

**TUGAS AKHIR**

**STUDI KARAKTERISTIK KUAT TEKAN LUMPUR LIMBAH DENGAN  
STABILISASI ABU KETEL DAN SERAT SABUT KELAPA SEBAGAI  
LAPISAN PENUTUP HARIAN TEMPAT PEMROSESAN AKHIR (TPA)**



**IMAMUL KHAIR HAS**

**D131 17 1316**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**2022**



## LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Judul : **Studi Karakteristik Kuat Tekan Lumpur Limbah dengan Stabilisasi Abu Ketel Serat Sabut Kelapa Sebagai Lapisan Penutup Harian TPA**

Disusun Oleh :

Nama : **Imamul Khair Has** **D131171316**

Telah diperiksa dan disetujui  
Oleh Dosen Pembimbing

Gowa, 18 Januari 2022

Pembimbing I

Pembimbing II

**Dr. Eng. Kartika Sari, S.T., M.T.**  
NIP. 197312012000122001

**Dr. Eng. Irwan Ridwan Rahim, S.T., M.T.**  
NIP. 19721119200121001

Menyetujui,  
Ketua Departemen Teknik Lingkungan

**Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T.**  
Nip. 197204242000122001

## KATA PENGANTAR

Puji syukur Penulis haturkan kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan karunia yang tak terhingga, tak lupa pula Salawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada junjungan Nabi Besar Muahammad SAW, beserta para keluarga dan sahabatnya sehingga Penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **Studi Karakteristik Kuat Tekan Lumpur Limbah Dengan Stabilisasi Abu Ketel Dan Serat Sabut Kelapa Sebagai Lapisan Penutup Harian Tempat Pemrosesan Akhir (TPA)**. Penyelesaian Tugas akhir ini ditujukan untuk memenuhi salah satu persyaratan ujian dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) pada Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Tugas akhir ini dapat diselesaikan tidak terlepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak. Untuk itu, pada kesempatan ini, dengan segala kerendahan hati dan dengan segala hormat, Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak, terutama kepada:

1. Bapak Dr. Hasbullah M.Pd., P.hd dan Ibu Dra. Nurhayati., selaku kedua orangtua Penulis yang telah mendo'akan, menyemangati, dan memberikan pengorbanan yang begitu besar sehingga penulis dapat melanjutkan studi hingga berkuliah di Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. Bapak Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. Ibu Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T., selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
4. Bapak Dr. Eng. Irwan Ridwan Rahim, S.T., M.T., Selaku Kepala Lab Riset Sanitasi dan Persampahan Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
5. Ibu Dr. Eng. Kartika Sari, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Dr. Eng. Irwan Ridwan Rahim, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang

telah meluangkan waktu tenaga serta memberikan arahan dan masukan di tengah kesibukannya sehingga Penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

6. Bapak dan Ibu Dosen yang telah mengajar dan membimbing Penulis selama masa perkuliahan terutama Bapak Dr. Eng, Irwan Ridwan Rahim, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik
7. Seluruh staff dan karyawan Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, terutama kepada Ibu Sumiati dan Kak Olan yang telah banyak membantu Penulis dalam pengurusan administrasi.
8. Seluruh asisten Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah banyak membantu dalam penyelesaian penelitian ini
9. Untuk partner TA Penulis Azhim Hidayat, Nidya Anastasya Nirwan dan Selsi atas kerjasama timnya yang selalu setia menemani dan membantu mulai dari pengambilan data hingga Penulisan tugas akhir ini dapat diselesaikan.
10. Saudara-saudari se-PLASTIS 2017, yang telah mengisi masa perkuliahan Penulis sejak menjadi mahasiswa baru sampai sekarang.
11. Kawan – kawan seperjuangan di Lab Riset Sanitasi dan persampahan
12. Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan, sebagai Organisasi yang memberikan ilmu diluar perkuliahan
13. Rekan-rekan senior, serta teman-teman asisten Lab Hidrolika Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Hasanuddin. Terima kasih atas segala pengalaman yang telah diberikan terhadap Penulis
14. Kawan Penulis Neng Kunti yang selalu memberikan Penulis dorongan, semangat, dan menjadi motivasi Penulis semasa berkuliah di Universitas Hasanuddin
15. Serta semua pihak yang namanya tidak bisa Penulis sebutkan satu persatu. Terimakasih atas segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan.

Penulis menyadari dalam Penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, dan masih terdapat kekurangan. Hal tersebut dikarenakan keterbatasan kemampuan Penulis. Oleh karena itu saran dan kritik yang bersifat membangun diharapkan oleh

Penulis. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk kedepannya dalam pengembangan ilmu pengetahuan.

Gowa, September 2021

Penulis

**Imamul Khair Has**

**D131 17 1316**

## ABSTRAK

**IMAMUL.** *Studi Karakteristik Kuat Tekan Lumpur Limbah Dengan Stabilisasi Abu Ketel dan Serat Sabut Kelapa Sebagai Lapisan Penutup Harian Tempat Pemrosesan Akhir (TPA)* (dibimbing oleh Dr. Eng. Kartika Sari, ST., MT., dan Dr. Eng, Irwan Ridwan Rahim, S.T., M.T.,)

Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) adalah tempat dimana sampah diproses hingga nantinya sampah tersebut dapat dikembalikan ke media lingkungan. Dalam pelaksanaannya terdapat beberapa metode pengoperasian TPA, salah satunya ialah *Sanitary Landfill*. Ketersediaan material sebagai pelapis harian memegang peranan penting dalam perencanaan pengoperasian *Sanitary Landfill*. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis nilai kuat tekan lumpur limbah yang dicampur dengan tanah, abu ketel dan serat sabut kelapa dan juga keefektifan campuran tersebut sebagai material alternatif penutup harian TPA. Variasi campuran yaitu 40% tanah, 10 % abu ketel dan serat sabut kelapa persentase 1%, dan 2% terhadap berat total menggunakan cairan  $\text{CaCl}_2$  60% dan etanol 60%. Dari hasil pengujian diperoleh nilai kuat tekan tertinggi dicapai pada hari ke-21 yaitu  $2,927 \text{ kg/cm}^2$   $\text{CaCl}_2$  60% dan  $3,587 \text{ kg/cm}^2$  etanol 60% pada variasi 1% serat sabut kelapa. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan tanah, abu ketel, dan serat sabut kelapa dapat meningkatkan kekuatan dari lumpur limbah seiring dengan bertambahnya usia pemeraman. Namun nilai kuat tekan bebas tanpa serat sabut kelapa diperoleh lebih besar dibandingkan penambahan 1% serat sabut kelapa sehingga penambahan serat sabut kelapa tidak terlalu efektif. Dari hasil perhitungan, semua nilai kuat geser yang didapatkan berdasarkan nilai kuat tekan bebas sampel variasi berada diatas standar yang telah ditetapkan oleh Environmental Protection Agency (EPA) yaitu, tidak kurang dari  $40 \text{ kN/m}^2$  atau  $0,408 \text{ kg/cm}^2$  sehingga dapat dipertimbangkan sebagai alternatif penutup harian TPA .

**Kata Kunci :** Tanah Penutup TPA, *Sanitary Landfill*, Kuat Tekan, Campuran abu ketel – serat sabut kelapa

## ABSTRACT

**IMAMUL.** *Study of Compressive Strength Characteristics of Waste Sludge With Boiler Ash Stabilization and Coconut Coir Fibers As Daily Cover Layers for Final Processing Sites* (supervised by Dr. Eng. Kartika Sari, ST., MT., and Dr. Eng, Irwan Ridwan Rahim, ST, MT,)

The final Processing Site (TPA) is a place where waste is processed so that later the waste can be returned to environmental media. In its implementation, there are several methods of operating the landfill, one of which is the Sanitary Landfill. The availability of materials as daily cover plays an important role in planning the operation of the Sanitary Landfill. The purpose of this study was to analyze the compressive strength of sewage sludge mixed with soil, boiler ash, and coconut fiber and also the effectiveness of the mixture as an alternative material for daily landfill cover. The variation of the mixture was 40% soil, 10% boiler ash, and 1%, 2% coconut coir fiber, of the total weight using 60% CaCl<sub>2</sub> and 60% ethanol. From the test results, the highest compressive strength value was achieved on day 21, namely 2,927 kg/cm<sup>2</sup> CaCl<sub>2</sub> 60% and 3,587 kg/cm<sup>2</sup> ethanol 60% at 1% variation of coco fiber. These results indicate that the addition of soil, boiler ash, and coco fiber can increase the strength of the sewage sludge with increasing curing age. However, the value of free compressive strength without coconut fiber obtained is greater than the addition of 1% coconut fiber so that the addition of coconut fiber is not effective. From the calculation results, all the shear strength values obtained are based on the value of the sample- Unconfined Compression Test of variations which are above the standard set by the Environmental Protection Agency (EPA), namely, not less than 40 kN/m<sup>2</sup> or 0.408 kg/cm<sup>2</sup> so that it can be considered as an alternative cover. landfill daily.

