

TUGAS AKHIR

**STUDI KARAKTERISTIK PERMEABILITAS LUMPUR LIMBAH YANG
DICAMPUR DENGAN ABU AMPAS TEBU DAN TANAH SEBAGAI
LAPISAN PENUTUP HARIAN TEMPAT PEMROSESAN AKHIR
SAMPAH (TPA)**



SELSI

D131 17 1012

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

2021

TUGAS AKHIR

STUDI KARAKTERISTIK PERMEABILITAS LUMPUR LIMBAH YANG DICAMPUR DENGAN ABU AMPAS TEBU DAN TANAH SEBAGAI LAPISAN PENUTUP HARIAN TEMPAT PEMROSESAN AKHIR SAMPAH (TPA)

Diajukan sebagai Tugas Akhir dalam rangka Penyelesaian Studi
Sarjana S1 Teknik Lingkungan pada Departemen Teknik Lingkungan



SELSI

D131 17 1012

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

2021



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 Permeabilitas Lumpur Limbah Yang di Campur dengan Abu Ampas Tebu dan Tanah Sebagai Lapisan Penutup Harian Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (TPA).**

Disusun Oleh :

Nama : Selsi

D131171012

Telah diperiksa dan disetujui
Oleh Dosen Pembimbing

Gowa, 25 Nopember 2021

Pembimbing I

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

Pembimbing II

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

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Selsi
NIM : D131 17 1012
Program Studi : Teknik Lingkungan
Jenjang : Strata-1 (S1)

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

**STUDI KARAKTERISTIK PERMEABILITAS LUMPUR LIMBAH
YANG DICAMPUR ABU AMPAS TEBU DAN TANAH SEBAGAI LAPISAN
PENUTUP HARIAN TEMPAT PEMROSESAN AKHIR SAMPAH (TPA)**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 28 November 2021

Yang membuat pernyataan,



Selsi

NIM : D131171012

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-nya saya selaku penulis dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi ini yang berjudul “Studi Karakteristik Nilai Permeabilitas Lumpur Limbah yang Dicampur dengan Tanah dan Abu Ampas Tebu sebagai Bahan Alternatif Material Penutup Harian Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (TPA)”. Penyelesaian tugas akhir ini menjadi salah satu syarat kelulusan Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Pencapaian tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, dan tidak terlepas dari jasa-jasa orang tua. Ungkapan terima kasih penulis persembahkan kepada Ayahanda Muslimin yang selalu memberikan support dan doa-doa yang beliau panjatkan, kepada Ibunda tercinta Alm.Sana terima kasih atas didikan beliau kepada penulis selama hidupnya salah satu perkataan Almarhum ibu yang selalu teringat akan pentingnya menuntut pendidikan sampai kejenjang yang lebih tinggi. Terima kasih kepada saudara-saudara saya, Arsip, Serli dan Suami, Sulastri dan Suami, dan adik saya tercinta Sulpia. Dalam proses penyelesaian tugas akhir ini tidak terlepas dari bimbingan dan dukungan dari beberapa pihak terkait, untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan rasa terima kasih kepada;

1. Ibu Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T., selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Ibu Dr.Eng. Kartika Sari, S.T., M.T. selaku dosen Pembimbing I yang senantiasa memberikan waktu luang untuk membimbing penulis, serta memberikan saran, masukan dan dukungan kepada penulis selama penyusunan tugas akhir.
3. Bapak Dr. Eng. Irwan Ridwan Rahim, S.T., M.T., selaku dosen Pembimbing II yang telah memberikan saran dan masukan kepada penulis selama penyusunan tugas akhir.
4. Bapak/Ibu Dosen Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas bantuannya kepada penulis selama menempu

perkuliahan, terutama kepada staf S1 Teknik Lingkungan Ibu Sumiati. A.S. dan Pak Olan.

5. Untuk rekan seperbimbingan Tugas Akhir saya, Nidya Anastasya Nirwan selaku partner permeabilitas yang paling tegas dan tergercep, Azhim Hidayat dan Imamul Khair Khas. Terima kasih atas kerja samanya dan telah menjadi partner terbaik penulis selama proses meneliti. Dan terima kasih banyak kepada teman-teman lingkungan 2017 yang telah ikut berperan dalam pengambilan sampel penelitian.
6. Kepada semua asisten Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Kepada Apriani Astuti Safaat selaku partner tugas kelompok baik itu tugas kecil maupun tugas besar selama perkuliahan, Nurindah Mahmur teman paling rendah hati dan estetik, Sitti Alifah Nurwasima selaku tempat meminta saran dan solusi *ter-the best*, Dinah Khairia yang selalu meluangkan waktunya untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan penulis di *WhatsApp*. Kawan-kawan Enrekang Reski OP sitti Fatimah, Nanda Latifah Rahma. Dan semua teman-teman lingkungan 2017.

Akhir kata, penulis berharap Kepada Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga laporan tugas akhir ini bisa memberi manfaat bagi pengembangan ilmu.

Gowa, 1 Oktober 2021

Penulis,

SELSI

D131 17 1012

ABSTRAK

SELSI. *Studi Karakteristik Nilai Permeabilitas Lumpur Limbah yang Dicampur dengan Abu Ampas Tebu dan Tanah sebagai Lapisan Penutup Harian Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (TPA)* (dibimbing oleh Kartika Sari dan Irwan Ridwan Rahim).

Penelitian mengenai penggunaan lumpur limbah sebagai material alternatif lapisan penutup harian TPA telah ada sebelumnya yaitu penelitian yang dilakukan oleh Jun He, dkk (2015). Namun penggunaan lumpur limbah sebagai lapisan penutup harian perlu dimodifikasi untuk memperbaiki karakteristiknya. Untuk memperbaiki sifat mekanik lumpur limbah dalam penelitian ini digunakan campuran tanah dan abu ampas tebu (abu ketel) yang didalamnya terkandung silika yang bersifat *pozzolon* yaitu bahan dengan keberadaan air dapat membentuk massa padat. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui nilai permeabilitas campuran lumpur limbah, abu ampas tebu (abu ketel) dan tanah sebagai lapisan penutup harian TPA. Dengan menggunakan metode kuantitatif melalui teknik eksperimental dan pemodelan laboratorium.

Dari hasil penelitian, nilai koefisien permeabilitas campuran lumpur limbah, abu ampas tebu (abu ketel) dan tanah untuk 3 jenis cairan didapatkan nilai paling baik ditunjukkan pada variasi penambahan abu ampas tebu (abu ketel) sebanyak 10% yaitu untuk air sebesar $1,2 \times 10^{-5}$ cm/det; larutan etanol $1,9 \times 10^{-5}$ cm/det dan larutan CaCl_2 cm/det sebesar $2,5 \times 10^{-5}$ cm/det. Sedangkan nilai permeabilitas lumpur limbah tanpa campuran didapatkan sebesar 0,0790 cm/det. Berdasarkan nilai koefisien permeabilitas campuran yang didapatkan, campuran lumpur limbah, abu ampas tebu (abu ketel) dan tanah telah memenuhi syarat sebagai lapisan penutup harian TPA dengan ketentuan nilai koefisien permeabilitas sebesar 1×10^{-5} cm/det menurut Jun He, dkk (2015).

Kata kunci: lumpur limbah, abu ampas tebu (abu ketel), tanah, lapisan penutup harian.

ABSTRACT

SELSI. Study of the Permeability Value Characteristics of Waste Sludge Mixed with Sugarcane Bagasse Ash and Soil as an Daily Covering for Final Waste Processing Sites (TPA) (supervised by Kartika Sari and Irwan Ridwan Rahim).

The Research on the use of sewage sludge as an alternative material for daily landfill cover has existed before, namely research conducted by Jun He, et al (2015). However, the use of sewage sludge as a daily cover layer needs to be modified to improve its characteristics. To improve the mechanical properties of the sewage sludge in this study, a mixture of soil and clay was used Bagasse ash which contains silica which is pozzolon, which is a material in the presence of water that can form a solid mass. The purpose of this study was to determine the permeability value of a mixture of sewage sludge, bagasse ash, and soil as a daily cover layer for landfills. By using quantitative methods through experimental techniques and laboratory modeling.

