

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Tempat pembuangan akhir (TPA) adalah tempat penyimpanan sementara dan tempat pengelolaan sampah. Tempat pembuangan akhir (TPA) merupakan salah satu lokasi yang tercemar akibat penumpukan sampah baik sampah organik maupun non-organik. Semakin meningkatnya pertumbuhan jumlah penduduk diikuti dengan laju pembangunan di semua sektor mengakibatkan bertambahnya aktivitas, dan dengan meningkatnya aktivitas di semua sektor mengakibatkan meningkatnya volume limbah padat atau sampah semakin bertumpuk.

Pembuangan dan pengolahan sampah yang kurang memadai memberikan kontribusi terhadap polusi air, polusi udara, dan peningkatan terjadinya banjir, juga menyebabkan terjadinya masalah di masyarakat yang berdampak pada timbulnya penyakit kulit dan penyakit menular. Pencemaran air yang di timbulkan adalah air lindi.

Lindi merupakan cairan yang berasal dari dekomposisi sampah padat dan infiltrasi air eksternal dari hujan, cairan lindi yang sangat konduktif dan korosif ini masuk ke dalam tanah dan menyebabkan pencemaran air tanah.

Pencemaran air ini di terjadi di permukiman masyarakat yang berdekatan dengan TPA Antang Makassar, hal ini di buktikan dengan adanya unsur pencemaran dari galian sumur dan menyebar hingga radius 100m dari lokasi TPA Antang. TPA yang ideal adalah TPA yang menerapkan metode sanitary landfill yang membutuhkan proteksi khusus agar tidak menimbulkan kerusakan lingkungan, sedangkan di TPA antang makassar masih menggunakan metode controlled landfill

Sanitary landfill merupakan metode pengurangan sampah yang dioperasikan secara sistematis dengan cara penyebaran dan pemadatan sampah di area pengurangan yang telah disiapkan. Penutupan sampah dilakukan setiap hari. Kelebihan sistem ini antara lain penanganan bersifat fleksibel walaupun terjadi fluktuasi timbulan sampah, dapat menampung berbagai jenis sampah, tidak menimbulkan permasalahan estetika, tidak menimbulkan pencemaran lindi dan gas karena adanya penanganan khusus, dan luas lahan yang dibutuhkan relatif lebih kecil. Sanitary landfill adalah

TPA yang terbaik daripada metode open dumping dan metode fill yang ada.

Untuk mencegah lindi mencemari tanah, TPA harus mempunyai lapisan yang terdiri dari bahan-bahan yang memiliki permeabilitas rendah untuk mencegah adanya infiltrasi. Berbagai material lapisan kedap air yang digunakan, contohnya tanah lempung, geomembran, lapisan beton, maupun gabungan dari material lain. Permeabilitas tanah



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

Pemilihan tanah lempung yang memiliki permeabilitas rendah untuk di jadikan lapisan kedap air sanitary landfill, perlu di lakukan penelitian lebih lanjut, disebabkan tidak banyak penelitian menggunakan tanah lempung untuk metode sanitary landfill guna mencegah pencemaran air lindi. Oleh karena itu, penulis tertarik untuk melakukan penelitian terkait sifat fisis tanah yaitu permeabilitas tanah, dengan judul “ *Karakteristik Permeabilitas Tanah Lempung Sebagai Sistem Lapis Kedap Sanitary Landfill* ”

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang maka dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana parameter sifat fisis dan mekanis tanah lempung yang digunakan?
2. Bagaimana pengaruh karakteristik permeabilitas tanah lempung sebagai lapisan kedap air?
3. Bagaimana perubahan koefisien permeabilitas tanah lempung yang dimodifikasi dengan bahan tambah benonite dan bakteri sebagai lapisan kedap air?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui sifat fisis dan mekanis tanah lempung yang digunakan.
2. Mengetahui pengaruh karakteristik permeabilitas tanah lempung sebagai lapisan kedap air.
3. Mengetahui perubahan koefisien permeabilitas tanah lempung yang dimodifikasi dengan bahan tambah benonite dan bakteri sebagai lapisan kedap air.

## 1.4 Manfaat Penelitian



Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan wawasan terhadap pembaca mengenai sifat fisis tanah

lempung.

2. Mengetahui hasil karakteristik permeabilitas tanah lempung sebagai lapisan kedap air.

3. Meningkatkan pengetahuan bahwa tanah lempung dapat di dimanfaatkan sebagai lapisan kedap air sanitary landfill, untuk mencegah air lindi

mencemari air tanah, pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Antang Makassar.

## 1.5 Ruang Lingkup

Adapun penelitian ini dapat berjalan dengan lebih terarah dan focus pada tujuan penelitian yang ingin dicapai maka perlu dibuat Batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada skala laboratorium
2. Pada penelitian ini material yang digunakan yaitu tanah lempung
3. Sifat mekanis pengujian yang dilakukan adalah kompaksi dan permeabilitas
4. Uji model yang dilakukan menggunakan alat uji permeabilitas hasil modifikasi yang dirancang khusus untuk pengujian pada skala laboratorium.

## 1.6 Teori

### 1.6.1 Definisi Tanah dan Klasifikasi Tanah

Tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang lepas (loose), yang terletak diantara batuan dasar (bedrock). Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan berasal dari bahan-bahan organik yang telah melapuk ( yang berpartikel padat) disertai dengan zat air dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Das 1985).

Pasir, lempung, lanau atau lumpur merupakan istilah yang di gunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas yang telah di tentukan. Namun istilah itu juga dapat digunakan untuk menentukan perbedaan sifat tanah yang lebih khusus, misalnya pasir digambarkan sebagai tanah yang bersifat tidak kohesif dan tidak plastis, sedangkan lempung adalah jenis tanah yang bersifat kohesif dan plastis (Hardiyatmo, 2002).

Menurut Bowles (1991) tanah adalah campuran partikel-partikel yang terdiri dari:

1. Berangkal (boulders), merupakan potongan batu yang besar, biasanya lebih besar dari 250 mm sampai 300 mm, ada juga ukuran 150mm sampai 250mm yang biasa disebut kerakal (cobbles). (gravel), partikel batuan yang berukuran 5mm sampai 150mm. (sand), partikel batuan yang berukuran 0.074mm sampai 5 mm, dari kasar (3-5 mm) samapi halus (kurang lebih dari 1 mm). (silt), partikel batuan berukuran dari 0.002 mm sampai 0.074



5. Lempung (clay), partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0.002 mm, partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah kohesif.
6. Koloid (colloids), partikel mineral yang “diam” berukuran lebih kecil dari 0.001 mm.

