

TUGAS AKHIR

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



NIDYA ANASTASIA NIRWAN

D131 17 1302

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2021

TUGAS AKHIR

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

Diajukan sebagai Tugas Akhir dalam Rangka Penyelesaian Studi Sarjana S1
Teknik Lingkungan pada Program Studi Teknik Lingkungan



NIDYA ANASTASIA NIRWAN

D131 17 1302

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 Dicampur Dengan Abu Ampas Tebu dan Serat Sabut Kelapa Sebagai Lapisan Penutup Harian Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (TPA)**

Disusun Oleh :

Nama : Nidya Anastasia Nirwan D131171302

Telah diperiksa dan disetujui
Oleh Dosen Pembimbing

Gowa, 24 Nopember 2021

Pembimbing I

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

Pembimbing II

Dr. Eng. M. Akbar Caronge, S.T., M.T.
NIP. 198604092019043001

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 Nidya Anastasia Nirwan, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“Studi Karakteristik Permeabilitas Lumpur Limbah yang Dicampur Dengan Abu Ampas Tebu dan Serat Sabut Kelapa Sebagai Lapisan Penutup Harian Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (TPA)”**, adalah karya ilmiah penulisa sendiri dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulisan lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu, semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Gowa, 25 November 2021

Yang membuat pernyataan



Nidya Anastasia Nirwan

D131 17 1302

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh. Puji syukur kehadiran Allah SWT. Atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Studi Karakteristik Permeabilitas Lumpur Limbah yang Dicampur dengan Abu Ampas Tebu dan Serat Sabut Kelapa Sebagai Lapisan Penutup Harian Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (TPA)**” yang merupakan syarat dalam rangka menyelesaikan studi di Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Selama penyusunan laporan tugas akhir ini, penulis banyak menerima bantuan, dukungan, dan bimbingan sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua, Ayahnda **Nirwan** dan Ibunda **Ida Tekstiana** atas doa dan dukungan yang tidak henti-hentinya diberikan kepada penulis
2. Ibu **Dr. Eng. Kartika Sari, S.T., M.T.** selaku dosen pembimbing I dan **Dr. Eng. Akbar Caronge, S.T., M.Eng.** selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktu untuk memberikan arahan dan masukan kepada penulis selama mengerjakan tugas akhir ini.
3. Bapak **Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
4. Bapak **Prof. Baharuddin Hamzah, S.T., M.Arch., PhD.**, selaku Wakil Dekan dan Pembantu Dekan I Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Ibu **Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T.**, selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
6. Ibu **Dr. Eng. Asyanthi T. Lando, S.T., M.T.** selaku Penasehat Akademik yang telah bersedia meluangkan waktunya ketika penulis ingin berdiskusi selama masa perkuliahan.
7. **Bapak dan ibu dosen serta seluruh staf** Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

8. Kakak penulis **Irzam Pratama, Isjhar Kautsar, dan Nita Fitriani Wahba Nirwan** yang telah memberikan motivasi, semangat dan doanya.
9. Partner penelitian **Azhim, Mul**, khususnya **Selsi** yang selalu ada menemani penulis dan sama-sama berjuang melewati segala musim di laboratorium mekanika tanah. Terima kasih sudah bekerja sama dengan baik. *See you on top.*
10. **Kak Enal** selaku Laboran dan teman-teman asisten Laboratorium Mekanika Tanah (**Adam, Asri, Alwan, Cindy, Baso, Nidar, Marcel, Egi, Azmud, Novi, dan Meca**) yang selalu menjawab pertanyaan-pertanyaan penulis selama melakukan penelitian di Laboratorium Mekanika Tanah.
11. Teman-teman yang sudah seperti 119 bagi penulis **Eko, Dinah, dan Ima** yang sudah membantu mengambil sampel dan membantu penelitian penulis. Terkhusus saudara **Irsyad** juga terima kasih yang tiada henti-hentinya atas bantuannya, walaupun sibuk, tapi tetap mengulurkan tangan ketika penulis membutuhkan.
12. Teman-teman **Mata09** khususnya **lirikan 6, lirikan 5, dan lirikan 7** atas segala momen dan karya-karyanya
13. Teman-teman **Sushi geng Ike, Dini, Atikah, Meilani, dan Wina** yang selalu memberikan motivasi dan semangat kepada penulis
14. Teman-teman **Wacana geng Shavira, Ail, dan Zana** yang juga telah menjadi *support system* penulis dari SMP hingga sekarang. Terima kasih atas cerita-cerita lucunya yang membuat penulis kembali semangat.
15. Teman-teman Asisten Laboratorium Ilmu Ukur Tanah **Kak Ara, Kak Ai, Kak Alep, Kak Fathur, Kak Fajar, Arung, Okta, Nune, Arfan, Alifia, Rudy, Eddy, Doni, Ifah, dan Yusriah** atas segala bantuan dan semangatnya.

16. Teman-teman seangkatan **PLASTIS 2018** yang tidak bisa disebut satu persatu, terima kasih atas segala kebersamaannya selama masa perkuliahan.
17. Semua pihak yang telah membantu dalam penulisan ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu-satu, penulis ucapkan terima kasih.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis menerima dengan senang hati kritik dan saran yang bersifat membangun. Semoga tugas akhir ini dapat memberika manfaat bagi pembaca.

Wassalamualaikum Warramatulahi Wabarakatuh.

Makassar, 29 November 2021

Nidya Anastasia Nirwan

D131171302

ABSTRAK

NIDYA ANASTASIA NIRWAN, *Studi Karakteristik Permeabilitas Lumpur Limbah yang Dicampur Dengan Abu Ampas Tebu dan Serat Sabut Kelapa Sebagai Lapisan Penutup Harian Tempat Pemrosesan Akhir (TPA)*. (dibimbing oleh **Kartika Sari dan Akbar Caronge**)

Pada metode *sanitary landfill* dan *controlled landfill* di TPA terdapat istilah lapisan tanah yang terdiri dari lapisan dasar, lapisan tanah penutup antara, dan lapisan tanah penutup akhir. Tanah memiliki jumlah yang terbatas, sehingga dibutuhkan bahan alternatif. Bahan yang digunakan adalah limbah lumpur, tanah, abu ampas tebu, dan serat sabut kelapa, dengan mempertimbangkan nilai permeabilitas dapat mencapai angka 1×10^{-4} cm/detik hingga 1×10^{-5} cm/detik. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi sifat dasar limbah lumpur dari IPAL industri dan mengevaluasi sifat permeabilitas limbah lumpur yang dicampur dengan abu ampas tebu, tanah, dan serat sabut kelapa sebagai bahan alternatif lapisan penutup harian TPA.

Jenis penelitian yang dilakukan adalah metode eksperimen yang dilakukan di laboratorium mekanika tanah. Pada pengujian permeabilitas digunakan metode *falling head* untuk sampel berbutir halus dan *constant head* untuk sampel berbutir kasar. Adapun variasi sampel yaitu penambahan sabut dengan presentasi 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%.

Hasil dari pengujian, yaitu lumpur limbah memiliki ukuran butiran dengan diameter 76,2 - 4,75 mm terdiri dari 8,8%, diameter 4,75 - 0,075 mm terdiri dari 80,80%, dan butiran dengan diameter <0,075 mm terdiri dari 10,40%. Lumpur limbah memiliki nilai koefisien permeabilitas sebesar 0,0657 cm/detik. Pada pengujian permeabilitas sampel campuran, diperoleh grafik *trendline* meningkat dengan permeabilitas terkecil pada variasi penambahan sabut 0%, yaitu 1×10^{-5} . Namun, pada penggunaan cairan etanol dan CaCl_2 , nilai permeabilitas didapatkan lebih besar dari nilai permeabilitas pada air tawar, yaitu $1,51 \times 10^{-5}$ cm/detik dan $2,06 \times 10^{-5}$ cm/detik. Berdasarkan hasil yang didapatkan, sampel campuran setiap variasi dapat digunakan sebagai lapisan penutup harian TPA karena memiliki nilai permeabilitas sesuai dengan syarat, kecuali variasi penambahan 5%.

Kata Kunci: Abu Ampas Tebu, Lumpur Limbah, Permeabilitas, Tanah, TPA, Serat Sabut Kelapa

ABSTRACT

NIDYA ANASTASIA NIRWAN, Study of Permeability Characteristics of Waste Sludge Mixed with Sugarcane Bagasse Ash and Coconut Coir Fibers as Daily Cover for the landfill. (supervised by **Kartika Sari** and **Akbar Caronge**)

In the sanitary landfill and controlled landfill methods, the term soil layer consists of a base layer, an intermediate topsoil layer, and a final topsoil layer. Soil has a limited amount, so alternative materials are necessary. The materials used are waste sludge, soil, bagasse ash, and coconut coir fiber, taking into account the permeability value can reach 1×10^{-4} cm/sec to 1×10^{-5} cm/sec. This study aims to evaluate the basic properties of sewage sludge from industrial WWTPs and evaluate the permeability of mixed sewage sludge with bagasse ash, soil, and coco fiber as alternative materials for daily landfill cover.