From the results of the study, the coefficient of permeability of the mixture of waste sludge, bagasse ash, and soil for 3 types of liquids obtained the best value indicated in the variation of the addition of bagasse ash as much as 10%, namely for tap water of 1.2×10^{-5} cm/sec; an ethanol solution of 1.9×10^{-5} cm/s and a CaCl₂ cm/s solution of 2.5×10^{-5} cm/s. Meanwhile, the permeability value of the untreated sewage sludge is 0.0790 cm/sec. Based on the coefficient of permeability of the mixture obtained, the mixture of sewage sludge, bagasse ash, and soil has met the requirements as a daily cover layer for the landfill with the provision of a permeability coefficient value of 1×10^{-5} cm/s according to Jun He, et al (2015).

Keywords: sewage sludge, bagasse ash, soil, daily cover.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iii
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	3
C. Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	3
D. Ruang Lingkup	4
E. Sistematika Penulisan	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (TPA)	6
B. Lapisan Penutup Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (TPA).....	7
C. Lindi	10
D. Lumpur Limbah.....	12

E. Abu Ampas Tebu (Abu Ketel)	13
F. Tanah.....	15
G. Karakteristik Fisik Tanah	18
H. Kompaksi	20
I. Permeabilitas	21
J. Penelitian Terdahulu	23

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Rancangan Penelitian	26
B. Waktu dan Lokasi Penelitian.....	27
C. Alat dan Bahan	28
D. Kerangka Penelitian.....	31
E. Teknik Pengumpulan Data	33
F. Teknik Analisa.....	40

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gambaran Umum Penelitian.....	44
B. Hasil Pengujian Karakteristik Fisis dan Mekanis Lumpur Limbah	45
C. Hasil Pengujian Karakteristik Abu Ampas Tebu (Abu Ketel).....	47
D. Hasil Pengujian Karakteristik Fisis dan Mekanis Tanah.....	48
E. Hasil Pengujian Berat Jenis Campuran Benda Uji	54
F. Hasil Pengujian Kompaksi Campuran Benda Uji.....	56
G. Hasil Pengujian Permeabilitas Campuran Benda Uji.....	62
H. Kandungan Unsur Logam Berat Lumpur Limbah	71

BAB 5 PENUTUP

A. Kesimpulan.....	72
B. Saran	72

DAFTAR TABEL

1. Komposisi Lindi pada TPA baru dan TPA matang	11
2. Baku Mutu Logam Berat Lumpur Limbah	13
3. Komposisi Kimia Abu Ampas Tebu (Abu Ketel)	14
4. Penggolongan Tanah dengan Ukuran Butiran.....	16
5. Berat Jenis Tanah.....	18
6. Rentang Nilai Indeks Plastisitas Material Tanah.....	20
7. Kisaran Permeabilitas Tanah pada Temperatur 20°C	23
8. Variasi Komposisi Campuran Benda Uji.....	34
9. Cairan Pengganti Lindi	34
10. Hasil Pengujian Karakteristik Lumpur Limbah.....	45
11. Hasil Pengujian Karakteristik Tanah	48
12. Rentang Nilai Indeks Plastisitas Material Tanah.....	51
13. Klasifikasi AASTHO untuk Butiran Halus.	54
14. Rekapitulasi Berat Jenis Tiap Variasi Campuran	54
15. Komposisi Campuran Material Benda Uji.....	63
16. Cairan yang Digunakan dalam Pengujian Permeabilitas Bemda Uji	63
17. Hasil Pengujian Permeabilitas Variasi Campuran	64
18. Unsur Logam Berat dalam Lumpur Limbah	71

DAFTAR GAMBAR

1. Batas-batas Atterberg	19
2. Lokasi Pengambilan Sampel	27
3. Alat Pengujian Kadar Air	29
4. Alat Pengujian Berat Jenis	29
5. Alat Pengujian Analisa Saringan	29
6. Alat Pengujian Batas-batas Atterberg	30
7. Alat Pengujian Kompaksi	30
8. Alat Pengujian Permeabilitas	31
9. Bagan Alir Penelitian	31
10. Grafik Analisa Saringan Lumpur Limbah	45
11. Grafik Analisa Saringan Abu Ampas Tebu (Abu Ketel)	46
12. Grafik Analisa Saringan dan Hidrometer Tanah	49
13. Pengujian Hidrometer Tanah	50
14. Pengujian Batas Batas <i>Atterberg</i>	51
15. Grafik Pengujian Kompaksi Tanah	52
16. Diagram Indeks PLastisitas Tanah	53
17. Grafik Berat Jenis Campuran Benda Uji	55
18. Pengujian Berat Jenis Campuran Benda Uji	55
19. Grafik kompaksi variasi penambahan 0% Abu Ampas Tebu (Abu Ketel)	56
20. Grafik kompaksi variasi penambahan 5% Abu Ampas Tebu (Abu Ketel)	57
21. Grafik kompaksi variasi penambahan 10 Abu Ampas Tebu (Abu Ketel)	58
22. Grafik kompaksi variasi penambahan 20% Abu Ampas Tebu (Abu Ketel)	58

23. Grafik kompaksi variasi penambahan 30% Abu Ampas Tebu (Abu Ketel)...	59
24. Grafik kompaksi variasi penambahan 40% Abu Ampas Tebu (Abu Ketel)...	60
25. Grafik Rekapitulasi Pengujian Kompaksi Variasi Campuran	60
26. Grafik Berat Isi Kering Optimum Campuran Benda Uji	61
27. Grafik Berat Isi Kering 60% dari Kadar Air Optimum	62
28. Pengujian Permeabilitas Campuran Benda Uji	64
29. Grafik Permeabilitas Campuran Benda Uji	65
30. Grafik Nilai Angka Pori Campuran Benda Uji	66
31. Sampel Kadar Air Campuran Benda Uji.....	66
32. Grafik Koefisien Permeabilitas menggunakan Air.....	67
33. Grafik Koefisien Permeabilitas Menggunakan Etanol.....	68
34. Grafik Koefisien Permeabilitas Menggunakan CaCl ₂	69

DAFTAR LAMPIRAN

Tabel Perhitungan Koefisien Permeabilitas Lumpur Limbah

Tabel Perhitungan Koefisien Permeabilitas Tanah

Tabel Perhitungan Koefisien Permeabilitas Campuran Lumpur Limbah, dengan

Abu Ampas Tebu (Abu Ketel) dan Tanah

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Bertambahnya kebutuhan masyarakat dalam kehidupan sehari-hari akan sejalan dengan meningkatnya jumlah produksi pada industri pabrik, yang akan berdampak pada peningkatan jumlah limbah yang dihasilkan, diantaranya yaitu berupa *sludge* (lumpur limbah) dan abu ampas tebu (abu ketel). Berdasarkan data produksi limbah pada PT. Kawasan Industri Makassar dihasilkan lumpur limbah kurang dari 50 kg/hr atau sekitar 18.000 kg/thn. Adapun jumlah limbah abu ampas tebu (abu ketel) yang dihasilkan Pabrik Gula PT. Perkebunan Nusantara XIV tiga tahun berturut-turut yaitu sebanyak 4.282,03 ton/periode giling; 4.135,13 ton/periode giling; dan 4.764,88 ton/periode giling.