Sehingga tanah dapat di klasifikasikan menurut ukuran butirannya sebagai kerikil, pasir, lanau, dan lempung. Pengelompokan jenis tanah dalam sistem klasifikasi tanah disesuaikan dengan perilaku umum dari tanah pada kondisi fisi tertentu. Menurut Das (1995) klasifikasi tanah adalah sistem pengelompokkan jenis tanah yang berbeda namun memiliki sifat serupa berdasarkan pemakaiannya. Sebagian besar tanah di klasifikasikan untuk memberikan bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat umum tanah, dan juga dikembangkan untuk tujuan rekayasa yang di dasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastisitas. Sistem klasifikasi yang digunakan untuk mengklasifikasikan tanah berdasarkan distribusi ukuran butiran dan plastisitas tanah yaitu sistem klasifikasi *United Soil Classification System (USCS)* dan *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*.

### 1.6.2 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem yang mengatur beberapa jenis tanah yang berbeda tetapi memiliki sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terinci.

Sebagian besar sistem klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastisitas. Walaupun saat ini terdapat berbagai sistem klasifikasi tanah, tetapi tidak ada satupun dari sistem-sistem tersebut yang benar-benar memberikan penjelasan yang tegas mengenai segala kemungkinan pemakaiannya. Hal ini disebabkan karena sifat-sifat tanah yang sangat bervariasi. (Das 1995)



#### Tanah Berdasarkan Tekstur

Das (1995) dalam arti umum, yang dimaksud dengan tekstur keadaan permukaan tanah yang bersangkutan. Tekstur tanah adalah ukuran tiap-tiap butir yang ada di dalam tanah. Tekstur tanah dapat dikenampakan permukaannya dan dipengaruhi oleh ukuran partikel yang ada di dalamnya, menunjukkan bahwa tanah

dibagi menjadi kerikil, pasir, lanau, dan lempung berdasarkan dari ukuran partikelnya.

**Tabel 1. Sistem Klasifikasi Ukuran Partikel**

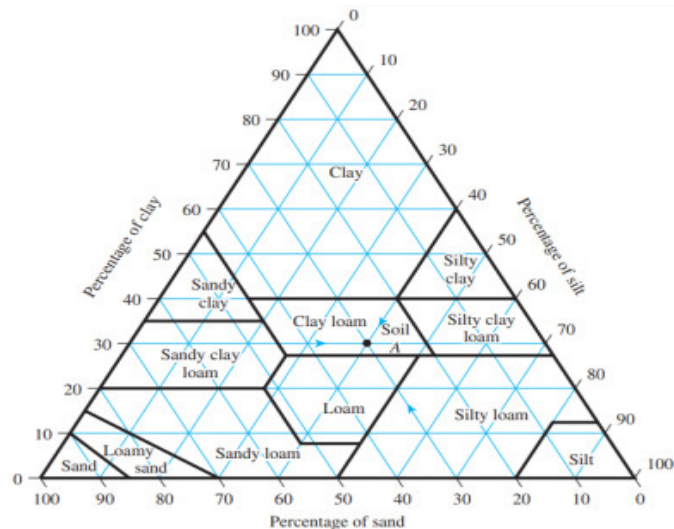
Nama Organisasi	Ukuran Butir (mm)			
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	>2	2 – 0.06	0.06 – 0.002	< 0.002
U.S. Department of Agriculture (USDA)	>2	2 – 0.05	0.05 – 0.002	< 0.002
Amerian Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)	76.2 - 2	2 – 0.075	0.075 – 0.002	< 0.002
Unified Soil Classification System (USCS)	76.2 – 4.75	4.75 – 0.075	Butir halus (Lanau dan Lempung) < 0.075	

Sumber: Das, Principles of Geotechnical Engineering 7th Edition (2010)

Dalam kebanyakan kasus, tanah alami merupakan campuran partikel-partikel dari beberapa kelompok ukuran. Dalam sistem klasifikasi tekstur, tanah diberi nama berdasarkan komponen utamanya, seperti lempung berpasir, lempung kelanauan, dan seterusnya menunjukkan sistem klasifikasi tekstur yang dikembangkan oleh *U.S. Department of Agriculture (USDA)*. Metode klasifikasi ini didasarkan pada batas ukuran partikel seperti di bawah ini:

- Ukuran Pasir : diameter 2.0 hingga 0.05 mm
- Ukuran Lanau : diameter 0.05 hingga 0.002 mm
- Ukuran Lempung : diameternya lebih kecil dari 0.002 mm





**Gambar 1 Klasifikasi menurut USDA**

Sumber: Das, Principles of Geotechnical Engineering 7th Edition (2010)

Penggunaan grafik di atas paling mudah dipahami jika ditunjukkan dengan sebuah contoh. Jika ukuran distribusi partikel tanah A menunjukkan 30% pasir, 40% lanau, dan 30% lempung, klasifikasi tekstur dapat ditentukan dengan melihat arah panah. Tanah ini termasuk dalam zona *clay loam*. Dengan catatan bahwa grafik ini hanya berdasarkan tanah yang lolos saringan No. 10. Oleh karena itu, jika ukuran distribusi partikel suatu tanah sedemikian rupa sehingga persentase tertentu partikel tanah berdiameter lebih besar dari 2 mm, maka perlu dilakukan koreksi.

- **Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO**

Sistem *American Association of state Highway and Transportation Official (AASHTO)* dikembangkan dalam tahun 1929 sebagai *Public Road Administrasion Classification System*. Sistem ini membagi tanah ke dalam 7 kelompok utama yaitu A-1 sampai dengan A-7 termasuk sub-sub kelompok. Jika tanah diklasifikasikan dalam kelompok A-1 sampai A-2 adalah tanah berbutir dimana 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200. Jika tanah tersebut 35% lolos dari ayakan No.200 maka tanah tersebut dikategorikan masuk ke dalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7. Butiran A-4 sampai A-7 sebagian besar adalah lanau atau lempung seperti



**Tabel 2. Klasifikasi tanah menurut AASHTO**

Klasifikasi Umum	Material kerikil (35% atau kurang dari total sample yang melewati saringan No. 200)						
	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisa Saringan (persentase lolos)							
No. 10	50 max						
No. 40	30 max	50 max	51 min				
No. 200	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max
Karakteristik fraksi yang lolos Saringan No. 40							
Batas Cair				40 max	41 min	40 max	41 min
Indeks Plastisitas	6 max		NP	10 max	10 max	11 min	11 min
Jenis bahan penyusun secara umum	Batu, kerikil, dan pasir		Pasir halus	Kerikil kelanauan atau kelepungangan dan pasir			
Penilaian Subgrade secara umum	Excellent to good						