The type of research is an experimental method and carried out in a soil mechanics laboratory. In the permeability test, the falling head method is used for fine-grained samples and constant head for coarse-grained samples. The sample variation is the addition of coir with a presentation of 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, and 5%.

The results of the test, namely the waste sludge has a grain size with a diameter of 76.2 - 4.75 mm consists of 8.8%, a diameter of 4.75 - 0.075 mm consists of 80.80%, and a grain with a diameter of < 0.075 mm consists of 10.40% Waste sludge has a permeability coefficient of 0.0657 cm/second. In the mixed sample for permeability test, the trendline graph is increase and the smallest permeability at 0% coir addition variation, i.e. 1×10^{-5} . However, in the use of ethanol and CaCl_2 liquids, the permeability value is greater than the permeability value in tap water, i.e. 1.51×10^{-5} cm/sec and 2.06×10^{-5} cm/sec. Based on the results, the mixed sample of each variation can be used as a daily cover for the landfill because it has a permeability value according to the specified conditions, except 5% coir addition variation.

Keywords: Coconut Coir Fiber, Landfill, Permeability, Sewage Sludge, Soil, Sugarcane Bagasse Ash

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	viii
ABSTRACK	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian	4
E. Ruang Lingkup.....	4
F. Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Penelitian Terdahulu	6
B. Karakteristik Sampah.....	12
C. Tempat Pemrosesan Akhir (TPA).....	13
D. Sistem Pelapis TPA (<i>Liner</i>)	15
E. Air Lindi.....	17
F. Limbah Lumpur	19
G. Abu Ampas Tebu	21
H. Serat Sabut Kelapa.....	22
I. Batas Konsistensi (Atterberg Limit)	24
J. Permeabilitas	27

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	29
A. Diagram Alir Penelitian	29
B. Waktu dan Lokasi Penelitian	30
C. Metode Pengumpulan Data	30
D. Rancangan Penelitian	31
E. Variasi Pengujian	38
F. Analisis Data	38
K. Kerangka Konsep Penelitian	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	44
A. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Limbah Industri	44
B. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Tanah	47
C. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Abu Ampas Tebu.....	54
D. Pengujian Berat Jenis Limbah Lumpur yang Dicampur dengan Tanah, Abu Ampas Tebu, dan Serat Sabut Kelapa	57
E. Pengujian Kompaksi Lumpur Limbah yang Dicampur dengan Tanah, Abu Ampas Tebu, dan Serat Sabut Kelapa	57
F. Hasil Pengujian Permeabilitas Menggunakan Air Tawar	66
G. Hasil Pengujian Permeabilitas Menggunakan Etanol dan CaCl ₂	68
BAB V PENUTUP	72
A. Kesimpulan	72
B. Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Penelitian Terdahulu.....	9
Tabel 2. Komposisi Sampah Kota Makassar.....	12
Tabel 3. Perbandingan Metode Landfilling.....	14
Tabel 4. Karakteristik Air Lindi	18
Tabel 5. Komposisi Sabut Kelapa	23
Tabel 6. Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah	26
Tabel 7. Harga-harga Batas Atterberg untuk Mineral Lempung.....	26
Tabel 8. Harga-Harga Koefisien Permeabilitas.....	28
Tabel 9. Standar Pengujian Sifat Fisik	37
Tabel 10. Standar Pengujian Sifat Mekanik	38
Tabel 11. Variasi Sampel Pengujian	38
Tabel 12. Hasil Analisa Saringan Lumpur Limbah.....	44
Tabel 13. Nilai Koefisien Permeabilitas Lumpur Limbah	46
Tabel 14. Unsur Kimia Lumpur Limbah.....	46
Tabel 15. Perbandingan Kandungan Kimia Lumpur Limbah dengan Nilai Ambang Batas Bahan Pencemar Pada Tanah.....	47
Tabel 16. Hasil Analisa Saringan Tanah	49
Tabel 17. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem AASHTO	51
Tabel 18. Nilai Permeabilitas Tanah	53
Tabel 19. Hasil Pengujian Analisa Saringan	54
Tabel 20. Kandungan Kimia Abu Ampas Tebu	56
Tabel 21. Perbandingan Kandungan Kimia Abu Ampas Tebu dengan Nilai Ambang Batas Bahan Pencemar Pada Tanah.....	56
Tabel 22. Nilai Berat Jenis Setiap Variasi Sampel.....	57
Tabel 23. Berat Isi Kering dan Kadar Air Variasi Campuran Sampel	61
Tabel 24. Rekapitulasi Berat Isi Sampel Basah	62
Tabel 25. Rekapitulasi Berat Sampel Pengujian Permeabilitas	64
Tabel 26. Rekapitulasi Nilai berat sampel basah.....	64

Tabel 27. Rekapitulasi penambahan air untuk sampel permeabilitas.....	65
Tabel 28. Penambahan material untuk masing-masing variasi	66
Tabel 29. Nilai Koefisien Permeabilitas Menggunakan Air Tawar	66
Tabel 30. Nilai Koefisien Permeabilitas Variasi Sampel Menggunakan Air Tawar, Etanol, dan CaCl ₂	68
Tabel 31. Nilai Angka Pori Variasi Sampel Menggunakan Air Tawar, Etanol, dan CaCl ₂	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Diagram Alir Penelitian.....	30
Gambar 2. Sampel Lumpur	31
Gambar 3. Sampel Tanah	32
Gambar 4. Sampel Abu Ampas Tebu.....	32
Gambar 5. Sampel Sabut Kelapa.....	33
Gambar 6. Satu Set Alat Permeabilitas	33
Gambar 7. Satu Set Alat Pengujian Kadar Air dan Berat Isi.....	34
Gambar 8. Satu Set Alat Analisa Saringan dan Hidrometer.....	34
Gambar 9. Satu Set Alat Pengujian Berat Jenis.....	35
Gambar 10. Satu Set Alat Batas-Batas Atterberg.....	36
Gambar 11. Satu Set Alat Pengujian Kompaksi.....	36
Gambar 12. Bagan kerangka Konsep Penelitian	43
Gambar 13. Grafik Analisa Saringan Lumpur Limbah	45
Gambar 14. Grafik Pengujian Batas Cair	48
Gambar 15. Grafik Analisa Saringan dan Hidrometer Tanah	50
Gambar 16. Grafik Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS.....	51
Gambar 17. Grafik Hubungan Kadar Air dan Berat Isi Kering Tanah.....	53
Gambar 18. Grafik Analisa Saringan Abu Ampas Tebu	55
Gambar 19. Grafik Kompaksi Variasi 50:40:10:0.....	58
Gambar 20. Grafik Kompaksi Variasi 49:40:10:1.....	58
Gambar 21. Grafik Kompaksi Variasi 48:40:10:2.....	59
Gambar 22. Grafik Kompaksi Variasi 47:40:10:3.....	59
Gambar 23. Grafik Kompaksi Variasi 46:40:10:4.....	60
Gambar 24. Grafik Kompaksi Variasi 45:40:10:5.....	60
Gambar 25. Grafik Berat Isi Kering Sampel	61
Gambar 26. Grafik Kadar Air.....	62
Gambar 27. Hubungan Nilai Permeabilitas dengan Penambahan Serat Sabut Kelapa	67
Gambar 28. Hubungan Nilai Permeabilitas dengan Perubahan Cairan.....	69
Gambar 29. Hubungan Nilai Angka Pori dengan Nilai Koefisien Permeabilitas	70

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Perhitungan Permeabilitas Lumpur Limbah, Tanah, dan Variasi
Campuran Sampel

Lampiran 2. Dokumentasi Kegiatan

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Di era perkembangan globalisasi ini, terjadi pertumbuhan penduduk yang sangat pesat. Pertumbuhan penduduk ini diikuti dengan bertambahnya jumlah kebutuhan manusia. Semakin banyak kebutuhan maka semakin banyak sampah yang dihasilkan. Oleh karena itu, sampah yang ada saat ini semakin banyak. Masyarakat jarang mengelola sampahnya, mereka hanya membuang begitu saja di lingkungan sekitar. Akibat dari perilaku tersebut menyebabkan pencemaran lingkungan yang semakin parah tiap harinya. Hal ini diperburuk dengan kurang memadainya tempat dan lokasi pembuangan sampah, kurangnya kesadaran dan kemauan masyarakat dalam mengelola dan membuang sampah, masih kurangnya pemahaman masyarakat tentang manfaat sampah, serta keengganan masyarakat memanfaatkan kembali sampah karena sampah dianggap sebagai sesuatu yang kotor dan harus dibuang ataupun gengsi. Berbagai hal tersebut menyebabkan menurunnya kualitas lingkungan yang berdampak negatif bagi masyarakat.

Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2020 tentang Pengelolaan Sampah Spesifik, sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Sedangkan menurut Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 33 Tahun 2010, Sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat yang terdiri atas sampah rumah tangga maupun sampah sejenis sampah rumah tangga. Penumpukan sampah juga dapat terjadi akibat dari tidak seimbangnya antara sampah yang dihasilkan dengan pengelolaan sampah. Saat ini pengelolaan sampah belum maksimal.