Lumpur limbah hasil industri jika tidak ditangani dengan baik akan berdampak buruk bagi lingkungan yaitu dapat mencemari air tanah dan badan air. Menurut Hermanto (2018) limbah abu ampas tebu (abu ketel) dapat memberikan dampak bagi manusia dan tanaman. Hal ini disebabkan karena abu ampas tebu (abu ketel) mengandung butiran partikel abu dengan ukuran 1-10 mikron yang dapat menyebabkan penyakit *pneumoconiosis* pada manusia dan dapat menyebabkan kerak tebal pada daun tanaman sehingga dapat menghambat proses fotosintesis dan pertukaran CO₂ dengan atmosfer. Untuk meminimalisir dampak limbah industri bagi lingkungan sekitar, perlu dilakukan pemanfaatan limbah tersebut dengan melihat kurangnya material sebagai lapisan penutup harian untuk itu dalam penelitian ini dilakukan pemanfaatan lumpur limbah dan abu ampas tebu (abu ketel) sebagai material alternatif lapisan penutup harian Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (TPA).

Tempat Pemrosesan Akhir sampah (TPA) merupakan salah satu tempat pengembalian sampah ke media lingkungan secara aman. Dalam pengoperasian, TPA harus dapat memenuhi fungsi sebagai tempat berakhirnya sampah yang diharapkan tidak merusak lingkungan. Namun, pengelolaan sampah dengan

sistem *open dumping* sering menjadi salah satu penyebab terjadinya pencemaran lingkungan. Dalam meminimalisir dan mengatasi dampak akibat buruknya penanganan sampah di TPA perlu adanya tindakan dan upaya untuk mengubah skema metode pengelolaan sampah di TPA. Berdasarkan UU No.18 Tahun 2008 tentang pengelolaan sampah diwajibkan pemerintah daerah mengganti TPA dengan sistem *open dumping* menjadi TPA dengan sistem *sanitary landfill*. Penggunaan metode *sanitary landfill* dapat menjamin pengoperasian TPA akan lebih aman bagi lingkungan hal ini disebabkan karena metode ini dilengkapi dengan beberapa media pelindung lingkungan seperti penggunaan lapisan penutup harian disetiap hari akhir operasi.

Dalam pengaplikasian material sebagai lapisan penutup harian TPA perlu diperhatikan sifat mekaniknya sehingga memenuhi persyaratan konstruksi, diantaranya yaitu dengan melihat koefisien rembesan air pada material yang akan digunakan guna mengurangi banyaknya rembesan air eksternal ataupun air lindi dari sampah yang masuk kedalam badan TPA. Menurut Jun He, Dkk (2015) nilai permeabilitas yang ideal untuk lapisan penutup harian TPA yaitu 1×10^{-5} cm/detik. Nilai permeabilitas akan berpengaruh terhadap lapisan penutup harian jika nilai koefisien lapisan terlalu tinggi bahan penutup tidak akan mencegah infiltrasi air ke dalam TPA sedangkan jika terlalu rendah lindi yang timbul akan termigrasi ke dalam TPA dan menyebabkan lindi akan tertahan diatas permukaan lapisan penutup.

Lumpur limbah memiliki nilai koefisien permeabilitas bervariasi yaitu dapat berkisar antara 4×10^{-2} cm/s (Qian dkk, 2010). Hal ini menjadikan lumpur limbah belum memenuhi syarat sebagai lapisan penutup harian TPA, oleh karena itu perlu dilakukan modifikasi untuk memperbaiki sifat mekaniknya. Pemanfaatan abu ampas tebu (abu ketel) diyakini mampu memperbaiki karakteristik lumpur limbah hal ini disebabkan karena abu ampas tebu (abu ketel) memiliki kandungan silika yang bersifat *pozzolon* yaitu bahan dengan keberadaan air dapat membentuk massa padat dan bahan ini tidak larut didalam air yang menjadikan suatu material dengan bahan campuran abu ampas tebu (abu ketel) akan memiliki kemampuan untuk meloloskan air lebih kecil. Menurut Fatoni (2014).

Berdasarkan uraian diatas penulis tertarik untuk melakukan penelitian terkait penanganan sampah khususnya pada bagian lapisan penutup harian TPA yang tertuang dalam penulisan Tugas Akhir dengan judul “Studi Karakteristik Nilai Permeabilitas Lumpur Limbah yang Dicampur dengan Abu Ampas Tebu dan Tanah Sebagai Material Alternatif Lapisan Penutup Harian Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (TPA).

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik fisik dan permeabilitas lumpur limbah, abu ampas tebu (abu ketel) dan tanah sebagai material alternatif lapisan penutup harian TPA
2. Bagaimana permeabilitas lumpur limbah yang dicampur dengan abu ampas tebu (abu ketel) dan tanah sebagai material alternatif lapisan penutup harian TPA?

C. Tujuan dan Manfaat Penelitian

1. Tujuan
 - a. Untuk menentukan karakteristik fisik dan permeabilitas lumpur limbah, abu ampas tebu (abu ketel) dan tanah sebagai material alternatif lapisan penutup harian TPA.
 - b. Untuk menentukan nilai permeabilitas campuran lumpur limbah dengan abu ampas tebu (abu ketel) dan tanah sebagai bahan alternatif lapisan penutup harian TPA.
2. Manfaat
 - a. Untuk mengetahui karakteristik fisik dan permeabilitas lumpur limbah, abu ampas tebu (abu ketel) dan tanah sebagai material alternatif lapisan penutup harian TPA.

- b. Untuk mengetahui potensi lumpur limbah yang dicampur dengan abu ampas tebu (abu ketel) dan tanah sebagai bahan alternatif lapisan penutup harian TPA

D. Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Lumpur limbah yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah hasil olahan dari PT. Kawasan Industri Makassar.
2. Abu ampas tebu (abu ketel) yang digunakan dalam penelitian adalah limbah hasil pembakaran ampas tebu dari PT. Perkebunan Nusantara XIV Unit Usaha Pabrik Gula Takalar.
3. Tanah yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari bantaran sungai Jeneberang, Desa Sokkolia, Kecamatan Bontomarannu.
4. Material campuran yang digunakan pada penelitian ini adalah Lumpur Limbah yang dicampur menggunakan abu ampas tebu (abu ketel) dan tanah yang akan diuji di Laboratorium Mekanika Tanah, Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin.
5. Untuk pengujian permeabilitas tiap variasi campuran digunakan tiga jenis cairan yaitu air, larutan etanol dengan konsentrasi 100ml/lt air, larutan CaCl_2 sebanyak 11,1gr/lt.

E. Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah memahami permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini, maka dibuatlah susunan sistematika penulisan tugas akhir ini, sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini akan dijelaskan mengenai latar belakang terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, ruang lingkup, serta sistematika dan organisasi.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan tentang kajian literatur yang berisi penjelasan mengenai teori, temuan dan penelitian terdahulu yang menjadi acuan untuk melaksanakan penelitian ini.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang metode atau alur tahapan pengujian dalam penelitian.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan tentang proses pengujian serta analisis perhitungan dan menguraikan pembahasan dari hasil penelitian serta analisis yang dilakukan.

BAB 5 PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Pada bagian ini berisi tentang referensi sumber yang digunakan dalam penulisan laporan tugas akhir.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (TPA)

Istilah TPA yang dulu dikenal sebagai Tempat Pembuangan Akhir. Namun setelah diberlakukannya Undang-Undang No.18 Tahun 2008 TPA didefinisikan sebagai Tempat Pemrosesan Akhir sampah dengan maksud untuk mengembalikan sampah ke media lingkungan secara aman bagi manusia dan lingkungan.

Berdasarkan SNI 19-2454-2002 tentang Teknik Operasional Pengelolaan Sampah Perkotaan, secara umum teknologi pengolahan sampah dibedakan menjadi 3 metode yaitu metode Sanitary Landfill (Lahan Urug Saniter), metode Open Dumping serta metode Controlled Landfill (Penimbunan terkendali).

1. Metode *Open Dumping*

Open Dumping yaitu sistem pembuangan sampah yang dilakukan secara terbuka. Hal ini akan menjadi masalah jika sampah yang dihasilkan adalah sampah organik yang membusuk karena menimbulkan gangguan pembauan dan estetika serta menjadi sumber penularan penyakit.