Keywords: Landfill Cover, Sanitary Landfill, Compressive Strength, Mixture of boiler ash – coco fiber

## DAFTAR ISI

<b>SAMPUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	3
C. Tujuan Penelitian.....	3
D. Manfaat Penelitian.....	4
E. Batasan Masalah.....	4
F. Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
A. Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) .....	6
B. Metode Pengelolaan Sampah Akhir .....	7
C. Pengertian Stabilisasi Tanah .....	9
D. Klasifikasi Tanah.....	10
E. Berat Jenis (Specific Gravity G <sub>s</sub> ).....	15
F. Batas – Batas Atterberg .....	16
G. Pemasatan .....	17
H. Uji Kuat Tekan Bebas (Unconfined Compression Test) .....	18
I. Uji Geser Langsung (direct shear test).....	19
J. Pengertian Sludge.....	20
K. Air Lindi .....	21
L. Pengertian Abu Ketel .....	23



M. Serat Sabut Kelapa di Indonesia.....	23
N. Penelitian Sebelumnya .....	24
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>31</b>
A. Lokasi Penelitian .....	31
B. Instrumen Penelitian.....	31
C. Tahapan Penelitian .....	33
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>42</b>
A. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Sampel .....	42
B. Pengujian Kompaksi Lumpur Limbah yang Dicampur dengan Tanah, Abu Ketel dan Serat Sabut Kelapa .....	57
C. Nilai Uji Kuat Tekan Bebas Terhadap Campuran Lumpur limbah dan Tanah Tercampur Abu Ketel dan Serat Sabut Kelapa.....	58
D. Rekapitulasi Hasil Penelitian Pengaruh Penambahan Serat Sabut Kelapa Terhadap Campuran Lumpur Limbah dan 40% Tanah dengan 10% Abu Ketel.....	65
E. Efektivitas Penambahan Serat Sabut kelapa terhadap Campuran Lumpur Limbah dengan Tanah dan Abu Ketel .....	68
F. Hubungan Nilai Uji Kuat Tekan Bebas Terhadap Nilai Kuat Geser Lumpur Limbah dengan Campuran Tanah, Abu Ketel, dan Serat Sabut Kelapa.....	71
G. Efektivitas Lumpur Limbah dengan Campuran Tanah, Abu Ketel, dan Serat Sabut Kelapa Sebagai Lapisan Penutup Harian TPA.....	73
<b>BAB V_KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>76</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>78</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>82</b>
<b>DOKUMENTASI.....</b>	<b>109</b>

#### DAFTAR TABEL

Tabel 1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO .....	11
Tabel 2. Klasifikasi USCS ( <i>Unified Soil Classification System</i> ).....	13

Tabel 3. Sistem klasifikasi tanah <i>Unified</i> .....	14
Tabel 4. Berat Jenis Tanah ( <i>Spesific Gravity</i> ).....	15
Tabel 5. Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah .....	16
Tabel 6. Karakteristik Air Lindi.....	22
Tabel 7. Penelitian Terdahulu .....	25
Tabel 8. Standar Pengujian Sifat Fisik Tanah.....	39
Tabel 9. Standar Pengujian Sifat Mekanis Tanah .....	40
Tabel 10. Variasi Sampel Pengujian .....	41
Tabel 11 . Hasil pengujian Karakteristik Fisik Lumpur limbah.....	43
Tabel 12. Karakteristik Mekanis Tanah Asli .....	45
Tabel 13. Nilai Kadar Air Optimum dan Berat Isi Kering Tanah dan lumpur limbah .....	55
Tabel 14 . Penambahan cairan dan berat material untuk Sampel UCT .....	56
Tabel 15. Nilai UCT masing-masing cairan .....	56
Tabel 16. Hasil pengujian Karakteristik Fisik Tanah.....	49
Tabel 17 . Klasifikasi Tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya (Sistem AASHTO).....	51
Tabel 18. Klasifikasi Keandalan Tanah Berdasarkan AASHTO .....	53
Tabel 19. Karakteristik Mekanis Tanah Asli .....	55
Tabel 20. Nilai Kadar Air Optimum dan Berat Isi Kering dari Masing-masing Variasi Campuran .....	57
Tabel 21 . Penambahan Air untuk Sampel UCT.....	58
Tabel 22. Penambahan material untuk Masing-masing Variasi.....	59
Tabel 23. Nilai UCT Masing-masing Variasi pada Waktu Pemeraman 0 Hari .....	60
Tabel 24. Nilai UCT Masing-masing Variasi pada Waktu Pemeraman 7 Hari .....	61
Tabel 25. Nilai UCT Masing-masing Variasi pada Waktu Pemeraman 14 Hari .....	62
Tabel 26. Nilai UCT Masing-masing Variasi pada Waktu Pemeraman 21 hari .....	64

Tabel 27. Rekapitulasi Nilai UCT Masing-masing Variasi .....	65
Tabel 28. Nilai UCT untuk 40% Tanah dengan campuran 10% Abu Ketel dan 1% serat sabut kelapa.....	68
Tabel 29. Nilai UCT untuk 10% abu ketel terhadap campuran tanah dan lumpur limbah .....	69
Tabel 30. Nilai kuat geser Masing-masing Variasi pada Waktu Pemeraman 21 hari .....	72
Tabel 31. Rekapitulasi Nilai Kuat Geser Masing-masing Variasi .....	73

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 . Skema uji tekan bebas .....	18
Gambar 2. Lokasi Pengambilan Sampel .....	31
Gambar 3. Diagram Alir Penelitian .....	33
Gambar 3. Tanah Asli .....	34
Gambar 4. Lumpur limbah.....	34
Gambar 5. Abu Ketel .....	35
Gambar 6. Serat Sabut Kelapa .....	35
Gambar 7. Alat Pengujian Berat Jenis .....	36
Gambar 8. Pengujian Batas-Batas Atterberg .....	36
Gambar 9. Pengujian Analisis Saringan.....	37
Gambar 10. Pengujian Analisis Hidrolis.....	37
Gambar 11. Pengujian Kompaksi .....	38
Gambar 12. Pengujian UCT .....	38
Gambar 13 . Grafik Analisa butiran.....	43
Gambar 14. Grafik Hubungan Kadar Air Optimum dan Berit Isi Kering .....	44
Gambar 15. Grafik UCT Lumpur limbah .....	45
Gambar 16. Grafik Pengujian Batas Cair.....	47
Gambar 17. Grafik Analisa Butiran dan Hidrometer .....	48
Gambar 18. Chart Sistem Klasifikasi USCS.....	51
Gambar 19. Grafik Hubungan Kadar Air Optimum dan Berit Isi Kering .....	54
Gambar 20. Grafik UCT Tanah Asli.....	54
Gambar 21. Grafik Hubungan Nilai UCT Dengan Variasi Penambahan Material Campuran Pada Waktu Pemeraman 0 Hari .....	61
Gambar 22. Grafik Hubungan Nilai UCT dengan Variasi Penambahan Material Campuran pada Waktu Pemeraman 7 Hari .....	62
Gambar 23. Grafik Hubungan Nilai UCT dengan Variasi Penambahan Material Campuran pada Waktu Pemeraman 14 Hari .....	63
Gambar 24. Grafik Hubungan Nilai UCT dengan Variasi Penambahan Material Campuran pada Waktu Pemeraman 21 hari .....	65

