E-10$ ). Untuk memenuhi persyaratan tersebut pemadatan Lempung Kedamean membutuhkan air 5% lebih banyak dari kandungan air optimum dari hasil uji proctor (tabel 4.7) atau menggunakan agregat yang berukuran  $< 2\text{mm}$  (tabel 4.6). Alternatif pertama nampak lebih efisien.

#### 4.6 Penilaian

Untuk melakukan penilaian perlu dibuat tabulasi perbandingan antara hasil pengujian dengan acuan dari beberapa peraturan atau peneliti lain, sehingga dapat diketahui sifat dari setiap sedimen lempung (tabel 4.8.a-c). Dari tabulasi tersebut menunjukkan bahwa ketiga sedimen lempung yang diuji memenuhi persyaratan sebagai bahan baku mineral sealing. Dari tabel tersebut juga dapat dikatakan, bahwa Lempung Karangpilang menunjukkan sifat yang lebih baik.



Tabel 4.8a : Penilaian hasil pengujian parameter mineral sealing dengan nilai baku dari beberapa acuan untuk **Lempung Kedamean**

Parameter	Nilai Baku	Pustaka	Hasil Uji	Nilai Relatif	Keterangan
<b>Komposisi Mineral</b>					
- mineral lempung	≥ 10% berat	TA-Siedlungabfall	12%	baik	dari butiran ≤ 2 μm
- mineral karbonat	≤ 20% berat	RdErl. D. MU	19,35%	cukup	
- bahan organik	≤ 15% berat	RdErl. D. MU	16,81%	cukup	Komponen yang habis terbakar saat penentuan komposisi kimia.
- ph	Tidak ada		8,2		Dalam H <sub>2</sub> O
<b>Sifat Fisik</b>					
- butiran halus (≤60 μm)	≥ 50% berat	RdErl. d. MU	90%	baik	
- butiran kasar (≥64 mm)	≤ 10% berat	RdErl. d. MU	0%	baik	
- kerapatan butir	tidak ada		2,57 g/cm <sup>3</sup>		
- batas susut (W <sub>s</sub> )	tidak ada		20,1%		
- batas plastis (W <sub>p</sub> )	tidak ada		37,6%		
- batas cair (W <sub>L</sub> )	35 - 90%	Oeltzner, 1992 & Seymour, 1994	76,4%	s. baik	Nilai maksimum atas pertimbangan Teknis
- indeks plastisitas (I <sub>p</sub> )	15 - 65%		39,8%	s. baik	
- serapan air	tidak ada		117%		
- kerapatan kering (ρ <sub>pr</sub> )	tidak ada		1,25 g/cm <sup>3</sup>		Tuntutan selama proses pemadatan
- kandungan air optimum (W <sub>pr</sub> )	tidak ada		33%		W <sub>pr</sub> < W < W <sub>0,95pr</sub>
<b>Sifat Mekanis Tanah</b>					
- sudut geser dalam (θ)	tidak ada		18,20°		Dari direct shear test
- kohesi (c)	tidak ada		4,07 kPa		Dari direct shear test
- unconfined comp. Strength (q <sub>u</sub> )	tidak ada		3,2 kPa		Dari uniaxial test
- undrained shear strength (s <sub>u</sub> )	tidak ada		1,6 kPa		Dari uniaxial test
<b>Permeabilitas</b>	k <sub>20</sub> =6,5E-10	TA-Siedlungabfall		cukup	k pada suhu 20°C
- proctor	tidak ada		1,1E-9 m/s		
- minimum	tidak ada		4,1E-10 m/s		

Tabel 4.8b : Penilaian hasil pengujian parameter mineral sealing dengan nilai baku dari beberapa acuan untuk **Lempung Karangpilang**