2. Metode *Controlled Landfill*

Metode *Controlled Landfill* merupakan perbaikan dari open dumping, dimana sampah secara bertahap ditutup dengan lapisan tanah untuk mengurangi kemungkinan gangguan pencemaran terhadap lingkungan sekitarnya. Selain itu perlu dilakukan usaha proteksi pencemaran leachate dan gas dengan cara yang sederhana seperti: Pengumpulan leachate di dasar TPA, Pengumpulan dan penyaluran gas methane, Pengolahan leachate di dalam kolam-kolam, pemagaran lokasi dan sistem drainase merupakan fasilitas tambahan. Pada akhir pengoperasiannya TPA ini semua timbunan sampah akan tertutup oleh lapisan tanah.

3. Metode *Sanitary Landfill* (lahan urug saniter)

Metode *Sanitary landfill* merupakan sarana pengurugan sampah ke lingkungan yang disiapkan dan dioperasikan secara sistematis, dengan penyebaran dan pemadatan sampah pada area pengurugan, serta penutupan sampah setiap hari (Damanhuri 2006). Pada metode ini dilakukan pemusnahan sampah dengan membuat lubang di tanah kemudian sampah dimasukkan dan ditimbun dengan tanah lalu dipadatkan.

B. Lapisan Penutup TPA (Tempat Pemrosesan Akhir Sampah)

Menurut Nurdin (2016), Sumber terbesar dari timbulnya lindi adalah akibat infiltrasi air melalui bagian atas landfill, baik melalui presipitasi langsung atau melalui limpasan masuk (runon). Oleh karenanya, aplikasi penutup pada landfill akan memegang peranan penting. Rancangan penutup hendaknya mempertimbangkan aspek kesehatan, keselamatan, estetika, permeabilitas, kekuatan dan pemanfaatan lahan. Fungsi tanah penutup TPA diantaranya adalah:

- mengontrol rodent
- mencegah lalat dan burung masuk ke lokasi penimbunan
- menumbuhkan tanaman
- mengatur kelembaban dan aliran gas
- lapisan dasar bagi jalan kerja

Untuk mengurangi adanya potensi gangguan terhadap lingkungan, TPA perlu dilengkapi dengan lapisan penutup yang dibutuhkan guna mencegah sampah berserakan, adanya bau, terjadinya kebakaran, mencegah berkembangnya binatang pembawa vector penyakit serta mengurangi timbulan lindi. Bila pada lapisan penutup *landfill* diharapkan tidak adanya air yang masuk kedalam timbunan sampah maka digunakan material dengan permeabilitas yang rendah. Sedangkan lapisan penutup yang diaplikasikan digunakan sebagai ventilasi aliran air maka digunakan nilai rembesan/permeabilitas yang berlawanan. Jenis tanah menjadi pertimbangan yang cukup penting dalam pemilihan material penutup, umumnya tanah dengan organik tinggi dengan bagian tanah *top soil* dihindari karena tanah tersebut sulit untuk dipadatkan dan lengket.

Terdapat beberapa jenis penutupan sampah dengan menggunakan material tanah ataupun dapat menggunakan material bahan lain, berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia nomor 03 tahun 2013 tahapan penutupan tanah untuk lahan urug saniter terdiri dari 3 bagian penutupan yaitu penutup tanah harian, penutup antara dan penutupan tanah akhir.

1. Lapisan Penutup Harian

Pada setiap hari akhir operasi penimbunan sampah di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) diperlukan penutupan lapis sampah padat yang sering disebut dengan lapisan penutup harian dengan menggunakan tanah atau bahan lain seperti humas hasil *landfill mining* atau plastik *biodegradable*. Ataupun dapat menggunakan terpal, tetapi dalam penggunaannya, bahan ini harus dilepas bila diatas lapisannya akan dilakukan kembali penimbunan sampah baru (Damanhuri, 2010).

Dalam sistem pengelolaan sampah di TPA lapisan penutup harian hanya dilakukan pada metode pengelolaan sampah melalui *sanitary landfill* sedangkan pada metode *controlled landfill* lapisan penutup harian tidak dipergunakan. Fungsi utama dari penggunaan penutup harian meliputi:

- Mencegah tersebarnya sampah akibat hembasan angin ataupun gangguan dari luar.
- Mencegah timbulnya bau dan mengurangi emisi gas metan.
- Mengontrol kelembaban sampah
- Mencegah berkembangnya binatang pembawa vektor penyakit
- Mengurangi resiko terjadinya kebakaran.
- Menjaga estetika lingkungan sekitar TPA dengan meningkatnya tampilan fisik dari TPA.

Penggunaan material sebagai bahan penutup harian hendaknya digunakan material yang tidak menghambat aliran air dalam lapisan-lapisan sampah, baik aliran ke bawah melalui proses gravitasi atau yang ke atas (osmosis) guna menghindari banyaknya limpasan air lindi yang

timbul akibat sampah yang terurai, sehingga dalam hal ini dibutuhkan nilai angka rembesan air yang tidak terlalu rendah ataupun terlalu tinggi, Menurut Jun He, Dkk (2015) nilai permeabilitas yang ideal untuk lapisan penutup harian TPA yaitu 1×10^{-5} cm/detik.

Berdasarkan peraturan menteri pekerjaan umum nomor 03 tahun 2013 kemiringan tanah penutup harian memiliki ketebalan lapisan sebesar 10 hingga 15 cm. Harus cukup untuk dapat mengalirkan air hujan keluar dari atas lapisan penutup. Pada musim hujan, perlu dilakukan pengamatan rutin terhadap kemiringan tanah penutup harian, untuk menjamin pengaliran *run off* dari atas lapisan penutup mengalir secara lancar menuju ke saluran drainase. Dalam pengaplikasian lapisan penutup harian di TPA perlu memerhatikan jenis dan integrasi serta sifat kestabilan dari jenis tanah dengan melihat informasi nilai sudut geser dan kohesi dari material yang akan digunakan.

2. Lapisan Penutup Antara (*Intermediate cover*)

Lapisan antara mempunyai fungsi sebagai dasar bagi timbunan sampah, memudahkan aliran air permukaan mengalir ke luar timbunan sampah, untuk memudahkan pelintasan kendaraan di atasnya. lapisan penutup antara memiliki tebal 30 sampai 40 cm, lapisan ini dapat dibiarkan selama ½ sampai 1 tahun. Selain itu lapisan antara dapat berfungsi sebagai pengontrol terhadap pembentukan gas akibat proses dekomposisi sampah sehingga dapat mencegah timbulnya kebakaran.

Material yang dapat digunakan sebagai lapisan penutup antara TPA yaitu dapat berupa tanah asli, sampah kompos, residu pertanian, geomembrane serta limbah konstruksi. Diantara jenis material tersebut pembuatan lapisan antara TPA dengan tanah asli dan geomembran yang paling efektif dalam membatasi banyaknya limpasan air permukaan ke dalam TPA (Tchobanoglous, 1993).

3. Lapisan Penutup Akhir (*Final cover*)

Lapisan penutup akhir merupakan lapisan penutupan tanah terakhir setelah kapasitas TPA terpenuhi. Tanah penutup akhir memiliki fungsi untuk mencegah infiltrasi air luar masuk ke dalam timbunan sampah, menjaga kestabilan timbunan, serta sebagai tempat tumbuhnya vegetasi hijau. lapisan disyaratkan memiliki kemiringan tidak lebih dari 30 derajat untuk menghindari terjadinya erosi, dengan ketebalan lapisan 50 sampai 100 cm. Pada lahan urug saniter urutan komponen pelapis penutup akhir yaitu dibagian atas timbunan sampah dilakukan penimbunan tanah setebal 30 cm, selanjutnya di atasnya terdapat lapisan kerikil dengan diameter 30-50 mm, dilengkapi lapisan tanah liat setebal 20 cm dengan maksimum permeabilitas sebesar 1×10^{-7} cm/det jika tidak ditemui tanah liat yang sesuai dengan persyaratan dapat digunakan lapisan geotextile nonwoven. Dilengkapi lapisan tanah humus setebal minimum 60 cm untuk media tumbuhnya tanaman.