Gambar 25. Grafik Nilai Kuat Tekan Material Campuran Limbah Terhadap Waktu Pemeraman Untuk Cairan CaCl <sub>2</sub> .....	66
Gambar 26. Grafik Nilai Kuat Tekan Material Campuran Limbah Terhadap Waktu Pemeraman Untuk Cairan Etanol.....	67
Gambar 27. Grafik Hubungan Nilai UCT Variasi Campuran untuk 40% Tanah dengan campuran 10% Abu Ketel dan 1% serat sabut kelapa .....	69
Gambar 28. Grafik Hubungan Nilai UCT pada Variasi 10% abu ketel terhadap campuran tanah dan lumpur limbah .....	70
Gambar 29. Grafik Efektifitas Nilai UCT pada Variasi 10% abu ketel terhadap campuran tanah dan lumpur limbah .....	71
Gambar 30. Grafik Efektifitas Nilai UCT pada Variasi 10% abu ketel terhadap campuran tanah dan lumpur limbah .....	71
Gambar 31. Grafik Nilai Kuat Geser Pada Variasi 10% Abu Ketel Terhadap Campuran Tanah dan Lumpur Limbah .....	72
Gambar 32. Grafik Nilai Kuat Geser Masing-masing Campuran.....	74
Gambar 33. Grafik Nilai Kuat Geser masing-Masing Campuran.....	75

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang**

Lingkungan dan manusia saling bersinergi satu sama lain, dimana kesehatan lingkungan ditentukan oleh manusianya. Manusia membutuhkan lingkungan yang sehat dan bebas dari sampah dan polusi. Sebaliknya, lingkungan butuh untuk dilestarikan dan dijaga oleh manusia. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan dan aktivitas masyarakat, mengakibatkan peningkatan produksi sampah yang dihasilkan. Timbulan sampah yang semakin besar dari hari ke hari akan mengurangi ruang dan mengganggu aktivitas manusia sehingga menurunkan kualitas hidup manusia karena permasalahan timbulan sampah.

Peningkatan jumlah sampah yang tidak diikuti oleh perbaikan dan peningkatan sarana dan prasarana, mengakibatkan permasalahan sampah menjadi kompleks, antara lain sampah tidak terangkut dengan baik dan pembuangan sampah yang tidak pada tempatnya. Metode yang umum digunakan dan diterapkan di Indonesia saat ini adalah metode landfill dengan cara mengumpulkan dan mengalihkan sampah pada suatu tempat atau daerah tertentu yang biasa disebut Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). TPA merupakan salah satu kebutuhan dasar dalam pengelolaan sampah, sehingga keberadaan sangat diperlukan. Peningkatan berbagai aktivitas manusia menyebabkan makin berkembangnya suatu daerah, yang artinya kebutuhan lahan sebagai penunjang aktivitas manusia semakin tinggi. Fungsi lahan diberbagai daerah pun mulai banyak berubah. Hal ini berakibat sulitnya mendapatkan lahan TPA terutama di daerah perkotaan, karena terbatasnya lahan yang tersedia. Berlandaskan Undang – Undang No.18 Tahun 2008, Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 3 Tahun 2013, Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No.21 Tahun 2006, Peraturan Pemerintah No.16 Tahun 2005, Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 81 Tahun 2012, dan SNI-19-2454-2002 dinyatakan bahwa TPA di kota besar dan metropolitan harus direncanakan sesuai metode lahan ruang (*Sanitary Landfill*).

Sistem *Sanitary Landfill* memiliki konsep pengaplikasian yang cukup sederhana yaitu mengurung sampah dengan lapisan tanah kemudian melakukan pemadatan dengan alat berat yang dilakukan setiap hari pada akhir operasional. Salah satu komponen penting dalam pengoperasian *Sanitary Landfill* adalah lapisan penutup harian yang berfungsi untuk menahan aliran cemar berupa *leachate* ( air lindi sampah ), dengan menyerap atau mengurangi cemar agar tidak terlarut. Oleh karena itu, pada sebuah TPA yang baik dibutuhkan sebuah pelapis harian yang efektif untuk mencegah sebaran cemar, khususnya ke dalam air tanah .

Keterbatasan ketersediaan material sebagai pelapis harian memegang peranan penting dalam perencanaan pengoperasian *Sanitary Landfill*. Pada umumnya, lapisan tanah yang dianjurkan adalah tanah liat (*clay*) karena memiliki tekstur yang sangat halus, dan memiliki kandungan berupa *silt* dan pasir. (Mizwar, 2015)

Dalam keadaan kering, *clay* bersifat keras, dan dapat menahan beban yang berat, selain itu *permeabilitas* pada kondisi basah sangat rendah. Namun, tanah liat dapat menjadi kering apabila terdapat solven yang tidak dapat larut dalam air dan dapat menyebabkan timbulnya celah – celah retakan dan memungkinkan keluarnya lindi dan meresap menuju kedalam air tanah. Oleh karena itu dipandang perlu untuk memanfaatkan material alternatif untuk lapisan harian TPA. (Nurdin, 2016)

Sukiman Nurdin ( 2016 ) melakukan percobaan eksperimental dengan perkuatan tanah berlanau dengan serat sabut kelapa sawit dan *fly ash* untuk mengevaluasi kekuatan tanah lanau, setelah dilakukan pencampuran diperoleh hasil pengujian yang dilakukan secara spesifik material campuran *fly ash* dan serat buah kelapa sawit meningkatkan kapasitas signifikan dalam mendukung tanah sebagai lapisan penutup landfill. Dari hasil pengujian diperoleh pada variasi 10% *fly ash* dan 1% serat sabut kelapa sawit diperoleh nilai kekuatan tekan bebas sebesar 89 kPa yang mengalami peningkatan dibandingkan tanpa bahan campuran yaitu sebesar 39,4 kPa.

Abu ketel adalah salah satu limbah bahan bakar (*Fly Ash* ) yang dihasilkan dalam jumlah cukup banyak dalam proses pembuatan gula, abu ketel memiliki

kandungan karbon yang tinggi sehingga dapat menahan cemaran organik sedangkan lumpur limbah industry memiliki sifat padat seperti tanah, maka perlu dilakukan perlakuan tambahan dengan metode campuran dengan serat sabut kelapa. Serat sabut kelapa sendiri dapat dijadikan sebagai penguat bahan sehingga sifatnya lebih kaku dan kokoh.

Berdasarkan uraian diatas penulis tertarik untuk melakukan penelitian terhadap penanganan pengelolaan sampah khususnya pada lapisan harian di Tempat Pemrosesan Akhir menggunakan material lumpur limbah dengan campuran abu ketel dan serat sabut kelapa. Maka penulis menuangkannya dalam penulisan tugas akhir dengan judul **“Studi Karakteristik Kuat Tekan Lumpur Limbah Dengan Stabilisasi Abu Ketel Dan Serat Sabut Kelapa Sebagai Lapisan Penutup Harian Tempat Pemrosesan Akhir (TPA)”** penerapan material alternatif ini diharapkan dapat mengatasi masalah keterbatasan material lapisan dasar pada TPA, serta dapat menjaga kelestarian lingkungan, dan akan menimbulkan keuntungan ekonomis.

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian di atas, maka permasalahan yang akan diselesaikan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana sifat dasar geoteknik campuran lumpur limbah, tanah, abu ketel dan serat sabut kelapa?
2. Berapa besar nilai kuat tekan parameter bebas lumpur limbah ketika dicampur dengan tanah, abu ketel dan serat sabut kelapa sebagai material alternatif lapisan penutup harian tempat pembuangan akhir (TPA)?

## **C. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian ini adalah:



1. Menganalisis sifat fisik dan mekanik campuran lumpur limbah, tanah, abu ketel dan serat sabut kelapa
2. Menganalisis nilai kuat tekan parameter bebas lumpur limbah ketika dicampur dengan tanah, abu ketel dan serat sabut kelapa sebagai material alternatif lapisan penutup harian tempat pembuangan akhir (TPA)

#### **D. Manfaat Penelitian**

Memberikan informasi baru tentang material alternatif untuk lapisan penutup harian tempat pemrosesan akhir (TPA) dengan memanfaatkan lumpur limbah yang dicampur tanah, abu ketel dan serat sabut kelapa

#### **E. Batasan Masalah**

Untuk mengarahkan penulis dalam memberikan penjelasan dari permasalahan dan guna memudahkan dalam menganalisa, sesuai dengan judul dan tujuan penulisan Tugas Akhir ini, maka penulis membatasi masalah yang akan dibahas sebagai berikut ini:

1. Limbah yang digunakan adalah lumpur limbah yang diambil pada Kawasan Industri Makassar (KIMA)
2. Material tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah lanau
3. Uji mekanis yang dilakukan yaitu pengujian kuat tekan
4. Campuran yang digunakan ialah tanah, abu ketel dan serat sabut kelapa

#### **F. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan disusun agar pembahasan lebih terarah dan tetap menjurus pada pokok permasalahan dan kerangka isi. Dalam tugas akhir ini sistematika penulisan disusun dalam lima bab yang secara berurutan menerangkan hal-hal sebagai berikut:

## **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan masalah yang memang memerlukan penyelesaian, yang didasarkan dari masalah (actual). Selain itu berisi rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan diakhiri dengan sistematika penulisan

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisikan teori – teori dan tinjauan umum yang digunakan untuk membahas dan menganalisa tentang permasalahan yang mendasar mengenai masalah yang diteliti. Termasuk juga teori, temuan, dan bahan penelitian lain yang digunakan pada penelitian.