Klasifikasi Umum	Material Lanau-Lempung (lebih dari 35% dari total sampel yang melewati saringan No. 200)				
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 <sup>a</sup> A-7-6 <sup>b</sup>	
Analisa Saringan (persentase lolos)					
No. 10					
No. 40					
No. 200	36 min	36 min	36 min	36 min	36 min
Karakteristik fraksi yang lolos Saringan No. 40					
Batas Cair	40 max	41 min	40 max	41 min	41 min
Indeks Plastisitas	10 max	10 max	11 min	11 min	11 min
Jenis bahan penyusun secara umum	Tanah kelanauan		Tanah kelepungangan		
Penilaian Subgrade secara umum	Fair to poor				

<sup>a</sup> Untuk A-7-5,  $PI \leq LL - 30$

<sup>b</sup> Untuk A-7-6,  $PI > LL - 30$

Sumber: Das, *Principles of Geotechnical Engineering 7th Edition* (2010)



- **Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS**

Klasifikasi USCS Sistem klasifikasi Unified Soil Classification System diperkenalkan oleh Cassagrande pada tahun 1942 yang selanjutnya disempurnakan oleh USBR (United State Bureau of Reclamation) pada tahun 1952. Pada sistem klasifikasi *Unified Soil Classification System* membagi Tanah menjadi 2 kategori:

1. Tanah berbutir kasar (coarse grained soil), yaitu tanah kerikil dan pasir kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G atau S. G adalah untuk kerikil (Gravel) dan S adalah untuk pasir (Sand).
2. Tanah berbutir halus (fine grained soil), yaitu tanah yang lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal M untuk lanau (*silt*) anorganik, C untuk lempung (*clay*) anorganik, dan O untuk lanau dan lempung organik.

Beberapa simbol lainnya yang di gunakan dalam klasifikasi yaitu:

- W = Gradasi baik (well graded)
- P = Gradasi buruk (poorly graded)
- H = Plastisitas tinggi (high plasticity) (batas cair lebih dari 50)
- L = Plastisitas rendah (low plasticity) (batas cair kurang dari 50)



**Tabel 3. Unified Soil Classification System (USCS) (Berdasarkan Material yang Lolos Saringan 76.2 mm)**

Kriteria Penamaan Simbol Kelompok			Simbol Kelompok	
<b>Tanah berbutir kasar</b> Lebih dari 50% yang tertahan Saringan No. 200	<b>Kerikil</b> Lebih dari 50% fraksi kasar yang tertahan Saringan No. 4	Kerikil bersih kurang dari 5% butir halus	$C_u \geq 4$ dan $1 \leq C_c \leq 3^c$	GW
			$C_u < 4$ dan/atau $1 > C_c > 3^c$	GP
		Kerikil dengan butir halus lebih dari 12%	$PI < 4$ atau plot grafik di bawah garis "A" (Gambar 3)	GM
			$PI > 7$ dan plot grafik pada atau di atas garis "A" (Gambar 3)	GC
	<b>Pasir</b> 50% atau lebih fraksi kasar yang lolos Saringan No. 4	Pasir bersih kurang dari 5% butir halus	$C_u \geq 6$ dan $1 \leq C_c \leq 3^c$	SW
			$C_u < 6$ dan/atau $1 > C_c > 3^c$	SP
Pasir dengan butir halus lebih dari 12%		$PI < 4$ atau plot grafik di bawah garis "A" (Gambar 3)	SM	
		$PI > 7$ dan plot grafik pada atau di atas garis "A" (Gambar 3)	SC	
<b>Tanah berbutir halus</b> 50% atau lebih lolos Saringan No. 200	<b>Lanau dan Lempung</b> Batas cair kurang dari 50	Inorganic	$PI > 7$ dan plot grafik pada atau di atas garis "A" (Gambar 3)	CL
			$PI < 4$ atau plot grafik di bawah garis "A" (Gambar 3)	ML
		Organic	$\frac{\text{Batas cair} - \text{kering oven}}{\text{Batas cair} - \text{tidak kering}} < 0.75$ ; lihat Gambar 3; zona OL	OL
	<b>Lanau dan Lempung</b> Batas cair 50 atau lebih	Inorganic	$PI$ plot grafik pada atau di atas garis "A" (Gambar 3)	CH
			$PI$ plot grafik di bawah garis "A" (Gambar 3)	MH
		Organic	$\frac{\text{Batas cair} - \text{kering oven}}{\text{Batas cair} - \text{tidak kering}} < 0.75$ ; lihat Gambar 3; zona OH	OH
				Pt

gigi Terutama bahan organik, berwarna gelap, dan berbau organik

ngan 5-12% butir halus memerlukan dual simbol: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC

ng 5-12% butir halus memerlukan dual simbol: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC

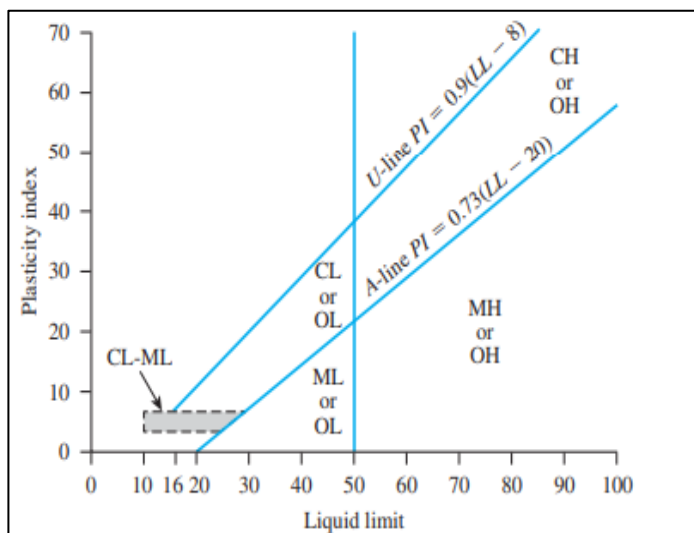
-

ot berada dalam area yang tertandai pada Gambar 3, gunakan dual simbol GC-GM atau SC-SM

ot berada dalam area yang tertandai pada Gambar 3, gunakan dual simbol CL-ML

Principles of Geotechnical Engineering 7th Edition (2010)





**Gambar 2. Klasifikasi tanah menurut USCS**

Untuk klasifikasi yang tepat menurut sistem ini, beberapa atau semua informasi berikut ini harus di ketahui:

- Persentase krikil, yaitu fraksi yang lolos saringan dengan ukuran 76.2mm dan tertahan pada saringan no.4 (ukuran 4.75mm)
  - Persentasi pasir, yaitu fraksi yang lolos saringan No.4 (ukuran 4.75 mm) dan tertahan pada saringan No. 200 ( ukuran 0.075 mm)
  - Persentase lanau dan lempung, yaitu fraksi lebih halus dari saringan No.200 (ukuran 0.075 mm)
  - Koefisien Keseragaman ( $C_u$ ) dan koefisien gradasi ( $C_c$ )
  - Batas cair dan index plastisitas bagian tanah yang lolos saringan No.40
- Simbol golongan tanah berbutir kasar-berkerikil adalah GW, GP, GM, GC, GC-GM, GW-GM, GW-GC, GP-GM, dan GP-GC. Demikian juga, simbol golongan untuk tanha berbutir halus adalah CL, ML, OL, CH, MH, OH, CL-ML, and Pt.