C. Lindi

Berdasarkan peraturan menteri LHK No.59 tahun 2016 tentang baku mutu lindi bagi usaha dan/atau kegiatan tempat pemrosesan akhir sampah, lindi adalah cairan yang berasal dari materi-materi terlarut termasuk didalamnya materi organik hasil dekomposisi secara biologi dalam timbunan sampah, yang dipengaruhi oleh masuknya air dari luar timbunan sampah.

Variasi komposisi lindi sangat tergantung pada usia TPA dan waktu pengambilan sampel lindi, jika sampel lindi dikumpulkan selama fase asam nilai pH akan rendah, unsur BOD₅, TOC, COD, nutrisi dan logam berat akan tinggi. Sebaliknya jika sampel lindi dikumpulkan selama fase fermeantasi metana pH akan berada dikisaran dari 6,5 hingga 7,5 dan nilai BOD₅, TOC, COD, nutrisi dan logam berat akan lebih rendah karena logam akan lebih sedikit larut pada pH netral (*Tchobanoglous, 1993*). Data komposisi lindi pada TPA baru dan matang ditunjukkan dalam tabel 1.

Tabel 1. Data Komposisi Lindi pada TPA Baru dan TPA Matang

Parameter	Konsentrasi (mg/L)		
	TPA baru (< 2 tahun)		TPA matang
	Range	Tipikal	
BOD ₅	2.000-30.000	10.000	100-200
TOC	1.500-20.000	6.000	80-160
COD	3.000-60.000	18.000	100-500
TSS	200-2.000	500	100-400
Organik Nitrogen	10-800	200	80-120
Amonia Nitrogen	10-800	200	20-40
Nitrat	5-40	25	5-10
Total phosphor	5-100	30	5-10
Ortho phosphor	4-80	20	4-8
Alkalinitas (CaCO ₃)	1.000-10.000	3.000	200-1.000
pH	4,5-7,5	6	6,6-7,5
Total hardnes (CaCO ₃)	300-10.000	3.500	200-1000
Kalsium	200-3.000	1.000	100-400
Magnesium	50-1.500	250	50-200
Potassium	200-1.000	300	50-400
Sodium	200-2.500	500	100-200
Klorida	200-3.000	500	100-400
Sulfat	50-1.000	300	20-50
Besi	50-1.200	60	20-200

Sumber: Tchobanoglous (1993).

Cairan lindi dalam penggunaannya dapat dimodifikasi dengan melihat beberapa unsur komposisi penyusun lindi. Penelitian mengenai penggunaan senyawa kimia sebagai cairan pengganti lindi telah dilakukan salah satunya yaitu, penelitian yang dilakukan oleh Jhinchun Chai, dkk. Dalam penelitiannya dengan judul “*effect of type of leachate on self-healing capacity of geosynthetic clay liner*” yang menggunakan 10gr/l larutan NaCl, 11,1 gr/l CaCl₂ dan 10ml/l larutan etanol sebagai cairan pengganti lindi.

D. Lumpur Limbah

Lumpur limbah merupakan hasil dari pengolahan air limbah untuk menghilangkan kandungan zat pengotor baik organik maupun anorganik yang ada dalam larutannya. Hasil pengolahan tersebut menyebabkan perpindahan konsentrasi dari kandungan zat pengotor ke dalam volume dari larutan disebut lumpur. Biasanya lumpur limbah adalah campuran lumpur primer dari primer dan biologis lumpur dari unit pengolahan biologis. Jika proses perawatan termasuk tersier pengolahan, maka lumpur limbah juga dapat mencakup lumpur tersier. Dengan demikian, lumpur limbah adalah bentuk terkonsentrasi dari kotoran yang diekstraksi dari air limbah domestik, dalam upaya untuk meningkatkan kualitas limbah. Pengelolaan lumpur yang tepat selama pembuangan memegang kunci keberhasilan operasi pengolahan air limbah (Vigneswaran, 2019).

Memodifikasi lumpur menjadi bahan seperti tanah yang bisa digunakan sebagai penutup harian dapat meringankan masalah kapasitas penyimpanan TPA dan pembuangan lumpur yang dihasilkan. Penutup harian yang akan digunakan tidak disarankan memiliki nilai permeabilitas yang terlalu tinggi ataupun terlalu rendah. Jika nilai permeabilitasnya tinggi, lapisan penutup harian tidak akan mencegah infiltrasi air dari luar ke dalam timbunan sampah tetapi jika nilai permeabilitasnya terlalu rendah, maka lapisan penutup harian akan memblokir migrasi lindi dan menyebabkan banyaknya limpasan lindi diatas permukaan lapisan penutup harian.

Lumpur dapat digunakan sebagai bahan alternatif untuk lapisan penutup harian TPA. Akan tetapi, lumpur biasanya memiliki kadar air dan kekuatan rendah, sehingga perlu dilakukan modifikasi untuk meningkatkan sifat mekaniknya. Lumpur mengandung sejumlah besar bahan polutan yang dapat menyebabkan pencemaran sekunder terhadap lingkungan jika tidak ditangani dengan benar (Xihui Fan dkk, 2011). Nilai permeabilitas untuk lumpur limbah bervariasi yaitu berkisar antara $3,7 \times 10^{-5}$ cm/s and 4×10^{-2} cm/s (Qian dkk, 2010).

Baku mutu logam berat yang terdapat dalam cairan lindi lumpur limbah berdasarkan peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No.045 Tahun 2006 tentang pengelolaan lumpur bor, limbah lumpur dan serbuk bor pada kegiatan pengeboran minyak dan gas bumi dapat dilihat dalam tabel 2.

Tabel 2. Baku Mutu Logam Berat Lumpur Limbah

No.	Nama Kimia	Simbol	Baku Mutu, mg/l
1.	Arsen	As	5,0
2.	Barium	Ba	100,0
3.	Cadmium	Cd	1,0
4.	Chromium	Cr	5,0
5.	Copper	Cu	10,0
6.	Lead	Pb	5,0
7.	Mercury	Hg	0,2
8.	Selenium	Se	1,0
9.	Silver	Ag	5,0
10.	Zinc	Zn	50,0

Sumber: PerMen Energi dan Sumber Daya Mineral No.045 Tahun 2006

E. Abu Ampas Tebu (Abu Ketel)

Abu ampas tebu (abu ketel) merupakan butiran terbentuk dari hasil pengolahan ampas tebu yang sudah diperas niranya dan telah melalui proses pembakaran pada ketel-ketel uap. Proses terjadinya abu ampas tebu (abu ketel) adalah sebagai berikut: (Fatoni, 2014).

- Setelah tebu ditebang kemudian diangkut ke pabrik gula.
- Batang-batang tebu tersebut kemudian digiling untuk dikeluarkan air gulanya sehingga tersisa ampas tebu yang dalam keadaan kering.
- Ampas tebu ini kemudian diangkut ke dapur pembakaran ketel-ketel uap dan dimanfaatkan sebagai bahan bakar mesin-mesin pabrik dengan cara dibakar.

- Sisa dari pembakaran ampas tebu tersebut yang dinamakan abu ampas tebu yang merupakan limbah dari pabrik gula tersebut.

Abu pembakaran ampas tebu dapat berupa *Bottom ash* dan *Fly Ash*, saat pembakaran ampas tebu keduanya memiliki unsur dan jumlah yang terkandung didalamnya sama. Tetapi memiliki perbedaan pada bagian ukuran butiran. *Fly ash* memiliki ukuran butiran yang lebih halus dari *Bottom ash*. Abu ampas tebu (abu ketel) terbentuk setelah proses pemanasan boiler di pabrik gula dengan menggunakan bahan bakar berupa ampas tebu. Abu ampas tebu (abu ketel) yang tertinggal pada tungku pembakaran disebut *Bottom ash*, sedangkan abu yang terbang ke cerobong asap disebut *Fly ash*.