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini menjelaskan tentang tahap demi tahap prosedur pelaksanaan penelitian serta cara pengolahan data hasil penelitian. Termasuk juga kerangka alir penelitian.

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menyajikan deskripsi analisis perhitungan data-data temuan yang diperoleh dari hasil pengujian serta menjawab pertanyaan penelitian atau rumusan masalah.

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini akan menerangkan tentang kesimpulan menyeluruh dari hasil pengujian yang diperoleh beserta saran yang diperlukan untuk perbaikan dan penelitian lebih lanjut dari tugas akhir ini.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Tempat Pemrosesan Akhir (TPA)**

Merujuk pada UU Nomor. 18 Tahun 2008, Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) merupakan tempat akhir dalam tahap pengelolaan sampah yang dimulai dari pengumpulan disumber, pemindahan dan pengangkutan untuk memroses serta mengembalikan sampah ke media lingkungan dengan cara yang aman bagi orang dan lingkungan. Berdasarkan peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia No. 3 tahun 2013, terdapat perihal yang butuh dicermati dalam proses pengelolaan sampah pada TPA. dalam proses pengelolaan sampah dilakukan dengan menggunakan metode lahan urug yang terkendali, lahan urug saniter maupun dengan pemanfaatan teknologi ramah lingkungan.

Tempat pemrosesan akhir (TPA) sampah merupakan sarana untuk penampungan dan pengolahan sampah yang pemilihan lokasi dan konstruksinya dilakukan sedemikian rupa, sehingga tidak menimbulkan dampak kesehatan dan lingkungan, namun tetap saja menimbulkan pencemaran. (Handono, 2010)

Dalam sistem pengelolaan sampah, TPA senantiasa dijadikan sebagai titikberat permasalahan dalam polusi yang berlangsung disekitar lokasi TPA. polusi bisa terjadi pada perairan yang merupakan wilayah warga beraktifitas. Sebagian kasus penting yang mesti dicermati yakni penyebaran gas serta pemancar gas pada TPA, pergerakan air lindi dan ke dalam lapisan tanah. (Mahyudin, 2017)

Perubahan suhu serta humiditas udara bisa menimbulkan terjadinya kerusakan pada lapisan tanah yang digunakan pada Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) berupa retakan yang dapat menjadi penyebab kemungkinan terbentuknya aliran gas yang keluar dari TPA maupun mempercepat proses rembesan air lindi akibat hujan.

## B. Metode Pengelolaan Sampah Akhir

Menurut Silvia Yulita Ratih (2011: 42- 43) tentang system pengelolaan sampah di TPA terdapat beberapa cara, antara lain:

### 1. Pemadatan (*bail Press*)

Prosedur yang digunakan dalam pemrosesan sampah ini adalah dengan penggunaan mesin untuk melakukan proses pemadatan pada sampah dan membentuk sampah hingga menjadi bola (bal). setelah itu bal bal itu dibungkus dengan plastik film putih yang mempunyai daya resistan lama, kedap udara, serta tahan dari rembesan air baik dari dalam ataupun luar. Bal dibentuk dengan diameter 1,2 m kemudian ditimbun dan ditutup menggunakan tanah.

### 2. Lahan urugan terbuka (*open dumping*)

Lahan urugan terbuka atau *open dumping* merupakan sistem pengelolaan sampah yang memanfaatkan metode paling sederhana dibanding dengan metode yang ada. Sampah diletakkan pada zona khusus tanpa adanya proses penutupan ataupun penimbunan menggunakan tanah penutup. Hal ini tentu saja dapat memunculkan dampak negatif kepada lingkungan, akibatnya sistem *open dumping* tidak direkomendasikan dalam penggunaannya. *Leacheate* yang ada dalam lapisan timbunan sampah dapat merembes yang tidak hanya dapat mencemari air tanah tetapi juga dapat mencemari tanah dan menimbulkan bau tidak nyaman.

### 3. Lahan urugan terkendali (*controlled landfill*)

Prosedur yang digunakan dalam pengendalian sampah pada tempat pemrosesan akhir ini ialah lahan urug dibiarkan terbuka untuk sementara waktu, setelah itu dilakukan prosedur kompaksi atau pemadatan sampah hingga mencapai ketebalan 60 cm kemudian dilakukan proses pengurugan dengan tanah lapis. Untuk mengurangi risiko pencemaran terhadap lingkungan maka setiap rentang waktu 7 hari berturut turut timbulan sampah ditutup dengan lapisan tanah. Lapisan tanah yang dipakai merupakan susunan tanah yang kedap serta mempunyai ketebalan 15 - 30 cm.

### 4. Lahan urug saniter (*sanitary landfill*)

Dalam proses pengelolaan sampah dengan menggunakan lahan urug saniter terdapat 4 alternatif pengelolaan yaitu:

a. Medan urugan penyehatan (*area landfill*)

Metode yang digunakan dalam pelaksanaannya yaitu dilakukan penimbunan terhadap sampah yang telah dibongkar terlebih dahulu. Penimbunan dilakukan menggunakan tanah dan diratakan menggunakan bulldoser. Pemadatan dilakukan sebanyak 5 kali hingga membentuk lapisan sampah padat dengan ketebalan 60 cm. Proses ini dilakukan terus menerus hingga menghasilkan sampah yang telah dipadatkan dengan ketebalan 240 cm atau 2,4 m dan hingga membentuk 4 lapisan. Setelah itu, dilakukan pengurugan pada sampah yang telah melalui proses diatas dan dipadatkan kembali menggunakan bulldoser hingga mencapai ketebalan 15 cm. Lapisan tanah yang telah melalui proses pemadatan (*kompaksi*) inilah yang disebut dengan urugan harian (*daily cover*) sedangkan timbunan sampah yang telah dikompaksi inilah yang disebut sel. Apabila telah mencapai kurun waktu 3 bulan dalam pelaksanaan prosedur tersebut maka dibuat lapisan urugan dengan ketebalan mencapai 60 cm.

b. Lereng urug penyehatan ( *slope/ramp fill* )

Dalam pelaksanaannya hampir serupa dengan *area landfill*, yang membedakan hanyalah proses pengurugan dan pelapisan dengan tanah lapis yang dilakukan dimulai dari dasar ke atas, akibatnya diperoleh tinggi maksimal dibandingkan *area landfill*.

c. Gali urug ( *trench fill* )

Metodenya serupa dengan *area landfill*, perbedaannya terletak pada galian atau parit yang telah disediakan sebagai tempat untuk memasukkan sampah. Metode ini dapat diaplikasikan sekiranya terdapat lapisan tanah yang memiliki kedalaman berlebih ataupun cukup dalam untuk dimanfaatkan sebagai tempat peletakkan sampah.

d. *Canyonm rit, quarry fill*

Prinsipnya sama dengan *area landfill*, tetapi dalam proses penggaliannya penentuan daerah yang dimanfaatkan terdapat pada suatu lembah.

5. Pembakaran (*incinerating*)

Metode yang digunakan dalam penanganan sampah ini menggunakan prosesi pembakaran untuk memusnahkan sampah dengan memanfaatkan mesin *incinerator*. Biaya yang digunakan untuk mengaplikasikan metode ini sangat besar karena digunakan untuk membeli serta merancang unit peralatan pemusnahan berupa pembakaran sampah tersebut.

6. Pengomposan (*compoustrng*)

Prinsip yang digunakan dalam metode ini adalah pemanfaatan pupuk alami (organic) yang berasal dari bahan-bahan alamiah atau organik untuk mempercepat waktu pembusukan dengan cara penambahan atau pencampuran pupuk tersebut. Misalnya, penambahan urea ataupun kotoran ternak.