### 1.6.3 Tanah Lempung



lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran an submikroskopik yang berasal dari pembusukan kimiawi anyusun batuan, dan bersifat plastis dalam selang kadar air i luas. Dalam keadaan kering sangat keras, dan tak mudah

terkelupas hanya dengan jari tangan. Permeabilitas lempung sangat rendah. Partikel-partikel dari mineral lempung umumnya berukuran koloid ( $<1\mu$ ) dan ukuran  $2\mu$  merupakan batas atas / paling besar dari ukuran partikel mineral lempung.

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

Salah satu karakteristik utama dari lempung dalam sudut pandang teknik merupakan kelemahan mereka dalam memperlambat perubahan volume yang terjadi dimana dapat menyebabkan pengembangan dan penyusutan. Kemampuan tanah dalam menyerap air menyebabkan pengembangan terhadap tanah, dan ketika tanah tersebut kering disebut dengan penyusutan. Pengembangan pada montmorillonite dapat



perubahan volume mencapai 1000% dari volume mula-mula, kan tanah tersebut berubah menjadi gel. Mielenz & King (1955) ahwa pada umumnya kaolinite memiliki kemampuan dalam yang rata-rata (moderate), dimana pengembangan terjadi pada Sedangkan untuk illite dapat menyembang hingga 15%.

Kaolinite dan illite memiliki aktivitas yang tidak aktif sedangkan montmorillonite merupakan tanah dengan aktivitas yang besar. Dimana pada umumnya tanah lempung dengan aktivitas yang relatif besar memiliki kemampuan dalam menyerap air lebih besar. Tanah dengan aktivitas yang tinggi memiliki perubahan volume yang besar ketika kadar air berubah (sebagai contoh tanah akan semakin mengembang dalam kondisi basah dan akan semakin menyusut dalam kondisi kering). Kemampuan suatu tanah dalam mengembang (swelling) dan menyusut (shrinkage) ditentukan dari tipe dan jumlah mineral lempung yang terdapat dalam tanah tersebut. Pada umumnya, pengembangan dan penyusutan dari suatu mineral lempung memiliki pola yang sama terhadap indeks plastisitas tanah tersebut, jadi semakin plastis tanah tersebut maka semakin tinggi potensi tanah tersebut untuk mengalami pengembangan Tanah Tropis penyusutan dan

#### 1.6.4 Permeabilitas Tanah

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 lainnya, sehingga air dapat mengalir dari titik dengan tinggi ke titik dengan energi yang lebih rendah. Untuk tanah, permeabilitas dilukiskan sebagai sifat tanah yang mengalirkan air melalui rongga pori tanah. 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



air (impermeable), bila tanah tersebut mempunyai kemampuan yang sangat kecil (Hardiyatmo, 2002). Koefisien rembesan (permeability) mempunyai satuan yang sama seperti kecepatan. Rembesan tanah tergantung pada beberapa faktor, yaitu kekentalan, luas penampang, luas permukaan, distribusi ukuran-pori, angka pori, kekerasan

permukaan butiran tanah, dan derajat kejenuhan tanah. Harga koefisien rembesan ( $k$ ) untuk tiap-tiap tanah adalah berbeda.

(Korelasi & Mabruur, 2019) menyatakan bahwa Hukum Darcy (1956) menjelaskan tentang kemampuan air mengalir pada rongga-rongga (pori-pori) dalam tanah dan sifat-sifat yang mempengaruhinya. Ada dua asumsi utama yang digunakan dalam penetapan Hukum Darcy ini. Asumsi pertama menyatakan bahwa aliran fluida/cairan dalam tanah bersifat laminar. Sedangkan asumsi kedua menyatakan bahwa tanah berada dalam keadaan jenuh. Darcy (1956) mengemukakan persamaan rembesan air pada lapisan tanah jenuh sebagaimana yang ditunjukkan oleh persamaan 1.

$$Q = k \cdot i \cdot A \quad (1)$$

dimana:

$Q$  = vol. aliran air per satuan waktu ( $\text{cm}^3$ )

$K$  = koefisien rembes/permeabilitas

$i$  = gradien hidraulik

$A$  = luas penampang tanah yang dilewati oleh air ( $\text{cm}^2$ )

Gradien Hidraulik merupakan perubahan total *Head* (Ketinggian energi) air antara dua titik, dibagi dengan jarak tempuh aliran tersebut, dinyatakan dalam persamaan 2

$$i = \frac{h_1 - h_2}{L} \quad (2)$$

dimana:

$i$  = gradien hidraulik

$h_1$  = Titik awal aliran (cm)

$h_2$  = Titik akhir aliran (cm)

$L$  = Jarak rembesan (cm)



### Klasifikasi Tanah berdasarkan Koefisien Permeabilitas

Koefisien Rembesan (m/detik)	Uraian
$\geq 0.01$	Dapat dikeringkan dengan pemompaan, yaitu air akan
$10^{-2}$ sampai $10^{-3}$	
$10^{-3}$ sampai $10^{-4}$	

Pasir Halus	$10^{-5}$ sampai $10^{-6}$	keluar dari rongga karena gravitasi.
Lanau	$10^{-6}$ sampai $10^{-7}$	Air tidak dapat mengalir
Lempung	$10^{-7}$ sampai $10^{-9}$	keluar dari roingga karena gravitasi.
Kelanauan		
Lempung	$10^{-8}$ sampai $10^{-11}$	Hampir tidak dapat di rembes air.

Sumber (Wesley, 2012)

### 1.6.5 Sanitary landfill

Sanitary landfill atau tempat pembuangan akhir berstandar sanitasi adalah metode pengelolaan sampah yang dilakukan dengan cara membuang dan menimbun sampah secara sistematis di atas atau di dalam tanah, lalu menutupnya dengan lapisan tanah setiap hari untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat.