Pengelolaan sampah idealnya dilakukan dengan melalui beberapa proses pengolahan sebelum dibuang ke tempat pemrosesan akhir. Misalnya, sampah sudah dipilah dari sumbernya. Setelah itu, sampah dibawa ke tempat pengolahan sampah dengan system 3R (*Reuse, Reduce, Recycle*). Kemudian sampah yang sudah tidak bisa diolah dapat dibuang ke tempat pemrosesan akhir (TPA). Sehingga, timbulan

sampah yang sampai ke TPA menjadi lebih sedikit dan umur TPA dapat berlangsung lama. Namun, pada kenyataannya masyarakat tidak memilah sampahnya dan tempat pengolahan sampah seperti TPS3R tidak berjalan dengan maksimal, sehingga timbulan sampah yang tiba di TPA sangat banyak.

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2013 tentang Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan Dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Rumah Tangga, Tempat Pemrosesan Akhir yang selanjutnya disingkat TPA adalah tempat untuk memproses dan mengembalikan sampah ke media lingkungan. Terdapat tiga metode dalam pemusnahan sampah di TPA, yaitu *sanitary landfill*, *controlled landfill*, dan *open dumping*. Metode *sanitary landfill* merupakan metode terbaik dibandingkan *open dumping* dalam hal penanggulangan dampak negatif terhadap lingkungan.

Di Indonesia dikenal terminologi *Controlled Landfill* atau lahan urug terkendali yang merupakan perbaikan atau peningkatan dari cara *open dumping*, tetapi belum sebaik *sanitary landfill*. Metode *open dumping* tidak dilakukan penimbunan sampah, metode *controlled landfill* dilakukan penutupan sampah secara berkala, dan metode *sanitary landfill* dilakukan penutupan dengan tanah setiap harinya. Oleh karena itu terdapat beberapa lapisan tanah yang digunakan pada TPA yang menggunakan system *sanitary landfill* dan *controlled landfill*.

Terdapat lapisan-lapisan tanah pada TPA, seperti lapisan dasar, lapisan tanah penutup antara, dan lapisan tanah penutup harian. Pada lapisan penutup dibutuhkan tanah yang sangat banyak. Namun, tanah memiliki jumlah yang terbatas, sehingga dibutuhkan bahan alternatif sebagai pengganti tanah tersebut. Pada penelitian ini, bahan alternatif yang digunakan adalah limbah IPAL industri yang akan di dicampur dengan abu ampas tebu, tanah, dan serat sabut kelapa.

Kegiatan industri merupakan unsur penting dalam perkembangan ekonomi. Setiap kegiatan industri akan menghasilkan limbah cair, padat, atau gas. Limbah yang dihasilkan akan mengakibatkan pencemaran lingkungan apabila tidak ditangani dengan baik. Salah satu teknologi pengolahan limbah adalah menggunakan instalasi pengolahan air limbah (IPAL). Pada IPAL ini juga akan menghasilkan limbah berupa lumpur. Bahan lumpur dapat dimanfaatkan sebagai

bahan penutup TPA karena jumlah timbulan yang sangat besar. Namun, karakteristik lumpur yang memiliki kandungan air yang tinggi dan kekuatan yang rendah, maka diperlukan modifikasi untuk meningkatkan sifat mekanik lumpur, salah satunya sifat mekanik yang diperlukan untuk bahan penutup TPA adalah permeabilitas. Nilai permeabilitas tanah untuk penutup harian TPA adalah 10^{-5} cm/detik (Jun He dkk, 2015).

Modifikasi yang dapat dilakukan adalah dengan menambah bahan aditif pozzolanik. Tujuan dari pencampuran bahan pozzolanik ini adalah meningkatkan kekuatan dan mengurangi permeabilitas. Penelitian ini menggunakan abu ampas tebu sebagai pengganti bahan pozzolanik. Jumlah produksi abu ampas tebu pada satu pabrik gula cukup besar, yaitu 2% dari jumlah tebu yang digiling (Abror dkk, 2017). Abu ampas tebu memiliki kandungan SiO_2 yang tinggi. Kandungan SiO_2 adalah unsur yang memiliki sifat pozzolanik.

Material lain yang ditambahkan pada penelitian ini adalah serat sabut kelapa. Material ini merupakan limbah yang masih terbatas pemanfaatannya. Adapun sifat dari sabut kelapa, yaitu tahan lama, kuat terhadap gesekan, tahan terhadap air, dan tidak mudah membusuk. Penggunaan serat sabut kelapa dapat meningkatkan kuat tekan dan menaikkan nilai permeabilitas (Elhusna dan Jefri, 2012). Dalam pencampuran material akan ditambahkan tanah yang berfungsi untuk memudahkan pencampuran limbah lumpur dan bahan lainnya.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka penelitian ini diharapkan dapat membuat bahan alternatif penutup lapisan harian yang sesuai dengan syarat lapisan penutup harian, yaitu memiliki nilai permeabilitas 10^{-5} cm/detik dengan menggunakan limbah industri yang akan dicampur dengan abu ampas tebu, serat sabut kelapa, dan tanah.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik limbah lumpur dari Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri, tanah, dan abu ampas tebu?
2. Bagaimana sifat permeabilitas limbah lumpur yang dicampur dengan abu ampas tebu, tanah, dan serat sabut kelapa sebagai bahan alternatif lapisan penutup harian TPA?

C. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengevaluasi karakteristik limbah lumpur dari Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri, tanah, dan abu ampas tebu
2. Untuk mengevaluasi sifat permeabilitas limbah lumpur yang dicampur dengan abu ampas tebu, tanah, dan serat sabut kelapa sebagai bahan alternatif lapisan penutup harian TPA.

D. Manfaat Penelitian

1. Hasil dari penelitian ini dapat mengetahui karakteristik sifat fisik, mekanik, dan sifat kimia limbah lumpur dari Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri, tanah, dan abu ampas tebu.
2. Hasil dari penelitian ini berupa nilai permeabilitas limbah lumpur yang dicampur dengan abu ampas tebu, tanah, dan serat sabut kelapa yang nantinya dapat dipertimbangkan sebagai bahan alternatif lapisan penutup harian TPA.

E. Ruang Lingkup

Pada penelitian ini memiliki ruang lingkup, yaitu:

1. Sampel yang digunakan, yaitu:
 - a. limbah lumpur yang diambil di *Waste Water Treatment Plant* PT. Kawasan Industri Makassar
 - b. abu ampas tebu diambil di Pabrik Gula PT. Perkebunan Nusantara XIV yang merupakan hasil pembakaran di boiler.
 - c. serat sabut kelapa (*powder*)
 - d. tanah yang diambil di Sungai Jeneberang
2. Pengujian dilakukan dengan pengujian permeabilitas pada sampel limbah lumpur yang dicampur dengan abu ampas tebu, tanah, dan serat sabut kelapa
3. Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium

4. Penelitian meneliti sifat fisis dan mekanik sampel, yaitu:
 - a. Pengujian kadar air
 - b. Pengujian batas-batas Atterberg
 - c. Pengujian berat jenis
 - d. Pengujian Analisa saringan dan hidrometer
 - e. Pengujian kompaksi

F. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dibuat agar memudahkan pembaca dalam memahami isi laporan. Pada sistematika penulisan ini berisi gambaran besar isi tugas akhir. Terdapat lima bab dalam penulisan tugas akhir ini. Adapun susunan penulisan adalah sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, ruang lingkup, dan diakhiri dengan sistematika penulisan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab tinjauan Pustaka berisi teori-teori atau referensi yang mendasari masalah penelitian. Referensi ini digunakan untuk Menyusun kerangka pemikiran/konsep yang akan digunakan pada penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab metode penelitian berisi tentang prosedur-prosedur yang digunakan untuk melakukan penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab hasil dan pembahasan berisi tentang hasil analisis dari penelitian yang telah dilakukan sesuai dengan metode penelitian.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan yang telah didapatkan dari hasil penelitian serta saran yang diperlukan untuk penelitian yang telah dilakukan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu digunakan sebagai bahan acuan dan perbandingan penelitian. Selain itu, penelitian terdahulu bertujuan untuk menghindari anggapan kesamaan dengan penelitian ini. Adapun hasil-hasil penelitian terdahulu sebagai berikut.

1. Hasil Penelitian Sukiman Nurdin (2016)

Rujukan penelitian pertama, yaitu disertasi Sukiman Nurdin Mahasiswa Universitas Hasanuddin pada tahun 2016 dengan judul Kinerja Tanah Lunak Stabilisasi Fly Ash dengan Perkuatan Serat Alami Sebagai Lapis Penutup Landfill. Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental di laboratorium. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan studi eksperimental pemanfaatan tanah lunak sebagai lapis penutup akhir landfill yang diperbaiki dengan stabilisasi *fly ash* dan perkuatan serat tandang sawit dengan memperoleh informasi ilmiah ,yaitu karakteristik fisik, mekanis dan mineral tanah lunak, perilaku kembang-susut serta keretakan tanah lunak yang distabilisasi fly ash dan perkuatan serat terhadap siklus basah kering.