Sedangkan berdasarkan SNI 19-2425-2002 mengenai Teknik Pengoperasional Pengelolaan Sampah Perkotaan, terdapat beberapa teknologi pengelolaan sampah yang dibedakan menjadi 3 metode yaitu metode lahan urug terbuka (*open dumping*), lahan urug saniter (*sanitary landfill*), dan metode *controlled landfill* yang merupakan sistem antara untuk digunakan dalam peralihan sistem *open dumping* ke *sanitary landfill* dengan cara melakukan penutupan menggunakan lapisan tanah, prosedur ini dilaksanakan apabila TPA telah penuh ataupun setelah mencapai kurun waktu tertentu

### C. Pengertian Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah ialah suatu usaha yang dipakai untuk mengatasi tanah dasar (*subgrade*) yang kurang baik juga rentan terhadap kerusakan fisik seperti pengerasan ataupun retakan dan sulit untuk diprediksi kapan akan terjadi. Teknik

stabilisasi memanfaatkan pengaplikasian proses pemadatan ataupun pencampuran material lain (aditif) yang diharapkan sanggup memulihkan sifat- sifat tanah. Material yang dapat dijadikan selaku tambahan dapat berbentuk abu terbang, semen, pasir, kapur dan lain- lain. (Abdurrozak, 2017)

Menurut Indra Ardianyah dkk (2019:2), stabilisasi tanah ialah suatu upaya yang bertujuan untuk memperbaiki sifat tanah dengan metode teknis serta memakai bahan- bahan khusus semacam bahan kimiawi. Prosedur yang dipakai dengan mengkombinasikan tanah dengan tanah yang memiliki perbedaan tertentu untuk memperoleh tipe gradasi tanah yang diinginkan. Selain itu, juga bisa dilaksanakan dengan memanfaatkan bahan- bahan industri untuk memperbaiki sifat- sifat teknis dari tanah. Supaya susunan yang diinginkan dapat diperoleh, prosedur penstabilan dilakukan mulai dari teknik yang paling sederhana seperti pemadatan, sampai metode yang lebih kompleks dan memerlukan biaya yang lumayan besar sebab memerlukan tata cara yang lebih efisien semacam penambahan pasir, semen atau materi- materi lain dan tata cara lain misalnya ialah pemanasan.

1. Stabilisasi secara mekanis

Prosedur yang dipakai yakni dengan metode pencampuran tanah dengan gradasi yang berlainan, memanfaatkan 2 ataupun lebih ragam tanah untuk memperoleh tanah dengan material yang lebih baik, kokoh, serta sesuai dengan persyaratan yang telah ada.

2. Stabilisasai dengan bahan tambahan

Metode atau cara yang dilakukan dengan teknik penambahan materi dan bahan bahan khusus pada tanah untuk mendapatkan tanah yang diinginkan. Materi yang dipakai umumnya berasal dari industri atau zat kimia yang digabungkan dengan memanfaatkan kombinasi yang tepat agar dapat menaikkan mutu tanah baik dari sifat tanah ataupun ketahanan tanah yang sesuai dengan ketentuan yang telah ditetapkan.

#### **D. Klasifikasi Tanah**

Untuk memudahkan dan menunjang dalam membuat suatu rancangan dan petunjuk dengan metode empiris sehingga tanah diberikan pengelompokan atau subkelompok berlandaskan kecenderungan sifat yang serupa, pengelompokan ini disebut dengan klasifikasi tanah. Pengelompokan tanah dibuat sebagai petunjuk serta informasi perihal kategori tanah berlandaskan keistimewaan dan sifat sifat tanah. dalam penetapan pengategorian jenis tanah tertentu, biasanya diklasifikasikan menurut data yang diperoleh pada analisa uji saringan, uji sedimentasi, maupun uji plastisitas.

Terdapat dua sistem klasifikasi tanah yang umumnya dipakai dalam pengkategorian tanah yang diuji. Dalam pengklasifikasiannya sistem ini memilah berlandaskan sifat sifat teknis tanah semacam distribusi ukuran butiran, batas cair serta indeks plastisitas. ( Hardiyatmo, 2002)

#### 1. Sistem klasifikasi AASHTO

Sistem ini mulai dikembangkan sejak tahun 1929 yang digunakan dengan pembagian ke dalam 7 kelompok berdasarkan sifat-sifat khusus pada tanah yang diwakili dengan symbol A-1 sampai dengan A-7. Dari pembagian tersebut maka dibuat suatu tabel pengelompokan yang menunjukkan jenis jenis tanah AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official Classification*) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 dibawah ini

**Tabel 1.** Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO

Klasifikasi tanah	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
	A - 1		A - 3	A - 2 - 4	A - 2		
Klasifikasi kelompok	A - 1 - a	A - 1 - b			A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7
Analisa ayakan (% lolos)							
No.10	Maks.50						
No.40	Maks.30	Maks.50	Maks.51				
No.200	Maks.15	Maks.25	Maks.10	Maks.35	Maks.35	Maks.35	Maks.35



Sifat Fraksi yang lolo Ayakan No. 40 Batas cair (LL) Indeks plastisitas (PI)	Maks. 6	NP	Maks.40 Maks.10	Min. 41 Maks.10	Maks.40 Min. 11	Min. 41 Min. 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir	Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlannau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik					
<b>Klasifikasi tanah</b>	<b>Tanah lanau - lempung (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)</b>					
<b>Klasifikasi kelompok</b>	<b>A - 4</b>	<b>A - 5</b>	<b>A - 6</b>	<b>A - 7 A - 7-5* A - 7-6**</b>		
Analisa ayakan (% lolos) No.10 No.40 No.200	Min. 36	Min. 36	Min. 36	Min. 36		
Sifat fraksi yang lolos Ayakan No.40 Batas cair (LL) Indeks Plastisitas (IP)	Maks. 40 Maks. 10	Min. 41 Maks. 10	Maks. 40 Min. 11	Min. 41 Min. 11		
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau			Tanah berlempung		
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek					

(Sumber: Braja M.Das (1995))

Berdasarkan tabel di atas, tanah yang terletak pada tabel A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah yang kurang 35% lolos dalam ayakan No.200, sedangkan yang lolos ayakan lebih dari 35% maka di kelompokkan ke dalam A-4, A-5, A-6, dan A-7. Penjelasan mengenai kelompok diatas dapat didefinisikan sebagai berikut:

- A-1 adalah tanah yang didominasi oleh material batu pecah, kerikil dan pasir dengan batas plastisitas maks 6.

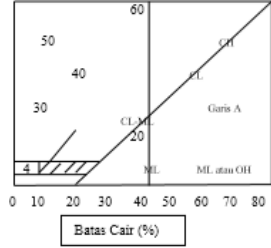
- A-3 adalah tanah yang tersusun atas material pasir halus dan tidak bersifat plastis
- A-2 adalah kelompok tanah yang terdiri dari kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung
- A-4 dan A-5 adalah kelompok tanah yang materialnya terdiri dari tanah lanau tetapi A-5 memiliki nilai batas cair yang lebih tinggi dibandingkan A-4.
- A-6 dan A-7 adalah kelompok tanah yang terdiri dari tanah lempung tetapi A-7 memiliki nilai batas cair yang lebih tinggi dibandingkan A-6.

## 2. Sistem klasifikasi USCS

Pada tahun 1942 Casagrande mulai memublikasikan sistem Pengelompokan ini, untuk dimanfaatkan dalam pekerjaan pembuatan lapangan terbang yang dibuat oleh The Army Corps of Engineering sepanjang perang dunia 2 kemudian dilakukan kerjasama untuk penyempurnaan sistem tersebut dengan Bureu of Reclamation pada tahun 1952. Sampai saat ini sistem pengklasifikasian ini dimanfaatkan oleh para pakar teknik (Das, 1995)

Pada sistem pengklasifikasian memakai USCS, tanah dikelompokkan menurut ukurannya yakni tanah yang berbutir kasar terdiri (kerikil dan pasir) dan jikalau dilakukan uji saringan terdapat kurang dari 50% lolos saringan No. 200. Sebaliknya tanah yang lolos saringan lebih dari 50% menggunakan saringan No. 200 maka dikelompokkan sebagai tanah berbutir halus yakni tanah lanau (lempung). Berikutnya, tanah diklasifikasikan lagi kedalam kelompok dan subkelompok yang ditunjukkan pada Tabel 2 dibawah ini ( Hardiyatmo, 2002)