Ciri-ciri utama sanitary landfill:

- Sistematis dan Berlapis  
Sampah ditimbun dalam lapisan, kemudian setiap lapisan ditutup dengan tanah penutup agar tidak tersebar oleh angin, mengurangi bau, dan menghindari gangguan hewan seperti lalat atau tikus.
- Menggunakan Lapisan Kedap (Liner)  
Bagian dasar TPA dilapisi dengan material kedap air seperti tanah lempung atau geomembran untuk mencegah rembesan air lindi masuk ke dalam tanah dan mencemari air tanah.
- Pengelolaan Air Lindi (Leachate)  
Dilengkapi sistem saluran dan kolam penampung untuk mengelola air lindi (cairan dari sampah yang membusuk), sehingga tidak mencemari lingkungan.



Pengumpulan dan Pemrosesan Gas

yang membusuk menghasilkan gas metana. Sanitary landfill dilengkapi pipa untuk mengumpulkan dan memproses gas ini agar tidak meledak atau mencemari udara.

- Pemantauan Lingkungan

Dilakukan pemantauan berkala terhadap kualitas air tanah, udara, dan tanah di sekitar lokasi untuk memastikan tidak ada pencemaran.

Tujuan Sanitary Landfill:

- Mengendalikan pencemaran lingkungan (air, tanah, udara)
- Menjaga kesehatan masyarakat sekitar
- Mengelola sampah secara lebih berkelanjutan
- Mengurangi bau dan hama

Perbedaan *Sanitary Landfill* dan *Controlled Landfill*:

**Tabel 5. Perbedaan *Sanitary Landfill* dan *Controlled Landfill***

<b><i>Sanitary Landfill</i></b>	<b><i>Controlled Landfill</i></b>
Memiliki lapisan kedap (liner)	Biasanya tidak menggunakan liner
Ada sistem pengelolaan air lindi dan gas	Pengelolaan air lindi dan gas kurang
Lebih aman bagi lingkungan	Berisiko mencemari lingkungan
Pengelolaan lebih modern dan terkontrol	Umumnya lebih sederhana dan kurang sistematis



## 1.7 Penelitian Terdahulu

**Tabel 6. Penelitian terdahulu terkait topik penelitian**

Penulis	Judul	Tujuan dan Hasil Penelitian	Sumber
Sitti Hijraini Nur	STUDI HYDRAULIC CONDUCTIVITY CLAY LINER DENGAN VARIASI TINGKAT KEPADATAN TERTENTU TERINFILTRASI AIR LINDI	Tujuan studi untuk mengetahui berapa koefisien hydraulic conductivity yang dimiliki tanah pada tingkat kepadatan tertentu yang dialiri media air lindi. Sampel tanah merupakan material pilihan berupa lempung kelanauan yang merupakan material yang sesuai untuk dipergunakan sebagai lapisan kedap clay liner pada sistem sanitary landfill. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan besaran konduktivitas pada media air lindi seiring dengan peningkatan porositas serta kecenderungan penurunan yang cukup besar pada kondisi jenuh yang nilainya mendekati kondisi dengan infiltrasi air suling.	Jurnal Keteknikan dan Sains (JUTEKS) – LPPM UNHAS Vol. 1, No.1, Juni 2018
A. Rahmadi, A. M. Indriani, G. Utomo	Permeabilitas Tanah Lanau Sebagai Temporary Landfill Cover yang Distabilisasi dengan Bakteri dan Larutan Sementasi	Hasil penelitian mengungkapkan bahwa penambahan larutan sementasi mampu menurunkan permeabilitas tanah. Larutan sementasi 0,25M dan bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> memiliki permeabilitas paling rendah. Tanah tanpa larutan sementasi memiliki nilai koefisien permeabilitas sebesar $5,04 \times 10^{-4}$ cm/s, dan turun menjadi $6,67 \times 10^{-5}$ cm/s dengan konsentrasi larutan sementasi 0,25M pada masa peram selama 28 hari. Variasi larutan sementasi 0,25M menunjukkan kemampuannya menurunkan permeabilitas tanah hingga 86,7%. Permeabilitas mengalami penurunan yang artinya pori-pori tanah semakin mengecil. Sehingga, dengan penambahan tersebut mampu membuat permeabilitas tanah menurun dan dapat meminimalkan kemungkinan kerusakan lingkungan oleh air lindi.	JURMATEKS : Jurnal Manajemen Teknologi dan Teknik Sipil Volume 6 Nomor 2 Tahun 2023



Lanjutan Tabel 6

Elsa Arinda; Praditya Sigit Ardisty Sitogasa; Kabul Fadilah; Cesaria Wahyu Lukita	PERENCANAAN PEMBANGUNAN TEMPAT PEMROSESAN AKHIR SAMPAH JUATA KERIKIL DENGAN SISTEM SANITARY LANDFILL DI KOTA TARAKAN KALIMANTAN UTARA	Pertumbuhan jumlah penduduk di Kota Tarakan akan meningkatkan jumlah timbulan sampah. Kota Tarakan terancam mengalami over capacity sampah dari lahan TPA Aki Babu sebagai satu-satunya TPA yang beroperasi di Kota Tarakan yang mana masih menerapkan sistem open dumping. Oleh karena itu, diperlukan relokasi atau pembangunan TPA baru. Sistem sanitary landfill adalah sistem operasi TPA yang dilakukan dengan cara memadatkan sampah secara berlapis, dimana periode operasi terpendeknya adalah selama satu hari. Keunggulan sistem sanitary landfill antara lain penanganan bersifat fleksibel walaupun terjadi fluktuasi timbulan sampah, dapat menampung berbagai jenis sampah, tidak menimbulkan permasalahan estetika, terdapat penanganan lindi dan gas, serta kebutuhan lahan yang relatif lebih kecil. Tujuan direncanakannya pembangunan TPA Juata Kerikil dengan sistem sanitary landfill di Kota Tarakan adalah untuk mengatasi ancaman over capacity dari TPA Aki Babu dan meminimalisir dampak buruk sampah terhadap lingkungan.	Environmental Engineering Journal ITATS Vol. 3, No. 1, Februari 2023
Dita Indah Lestari, R. M. Rustamaji, Eka Priadi, Aprianto, Budhi Purwoko	MODIFIKASI TANAH DENGAN CAMPURAN KAOLINITE DAN BENTONITE DALAM MENGURANGI NILAI PERMEABILITAS (K)	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai koefisien permeabilitas dimodifikasi campuran dengan bentonite tanah yang menggunakan dan campuran kaolinite terhadap tanah asli dan tanah pengganti untuk menghambat dan mengurangi pencemaran air lindi terhadap sungai, air tanah, dan lingkungan pada studi kasus TPA Batulayang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan meningkatnya kadar kaolinite dan bentonite pada suatu tanah maka akan semakin kecil nilai permeabilitas yang didapatkan, dalam arti air akan semakin sulit untuk melewati pori-pori yang terdapat didalam tanah tersebut.	