Adapun kesimpulan pada penelitian ini, yaitu kinerja tanah lunak yang distabilisasi *fly ash* dan perkuatan serat tandang buah kelapa sawit dapat mengoptimalkan kinerja lapisan tanah lunak sebagai lapisan penutup akhir. Hal ini disebabkan sifat *fly ash* yang mempunyai kehalusan dan kekerasan partikel yang tinggi sehingga dapat mengisi rongga pada tanah dan dapat merubah volume pori dalam tanah menjadi kecil, sementara serat berfungsi memperkuat gaya Tarik permukaan antara serat dan tanah karena sifat adhesi sehingga tanah tidak mudah runtuh.

2. Hasil penelitian Agus Tugas Sudijanto (2012)

Rujukan penelitian kedua, yaitu jurnal ilmiah Agus Tugas Sudijanto dosen Universitas Widyagama pada tahun 2012 dengan judul Stabilisasi *Landfill* dengan *Fly Ash*. Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental di laboratorium yang menggunakan campuran tanah dan *fly ash* dengan berbagai variasi komposisi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperbaiki tanah bekas timbunan (*landfill*) dengan melakukan stabilisasi dengan *fly ash*.

Adapun kesimpulan pada penelitian ini, yaitu penggunaan bahan campuran abu terbang sebagai bahan stabilisasi dapat meningkatkan kepadatan maksimum tanah, mengurangi kadar air tanah, dan meningkatkan berat jenis tanah.

3. Hasil Penelitian Linda Irnawati Gunawan, dkk (2015)

Rujukan penelitian ketiga, yaitu jurnal ilmiah Universitas Brawijaya dengan penulis Linda Irnawati Gunawan dkk yang berjudul Kriteria Kadar Air-Kepadatan Bentonite Dicampurkan dengan *Fly Ash* untuk *Compacted Soil Liner*. Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental di laboratorium. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan *fly ash* terhadap karakteristik mekanik (permeabilitas dan kuat tekan bebas), serta mengetahui komposisi campuran bentonite dengan *fly ash* yang paling sesuai untuk *compacted soil liner* berdasarkan hasil penelitian.

Adapun kesimpulan pada penelitian ini, yaitu nilai koefisien permeabilitas (k) semakin meningkat dengan penambahan *fly ash* dalam *bentonite* dan sebaliknya. Dari hasil Analisa pengujian dengan menggunakan tiga komposisi campuran, yaitu: Tanah A (30% *bentonite* + 70% *Fly Ash*), Tanah B (50% *bentonite* + 50% *Fly Ash*), dan Tanah C (70% *bentonite* + 30% *Fly Ash*) dapat disimpulkan bahwa campuran 70% *bentonite* + 30% *fly ash* memiliki konduktivitas hidraulik paling kecil dengan memenuhi standar parameter untuk *compacted soil liner* dengan nilai konduktivitas hidraulik (k) mencapai 1×10^{-6} cm/dt.

4. Hasil Penelitian Muge Balkaya (2019)

Rujukan penelitian keempat, yaitu jurnal ilmiah *Istanbul Technical University* dari penulis Balkaya Muge yang berjudul *Assessment of the geotechnical aspect of the use of paper mill sludge as landfill cover and bottom liner material*. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui manfaat penggunaan lumpur pabrik kertas sebagai penutup TPA dan lapisan dasar TPA.

Kesimpulan dalam penelitian ini adalah lumpur pabrik kertas memiliki sifat geoteknis yang sesuai dengan penutup TPA dan bahan lapisan dasar TPA. Pengujian yang dilakukan adalah pergeseran dan *factor of safety* (FS). Nilai FS untuk penggunaan lumpur pabrik kertas lebih tinggi dibandingkan dengan tanah liat yang dipadatkan. Namun, nilai FS akan berkurang dengan meningkatnya beban permukaan

5. Hasil Penelitian Jun He dkk (2015)

Rujukan penelitian kelima adalah jurnal Universitas Teknologi Hubei dari penulis Jun He, Feng Li, Yong Li, dan Xi-lin Cui. Yang berjudul *Modiifed Sewage Sludge as Temporaru Landfill Cover Material*. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan nilai permeabilitas yang sesuai untuk penutup sementara. Selain itu, untuk menguji kekuatan dan kinerja hidrolis dari lumpur yang dimodifikasi dengan kapur, semen, tanah lanau, dan TDA.

Kesimpulan dalam penelitian ini adalah rasio modifikasi lumpur : kapur : semen : tanah lanau : TDA, yaitu 100:15:5:70:15 dapat digunakan sebagai lapisan penutup harian karena menurunkan permeabilitas dan meningkatkan kuat tekan lumpur yang sudah dimodifikasi.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

No.	Nama	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
1	Sukiman Nurdin (2016)	Kinerja Tanah Lunak Stabilisasi <i>Fly Ash</i> dengan Perkuatan Serat Alami Sebagai Lapis Penutup <i>Landfill</i>	melakukan studi eksperimental pemanfaatan tanah lunak sebagai lapis penutup akhir landfill yang diperbaiki dengan stabilisasi <i>fly ash</i> dan perkuatan serat tandang sawit dengan memperoleh informasi ilmiah yaitu karakteristik fisik, mekanis dan mineral tanah lunak, perilaku kembang-susut serta keretakan tanah lunak yang distabilisasi <i>fly ash</i> dan perkuatan serat terhadap siklus basah kering.	Penelitian Eksperimental	kinerja tanah lunak yang distabilisasi <i>fly ash</i> dan perkuatan serat tandang buah kelapa sawit dapat mengoptimalkan kinerja lapisan tanah lunak sebagai lapisan penutup akhir. Hal ini disebabkan sifat <i>fly ash</i> yang mempunyai kehalusan dan kekerasan partikel yang tinggi sehingga dapat mengisi rongga pada tanah dan dapat merubah volume pori dalam tanah menjadi kecil, sementara serat berfungsi memperkuat gaya Tarik permukaan antara serat dan tanah karena sifat adhesi sehingga tanah tidak mudah runtuh.

No.	Nama	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
2	Agus Tugas Sudjianto (2012)	Stabilisasi <i>Landfill</i> dengan <i>Fly Ash</i>	Memperbaiki tanah bekas timbunan (<i>landfill</i>) dengan melakukas stabilisasi dengan <i>fly ash</i> .	Penelitian Eksperimental	penggunaan bahan campuran abu terbang sebagai bahan stabilisasi dapat meningkatkan kepadatan maksimum tanah, mengurangi kadar air tanah, dan meningkatkan berat jenis tanah.
3	Linda Irnawati Gunawan, dkk (2015)	Kriteria Kadar Air-Kepadatan <i>Bentonite</i> Dicampur dengan <i>Fly Ash</i> untuk <i>Compacted Soil Liner</i>	Mengetahui pengaruh penambahan <i>fly ash</i> terhadap karakteristik mekanik (permeabilitas dan kuat tekan bebas), serta mengetahui komposisi campuran bentonite dengan <i>fly ash</i> yang paling sesuai untuk <i>compacted soil liner</i> berdasarkan hasil penelitian	Penelitian Eksperimental	nilai koefisien permeabilitas (k) semakin meningkat dengan penambahan <i>fly ash</i> dalam <i>bentonite</i> dan sebaliknya. Dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa campuran 70% <i>bentonite</i> + 30% <i>fly ash</i> memiliki konduktivitas hidraulik paling kecil dengan memenuhi standar parameter untuk <i>compacted soil liner</i> dengan nilai konduktivitas hidraulik (k) mencapai 1×10^{-6} cm/dt.

No.	Nama	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
4.	Muge Balkaya	<i>Assessment of The Geotechnical Aspect of The Use of Paper Mill Sludge as Landfill Cover and Bottom Liner Material</i>	Mengetahui manfaat penggunaan lumpur pabrik kertas sebagai penutup TPA dan lapisan dasar TPA.	Penelitian Eksperimental	Lumpur pabrik kertas memiliki sifat geoteknis yang sesuai dengan penutup TPA dan bahan lapisan dasar TPA. Pengujian yang dilakukan adalah pergeseran dan <i>factor of safety</i> (FS). Nilai FS untuk penggunaan lumpur pabrik kertas lebih tinggi dibandingkan dengan tanah liat yang dipadatkan. Namun, nilai FS akan berkurang dengan meningkatnya beban permukaan
5.	Jun He dkk	<i>Modiifed Sewage Sludge As Temporaru Landfill Cover Material</i>	menentukan nilai permeabilitas yang sesuai untuk penutup sementara. untuk menguji kekuatan dan kinerja hidrolis dari lumpur yang dimodifikasi	Penelitian Eksperimental	rasio modifikasi lumpur : kapur : semen : tanah lanau : TDA, yaitu 100:15:5:70:15 dapat digunakan sebagai lapisan penutup harian karena menurunkan permeabilitas dan meningkatkan kuat tekan lumpur yang sudah dimodifikasi.

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian terdahulu adalah material alternatif yang digunakan. Pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah limbah lumpur Instalasi Pengolahan Air Limbah dari PT. KIMA. Selain itu, bahan alternatif diteliti untuk bahan lapisan penutup TPA. Penelitian dilakukan dengan mencari nilai koefisien permeabilitas dengan berbagai macam variasi komposisi antara campuran tanah, abu ampas tebu, serat sabut kelapa, dan berbagai tipe lindi.