**Tabel 2.** Klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*)

Divisi Utama		Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi			
Tanah berbutir kasar: 50% butiran terahan sarangan No. 200	Kerikil 50% fraksi besar terahan sarangan No. 4	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol			
		GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus				
		GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau				
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung				
		Pasir 50% fraksi kasar terahan sarangan No. 4	SW		Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol	
			SP		Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
	SM		Pasir berlanau, campuran pasir-lanau				
	SC		Pasir berlempung, campuran pasir-lempung				
	Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200		Lanau dan lempung batas cair $\leq 50\%$	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung		Diagram Plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas <i>Atterberg</i> yang termasuk dalam daerah yang di arsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol. 
				CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" ( <i>lean clay</i> )		
		OL		Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah			
		Lanau dan lempung batas cair $\geq 50\%$	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis			
CH			Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" ( <i>fat clay</i> )				
OH			Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi				
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi	PT	Peat (gambut), <i>muck</i> , dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488				

(Sumber: Hardiyatmo, Hary Christady, 2002)

Adapun menurut Bowles (1991), kelompok-kelompok tanah utama pada sistem klasifikasi Unified diperlihatkan pada Tabel 3 berikut ini

**Tabel 3.** Sistem klasifikasi tanah *Unified*

Jenis Tanah	Prefiks	Sub Kelompok	Sufiks
Kerikil	G	Gradasi baik	W
		Gradasi buruk	P
Pasir	S	Berlanau	M

Lanau	M	Berlempung	C
Lempung	C	$w_L < 50 \%$	L
Organik	O	$w_L > 50 \%$	H
Gambut	Pt		

(Bowles, 1991)

### E. Berat Jenis (Specific Gravity $G_s$ )

Berat spesifik atau berat jenis (*specific gravity*) tanah ( $G_s$ ) merupakan suatu nilai tidak berdimensi yang dihasilkan dari perbandingan antara berat volume butiran padat ( $\gamma_s$ ), dengan berat volume air ( $\gamma_w$ ) pada temperatur 4 °C, dengan nilai berkisar antara 2,65 hingga 2,75.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

Berat jenis tanah yang memperoleh nilai  $G_s = 2,67$  umumnya dimanfaatkan pada tanah yang tak memiliki kohesi. Sedangkan tanah yang memperoleh berat jenis tanah berkisar 2,68 hingga 2,72 termasuk dalam tanah kohesif tak organik. Nilai-nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel.4 di bawah ini.

**Tabel 4.** Berat Jenis Tanah (*Specific Gravity*)

Macam Tanah	Berat Jenis ( $G_s$ )
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 -2,68
Lanau anorganik	2,62 – 2,68
Lempung organik	2,58 -2,65
Lempung anorganik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

(Sumber: Hardiyatmo, Hary Christady, 2002)

## F. Batas – Batas Atterberg

Pada tahun 1900, Atterberg seorang akademikus berkebangsaan swedia mengembangkan suatu cara yang memaparkan sifat tanah yang memiliki kestabilan khusus pada variasi kandungan air yang berlainan. apabila tanah bercampur dengan air berkadar tinggi, tanah akan memiliki keadaan yang lembek serupa cairan. Berlandaskan hal tersebut, tanah dipisahkan menjadi empat kondisi dasar yakni padat, semi padat, plastis, dan cair. (Das. 1995)

Selanjutnya, Atterberg pada tahun 1911 menguraikan gambaran perihal teknik untuk memilah batas-batas kestabilan pada tanah dengan material butiran halus berdasarkan kadar air pada tanah yakni batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*), serta batas susut (*shrinkage limit*). (Hardiyatmo, 2002)

### 1. Batas Cair (*liquid limit*)

Batas cair adalah batas atas dari daerah plastis yaitu batas keadaan antara cair dan plastis.

### 2. Batas Plastis (*plastic limit*)

Batas plastis dapat diartikan sebagai suatu kondisi antara plastis dan semi padat dimana tanah mencapai keadaan tidak lagi lentur dan mulai mengalami kerusakan akibat adanya tekanan yang ditunjukkan dengan munculnya retakan.

Untuk menunjukkan nilai dari keplastisan tanah dapat diperoleh dengan cara menghitung selisih antara batas cair dan batas plastis. nilai yang dihasilkan ini disebut dengan indeks plastisitas. jika nilai yang dihasilkan besar maka hal ini mempresentasikan bahwa tanah mengandung banyak butiran lempung. apabila kecil maka tanah menyamai sifat lanau.

$$PI = LL - PL$$

Dimana :

PI = Plastis Indeks (%)

LL = Liquid Limit (%)

PL = Plastis Limit (%)

**Tabel 5.** Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah

PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Non Plastis	Pasir	Non Kohesif
<7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif Sebagian
7-17	Plastisitas sedang	Lempung Berlanau	Kohesif
>17	Plastisitas Tinggi	Lempung	Kohesif

(Sumber: Hardiyatmo, Hary Christady, 2002)

### 3. Batas Susut (*shrinkage limit*)

Apabila tanah yang mengandung air mulai mengalami penurunan kandungan didalamnya secara perlahan-lahan maka tanah juga akan menyusut secara periodik. Dengan terjadinya penurunan kandungan air secara terus menerus, tanah akan mencapai suatu kondisi keseimbangan yaitu tidak berlangsungnya perubahan volume akibat kehilangan air. Kondisi dimana volume tanah tidak mengalami perubahan, didefinisikan sebagai batas susut (*shrinkage limit*).

## G. Pematatan

Pematatan atau kompaksi merupakan pemanfaatan tenaga dinamik dalam proses mengubah tanah menjadi lebih padat dengan cara mengeluarkan udara yang terkandung didalamnya, dengan metode ini udara yang terdapat pada pori – pori tanah dapat dikeluarkan meskipun tidak secara keseluruhan. Hal ini dilakukan untuk memperoleh tanah dengan volume udara yang minimum. Dalam mekanisme pelaksanaannya air tanah tidak mengalami perubahan ketika dipadatkan. Sebelum dilakukan pematatan, tanah pada mulanya dapat dikeringkan, ditambahkan air, agregat, atau dengan mensubstitusi bahan-bahan stabilitas seperti semen, gamping, sirtu, seplit, dan batu bara atau bahan lainnya. (Karno, 2020)

Sedangkan menurut Hardiyatmo (2002:73) tujuan pematatan atau kompaksi antara lain:

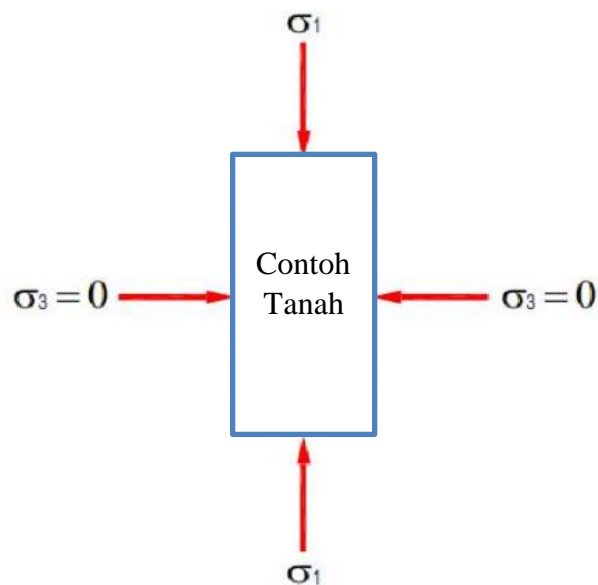
- a. Mempertinggi kuat geser tanah
- b. Mengurangi sifat mudah mampat (kompersibilitas)

- c. Mengurangi Permeabilitas
- d. Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air, dan lain – lainnya.