Pembakaran ampas tebu akan menghasilkan abu ampas tebu (abu ketel) yang memiliki kandungan senyawa silikan (SiO_2) yang cukup besar yaitu sebanyak 50%, sehingga memiliki sifat *pozzolan* (senyawa bersifat semen), *pozzolan* merupakan bahan alam ataupun buatan yang sebagian besar terdiri dari unsur silika dan atau *alumina* yang reaktif. Silika yang terkandung dalam abu ampas tebu dalam bentuk butiran halus serta dengan kehadiran kelembaban, bahan ini secara kimia dapat bereaksi dengan *kalsium hidroksida* sehingga membentuk senyawa semen dalam kondisi suhu biasa. Butiran silika yang halus bila digunakan sebagai bahan campuran, dapat mengisi ruang pori-pori tanah ataupun material campuran lainnya.

Tabel 3. Komposisi Kimia Abu Ampas Tebu.

Senyawa Kimia	Jumlah %
SiO_2	55
Al_2O_3	5,1
Fe_2O_3	4,1
CaO	11
MgO	0,9
$\text{K}_2 + \text{Na}_2\text{O}$	1,4
SO_3	2,2

Sumber: Hafiz (2019).

Menurut Fatoni (2014), Penambahan abu ampas tebu (abu ketel) pada tanah dapat memperbaiki sifat fisis dan mekanis tanah yaitu menurunkan nilai permeabilitas tanah campuran disebabkan abu ampas tebu (abu ketel) dapat mengisi rongga-rongga tanah sehingga kemampuan tanah untuk meloloskan air menjadi kecil.

Penambahan abu ampas tebu (abu ketel) pada tanah lempung ekspansif dengan persentase yang ditentukan mampu mengurangi fraksi lempung yang memiliki sifat kembang susut dan mampu mengisi ruang yang terdapat pada butiran tanah sehingga menurunkan pengembangan/swelling (Budiman, 2013). Secara kimiawi, unsur-unsur dalam abu ampas tebu dapat mengurangi potensi pengembangan. Partikel lempung yang bermuatan negatif akan menyerap kation di sekitarnya termasuk ion H^+ pada air (H_2O). Ketika tanah lempung ekspansif dicampur dengan abu ampas tebu (abu ketel), unsur-unsur dalam abu ampas tebu (abu ketel) yang meliputi Ca, Al, dan Mg akan terion dan diserap oleh partikel lempung. Ion-ion unsur tersebut dapat menggantikan ion H^+ diantara lapisan partikel lempung dan mencegah penyerapan air oleh partikel lempung sehingga potensi pengembangan dapat berkurang (Hafiz, 2019).

F. Tanah

Tanah dapat berfungsi sebagai bahan konstruksi maupun sebagai media (tempat) membangun konstruksi bangunan-bangunan sipil (Wesley, 1975). Tanah merupakan sekumpulan dari berbagai mineral, bahan-bahan organik, dan endapan-endapan yang berada di atas batuan dasar yang relatif lepas. Melalui proses fisik dan kimia tanah terbentuk akibat terjadinya pelapukan batuan atau proses geologi yang terjadi didekat permukaan bumi. Pembentukan tanah secara fisik yaitu dengan mengubah tanah menjadi partikel yang kecil yang disebabkan akibat pengaruh erosi, air, angin, es dan manusia serta akibat suhu dan cuaca. Sedangkan pembentukan batuan melalui proses kimia dapat terjadi akibat pengaruh oksigen, air terutama air dengan kandungan asam dan alkali, karbondioksida dan proses kimia lainnya (Hardiyatmo, 2012).

Jenis tanah untuk lapisan penutup TPA perlu diperhatikan dengan seksama untuk menjamin fungsinya. Kualitas tanah penutup yang baik akan meningkatkan stabilitas TPA dan mengurangi penurunan muka TPA. Pasir bercampur kerikil (dengan daya dukung lebih dari 5 ton/m²) diperlukan untuk lalu lintas kendaraan. Untuk bagian permukaan yang miring jenis tanah yang diperlukan adalah tanah dengan nilai kelekatan tinggi dan tahan terhadap air hujan. Kualitas tanah penutup yang diharapkan adalah mudah dalam pengerjaan, ikatan pontibel cukup baik dan cukup kuat. Untuk ini bahan yang paling sesuai adalah campuran antara pasir, lanau dan lempung. Umumnya jenis berpasir sangat menguntungkan namun pasir saja tidak cukup karena mudah ditembus air. Tanah dengan ukuran partikel yang halus juga kurang menguntungkan karena sulit dalam pengerjaan. Tanah lempung saja juga tidak baik karena mudah mengalami retakan dalam keadaan kering (Nurdin, 2016).

1. Klasifikasi Tanah

Terdapat dua sistem pengklasifikasian tanah yaitu sistem klasifikasi tanah *Unified* atau *USCS (Unified Soil Classification System)* dan *AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)*. Sistem ini menggunakan sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair serta indeks plastisitas.

a. Sistem Klasifikasi Tanah USCS (Unified Soil Classification System)

Dalam sistem klasifikasi tanah ini, digunakan pengelompokan tanah dengan jenis ukuran butiran, berbutir kasar dan halus serta dilanjutkan dengan pengujian batas-batas Atterberg untuk jenis tanah dengan butiran halus (D.Wesley, 2012).

Tabel 4. Penggolongan Tanah dengan Ukuran Butiran

Tanah berbutir kasar				Tanah berbutir halus	
Kerikil	Pasir			Lanau	Lempung
	Kasar	Sedang	Halus		
60	2	0,6	0,2	0,06	0,002
Ukuran butir (mm)					

Sumber: Mekanika tanah untuk tanah endapan dan residu, D.Wesley, 2012.

1) Tanah berbutir kasar

Tanah berbutir kasar merupakan tanah yang memiliki ukuran butiran lebih besar dari 0,06 mm sebanyak kurang dari 50% yaitu diukur dengan menggunakan ayakan serta juga merupakan butiran terkecil yang dapat dilihat menggunakan mata telanjang. Untuk tanah dengan butiran kasar dikelompokkan menjadi dua bagian yaitu kerikil dan pasir yang memiliki bentuk dan ukuran yang beragam. Kerikil biasanya terdiri atas pecahan batu tetapi kadang juga terdiri atas mineral tunggal sedangkan untuk butiran pasir biasanya terdiri atas mineral tunggal seperti kwarsa (D.Wesley, 2012).

2) Tanah berbutir halus

Tanah dengan butiran halus yaitu tanah yang memiliki ukuran butiran lebih kecil dari 0,06 mm yang sebanyak 50% lolos ayakan dengan diameter terkecil saringan ukuran 200 yang dapat dilihat dengan mata telanjang. Pada tanah berbutir halus dilakukan pembagian menjadi dua kelompok, yaitu lanau dan lempung yang didasarkan terhadap sifat tanah tersebut serta dari batas-batas Atterberg. Adapun secara visual yang memberikan perbedaan antara lanau dan lempung melalui uji dilatansi yaitu untuk tanah lanau memiliki ciri jenis tanah lunak, cukup basah dan lengket jika diletakkan pada telapak tangan serta runtuh saat digetarkan sedangkan pada tanah lempung ciri ini tidak ditemukan.

b. Sistem klasifikasi *AASTHO* (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*)

Sistem klasifikasi *AASTHO* mengklasifikasikan kelompok tanah dalam 7 bagian yaitu dari A-1 sampai A-7 yang didasarkan pada diameter ukuran butiran serta batas-batas Atterberg. Dalam

sistem ini dilakukan penggolongan tanah dalam kelompok granular, lanau dan lempung. Dengan kelompok A-1 sampai A-3 merupakan tanah granuler (dimana tanah A-1 merupakan tanah granuler dengan gradasi baik, tanah A-2 kelompok tanah granuler yang kurang dari 35% lolos saringan no.200. sedangkan A-3 merupakan kelompok pasir bersih dengan gradasi buruk). Untuk kelompok klasifikasi A-4 sampai A-7 merupakan kelompok tanah lanau dan lempung yang lolos saringan nomor 200 dengan yang membedakan antara keduanya didasarkan pada nilai batas-batas Atterberg (Hardiyatmo, 2002).