Parameter	Nilai Baku	Pustaka	Hasil Uji	Nilai Relatif	Keterangan
<b>Komposisi Mineral</b>					
- mineral lempung	≥ 10% berat	TA-Siedlungabfall	25%	s. baik	dari butiran ≤ 2 μm
- mineral karbonat	≤ 20% berat	RdErl. D. MU	4,18%	s. baik	
- bahan organik	≤ 15% berat	RdErl. D. MU	9,84%	s. baik	Komponen yang habis terbakar saat penentuan komposisi kimia.
- ph	tidak ada		7,8		Dalam H <sub>2</sub> O
<b>Sifat Fisik</b>					
- butiran halus (≤60 μm)	≥ 50% berat	RdErl. d. MU	95%	s. baik	
- butiran kasar (≥64 mm)	≤ 10% berat	RdErl. d. MU	0%	s. baik	
- kerapatan butir	tidak ada		2,59 g/cm <sup>3</sup>		
- batas susut (W <sub>s</sub> )	tidak ada		8,7%		
- batas plastis (W <sub>p</sub> )	tidak ada		31,0%		
- batas cair (W <sub>L</sub> )	35 - 90%	Oeltzner, 1992 &	87,3%	s. baik	nilai maksimum atas
- indeks plastisitas (I <sub>p</sub> )	15 - 65%	Seymour, 1994	56,3%	s. baik	pertimbangan Teknis
- serapan air	tidak ada		107%		
- kerapatan kering (ρ <sub>pr</sub> )	tidak ada		1,38 g/cm <sup>3</sup>		Tuntutan selama proses pemadatan
- kandungan air optimum (W <sub>pr</sub> )	tidak ada		25%		W <sub>pr</sub> < W < W <sub>0,95pr</sub>
<b>Sifat Mekanis Tanah</b>					
- sudut geser dalam (θ)	tidak ada		15,32°		Dari direct shear test
- kohesi (c)	tidak ada		2,03 kPa		Dari direct shear test
- unconfined comp. Strength (q <sub>u</sub> )	tidak ada		2,9 kPa		Dari uniaxial test
- undrained shear strength (s <sub>u</sub> )	tidak ada		1,5 kPa		Dari uniaxial test
<b>Permeabilitas</b>	k <sub>20</sub> =6,5E-10	TA-Siedlungabfall		baik	k pada suhu 20°C
- proctor	tidak ada		5,5 E-10 m/s		
- minimum	tidak ada		2,5 E-10 m/s		

Tabel 4.8c : Penilaian hasil pengujian parameter mineral sealing dengan nilai baku dari beberapa acuan untuk **Lempung Warugunung**

Parameter	Nilai Baku	Pustaka	Hasil Uji	Nilai Relatif	Keterangan
<b>Komposisi Mineral</b>					
- mineral lempung	≥ 10% berat	TA-Siedlungabfall	25%	s. baik	dari butiran ≤ 2 μm
- mineral karbonat	≤ 20% berat	RdErl. D. MU	0,35%	s. baik	
- bahan organik	≤ 15% berat	RdErl. D. MU	9,44%	baik	Komponen yang habis terbakar saat penentuan komposisi kimia.
- ph	tidak ada		8,2		Dalam H <sub>2</sub> O
<b>Sifat Fisik</b>					
- butiran halus (≤60 μm)	≥ 50% berat	RdErl. d. MU	89%		
- butiran kasar (≥64 mm)	≤ 10% berat	RdErl. d. MU	0%		
- kerapatan butir	tidak ada		2,65 g/cm <sup>3</sup>		
- batas susut (W <sub>s</sub> )	tidak ada		11,4%		
- batas plastis (W <sub>p</sub> )	tidak ada		20,3%		
- batas cair (W <sub>L</sub> )	35 - 90%	Oeltzner, 1992 & Seymour, 1994	53,8%		Nilai maksimum atas pertimbangan Teknis
- indeks plastisitas (I <sub>p</sub> )	15 - 65%		33,5%		
- serapan air	tidak ada		104%		
- kerapatan kering (ρ <sub>pr</sub> )	tidak ada		1,59 g/cm <sup>3</sup>		Tuntutan selama proses pemadatan W <sub>pr</sub> < W < W <sub>0,95pr</sub>
- kandungan air optimum (W <sub>pr</sub> )	tidak ada		17%		
<b>Sifat Mekanis Tanah</b>					
- sudut geser dalam (θ)	tidak ada		18,7°		Dari direct shear test
- kohesi (c)	tidak ada		5,14 kPa		Dari direct shear test
- unconfined comp. Strength (q <sub>u</sub> )	tidak ada		5,6 kPa		Dari uniaxial test
- undrained shear strength (s <sub>u</sub> )	tidak ada		2,8 kPa		Dari uniaxial test
<b>Permeabilitas</b>	k <sub>20</sub> =6,8E-10	TA-Siedlungabfall		s. baik	k pada suhu 20°C
- proctor	tidak ada		1,6 E-10 m/s		
- minimum	tidak ada		1,2 E-10 m/s		