### H. Uji Kuat Tekan Bebas (Unconfined Compression Test)

Uji kuat tekan bebas merupakan suatu prosedur pengujian untuk memperoleh nilai dari kekuatan tekan bebas tanah serta batuan yang bersifat kohesif pada keadaan sebelum dilakukan rekayasa (kondisi asli) ataupun setelah mendapatkan perlakuan tertentu. Sedangkan, kekuatan tekan bebas merupakan beban aksial persatuan luas ketika benda uji mengalami kerusakan pada disaat regangan axialnya mencapai 20%. ( Arrasyid, 2019)

Dibawah ini merupakan gambaran dari prinsip kerja uji kuat tekan bebas ketika dilakukan pembebanan:



**Gambar 1 .** Skema uji tekan bebas (Hardiyatmo, 2002)

Dalam penerapan pemberian tegangan aksial pada benda uji secara berangsur – angsur hingga benda uji mengalami keruntuhan karena  $\sigma_3 = 0$ , maka:

$$\tau_f = \frac{\sigma_1}{2} = \frac{qu}{2}$$

$$= Cu$$

Dimana:

$\tau_f$  = Kuat geser (kg/cm<sup>2</sup>)

$\sigma_1$  = Tegangan utama (kg/cm<sup>2</sup>)

$qu$  = Kuat tekan bebas tanah (kg/cm<sup>2</sup>)

$Cu$  = Kohesi (kg/cm<sup>2</sup>)

Konsistensi	$Qu$ (kN/m <sup>2</sup> )	$Qu$ ( kg/cm <sup>2</sup> )
Keras	>400	> 4,0
Sangat Kaku	200 – 400	2,0 – 4,0
Kaku	100 – 200	1,0 – 2,0
Sedang	50 – 100	0,5 – 1,0
Lunak	25 – 50	0,25 – 0,5
Sangat Lunak	< 25	< 0,25

Sumber: (Sumber: Hardiyatmo, Hary Christady, 2002)

### I. Uji Geser Langsung (direct shear test)

Dalam menerapkan kajian terhadap kapasitas dukung tanah, kestabilan lereng, serta gaya sorong pada dinding penahan tanah maka dibutuhkan parameter kuat geser tanah. Kuat geser tanah merupakan gaya yang dihasilkan akibat



perlawanan butir-butir tanah kepada desakan ataupun tarikan. alhasil dalam prosesnya tanah akan ditahan oleh: ( Hardiyatmo, 2002 )

Sedangkan pengujian kuat geser langsung merupakan suatu metode yang digunakan dalam penentuan nilai kuat geser, setelah dikenakan konsolidasi akibat beban drainase 2 arah. Dan dinyatakan dengan kohesi (c) dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ). ( Mustikaningati, 2017 )

Dalam Mukramin (2018) persamaan umum dari nilai kuat geser dapat ditulis sebagai berikut:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi$$

Dimana:

$\tau$  = Kuat geser

c = Kohesi undrained

$\sigma$  = Tegangan normal pada bidang tinjauan =  $Q/A$

Q = Gaya normal

A = Luas penampang bidang tinjauan

$\phi$  = Sudut geser dalam tanah

Sedangkan dalam penentuan kuat geser yang terdapat pada lapisan tanah harian dengan memperhatikan pertimbangan stabilitas maka persyaratan minimum untuk nilai kuat geser dari tanah yang digunakan tidak kurang dari  $40 \text{ kN/m}^2$  atau  $0,408 \text{ kg/cm}^2$ . ( EPA, 2000)

## **J. Pengertian Sludge**

Instalasi pengolahan air limbah ( IPAL) akan menghasilkan lumpur limbah dari hasil pengolahan air limbah di area pabrik. Limbah lumpur ini menggambarkan salah satu potensi kontaminasi suatu daerah yang harus dikelola oleh pihak pengelola area pabrik. Biasanya limbah lumpur tersebut hanya ditumpuk ataupun digunakan selaku humus. Tetapi terdapat pula limbah lumpur yang belum dikelola

dengan baik, alhasil mengganggu estetika lingkungan serta menimbulkan pencemaran air dan tanah. ( Bimantara, 2019)

Akumulasi lumpur limbah (*sludge*) semakin hari akan terus bertambah sehingga menimbulkan masalah baru yang harus diperhatikan bagi pabrik penghasil limbah. Pemanfaatan lumpur (*sludge*) untuk dijadikan sebagai pupuk kompos merupakan salah satu alternative yang dapat dilakukan sebagai upaya dalam menjaga kelestarian lingkungan. Oleh sebab itu, diperlukan berbagai upaya berupa penelitian sehubungan dengan pemanfaatan lumpur tersebut. Mengingat lumpur yang berasal dari suatu pabrik yang berbeda akan menghasilkan produk lumpur limbah (*sludge*) yang memiliki kandungan bahan kimia yang berbeda, sedangkan untuk sifat fisik dan biologisnya cenderung sama. ( Cahyadi, 2016)

**Tabel 6.** Karakteristik Air Lindi

Unsur Kimia	Standar U.S EPA (PPM)
Cr	3000
Cd	85
As	75
Pb	420

*Sumber: U.S. EPA (1994)*

### **K. Air Lindi**

Air lindi ialah cairan yang berasal dari tumpukan sampah yang mengandung unsur – unsur terlarut dan tersuspensi, dan merupakan salah satu bentuk pencemaran lingkungan yang terjadi akibat penumpukan sampah di TPA. Air lindi kaya akan kandungan bahan organik, anorganik dan mikroorganisme selain itu air lindi juga mengandung logam berat yang cukup tinggi. Karakteristik air lindi sangat bervariasi tergantung dari proses-proses yang terjadi didalam TPA. Factor – factor

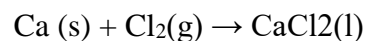
yang mempengaruhi proses yang terjadi pada TPA seperti jenis sampah yang masuk kedalam TPA. Dengan adanya factor tersebut maka akan mempengaruhi pula jenis zat kimia yang terkandung dalam air lindi. (Ali, 2011)

**Tabel 6.** Karakteristik Air Lindi

Parameter	Satuan	Range
Ca	mg/liter	10 – 2500
Cl	mg/liter	30 – 4000
Phenol	mg/liter	0,04 – 44

*Sumber: Balai Laboratorium Kesehatan Surabaya (2005)*

Berdasarkan tabel 6. Diatas diketahui bahwasanya dalam air lindi terkandung Ca, Cl, dan Phenol. Kalsium ialah salah satu unsur kimia dengan simbol Ca yang memiliki nomor atom 20. Klorida merupakan unsur kimia yang bersimbolkan Cl dengan nomor atom 17.



Kalsium klorida terdiri atas garam kalsium dan klorin. Kalsium Klorida bersifat halida ion yang biasa dan berada dalam keadaan pepejal pada suhu kamar. Kegunaan biasa kalsium klorida ialah sebagai air garam bagi loji penyejukan dan untuk pengeringan. Hal ini dikarenakan sifatnya yang higroskopik (mudah menyerap lembapan di udara), dan disimpan di dalam bekas-bekas kedap udara yang ditutup rapat. (Alifonita, 2019)

Sedangkan fenol sendiri merupakan senyawa organic yang terkandung gugus hidroksil (-OH) atau gugus dari alkohol didalamnya dan terikat langsgng pada cincin benzene. Sedangkan etanol merupakan cairan jernih yang memiliki kesamaan dengan phenol yaitu juga mengikat gugus hidroksil (-OH) didalamnya. (Vicry, 2017)

Sehingga berdasarkan kesamaan tiap tiap Senyawa dengan kandungan unsur yang terdapat pada air lindi sehingga air lindi dapat diganti dengan  $\text{CaCl}_2$  dan etanol.

#### **L. Pengertian Abu Ketel**

Abu ketel ialah abu yang bersumber dari ampas tebu yang telah terbakar halus ataupun telah habis, abu dari hasil pembakaran pada ketel ketel uap yang telah diperas niranya. Apabila telah terbakar halus ataupun telah habis, sehingga abu inilah yang merupakan limbah industri yang dapat disubstitusi ke dalam tanah.

Tidak adanya pengelolaan lebih lanjut limbah abu ketel dapat memberikan dampak negative bagi lingkungan. Abu ketel dapat mencemari udara disekitar pabrik sehingga menimbulkan masalah baru berupa pencemaran udara. Oleh karena itu diperlukan penanganan abu ketel hasil pembakaran pada pabrik gula agar dapat mengurangi tingkat pencemaran limbah ini terhadap lingkungan sekitar pabrik gula. (Tedy, 2012)

Penambahan bahan organik seperti abu ketel ke dalam tanah sebaiknya dilakukan secara berkelanjutan karena bahan organik selain ramah lingkungan juga merupakan komponen yang cukup baik untuk memperbaiki dan meningkatkan kualitas tanah. Bahan organik dapat berperan dalam perbaikan sifat fisik tanah. Kerusakan tanah yang diakibatkan oleh pengolahan tanah yang dilakukan secara intensif dapat diperbaiki dengan cara melakukan kombinasi pengolahan tanah dengan memanfaatkan limbah tebu seperti abu ketel. Dengan pengolahan tersebut maka akan dapat memperbaiki kualitas fisik tanah seperti peningkatan porositas dan aerasi tanah sementara waktu, sedangkan dengan memanfaatkan bahan organik yaitu blotong tidak hanya mampu memperbaiki sifat fisik tanah tetapi juga ramah lingkungan dan memiliki rentan waktu ketahanan yang lebih lama. (Nita, 2017)