## BAB 2 METODE PENELITIAN

### 2.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin Gowa. Penelitian ini bersifat eksperimental menggunakan Tanah lempung dan dialiri oleh air lindi di laboratorium dengan pengujian permeabilitas falling head. Waktu pelaksanaan penelitian ini direncanakan selama 5 bulan yakni mulai bulan April 2025 – Juli 2025

### 2.2 Bahan dan alat

#### 2.2.1 Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

- Tanah yang digunakan merupakan jenis tanah lempung



Gambar 3. Tanah Lempung

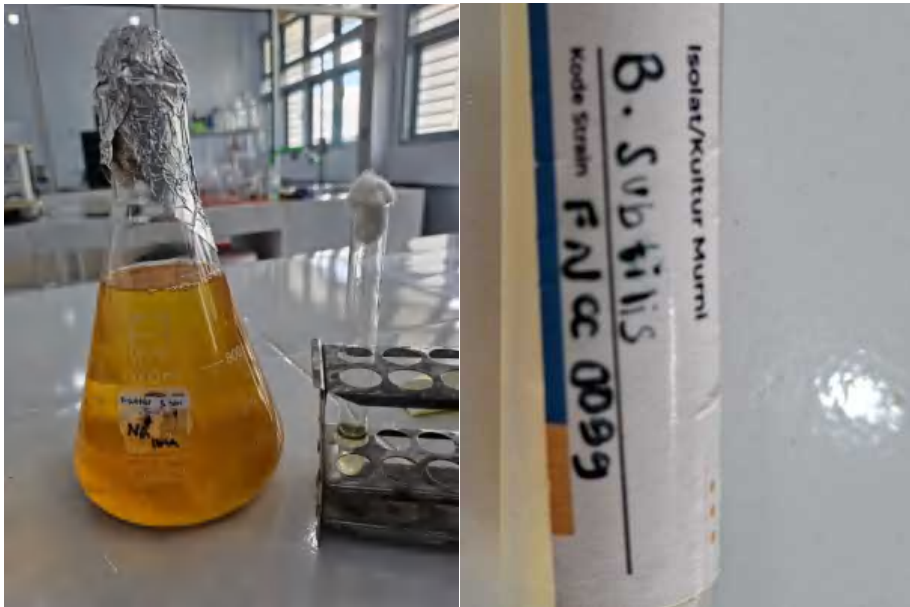
- Air lindi sebagai bahan permeabilitas diambil dari TPA Antang



Gambar 4 Air Lindi



- Bakteri yang digunakan sebagai bahan tambah pada tanah lempung adalah bakteri *Bacillus Subtilis* yang di dapatkan dari Laboratorium Biologi Fakultas MIPA Univeritas Negeri Makassar



Gambar 5. Bakteri *Bacillus Subtilis*



**2.2.2 Alat****Tabel 7. Alat uji sifat fisis dan mekanis tanah**

No.	Nama Pengujian	Gambar Alat
1.	Pengujian Kadar Air	
2.	Pengujian Berat Jenis	
3.	Pengujian Batas-Batas Atterberg	
4.	Pengujian Analisa Saringan	



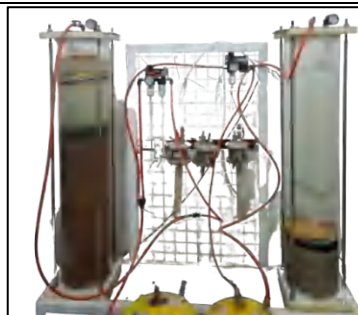
- 
5. Pengujian Analisa Saringan  
(Hidrometer Test)



- 
6. Pengujian Kompaksi



- 
7. Pengujian Permeabilitas



## 2.3 Tahapan Penelitian

### 2.3.1 Pengumpulan Data

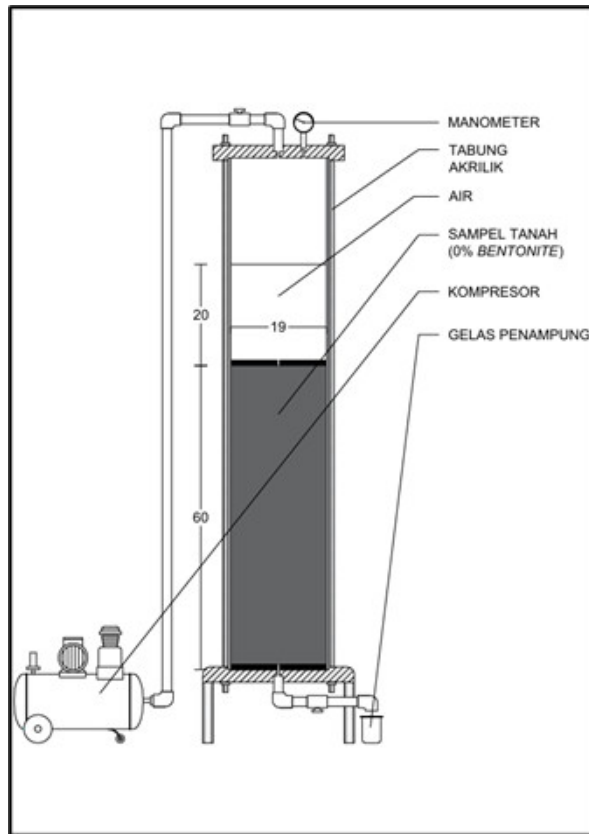
Pengumpulan data dilakukan pada bahan atau material yang telah di kumpulkan. Data diambil dengan melakukan pengujian karakteristik terhadap material (tanah lempung). Pengujian karakteristik yang dilakukan terhadap material (tanah lempung) meliputi kadar air, berat jenis, analisa saringan hydrometer, kompaksi dan Permeabilitas. Pengujian terhadap sampel campuran meliputi permeabilitas dengan di aliri air lindi. Parameter pengujian karakteristik pada material tanah lempung, merupakan data yang akan di jadikan acuan dan perbandingan hasil pengujian permeabilitas dengan di aliri oleh air lindi, seperti pada gambar di bawah dan hasil pengujian akan di analisis untuk dijadikan acuan membuat kesimpulan.

Pengujian permeabilitas dalam penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat uji hasil modifikasi yang dirancang dalam kondisi kedap udara, sehingga aliran air hanya terjadi melalui sampel tanah. Energi yang menggerakkan aliran air dinyatakan dalam bentuk tinggi energi air (head) yang bekerja pada sampel. Dengan pendekatan ini, mekanisme aliran yang dianalisis tetap berupa aliran rembesan akibat perbedaan energi, tanpa meninjau tekanan secara langsung.