G. Karakteristik Fisik Tanah

1. Kadar air dan berat isi

Kadar air adalah perbandingan antara berat air dengan berat butiran padat dalam tanah yang dinyatakan dalam persen.

2. Berat jenis

Berat jenis atau berat spesifik (*specific gravity*) adalah perbandingan antara berat volume butiran padat dengan berat volume air.

Tabel 5. Pengklasifikasian Tanah Berdasarkan Nilai Berat Jenis

Macam tanah	Berat jenis (Gs)
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau anorganik	2,62 – 2,68
Lempung organic	2,58 – 2,65
Lempung anorganik	2,68 - 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

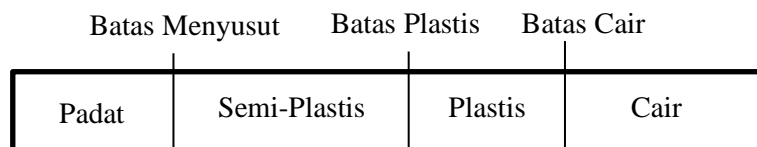
Sumber: Hary Crristady Hardiyatmo, *Mekanika Tanah 1, Edisi Ketiga*, 2002).

3. Analisis ukuran butiran

Analisa ukuran butiran tanah adalah penentuan persentase berat butiran pada satu unit saringan, dengan ukuran diameter lubang tertentu. Penentuan ukuran butir untuk tanah berbutir kasar dilakukan dengan teknik menyaring yaitu dengan cara menyaring tanah lewat dengan satu unit saringan standar, tanah yang tertinggal pada tiap-tiap saringan ditimbang untuk mengetahui beratnya. Kemudian hitung presentase terhadap berat komulatif tanah, sedangkan untuk tanah dengan ukuran butir tanah kasar dapat ditentukan dengan cara sedimentasi melalui penentuan kecepatan mengendap butiran dalam larutan suspense.

4. Batas-batas Atterberg

Uji batas Atterberg dilakukan untuk penentuan sifat lempung atau lanau suatu tanah. Nilai dari batas Atterberg adalah kadar air pada batas keadaan plastis tanah. Kadar air yang menjadi batas dari tahap uji Atterberg yaitu batas susut, batas plastis, dan batas cair (Wesley, 2012).



Gambar 1. Batas-batas Atterberg (Wesley, 2012).

a. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair (LL), didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis.

b. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis (PL), didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung.

c. Batas Susut

Batas susut (SL), didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah. Percobaan batas susut dilaksanakan dalam laboratorium dengan cawan porselin diameter 44,4 mm dengan tinggi 12,7 mm. Bagian dalam cawan dilapisi dengan pelumas dan diisi dengan tanah jenuh sempurna. Kemudian dikeringkan dalam oven.

d. Indeks plastisitas

Indeks plastisitas (PI) adalah selisih batas cair dan batas plastis, atau $PI = LL - PL$. Indeks plastisitas (PI) merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis.

Tabel 6. Rentang Nilai Indeks Plastisitas Material Tanah

No.	Indeks plastisitas (PI)	Sifat	Macam tanah	Kohesi
1.	0	Non plastis	Pasir	Non kohesif
2.	< 7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif sebagian
3.	7-17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
4.	>17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesif

Sumber: Mekanika Tanah (2002).

H. Kompaksi

Uji kompaksi atau pemadatan dilakukan untuk menentukan hubungan antara kadar air dengan berat volume serta untuk mengevaluasi tanah agar memenuhi persyaratan kepadatan. Proctor (1933) telah mengamati bahwa terdapat hubungan antara kadar air dan berat volume kering tanah padat, terdapat satu nilai kadar air optimum tertentu dalam mencapai berat volume kering maksimumnya untuk berbagai jenis tanah. Hal yang dapat mempengaruhi berat volume kering setelah pemadatan yaitu jenis tanah yang diuji, kadar air, serta usaha yang diberikan oleh alat penumbuknya (Hardiyatmo, 2002).

Penentuan karakteristik kepadatan tanah dapat dilakukan dengan pengujian standar uji proctor dengan prinsip pengujian menggunakan alat pemadat berupa silinder *mould* ($9,44 \times 10^{-4}$), tanah dalam *mould* dipadatkan dengan penumbuk yang beratnya 2,5 kg dengan tinggi jatuh 30,5 cm, tanah dipadatkan dalam tiga lapisan dengan tiap lapisan ditumbuk 25 kali pukulan. Dalam uji pemadatan percobaan diulangi paling sedikit 5 kali menggunakan variasi nilai kadar air tiap percobaan. Kemudian hubungan antara kadar air dan berat volume kering dapat di gambarkan dalam sebuah kurva, yang memperlihatkan nilai kadar air terbaik untuk mencapai berat volume kering terbesar atau kepadatan maksimum (Hardiyatmo, 2002).

Perlu diperhatikan dalam kadar air yang tinggi, berat volume kering dapat berkurang sedangkan pada nilai kadar air rendah tanah cenderung kaku dan sukar untuk dipadatkan. Bila dalam proses pemadatan, semua udara dalam tanah dapat dipastikan keluar, tanah akan berada dalam kedudukan jenuh dan nilai berat volume kering akan menjadi maksimum.

I. Permeabilitas

Permeabilitas (kelulusan) tanah adalah parameter utama yang selalu digunakan dalam meneliti waktu yang dibutuhkan dalam menghitung migrasi (perkolasi) lindi menuju air tanah melalui media berpori seperti tanah clay (Damanhuri, 2010). Menurut D, Wesley (2012), tanah memiliki sifat permeabilitas, yaitu air dapat mengalir atau merembes melalui butiran, walaupun dengan kecepatan yang sangat lambat pada jenis tanah berbutir halus (lempung dan lanau).

Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesan dari cairan yang berupa air atau minyak mengalir lewat rongga pori. Pori-pori tanah saling berhubungan antara satu dengan yang lainnya, sehingga air dapat mengalir dari titik dengan tinggi energi tinggi ke titik dengan tinggi energi yang lebih rendah. Untuk tanah, permeabilitas dilukiskan sebagai sifat tanah yang mengalirkan air melalui rongga pori tanah (Hardiyatmo, 2002).

Sifat aliran dalam tanah dapat berupa aliran laminar ataupun turbulen. Aliran yang terjadi dipengaruhi oleh jenis tanah yang dialiri, ukuran butiran, bentuk butiran, rapat massa, dan bentuk geometri rongga pori. Terdapat dua istilah dalam kemampuan tanah meloloskan air yaitu *permeable* dan *impermeable*. Yang dimaksud dengan *permeable* yaitu tanah yang benar-benar memiliki sifat mudah dalam meloloskan air sedangkan *impermeable* yaitu tanah dengan kemampuan meloloskan air sangat kecil ataupun kedap terhadap air.

Terdapat dua macam pengujian untuk menentukan koefisien permeabilitas yang dapat dilakukan secara langsung di laboratorium yaitu pengujian permeabilitas dengan uji tinggi energi tetap (*constant-head*) dan pengujian dengan uji tinggi energi turun (*falling-head*). Adapun pengujian di laboratorium dengan penentuan nilai permeabilitas secara tidak langsung yaitu melalui uji konsolidasi dan uji kapiler horizontal.