#### **M. Serat Sabut Kelapa di Indonesia**

Pengolahan turunan buah kelapa sekarang ini masih terfokus kepada hasil daging buah sebagai hasil utama, industri yang mengolah hasil samping dari buah kelapa seperti sabut kelapa masih dikelola secara tradisional padahal sabut kelapa merupakan bagian yang cukup besar dari buah kelapa sehingga memiliki peluang untuk pemanfaatan yang lebih besar. (Indahyani, 2011)

Serat sabut kelapa merupakan biomassa yang dapat diperoleh dengan mudah sebab berasal dari hasil samping pertanian. Buah kelapa mempunyai komposisi sabut sebesar 35% dari berat total buah kelapa. Sabut kelapa terdiri dari serat serta gabus ( Pitch) yang mengaitkan satu serat dengan serat yang lain. Sabut kelapa terdiri dari 75% serat serta 25% gabus. ( Siswanto, 2019 )

Sejak zaman kuno, serat telah digunakan dalam meningkatkan kekuatan tanah. Pada peradaban awal memanfaatkan serat dengan cara menambahkan sedotan dan akar tanaman pada batu bata dan dinding untuk memperbaiki sifat material, meskipun mekanisme belum mereka pahami sepenuhnya. Namun, pada zaman modern telah banyak rekayasa perkuatan yang difokuskan dengan pemanfaatan serat diskrit dalam penguatan tanah. (Nurdin, 2016)

Serat ataupun fiber dalam bahan agregat berfungsi menahan beban, akibatnya besar kecilnya daya materi agregat sangat bergantung terhadap daya serat pembentuknya. Sedangkan sabut kelapa ialah materi alternatif yang memiliki lignoselulosa yang dapat digunakan selaku salah satu alternatif materi utama. Secara umum serat dapat dimanfaatkan sebagai bahan untuk memperkuat campuran sehingga sifat yang dimilikinya semakin kaku, tangguh, dan lebih kokoh dibandingkan tanpa adanya serat. ( Oroh, 2013)

## **N. Penelitian Sebelumnya**

Penelitian – penelitian terdahulu dengan memanfaatkan lumpur limbah sebagai material pengganti tanah telah beberapa kali dilaksanakan tetapi dalam penggunaannya sebagai material alternatif lapisan tanah harian tempat pemrosesan akhir (TPA) jarang digunakan sehingga dibutuhkan kritik dan saran dalam penelitian

ini. Sedangkan pencampuran tanah dengan penambahan abu ketel (*Fly Ash*) maupun serabut kelapa telah banyak dilakukan sebelumnya. Seperti yang dilakukan oleh:

**Tabel 7.** Penelitian Terdahulu

Nama	Judul	Metode	Hasil
Jinchun Chai dkk, (2013)	Effect Of Type Of Leachate On Self-Healing Capacity Of Geosynthetic Clay Liner	Dalam penelitian ini tanah liat geosintetik mengalami perilaku penambahan empat jenis cairan yaitu air ledeng, 10g/l larutan NaCl <sub>2</sub> , larutan 100 ml/l Etanol, dan 11,1 g/l CaCl <sub>2</sub> untuk mengetahui pengaruh jenis cairan terhadap kapasitas pemulihan diri dari GCL. Pengujian yang dilakukan berupa pengujian uji tingkat kebocoran dan uji permeabilitas	Berdasarkan hasil pengujian yang berlangsung jenis cairan yang digunakan memiliki pengaruh nyata terhadap kemampuan pemulihan diri dari kedua geomembrane yang digunakan dalam pengujian, sedangkan pada nilai tekanan overburden tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap benda uji.

<p>Sukiman Nurdin (2016)</p>	<p>Kinerja Tanah Lunak Stabilisasi Fly Ash Dengan Perkuatan Serat Alami Sebagai Lapis Penutup Landfill</p>	<p>Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dan permodelan yang dilaksanakan di laboratorium dengan menggunakan <i>fly ash</i> dan serat tandang buah sawit.</p>	<p>Hasil pengujian yang dilakukan memperoleh hasil penambahan 10% <i>fly ash</i> dan serat tandang buah sawit 1,0% dapat meningkatkan nilai kuat tekan bebas pada tanah lunak. Secara spesifik material campuran <i>fly ash</i> dan serat tandang buah dapat meningkatkan kapasitas dukung tanah sebagai lapisan penutup landfill</p>
<p>Dony Wahyu Hermawan (2019)</p>	<p>Stabilisasi Tanah Lempung Di Kecamatan Sukodono Kabupaten Sragen Dengan Campuran Kapur Dan Abu Sabut Kelapa Terhadap</p>	<p>Metode yang digunakan adalah stabilisasi tanah lempung dengan campuran kapur 5% dan abu sabut kelapa 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, dan 10%</p>	<p>Hasil uji kuat tekan tekan bebas mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya presentase kapur dan abu sabut kelapa serta lamanya</p>

	<p>Nilai Kuat Tekan Bebas</p>		<p>perawatan. Nilai kohesi undrained (cu) berbanding lurus dengan nilai kuat tekan bebas (qu). Dari hasil tersebut maka bahan tambah kapur dan abu sabut kelapa dapat memperbaiki tanah sampel lokasi</p>
<p>Wahid Ananta Putra Dg. Maddiu, (2019)</p>	<p>Analisis Kuat Geser Soil-Compost Mixture Sebagai Material Alternatif Penutup Harian Tempat Pembuangan Akhir (Tpa) Tamangapa</p>	<p>Metodologi yang dilakukan adalah dengan melakukan pengambilan sampel bekas tanah penutup TPA serta kompos yang dihasilkan di TPA Tamangapa dan melakukan pengujian di Laboratorium Mekanika Tanah dengan melakukan</p>	<p>Hasil yang didapatkan adalah semua nilai kuat geser yang didapatkan melebihi standar yang telah ditetapkan oleh Environmental Protection Agency (EPA) dan Environment Agency (2011a) yaitu, tidak kurang dari 40 kN/m<sup>2</sup> atau 0,408 kg/cm<sup>2</sup>.</p>



		percobaan kadar air, berat jenis, analisa saringan, atterberg limit, kepadatan, dan unconfined compression strength yang kemudian dianalisis	
Alfinda Threvanian Putri, dkk (2020)	Pengaruh Penambahan Abu Ampas Tebu & Arang Batok Kelapa Terhadap Stabilisasi Daya Dukung Tanah	Penelitian ini dilakukan dengan cara pengujian pada sampel tanah liat yang dicampur ampas tebu dan arang batok kelapa variasi 0%, 7%, 10% dan 15%. Selanjutnya dilakukan uji pemadatan dan uji konsistensi tanah	Pengujian batas konsistensi struktur tanah menunjukkan bahwa, penambahan abu ampas tebu dan arang batok kelapa berpengaruh terhadap stabilitas tanah. Semakin besar presentase penambahan ampas tebu dan arang batok kelapa, nilai liquid limit, plastic limit, dan index plastic akan mengalami penurunan

			sehingga dapat disimpulkan bahwa tingkat keplastisan tanah semakin kecil seiring dengan ditingkatkannya presentase abu ampas tebu dan arang batok kelapa
Sari, K., and I. Ridwan (2020)	Soil-Compost Mixture as Alternative Material for Soil Cover Landfill	Dalam penelitian ini dilakukan proses pencampuran tanah sisa dari TPA dengan kompos sebagai alternatif lapisan penutup pada TPA. Dengan variasi kompos 0%, 0,4%, 0,8%, dan 1,8%. Kemudian dilakukan pengujian uji kuat tekan bebas untuk memperoleh nilai kuat gesernya dan dilakukan pula uji	Penambahan kompos pada tanah sampel sisa dari TPA menghasilkan nilai permeabilitas $1,5 \times 10^{-3}$ cm/dtk. $7 \times 10^{-4}$ cm/dtk dan $3 \times 10^{-4}$ cm/dtk untuk variasi 0,4%, 0,8%, dan 1,2%. Sedangkan untuk nilai kuat geser yang diperoleh mengalami kenaikan seiring dengan waktu pemeraman dari $0,8 \text{ kg/cm}^3$

		<p>permeabilitas pada tanah campuran kompos.</p>	<p>menjadi 34,76 kg/cm<sup>3</sup>. Mengacu pada sanitary landfill dan desain modern ditunjukkan bahwa campuran tanah dengan kompos dapat dipertimbangkan sebagai bahan alternatif tanah penutup pada TPA</p>
--	--	--------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------