Sampel tanah yang digunakan merupakan tanah lempung dengan gradasi halus, sehingga aliran air yang terjadi bersifat lambat dan stabil, menyerupai prinsip aliran pada pengujian permeabilitas falling head. Namun, berbeda dengan metode falling head konvensional, tinggi energi air yang bekerja pada sampel dijaga relatif tetap selama pengujian, sehingga kondisi aliran dapat dianalisis dalam keadaan stabil.

Berdasarkan karakteristik aliran tersebut, evaluasi permeabilitas tanah dianalisis menggunakan konsep aliran rembesan satu dimensi sebagaimana dikemukakan dalam Hukum Darcy, yang menyatakan bahwa debit aliran ( $Q$ ) berbanding lurus dengan koefisien permeabilitas ( $k$ ), besaran energi aliran per satuan panjang lintasan, dan luas penampang aliran ( $A$ ).





**Gambar 6. Alat Pengujian Permeabilitas Modifikasi**

## 2.3.2 Pelaksanaan Penelitian

### 2.3.2.1 Pembuatan Sampel Permeabilitas 100% Tanah Lempung

Sampel tanah yang digunakan adalah tanah ekspansif yang lolos saringan no. 20 dengan kondisi tanah kering udara. Pembuatan sampel mengacu pada berat isi kering maksimum dan kadar air optimum dari hasil kompaksi tanah asli. Pembuatan sebagai berikut:

1. Menyiapkan tanah dengan berat tertentu sesuai dengan perhitungan kebutuhan campuran pada sebuah wadah.
2. Menyiapkan air sebagai salah satu bahan campuran sesuai dengan kadar air optimum.



campurkan air dan tanah diaduk dengan hati hati hingga campuran merata (homogen).

letakkan campuran homogen tersebut pada tabung permeabilitas kemudian memadatkan campuran sampel menggunakan pemadat mekanis (penumpuk) dengan tebal 60 cm.

Setelah sampel dipadatkan, kemudian di isi air lindi setinggi 25 cm, kemudian di tutup hingga kedap udara dan diberikan tekanan.

### 2.3.2.2 Pembuatan Sampel Pemeabilitas 50% Tanah Lempung 50% Bentonite

Sampel tanah yang digunakan adalah tanah ekspansif yang lolos saringan no. 20. Selanjutnya sampel tanah di campur dengan Bentonite dengan perbandingan 50:50. Pembuatan sampel mengacu pada berat isi kering maksimum dan kadar air optimum dari hasil kompaksi tanah asli. Pembuatan sebagai berikut:

1. Menyiapkan tanah dengan berat tertentu sesuai dengan perhitungan kebutuhan campuran pada sebuah wadah.
2. Menyiapkan bentonite sebagai bahan tambahan.
3. Menyiapkan air sebagai salah satu bahan campuran sesuai dengan kadar air optimum.
4. Mencampurkan air, tanah, dan bentonite diaduk dengan hati-hati hingga campuran merata (homogen).
5. Meletakkan campuran homogen tersebut pada tabung permeabilitas kemudian memadatkan campuran sampel menggunakan pemadat mekanis (penumpuk) dengan tebal 60 cm.
6. Setelah sampel dipadatkan, kemudian di isi air lindi setinggi 25 cm, kemudian di tutup hingga kedap udara dan diberikan tekanan.

### 2.3.2.3 Pembuatan sampel Permeabilitas 100% Bentonite

Sampel yang digunakan adalah Bentonite yang merupakan jenis tanah liat alami, terutama dari mineral smektit (khususnya montmorillonite), yang terbentuk dari pelapukan abu vulkanik. Pembuatan sampel mengacu pada berat isi kering maksimum dan kadar air optimum dari hasil kompaksi bentonite. Pembuatan sebagai berikut:

1. Menyiapkan Bentonite dengan berat tertentu sesuai dengan perhitungan kebutuhan campuran pada sebuah wadah.
2. Menyiapkan air sebagai salah satu bahan campuran sesuai dengan kadar air optimum.
3. Mencampurkan air dan bentonite diaduk dengan hati-hati hingga campuran merata (homogen).
4. Meletakkan campuran homogen tersebut pada tabung permeabilitas kemudian memadatkan campuran sampel menggunakan pemadat mekanis (penumpuk) dengan tebal 20 cm.
5. Setelah sampel dipadatkan, kemudian di isi air lindi setinggi 60 cm, kemudian di tutup hingga kedap udara dan diberikan tekanan.



### 1 Sampel Permeabilitas 50% Tanah lempung 50% Bentonite ubtilis

el tanah yang digunakan adalah tanah ekspansif yang lolos . 20 dengan kondisi tanah kering udara. Selanjutnya dilakukan an sampel dengan bakteri *Bacillus Subtilis* dengan konsentrasi

bakteri yang sudah ditentukan, yakni kadar bakteri 6%, dimana pencampuran sampel dilakukan dengan mengacu terhadap berat isi kering maksimum dan kadar air optimum dari hasil kompaksi tanah asli. Konstentrasi bakteri yang dicampurkan menggantikan persentase air dengan persentase rencana bakteri yang digunakan dengan jumlah yang sama. Berikut tahapan pencampuran tanah sedimen dengan campuran bakteri *Bacillus Subtilis*:

1. Menyiapkan tanah dengan berat tertentu sesuai dengan perhitungan kebutuhan campuran pada sebuah wadah.
2. Menyiapkan bahan stabiliator yaitu bakteri *Bacillus Subtilis* pada pada sebuah wadah sesuai dengan perhitungan persentase yang akan digunakan.
3. Menyiapkan air sebagai salah satu bahan campuran sesuai dengan kadar air optimum yang dikurangkan dengan variasi persentase campuran *Bacillus Subtilis*.
4. Mencampurkan air, tanah dan bakteri *Bacillus Subtilis* dan diaduk dengan hati hati hingga campuran merata (homogen).
5. Meletakkan campuran homogen tersebut pada tabung permeabilitas kemudian memadatkan campuran sampel menggunakan pemadat mekanis (penumpuk) dengan tebal 60 cm.
6. Setelah sampel dipadatkan, tabung kemudian ditutup dan dibungkus menggunakan *plastic wrap* untuk mencegah air dalam sampel menguap dan diperam pada suhu ruangan, selama 7 hari pemeraman.

### 2.3.2.5 Kultur Bakteri *Bacillus Subtilis*

Kultur mikrobiologi merupakan proses memperbanyak mikroba pada suatu media kultur. Untuk memperbanyak bakteri *Bacillus Subtilis* harus disiapkan bahan-bahan dengan komposisi seperti tabel dibawah.