B. Karakteristik Sampah

Karakteristik sampah adalah sifat yang ada pada sampah berupa sifat fisik, sifat kimia, dan sifat kimia unsur penyusun. Sifat fisik terdiri dari densitas, kadar air, kadar volatile, kadar abu, nilai kalor, dan analisis ukuran partikel. Sifat kimia terdiri dari C-organik dan N-organik. Sifat kimia unsur penyusun adalah sifat yang menggambarkan susunan kimia sampah, yaitu unsur, C, H, O, N, S, dan P (Enri Damanhuri dan Tri Padi, 2018).

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 3 Tahun 2013 menjelaskan bahwa sampah dipadatkan oleh alat berat untuk mencapai kepadatan sampah minimal 600 kg/m^3 dengan kemiringan 30° . Semakin padat sampah, maka akan semakin mampu mendukung timbunan sampah di atasnya. Kepadatan yang baik dengan penggunaan alat berat dozer akan dicapai bila dilakukan secara lapis per lapis. Kestabilan timbunan pada lahan urug, dipengaruhi oleh karakteristik dan berat sampah. Tambah banyak plastik cenderung tambah tidak stabil. Sifat ini terkait dengan kuat geser sampah dalam timbunan.

Sampah di Indonesia terdiri dari berbagai jenis sampah. Adapun komposisi sampah yang ada pada Kota Makassar, Sulawesi Selatan dapat dilihat pada Tabel di bawah ini.

Tabel 2. Komposisi Sampah Kota Makassar

No	Jenis Sampah	Persentase (%)
1	Sisa Makanan	58,42
2	Plastik	21,51
3	Kertas/Karton	8,34

No	Jenis Sampah	Persentasi (%)
4	Logam	6,83
5	Kain	2,9
6	Kaca	2

Sumber: SIPSN MENLHK, 2020

Salah satu karakteristik fisik sampah adalah densitas. Densitas sampah adalah berat sampah per satuan volume. Apabila kepadatan sampah rendah akan mengakibatkan meningkatnya luas area yang diperlukan untuk pembuangan dan akan terjadi penurunan permukaan tanah setelah penimbunan. Adapun densitas sampah pada TPA Tamangapa Kota Makassar pada tahun 2011 adalah sebesar 0,19 kg/liter (Khaeruddin, 2011).

C. Tempat Pemrosesan Akhir (TPA)

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2013 tentang Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan Dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Rumah Tangga, Tempat Pemrosesan Akhir yang selanjutnya disingkat TPA adalah tempat untuk memproses dan mengembalikan sampah ke media lingkungan.

TPA sampah merupakan langkah akhir dari rangkaian proses penanganan sampah. Dalam pemusnahan ini dikenal berbagai metode, antara lain adalah *landfill*. *Sanitary landfill* adalah metode *landfilling* yang dianggap paling baik. Di Indonesia dikenal terminologi *Controlled Landfill* atau lahan urug terkendali yang merupakan perbaikan atau peningkatan dari cara *open dumping*, tetapi belum sebaik *sanitary landfill*. Perbaikan atau peningkatan antara lain dengan kegiatan penutupan sampah secara berkala. Bila dalam *sanitary landfill* diinginkan adanya penutup harian, dan pada *open dumping* urugan sampah samasekali tidak dilakukan, maka dalam *controlled landfill* penutupan ditunda sampai 5-7 hari, sesuai dengan siklus hidup lalat. Namun terminologi *controlled landfill* ini kerap disalah artikan, bila secara berkala sebuah TPA sudah menerapkan penutupan, maka itu dianggap sebagai *controlled landfill* (Damanhuri dan Tri, 2008).

Adapun kelebihan dan kekurangan dari setiap metode *landfilling* dapat dilihat pada Tabel di bawah ini.

Tabel 3. Perbandingan Metode Landfilling

Metode <i>Landfilling</i>	
Kelebihan	Kekurangan
<i>Open Dumping</i> (sebetulnya bukan metode)	
<ul style="list-style-type: none"> - Teknis pelaksanaan mudah. - Personil lapangan relatif sedikit. - Biaya operasi dan perawatan yang relatif rendah. 	<ul style="list-style-type: none"> - Terjadi pencemaran udara oleh gas, bau, dan debu. - Pencemaran terhadap air tanah oleh terbentuknya <i>leachate</i>. - Resiko kebakaran cukup besar. - Mudah terjadi kabut asap. - Mendorong tumbuhnya sarang vector penyakit (tikus, lalat, nyamuk) - Mengurangi estetika lingkungan. - Lahan tidak dapat digunakan kembali dalam waktu yang cukup lama.
<i>Controlled Landfill</i>	
<ul style="list-style-type: none"> - Dampak terhadap lingkungan dapat diperkecil. - Lahan dapat digunakan kembali setelah selesai dipakai. - Estetika lingkungan cukup baik. 	<ul style="list-style-type: none"> - Operasi lapangan relative lebih sulit. - Biaya investasi, operasi, perawatan cukup besar. - Memerlukan personalia lapangan yang cukup terlatih
<i>Sanitary Landfill</i>	
<ul style="list-style-type: none"> - Biaya investasi lebih rendah dibanding metode pengolahan lain - Merupakan metode pembuangan akhir yang lengkap, tanpa memerlukan pengolahan dibandingkan insinerasi dan composting - Dapat menerima berbagai tipe sampah. - Metode yang fleksibel terhadap fluktuasi kuantitas sampah. - Setelah selesai pemakaiannya, dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti areal parkir, lapangan golf, dan kebutuhan lain. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pada daerah dengan populasi yang tinggi, ketersediaan lahan menjadi sulit. - Jika operasi tidak berjalan semestinya dapat menghasilkan akibat seperti metode <i>open dumping</i>.

Sumber: Enri Damanhuri dan Tri Padmi, 2008

Metode lahan pengurukan bukan hanya digunakan untuk pengurukan sampah, tetapi juga digunakan untuk pengurukan jenis limbah lain, termasuk limbah berbahaya. Dibandingkan dengan cara lain seperti pengomposan atau insinerasi, maka biaya operasi dan pemeliharannya relatif lebih murah. Cara ini

selalu diposisikan sebagai pilihan terakhir karena bukanlah pemecah masalah yang baik. Resiko dari penggunaan *landfilling* ini adalah kemungkinan pencemaran air akibat lindi (*leachate*) yang dihasilkan. *Guna* mengurangi dampak negatif, dibutuhkan pemilihan lokasi yang tepat, penyiapan prasarana yang baik dengan memanfaatkan teknologi yang sesuai, dan dengan pengoperasian yang lebih baik pula (Damanhuri dan Tri, 2018).

D. Sistem Pelapis TPA (*Liner*)

Sebuah lahan urug yang baik membutuhkan system pelapis dasar (*liner*) untuk mengurangi mobilitas lindi ke dalam air tanah. Sebuah *liner* yang efektif akan mencegah migrasi pencemaran ke lingkungan, khususnya ke dalam air tanah. Terdapat 6 jenis pilihan lapisan kedap yang biasa digunakan pada sebuah lahan urug. Adapun jenis lapisan kedap adalah sebagai berikut (Damanhuri dan Tri, 2018).

1. Sistem tanah dan tanah liat (*clay*) alamiah;
2. Liner tercampur: beton aspal, tanah semen, tanah aspal;
3. Pelapis ditebar: aspal dengan semburan udara (*air blown asphalt*), membrane aspal yang teremulsi, aspal urethane yang dimodifikasi, lateks karet dan plastic tanah-tanah *sealant*;
4. Membrane polimer sintesis: yang paling banyak di pasaran terbuat bahan polyethylene, khususnya HDPE;
5. Liner komposit: campuran liner di atas.

Kelulusan minimal dari campuran tanah tersebut diharapkan mempunyai nilai maksimum 1×10^{-7} cm/det. Penedap yang banyak diterapkan adalah menggunakan geosintesis, yaitu geomembrane. Bahan sintesis yang digunakan adalah HDPE. Penggunaan pelapis ini membutuhkan pelindung geotekstil, agar geomembrane tersebut tidak rusak (Damanhuri dan Tri, 2018).

Pelapis kedap alamiah yang biasa digunakan adalah tanah liat (*clay*). Tanah ini mempunyai tekstur yang sangat halus dan dapat merupakan campuran *silt* dan pasir. Dalam keadaan kering, tanah liat bersifat keras dan dapat menahan beban yang berat. Bila terdapat air, tanah ini akan menyerap air, mengembang dan menjadi

sangat lembut/lunak dan licin, permeabilitasnya menjadi lebih rendah. Namun pada saat kering akan mudah retak dan volumenya akan mengecil, sehingga bila terpapar matahari tanpa ada sampah di atasnya, lapisan ini akan menjadi rusak (Damanhuri dan Tri, 2018).

Kriteria pemilihan tanah liat yang utama adalah didasarkan atas permeabilitas dalam kondisi lapangan. Sebuah tanah liat yang dapat mencapai permeabilitas sampai 1×10^{-7} cm/det bila dipadatkan pada 90 – 95% densitas kering proctor dapat digunakan sebagai liner. Tanah liat dengan *liquid limit* (LL) yang tinggi cenderung menimbulkan *crack* (kering), sedang tanah dengan *plasticity index* (PI) rendah juga tidak bekerja baik. Rekomendasi pemilihan tanah liner sebagai berikut (Damanhuri dan Tri, 2018).