repository.ub.ac.id

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Dari perbandingan hasil pengujian dengan baku mutu yang berlaku di beberapa negara dan literature diketahui bahwa ketiga sedimen lempung yang diuji (Kedamean, Karangpilang, dan Warugunung) memenuhi persyaratan sebagai bahan pembuatan liner. Dari ketiga jenis lempung, Lempung Karangpilang menunjukkan sifat yang lebih baik, karena mempunyai permeabilitas rendah dan proses pemadatan mudah, serta mempunyai kandungan pasir paling sedikit. Liner yang lebih baik, dapat dibuat dari kombinasi antara lapisan yang terbuat dari Lempung Kedamean dan Karangpilang.

### 5.2. Saran

Untuk mengetahui lebih jauh tentang kelayakan sedimen lempung di atas, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui mekanisme transport zat pencemar (*pollutant*) dalam contoh sedimen lempung.





## DAFTAR PUSTAKA

**ASTM (AMERICAN STANDARD TESTING MATERIAL)** D 2216-90, D 4318, D 4943, D 421, D 422, D 854, D 2487-85, D 698-78, D 2166-85, D 3080-90.

**AZZAM, R. (1989):** Einige Aspekte des Verdichtungsverhaltens und der Durchschlaessigkeitseigenschaften mineralischer Abdichtung, *Mitt. Zur Ingenieur- und Hydrogeologie*, Heft 32. Aachen.

**BENSON, C H & DANIEL, D E (1990):** Influence of Clods on Hydraulic Conductivity of Compacted Clay. In *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 116, No. 8, p. 1231-1248.

**BOWLES, J. E. (1992):** Engineering Properties of Soil and Their Measurement, McGrawHill Inc. New York.

**Christensen, T. H. et. al. (1994):** Landfilling of Waste : Barriers. E & FN Spon. London.

**Czurda, K. A. (1993):** The Triple Multiminerall Barrier for Hazardous Waste Encapsulation. In *Engineering Geology*, No. 34, p. 203-209.

**DIE DEUTSCHE GESELLSCHAFT FUER ERD- UND GRUNDBAU (1993).** GDA Empfehlungen des Arbeitskreises Geotechnik der Deponien und Altlasten. Ernst & Sohn Verlag, Berlin.

**DIN (DEUTSCHE INDUSTRIE NORM)** 1813, 18129, 18136, 18137.

**ELSBURY, B. R. et. al. (1990):** Lesson Learned from Compacted Clay Liner. In *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 116, No. 11, p. 1641 – 1660.

**GUGGENHEIM, S. UND MARTIN, R.T. (1995):** Definition of Clay and Clay Mineral. Joint Report of the AIPEA Nomenclature and CMS Nomenclature Committees. *Clay and Clay Minerals*, Vol. 31 No. 6, p. 401 -402.

**JASMUND, K. UND LAGALY, G. (Hrsg) (1992):** Tonminerale und Ton, Struktur, Eigenschaften, Anwendung und Einsatz. Steinkopf Verlag. Darmstadt.

**Jessberger, H. L. (1990):** Some geotechnical Aspect of Waste Disposal. In *Proceeding of 6<sup>th</sup> IAEG Congress*. Balkema. Rotterdam.

**KONTA, J (1995):** Clay and Man: Clay Raw Material in The Service of Man. *Applied Clay Science*, Vol. 10, p. 275 – 335.

**MESRI, G. & OLSON, R. E. (1971):** Mechanisms Controlling the Permeability of Clays. In *Clay and Clay Mineral*, Vol. 19, p. 151 – 158.

**STIEF, K. (1986):** das Multibarrierkonzept als Grundlage von Planung, Bau, Betrieb und Nachsoege einer Deponie. *Muell und Abfall*, Nu. 18 (1), S. 15 – 20.

**SUKARDI, 1992,** Geology of Surabaya and Sapulu Quadrangle, Java, scale 1:100.000, Geological Research and Development Centre, Ministry of Mines and Energy, Bandung.

**WHITE, P. et al (1995):** Integrated Solid Waste Management. Blackie Academic & Professional. Glasgow.



0900514