**Tabel 8. Komposisi Bakteri *Bacillus Subtilis***

Elemen	Komposisi
Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>	10 ml
<i>Urea</i>	20 gram
Nutrient Broth	3 gram
$\text{NaHCO}_3$	2.12 gram
$\text{CaCl}_2$	4.14 gram
$\text{NH}_4\text{Cl}$	10 gram
Air Suling	1000 ml



langkah pertama yang dilakukan untuk menumbuhkan bakteri *Subtilis* adalah pembuatan medium dengan cara menyiapkan

bahan yang terlampir pada tabel di atas. Aduk hingga semua bahan tercampur rata. Setelah itu, lanjutkan dengan proses shaking yang dilakukan dalam wadah tertutup dan didiamkan selama 4 hari.

### 2.3.3 Pengamatan dan Pengukuran

- **Standar Pengujian**

Adapun Pengujian penelitian ini dilakukan dengan engacu pada standar-standar yang dikeluarkan oleh SNI (Standar Nasional Indonesia) dan ASTM (American Standard testing and Material), yang di tunjukkan pada tabel.dibawah ini

**Tabel 9. Standard Pengujian**

Jenis Pengujian	Standard Pengujian	
	SNI	ASTM
Kadar Air	SNI 1965:2008	ASTM D 2216-19
Berat jenis	SNI 1964:2008	ASTM D 854-14
Analisa Saringan	SNI 3423:2008	ASTM D 6913/D 6913M-17
Permeabilitas	SNI 2435:2008	ASTM D 5084
Kompaksi	SNI 1742:2008	ASTM D698 – 12E2



- **Pengujian Sampel**

Tanah yang digunakan dilakukan terlebih dahulu pengujian karakteristik sifat fisis dan mekanis seperti pada tabel dibawah ini

**Tabel 10. Jumlah Benda Uji**

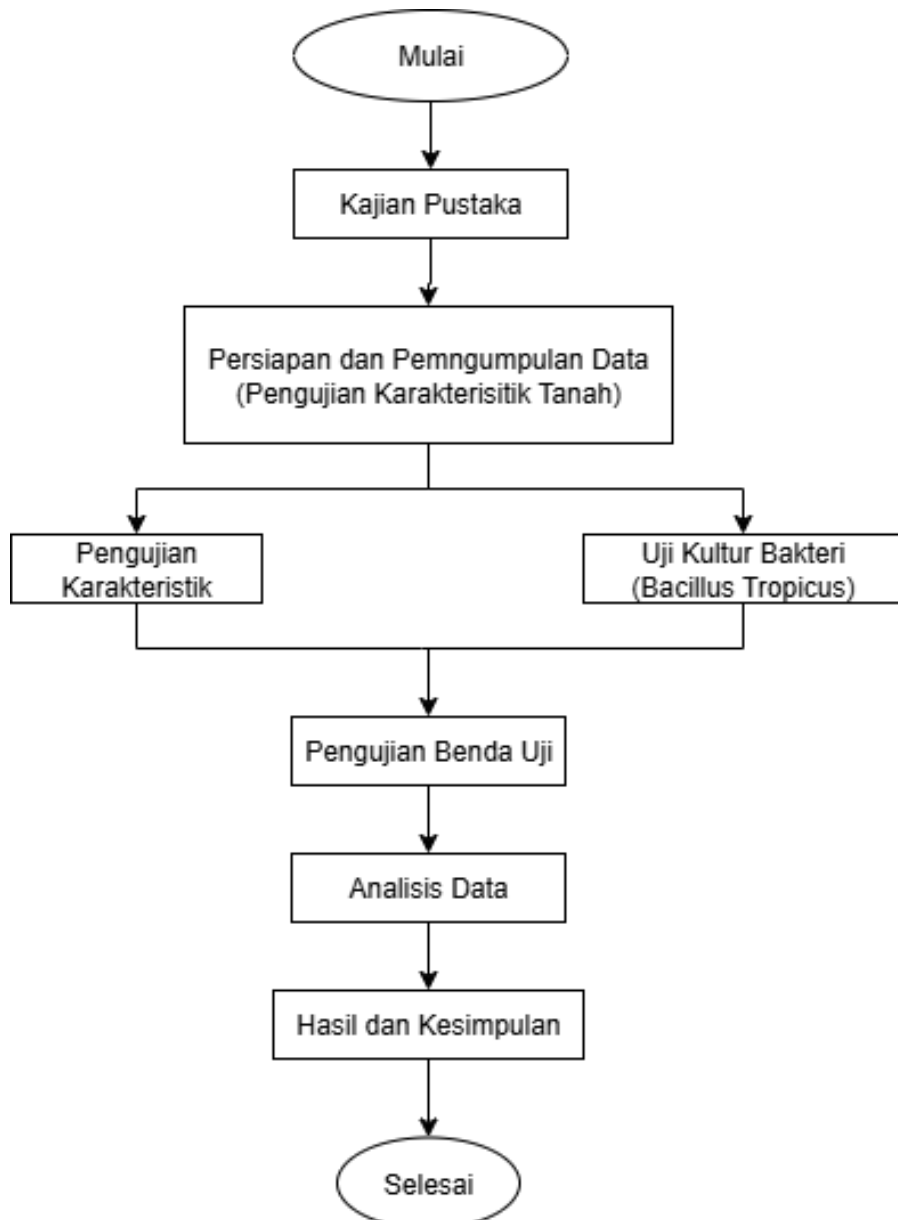
No	Pengujian	Jumlah Benda Uji
1	Berat jenis	1
2	Kadar Air	1
3	Analisa Saringan	1
4	Hidrometer	1
5	Permeabilitas	4
6	Kompaksi	2

Sampel tanah lempung 100%, sampel tanah 50% + bentonite 50%, Sampel 100% Bentonite, dan Sampel tanah 50% + bentonite 50% + Bakteri, dilakukan pengujian Permeabilitas dengan pemberian tekanan.

#### 2.3.4 Diagram Alir

Penelitian ini dilakukan dengan alur penelitian seperti pada gambar 7, agar kegiatan penelitian terlaksana secara sistematis dan tercapainya tujuan penelitian. Penelitian ini didasarkan pada keresahn di TPA Antang, dengan tahapan awal melakukan kajian Pustaka yang terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, dan landasan teori. Setelah dilakukan kajian pustaka dan pengumpulan referensi, maka dilaksanakan dengan metodologi yang direncanakan, melakukan persiapan dan pengumpulan data awal, setelah itu pembuatan benda uji, dan melakukan pengujian benda uji, serta menganalisis data yang sudah di peroleh. Hasil penelitian ini dijadikan sebagai acuan untuk menarik kesimpulan.





Gambar 7. Diagram Alir