1. *Platicity Index* (PI) = 10 – 15%
2. *Liquid Limit* (LL) = 25 – 30%
3. Fraksi partikel lebih kecil dari 0,074 mm = 40 – 50%
4. Kandungan liat = 18 – 25%

Salah satu jenis tanah yang baik sebagai liner adalah bentonite yang dianggap mempunyai sifat-sifat yang baik sebagai campuran liner. Jenis tanah ini mempunyai daya sorpsi terhadap logam berat yang besar, serta dapat menyimpan cairan sehingga sistem liner menjadi *impermeable* (kedap) (Damanhuri dan Tri, 2018).

Lempung mengandung mineral dengan senyawa aluminium silika, yaitu silika tetrahedra dan aluminium oktahedra. Setiap unit tetrahedra terdiri dari empat atom oksigen mengelilingi satu atom silikon. Kombinasi dari tetrahedra akan membentuk lembaran tetrahedra. Sedangkan, unit oktahedra terdiri dari enam gugus hidroksil (OH) yang mengelilingi satu atom aluminium. Kombinasi dari unit oktahedra akan membentuk membrane oktahedra. Adapun unsur pada tanah lempung adalah kalsium, magnesium, natrium, dan kalium (Braja M. Das, 1995).

Tanah liat yang akan digunakan sebagai lapisan dasar memiliki sifat fisik, yaitu ukuran butiran kurang dari 0,002 mm, kadar kembang susut yang tinggi, tekstur tanah cenderung lengket bila dalam keadaan basah serta kuat menyatu antar butiran, cenderung sangat keras dan ukuran butiran tanahnya terpecah-pecah pada saat tanah dalam keadaan kering (Ayu Khoiriyah, 2015).

Penggunaan tanah liat sebagai lapisan penutup, perlu dilakukan pertimbangan seperti dampak pengurukan tanah pada lingkungan sekitar. Dampak yang ditimbulkan dari pengurukan tanah liat, yaitu berkurangnya ketebalan lapisan tanah, mengurangi ketersediaan air tanah, dan terjadi perubahan bentuk lahan misalnya, dari berbukit menjadi datar (Muhammad Erwin, 2011).

Penutup lapisan harian TPA sebaiknya terdiri tanah yang memiliki nilai permeabilitas, yaitu 10^{-4} sampai 10^{-5} cm/detik. Selain itu agar penutup tidak retak saat panas, maka indeks plastisitas tanah yang baik adalah lebih kecil dari 40%. Apabila material tanah penutup yang digunakan tidak memenuhi syarat pada indeks plastisitasnya, maka tanah tersebut dapat dicampur dengan tanah tertentu, seperti pasir dengan tujuan untuk memperkecil nilai indeks plastisitasnya (Damanhuri dalam Wahid Ananta, 2019).

Pada metode *sanitary landfill* diperlukan lapisan penutup sampah dengan menggunakan tanah pada akhir hari operasi. Material yang dapat digunakan pada lapisan penutup adalah tanah atau bahan lain seperti humus hasil *landfill mining*, plastic biodegradable, atau terpal. Apabila menggunakan terpal, maka bahan ini harus dilepas terlebih dulu sebelum meletakkan sampah baru. Lapisan ini hendaknya tidak tergerus selama menunggu penggunaan, seperti tergerus hujan, tergerus akibat operasi rutin, khususnya akibat truk pengangkut sampah dan operasi alat berat di atasnya. Adapun fungsi utama penutup harian, yaitu (Enri Damanhuri dan Tri, 2018):

1. Mencegah tersebarnya sampah,
2. Estetika,
3. Mencegah timbulnya bau,
4. Mencegah binatang/vektor penyakit, dan
5. Mencegah kebakaran

E. Air Lindi

Air lindi adalah cairan yang berasal dari sampah. Cairan ini mengandung unsur-unsur terlarut. Apabila terjadi hujan, maka air lindi akan memiliki kandungan mineral dan zat organik yang tinggi. Air lindi yang dibiarkan mengalir ke

permukaan tanah akan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Salah satu Hal yang perlu diperhatikan adalah karakteristik air lindi (Munawar Ali, 2011).

Air lindi memiliki karakteristik yang sangat bervariasi. Hal ini tergantung pada proses yang terjadi dalam TPA, yaitu proses fisik, kimia, dan biologis. Selanjutnya, proses yang terjadi di TPA dipengaruhi oleh jenis sampah, lokasi TPA, hidrogeologi, dan sistem pengoperasian. Adapun karakteristik air lindi dapat dilihat pada Tabel di bawah ini.

Tabel 4. Karakteristik Air Lindi

Parameter	Satuan	Range
COD	mg/liter	150 – 100000
BOD5	mg/liter	100 – 90000
pH	-	5,3 – 8,5
Alkalinitas	(mg CaCO ₃ /liter)	300 – 11500
Hardness	(mg CaCO ₃ /liter)	500 – 8900
NH ₄	mg/liter	1 – 1500
N-Organik	mg/liter	1 – 2000
N-Total	mg/liter	50 – 5000
NO ₃ (Nitrit)	mg/liter	0,1 – 50
NO ₂ (Nitrat)	mg/liter	0 – 25
P-Total	mg/liter	0,1 – 30
PO ₄	mg/liter	0,3 – 25
Ca	mg/liter	10 – 2500
Mg	mg/liter	50 – 1150
Na	mg/liter	50 – 4000
K	mg/liter	10 – 2500
SO ₄	mg/liter	10 – 1200
Cl	mg/liter	30 – 4000
Fe	mg/liter	0,4 – 2200
Zn	mg/liter	0,05 – 170
Mn	mg/liter	0,4 – 50
CN	mg/liter	0,04 – 90
Aoxa	µg/liter	320 – 3500
Phenol	mg/liter	0,04 – 44
As	µg/liter	5 – 1600
Cd	µg/liter	0,5 – 140
Co	µg/liter	4 – 950
Ni	µg/liter	20 – 2050
Pb	µg/liter	8 – 1020
Cr	µg/liter	300 – 1600
Cu	µg/liter	4 – 1400
Hg	µg/liter	0,2 – 50

Sumber: Munawar Ali, 2011

Air lindi juga dipengaruhi oleh iklim. Pada proses penguraian biologis dalam pembentukan air lindi, infiltrasi air hujan sangat berperan karena dapat membawa kontaminan dari tumpukan sampah dan memberikan kelembaban. Pembentukan air lindi akan cepat apabila intensitas hujan yang tinggi dan sifat timbunan yang tidak padat (Munawar Ali, 2011).

F. Limbah Lumpur

Instalasi pengolahan limbah mempunyai spesifikasi tertentu dengan kriteria-kriteria teknis seperti tingkat efisiensi, beban persatuan luas, waktu penahan hidrolis, waktu penahan lumpur dan lain-lain. Metode alternatif didalam pengolahan limbah domestik secara sederhana dibagi ke dalam tiga kategori utama, yaitu (Perdana Ginting dalam Dicky, 2016):

1. Pengolahan primer (proses fisika)
2. Pengolahan sekunder (proses biologi)
3. Pengolahan tersier atau advance (kombinasi proses fisika, kimia, dan biologi)

Lumpur organik yang berasal dari kolam pengendapan awal (*primary settling tank*) dan kolam pengendap akhir (*secondary settling tank*) lumpur dari *primary settling tank* disebut *primary sludge* yang merupakan endapan padatan yang ikut mengalir bersama air limbah, sedangkan lumpur dari *secondary settling tank* disebut *secondary sludge*, merupakan endapan mikroba sisa yang dibuang dari unit instalasi pengolahan air limbah (*Wastewater Treatment Plant*) (Dicky, 2016).

Instalasi pengolahan air limbah (IPAL) akan menghasilkan limbah lumpur dari hasil pengolahan air limbah di Kawasan industri. Limbah lumpur ini merupakan salah satu potensi pencemaran lingkungan yang wajib dikelola oleh pihak pengelola kawasan industri. Umumnya limbah lumpur tersebut hanya ditumpuk atau dimanfaatkan sebagai kompos. Namun, ada juga limbah lumpur yang belum dikelola dengan baik, sehingga mengganggu estetika lingkungan dan menyebabkan pencemaran air dan tanah (Sissar dan Euis, 2019).

Lumpur limbah dari IPAL dapat mengandung komponen berbahaya, seperti organisme patogen, logam berat dan senyawa organik. Apabila tidak dilakukan

pengolahan dengan baik, maka akan mencemari lingkungan, misalnya pada tanah. Tanah dapat menyerap logam berat dari limbah. Selanjutnya, apabila kapasitas tanah dalam menahan logam berat berkurang, maka tanah dapat melepaskan logam berat tersebut ke dalam air tanah (Azita Behbahanini dkk, 2010).