1. Uji Permeabilitas dengan Tinggi Energi Tetap (*Constant-head*)

Pengujian ini cocok untuk jenis tanah granular. Dengan prinsip pengujian Tanah benda uji diletakkan di dalam silinder. Banyaknya air yang keluar ditampung di dalam gelas ukuran. Waktu pengumpulan air dicatat.

2. Uji Permeabilitas dengan Tinggi Energi Turun (*Falling-head*)

Uji permeabilitas dengan tinggi energi turun (*falling-head*) lebih cocok untuk tanah berbutir halus. Dengan prinsip kerja, tanah benda uji dimasukkan di dalam tabung. Pipa pengukuran didirikan mengalir lewat benda uji. Air dituangkan lewat pipa pengukur dan dibiarkan mengalir lewat benda uji. Ketinggian air pada awal pengujian (h_1) pada saat waktu $t_1 = 0$ dicatat. Pada waktu tertentu (t_2) setelah pengujian berlangsung, muka air menjadi h_2 (Hardiyatmo, 2002).

Koefisien permeabilitas terutama tergantung pada ukuran rata-rata pori yang dipengaruhi oleh distribusi ukuran partikel, bentuk partikel, dan struktur tanah. Secara garis besar, makin kecil ukuran partikel, makin kecil pula ukuran pori dan makin rendah koefisien permeabilitasnya dan begitu

juga sebaliknya. Koefisien permeabilitas tanah biasanya dinyatakan pada temperature 20°C (Tronics, 2011).

Kisaran nilai koefisien permeabilitas beberapa jenis tanah dapat dilihat dalam tabel 7. yang dinyatakan dalam temperatur 20° C.

Tabel 7. Kisaran Permeabilitas Tanah pada Temperatur 20° C

Jenis Tanah	k (mm/det)
Butiran kasar	$10 - 10^{-3}$
Kerikil halus, butiran kasar bercampur pasir butiran sedang	$10^{-2} - 10$
Pasir halus, lanau longgar	$10^{-4} - 10^{-2}$
Lanau padat, lanau berlempung	$10^{-5} - 10^{-4}$
Lempung berlanau, lempung	$10^{-8} - 10^{-5}$

Sumber: *Mekanika tanah I (2002)*.

J. Penelitian Terdahulu

1. Penelitian Jun He, Dkk (2015), dengan judul *Modified sewage sludge as temporary landfill cover material*.

Penelitian mengenai pemanfaatan lumpur limbah yang telah distabilisasi sebagai bahan alternatif penutup harian TPA telah umum dilakukan jauh sebelum penelitian ini dilakukan. Namun stabilisasi lumpur limbah sebagai bahan penutup harian TPA menggunakan tanah dengan penambahan bahan campuran abu ampas tebu (abu ketel) dapat dikatakan hal yang baru.

Salah satu penelitian mengenai pemanfaatan lumpur limbah sebagai bahan penutup harian TPA yaitu dilakukan oleh Jun He, dkk (2015), dengan judul *Modified sewage sludge as temporary landfill cover material*. Lumpur limbah yang digunakan dalam penelitian tersebut dimodifikasi untuk mendapatkan sifat mekanik lumpur limbah sehingga memenuhi syarat untuk dimanfaatkan sebagai lapisan penutup harian TPA, dimana digunakan bahan berupa kapur, semen, tanah lanau dan Agregat

(TDA). Penelitian ini difokuskan terhadap sifat karakteristik lumpur limbah yaitu nilai koefisien permeabilitasnya. Dimana nilai koefisien permeabilitas yang didapatkan sebesar 1×10^{-5} cm/s dengan persentase bahan campuran yaitu (Lumpur limbah: kapur: semen: tanah lanau: Agregat (TDA) dengan rasio berturut-turut sebesar (100: 15:5:70:15).

2. Penelitian yang dilakukan oleh Mochamad Fatoni (2014), Tinjauan Kuat Tekan dan Permeabilitas Terhadap Tanah Lempung Yang Distabilisasi Dengan Kapur Dan Abu Ampas Tebu.

Tujuan dari penelitian ini yaitu: (1) untuk mengetahui besarnya kuat tekan bebas tanah asli dan tanah yang sudah distabilisasi menggunakan campuran kapur dan abu ampas tebu (abu ketel) pada kondisi kadar air optimum. (2) untuk mengetahui nilai koefisien permeabilitas tanah asli dan tanah yang sudah distabilisasi menggunakan campuran kapur dan abu ampas tebu pada kondisi kadar air optimum. Dalam penelitian ini, menggunakan kombinasi campuran (tanah, kapur dan abu ampas tebu), dengan memvariasikan penambahan abu ampas tebu (abu ketel) pada pengujian yaitu variasi 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, dan 15%. kapur sebanyak 8% dengan tanah dengan butiran lolos saringan no. 4 dengan catatan setiap variasi sebanyak 3 kg sampel.

Dari hasil penelitian tersebut, diketahui untuk uji kuat tekan nilai kuat tekan optimum pada variasi penambahan abu ampas tebu (abu ketel) sebanyak 3% dengan nilai kuat tekan sebesar 572,0 sedangkan nilai untuk tanah asli sebesar 185,6. Dan untuk pengujian permeabilitas dilihat dari hasil penelitian nilai koefisien terendah terjadi pada variasi penambahan abu ampas tebu (abu ketel) sebanyak 3% yaitu sebesar $6,086 \times 10^{-10}$ dengan nilai rembesan pada tanah asli sebanyak $1,242 \times 10^{-9}$. Dari penelitian yang dilakukan oleh Fatoni (2014) dapat membuktikan bahwa tanah campuran dengan penambahan abu ampas tebu (abu ketel) memiliki stabilitas dan daya dukung yang lebih baik dari pada tanah asli.

3. Penelitian Xihun Fan, Dkk (2019), yang berjudul meningkatkan konduktivitas hidrolik lumpur limbah padat untuk digunakan sebagai lapisan penutup sementara TPA.

Penelitian ini difokuskan kepada pengaruh konduktivitas hidrolik yang dipadatkan dengan menggunakan semen *Portland* biasa (OPC) atau semen *sulfoaluminat* (SAC). Lumpur limbah yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari pabrik pengolahan air limbah di Nanjing, Cina. Rasio campuran semen terhadap lumpur sebesar 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%. Lumpur limbah asli sebelum dicampur dengan semen memiliki kadar air 80% dan material organik 50% dari massa berat memiliki nilai konduktivitas hidrolik sebesar 10^{-6} - 10^{-7} yang terlalu rendah untuk lapisan penutup sementara TPA, namun setelah lumpur divetak dengan konten semen *sulfoaluminat* (SAC) lebih dari 40% menjadikan nilai konduktivitas hidrolik meningkat menjadi 10^{-4} yang menjadikan bahan layak sebagai lapisan sementara TPA.

4. Penelitian tentang pemanfaatan abu ampas tebu (abu ketel) yang digunakan sebagai bahan campuran beton porous dengan meninjau nilai permeabilitasnya.

Penelitian ini dilakukan oleh Hieryco Manalip, Dkk (2020) dengan judul penelitian “Pengaruh Substitusi Parsial Semen dengan Abu Ampas Tebu (abu ketel) terhadap Kuat Tekan dan Permeabilitas Beton Porous”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh substitusi sebagian semen dengan menggunakan abu ampas tebu (abu ketel) terhadap kuat tekan dan permeabilitasnya. Variasi campuran yang digunakan dalam penelitian ini yaitu penggunaan agregat kasar 55% dan variasi abu ampas tebu terdiri dari 5 variasi yaitu 0%, 5%, 10%, 15% dan 20%. Dari hasil pengujian didapatkan masing-masing nilai permeabilitas yaitu 4,92 cm/det; 4,26 cm/det; 3,42 cm/det; 3,03 cm/det; dan untuk variasi 20% didapatkan nilai permeabilitas paling kecil yaitu sebesar 2,75 cm/det. Dari hasil pengujian penambahan abu ampas tebu (abu ketel) dari 0% hingga 20% terjadi penurunan nilai permeabilitas.