Logam berat ini sangat berbahaya karena memiliki sifat yang tidak dapat terurai dan berpotensi untuk terakumulasi di dalam tubuh. Beberapa dampak apabila terpapar logam berat, yaitu kulit menjadi iritasi, diare, dapat menyebabkan kanker, kerusakan pada organ tubuh, terjadinya perubahan kromosom yang dapat merubah genetika, hingga menyebabkan kematian (Enri Damanhuri, 2010).

Terdapat beberapa penelitian yang menjelaskan bahwa lumpur limbah dapat dijadikan sebagai bahan penutup pada lapisan TPA. Hal ini didasarkan dengan kekuatannya, nilai permeabilitasnya, dan kemampuannya untuk menghilangkan racun. Nilai permeabilitas untuk lumpur padat biasanya berkisar $3,7 \times 10^{-5}$ hingga 4×10^{-2} cm/detik. Namun, beberapa penelitian belum mempertimbangkan kondisi limbah apabila sudah bercampur dengan air lindi yang dihasilkan oleh sampah. Pada penelitian yang dilakukan oleh Frempong dan Yanful (2008), menjelaskan bahwa limbah lumpur yang telah bercampur dengan air lindi, akan berkurang kekuatannya dan nilai permeabilitasnya akan bertambah (Jun He dkk, 2015).

Limbah lumpur yang dijadikan sebagai lapisan penutup tanah, biasanya dimodifikasi dengan melakukan menambahkan bahan stabilisasi, seperti semen, kapur, limbah konstruksi, dan lain-lain. Misalnya, penggunaan limbah lumpur dengan *fly ash*. Penggabungan kedua bahan tersebut dapat menghasilkan nilai permeabilitas 1×10^{-7} cm/detik. Nilai ini tidak sesuai dengan syarat penutup sementara TPA yang hanya membutuhkan nilai permeabilitas antara 1×10^{-5} – 1×10^{-4} . Sehingga diperlukan penambahan bahan agregat (Jun He dkk, 2015).

Terdapat penelitian menggunakan limbah lumpur dan distabilisasi dengan bahan kapur, semen, dan tanah. Pada penelitian tersebut juga menghasilkan nilai permeabilitas 1×10^{-7} cm/detik. Sehingga belum sesuai dengan syarat lapisan penutup harian TPA. Oleh karena itu, ditambahkan bahan agregat untuk menambah nilai permeabilitas lumpur. Agregat yang digunakan adalah agregat yang memiliki ukuran 4 mm – 8 mm. Setelah dilakukan penambahan agregat, nilai permeabilitas

meningkat menjadi $1,6 \times 10^{-6}$ cm/detik hingga $2,7 \times 10^{-5}$ cm/detik. Sehingga nilai ini sesuai dengan syarat penutup lapisan harian TPA (Jun He, 2015).

G. Abu Ampas Tebu

Abu ampas tebu adalah abu yang diperoleh dari ampas tebu yang telah diperas niranya dan telah melalui proses pembakaran pada ketel-ketel uap di mana ampas tebu ini digunakan sebagai bahan bakar pada ketel uap di gula. Ketel uap merupakan sumber pembangkit tenaga untuk menggerakkan alat penggilingan tebu (Gerry, 2013).

Adapun proses terjadinya abu ampas tebu adalah sebagai berikut (Gerry, 2013):

1. Setelah tebu ditebang kemudian diangkut ke pabrik gula.
2. Batang-batang tebu tersebut kemudian digiling untuk dikeluarkan air gulanya sehingga tersisa ampas tebu yang dalam keadaan kering.
3. Ampas tebu ini kemudian dengan peralatan mekanik diangkut ke dapur pembakaran ketel-ketel uap.
4. Apabila ampas tebu tersebut telah terbakar halus/ habis abu tersebut dikeluarkan dari dapur pembakaran untuk kemudian dibuang. Abu inilah yang merupakan limbah yang akan dimanfaatkan sebagai substitusi parsial semen dalam campuran beton.

Abu ampas tebu yang dihasilkan harus dibakar kembali dengan suhu pembakaran lebih dari 600°C sehingga abu ampas tebu mengalami perubahan warna dari yang semula berwarna hitam karena masih mengandung karbon berubah warna menjadi coklat agak kemerahan di mana dalam keadaan ini abu ampas tebu memiliki kandungan silikat yang tinggi (Gerry, 2013).

Komposisi abu ampas tebu adalah $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ berkisar antara 70%-80%. Dan kadar CaO berkisar 3%-5%. Sedangkan komposisi *fly ash* Tipe F memiliki komposisi $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ berkisar lebih dari atau sama dengan 70% dan untuk kadar CaO memiliki nilai kurang dari 8%. Oleh karena itu, abu ampas tebu dapat dikategorikan sebagai *fly ash* tipe F karena kandungan silika abu ampas tebu

mencapai 71%. Selanjutnya, abu ampas tebu yang tertinggal pada tungku pembakaran disebut *bottom ash* (Igit Nugraha, 2016).

Apabila abu ampas tebu tergolong ke dalam *fly ash* maka memiliki dampak negatif baik terhadap kesehatan maupun lingkungan. Abu ampas tebu dalam jumlah besar yang tidak dikelola dengan baik dapat menyebar di lingkungan luas, masuk ke dalam air, udara, atau tanah sehingga dapat mencemari lingkungan. Selain itu, abu ampas tebu dapat berpengaruh pada kesehatan manusia, yaitu terkait dengan penyakit gangguan saluran pernafasan kronik, pneumoconiosis, dan dapat meracuni saraf manusia (Anapis, 2015).

Penambahan ampas tebu pada stabilisasi tanah dapat meningkatkan nilai angka pori. Hal ini disebabkan karena terjadinya reaksi *pozzolanic*. Reaksi *pozzolanic* menyebabkan kerapatan butiran pada saat tanah dipadatkan akan semakin tinggi sehingga mengurangi jumlah pori dalam tanah. Perubahan nilai porositas akan berbanding lurus dengan perubahan nilai angka pori (Ari, 2013).

H. Serat Sabut Kelapa

Seiring dengan semakin meningkatnya pemakaian bahan-bahan additive dalam pembuatan beton, maka teknologi sederhana ini dapat dijadikan suatu alternatif yang murah dan tepat guna. Pemanfaatan limbah untuk bahan konstruksi disamping akan memberikan penyelesaian terhadap permasalahan lingkungan juga akan dapat meningkatkan mutu bahan konstruksi. Satu hal yang merupakan nilai tambah dalam penggunaan limbah ini dapat menciptakan pekerjaan. Pada umumnya, limbah Abu Serabut Kelapa terdiri dari unsur organik seperti serat selulose dan lignin. Disamping itu, limbah ini juga mengandung mineral yang terdiri dari silika, alumina dan oksida oksida besi. SiO_2 dalam abu sabut kelapa merupakan hal yang paling penting karena dapat bereaksi dengan kapur dan air. Dalam komposisi abu serabut kelapaini hipotesisnya bisa digunakan sebagai bahan tambah dalam pembuatan beton. Pengolahan abu sabut kelapa sangat mudah. Cukup dibakar dengan panas tertentu hingga membantuk abu – abu lalu disaring hingga mendapatkan abu yang benar-benar halus (Andika dkk, 2015).

Sabut kelapa memiliki unsur kalium di dalamnya sebesar 10,25%. Fungsi dari kalium ini ada membentuk batang yang kuat, memperkuat perakaran, meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit, dan dapat membuat serat sabut kelapa menjadi lebih berisi dan padat. Sabut kelapa merupakan bagian dari buah kelapa dengan porsi, yaitu 35% dari seluruh berat buah kelapa. Adapun komposisi kandungan sabut kelapa dapat dilihat pada Tabel di bawah ini (Ardhiansyah, 2018).

Tabel 5. Komposisi Sabut Kelapa

Parameter	Jumlah (%)
Selulosa	26,6
Hemiselulosa	27,7
Lignin	29,4
Air	8
Komponen Ekstraktif	4,2
Uronat Anhidrat	3,5
Nitrogen	0,1
Abu	0,5

Sumber: Ardhiansyah, 2018

Kelapa merupakan salah satu komoditas terbesar di Indonesia. Saat ini, kebanyakan pemanfaatan dari buah kelapa hanya pada dagingnya. Sedangkan sabut kelapa tidak dilakukan pengolahan. Apabila tidak dimanfaatkan, maka limbah sabut kelapa makin menumpuk dan akan mengakibatkan menyempitnya area kerja pada *home industry* yang menggunakan buah kelapa. Beberapa dari *home industry* tersebut hanya membakar sabut kelapa yang tersisa. Sehingga, banyak warga yang mengeluh bahwa asap pembakaran dapat mengganggu pernafasan dan mengganggu kegiatan mereka (Maulia Shofiyah Hanum, 2015).

Sabut kelapa merupakan salah satu sampah organik, sehingga dapat dengan mudah menarik vektor penyakit terutama lalat, nyamuk, kecoa, dan tikus yang dapat menyebabkan beberapa masalah kesehatan pada manusia (Becker dkk, 2016). Terkadang, limbah sabut kelapa dikeringkan di bawah sinar matahari terbuka

selama beberapa hari untuk mengurangi kelembapan kandungannya sebelum digunakan sebagai bahan bakar. Pembakaran yang tidak efisien ini dapat melepaskan sejumlah besar polutan yang terbawa udara, termasuk partikulat dan karbonmonoksida. Paparan partikulat ultra halus dapat meningkatkan risiko penyakit pernapasan (Obeng dkk, 2020).

Penambahan serat serabut kelapa dengan persentase kandungan 1,5 % dapat meningkatkan kuat tekan beton dibandingkan dengan beton normal yang tidak menggunakan campuran serat serabut kelapa. Namun penambahan serat serabut kelapa pada persentase yang lebih besar justru akan menurunkan kemampuan beton dalam menopang gaya tekan. Hal tersebut terjadi karena serat serabut kelapa yang memiliki ukuran lebih besar dibandingkan jenis serat lainnya, seperti serat baja misalnya, yang memiliki ukuran yang lebih kecil sehingga mampu mengisi rongga dengan baik. Bentuk serat serabut kelapa yang cukup besar mengakibatkan posisi sebagian volume kerikil tergantikan oleh serat serabut kelapa tersebut. Sifat material serat serabut kelapa yang kering dan cenderung menyerap air juga mengakibatkan pencampuran adukan beton menjadi lebih sulit dan kandungan air pada campuran terserap oleh serat serabut kelapa. Selain itu kekuatan serat serabut kelapa lebih kecil dibandingkan kekuatan kerikil, maka hal tersebut mengakibatkan kuat tekan beton cenderung menurun pada persentase kandungan yang lebih besar (Eduardi, dkk, 2015).

I. Batas Konsistensi (Atterberg Limit)

Pada awal tahun 1900, seorang ilmuwan dari Swedia bernama Atterberg mengembangkan suatu metode untuk menjelaskan sifat konsistensi tanah berbutir halus pada kadar air yang bervariasi. Bilamana kadar airnya sangat tinggi, campuran tanah dan air akan menjadi sangat lembek seperti cairan. Oleh karena itu, atas dasar air yang dikandung tanah, tanah dapat dipisahkan ke dalam empat keadaan dasar, yaitu : padat, semi padat, plastis, dan cair (Braja M. Das, 1995)

Kadar air, dinyatakan dalam persen, di mana terjadi transisi dari keadaan padat ke keadaan semi-padat didefinisikan sebagai batas susut (shrinkage limit). Kadar air di mana transisi dari keadaan semi-padat ke keadaan plastis terjadi

dinamakan batas plastis (plastic limit), dan dari keadaan plastis ke keadaan cair dinamakan batas cair (liquid limit). Batas-batas ini dikenal juga sebagai batas-batas Atterberg (Atterberg limits) (Braja M. Das, 1995).

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. Batas cair biasanya ditentukan dan Uji Casagrande (1948) Contoh tanah dimasukkan dalam cawan. Tinggi contoh dalam cawan kira-kira 8 mm. Alat pembuat alur (*grooving tool*) dikerukkan tepat di tengah-tengah cawan hingga menyentuh dasarnya. Kemudian, dengan alat penggetar, cawan di ketuk-ketukkan pada landasan dengan tinggi jatuh 1 cm. Persentase kadar air yang dibutuhkan untuk menutup celah sepanjang 12,7 mm pada dasar cawan, sesudah 25 kali pukulan, didefinisikan sebagai batas cair tanah tersebut (Hary, 2002).

Karena sulitnya mengatur kadar air pada waktu celah menutup pada 25 kali pukulan, maka biasanya percobaan dilakukan beberapa kali, yaitu dengan kadar air yang berbeda dengan jumlah pukulan yang berkisar antara 15 sampai 35. Kemudian, hubungan kadar air dan jumlah pukulan digambarkan dalam grafik semi logaritmik untuk menentukan kadar air pada 25 kali pukulan (Hary, 2002).

Kemiringan dari garis dalam kurva didefinisikan sebagai indeks aliran (*flow index*) dan dinyatakan dalam persamaan 1 (Hary, 2002).

$$I_F = \frac{w_1 - w_2}{\log\left(\frac{N_2}{N_1}\right)} \quad (1)$$

Keterangan:

I_F = Indeks aliran

w_1 = kadar air (%) pada N_1 pukulan

w_2 = kadar air (%) pada N_2 pukulan

b. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis (PL) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu presentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak Ketika digulung (Hery, 2002)

c. Batas susut (*Shrinkage Limit*)

Batas susut (SL) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu presentase 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 porselin dilapisi dengan pelumas dan diisi dengan tanah jenuh sempurna. Kemudian dikeringkan dalam oven. Volume dinyatakan dalam persamaan 3 (Hery, 2002).

d. Indeks plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks plastisitas (PI) adalah selisih batas cair dan batas plastis. PI merupakan interval kadar air dimana tanah bersifat plastis. Karena itu, indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah. Jika tanah mempunyai PI tinggi, maka tanah mengandung banyak butiran lempung. Jika PI rendah, seperti lanau, sedikit pengurangan kadar air berakibat tanah menjadi kering. Adapun batasan mengenai indeks plastisitas, sifat macam tanah, dan kohesi diberikan Atterberg terdapat dalam Tabel 5 (Hery, 2002).

Tabel 6. 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: Hery, 2002

Tabel 7. Harga-harga Batas Atterberg untuk Mineral Lempung

Mineral	Batas Cair	Batas Plastis	Batas Kerut
Montmorillonite	100 – 900	50 – 100	8,5 – 15
Nontronite	32 – 72	19 – 27	

Mineral	Batas Cair	Batas Plastis	Batas Kerut
Illite	60 – 120	35 – 60	15 – 17
Kaolinite	30 – 110	25 – 40	25 – 29
Halloysite terhidrasi	50 – 70	47 – 60	
Halloysite	35 – 55	30 – 45	
Attapulgit	160 – 230	100 – 120	
Chlorite	44 – 47	36 – 40	
Allophane	200 - 250	130 - 140	

Sumber: Hery, 2002

J. Permeabilitas

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 didefinisikan sebagai sifat tanah yang mengalirkan air melalui rongga pori tanah (Hery, 2002).

Di dalam tanah, sifat aliran mungkin laminar atau turbulen. Tahanan terhadap aliran bergantung pada jenis tanah, ukuran butiran, bentuk butiran, rapat massa, serta bentuk geometri rongga pori. Temperatur juga sangat mempengaruhi tahanan aliran (kekentalan dan tegangan permukaan). Walaupun secara teoritis, semua jenis tanah lebih atau kurang mempunyai rongga pori, dalam praktek, istilah mudah meloloskan air (*permeable*) dimaksudkan untuk tanah yang memang benar-benar mempunyai sifat meloloskan air. Sebaliknya, tanah disebut kedap air (*impermeable*), bila tanah tersebut mempunyai kemampuan meloloskan air yang sangat kecil (hery, 2002).

Koefisien rembesan (*coefficient of permeability*) mempunyai satuan yang sama seperti kecepatan. Istilah koefisien rembesan sebagian besar digunakan oleh para ahli teknik tanah (geoteknik), para ahli geologi menyebutnya sebagai konduktivitas hidrolis (*hydraulic conductivity*). Bilamana satuan Inggris digunakan, koefisien rembesan dinyatakan dalam ft/menit atau ft/hari, dan total volume dalam

ft³. Dalam satuan SI, koefisien rembesan dinyatakan dalam cm/detik, dan total volume dalam cm³ (Braja M. Das, 1995).

Koefisien rembesan tanah adalah tergantung pada beberapa faktor, yaitu: kekentalan cairan, distribusi ukuran-pori, distribusi ukuran-butir, angka pori, kekasaran permukaan butiran tanah, dan derajat kejenuhan tanah. Pada tanah berlempung, struktur tanah memegang peranan penting dalam menentukan koefisien rembesan. Faktor-faktor lain yang mempengaruhi sifat rembesan tanah lempung adalah konsentrasi ion dan ketebalan lapisan air yang menempel pada butiran lempung. Harga koefisien rembesan (k) untuk tiap-tiap tanah adalah berbeda-beda. Beberapa harga koefisien rembesan diberikan dalam Tabel 7 (Braja M. Das, 1995).

Tabel 8. Harga-Harga Koefisien Permeabilitas

Koefisien Permeabilitas		
Jenis Tanah	(cm/detik)	Ft/menit)
Kerikil Bersih	1,0 – 100	2,0 – 200
Pasir Kasar	1,0 – 0,01	2,0 – 0,02
Pasir Halus	0,01 – 0,001	0,02 – 0,002
Lanau	0,001 – 0,00001	0,002 – 0,00002
Lempung	Kurang dari 0,000001	Kurang dari 0,000002

Sumber: Braja M. Das (1995)

Koefisien rembesan tanah yang tidak jenuh air adalah rendah; harga tersebut akan bertambah secara cepat dengan bertambahnya derajat kejenuhan tanah yang bersangkutan. Koefisien rembesan juga dapat dihubungkan dengan sifat-sifat dari cairan yang mengalir melalui tanah yang bersangkutan dengan Persamaan 2 (Braja M. Das, 1995).

$$k = \frac{\gamma_w}{\eta} K \quad (2)$$

Keterangan:

- γ_w = Berat volume air
- η = Kekentalan air
- K = Rembesan absolut