

# Analisis Self Healing Capacity (SHC) Pada Geosynthetic Clay Liners (GCL) Dengan Lempung Lunak Sebagai Material Pengisi Melalui Uji Direct Shear

Rexy P. Mallawa<sup>#1</sup>, Steeva G. Rondonuwu<sup>#2</sup>, Alva N. Sarajar<sup>#3</sup>

<sup>#</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi

Jl. Kampus UNSRAT Kelurahan Bahu, Manado, Indonesia, 95115

<sup>1</sup>reoxymallawa12@gmail.com; <sup>2</sup>steeva\_rondonuwu@unsrat.ac.id; <sup>3</sup>alva.sarajar@unsrat.ac.id

## Abstrak

*Geosynthetic Clay Liners (GCL) telah banyak digunakan dalam liner Tempat Pembuangan Akhir (TPA) dan sistem penutup. Di lapangan, untuk kerusakan lokal yang disebabkan oleh mesin kontruksi berat atau benda tajam seperti batu yang ada di lapangan, atau cacat pada area jahitan antara panel GCL tidak dapat sepenuhnya dihindari. Lindi dari TPA dapat menyebar melalui kerusakan atau cacat lokal ini dan masuk ke tanah atau air tanah di sekitarnya, dan menyebabkan masalah lingkungan. Perlu dilakukannya upaya mengatasi sebaran lindi tersebut. Salah satunya dengan pemasangan penghalang lempung (Clay Barrier), sebagai lapisan kedap penahan kontaminasi polutan agar tidak mencemari air tanah. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki kemampuan memperbaiki diri dari GCL diberikan material pengisi berupa lempung melalui uji geser langsung (Direct Shear Test) dan juga pengujian laju kebocoran laboratorium dengan kondisi tinggi energi turun (falling head). Dari hasil pengujian menggunakan uji direct shear untuk GCL dengan tambahan lempung didapatkan grafik tegangan normal terhadap tegangan geser sehingga menghasilkan nilai sudut geser terbesar  $2,46^\circ$  dan nilai kohesi terbesar ( $c$ )  $6,11 \text{ kN/m}^2$ . Untuk luasan lubang yang tertutup didapatkan nilai optimum pada beban  $9 \text{ kg}$  dengan persentase tertutup lubang  $97\%$ . Dari hasil uji permeabilitas dengan kondisi tinggi energi jatuh didapatkan nilai koefisien permeabilitas optimum sebesar ( $k$ )  $9,74 \times 10^{-6} \text{ cm/detik}$  dengan rata-rata nilai  $k$  terhadap persentase penambahan bentonite sebesar  $8,67 \times 10^{-6} \text{ cm/detik}$ .*

**Kata kunci** – lindi, *Geosynthetic Clay Liners*, *Direct Shear*, bentonite, clay barrier

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Tumpukan sampah dapat menghasilkan limbah cair yang disebut air lindi yang menimbulkan bau tak sedap dan dapat mencemari air tanah. Pengumpulan air lindi dilakukan menggunakan saluran di sekeliling sel sampah. Apabila sistem drainase ini kurang dikelola dan dikontrol dengan baik, maka beberapa bagian drainase akan tersumbat/terhalang oleh sampah terutama pada musim hujan dimana air lindi tumpah dan masuk dan mencemari sungai, air tanah, dan lingkungan disekitar TPA. *Geosynthetic Clay Liner (GCL)* merupakan lapisan kedap air dengan struktur komposit perpaduan antara geotextile non woven dan bahan bentonite. Bentonite merupakan bahan yang dapat mengurangi transport cemaran anorganik, bentonite dibungkus diantara geotextile non woven, sehingga bentuk satu kesatuan GCL akan bekerja menjadi kedap air bila kontak dengan air. Teknologi GCL menawarkan beberapa keunggulan unik dibandingkan pelapis bawah konvensional. Kelebihan GCL, seperti cepat dan mudah dipasang, memiliki konduktivitas hidraulik yang rendah yaitu, permeabilitas rendah, dan memiliki kemampuan untuk memperbaiki sendiri robekan atau lubang yang disebabkan oleh sifat pembengkakan/swelling bentonite. Ketika tekanan terjadi dan kemampuan bentonite untuk mengikat air tinggi, maka material akan cenderung ekspansi dalam arah horizontal, sehingga defect atau kebocoran pada GCL dapat tertutupi akibat kemampuan *Clay Liner* untuk memulihkan diri sendiri. Pada penelitian ini, untuk mengetahui kuat geser tanah diperlukan analisis daya dukung tanah pada material pengisi GCL. Nilai parameter kuat geser tanah diperoleh dari uji geser laboratorium, seperti *Unconfined Compression Strength (UCS)*, *Vane Shear*, *Direct Shear*, dan *Triaxial Test*. Dengan hal itu, penelitian ini juga dilakukan dalam rangka untuk mendapatkan nilai koefisien permeabilitas dalam modifikasi *Geosynthetic Clay Liner* menggunakan campuran lempung pulutan agar

berguna sebagai salah satu upaya menghambat dan mengurangi pencemaran air lindi terhadap permukaan/air tanah.

### B. Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas maka rumusan masalah yang dimaksud dalam penelitian ini, yaitu :

- Bagaimana kondisi self healing optimal pada GCL jika material pengisi menggunakan tambahan lempung?
- Bagaimana hubungan antara koefisien rembesan dengan variasi campuran pada GCL?

### C. Batasan Penelitian

Agar penelitian ini tidak mencakup terlalu luas, maka diberikan beberapa batasan masalah yaitu sebagai berikut :

- Pengujian material dilakukan dengan Uji Geser Langsung (*Direct Shear*).
- Variasi dari material pengisi GCL yang digunakan adalah campuran bentonite dan tanah lempung dengan variasi 0%, 25%, 50%, 75%, 100% *Bentonite*.

- Menggunakan tanah lempung pulutan.
- Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi.

### D. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Untuk mengetahui hubungan antara koefisien rembesan dengan variasi campuran pada GCL.
- Mengetahui nilai kohesi (c), Sudut geser dalam ( $\phi$ ), setelah pemberian bahan tambahan lempung.
- Untuk mengetahui pengaruh ukuran lubang terhadap kondisi self healing pada GCL.

### E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Diharapkan penelitian ini menjadi terobosan teknologi dalam perbaikan kekuatan material pada sanitary landfill.
- Diharapkan berguna bagi pihak-pihak yang membutuhkan informasi dan mempelajari hal yang dibahas dalam penelitian ini.



Gambar 1. Lokasi Penelitian dengan Titik koordinat 1°13'04.7"N 124°50'04.3"E

## II. METODOLOGI PENELITIAN

### A. Analisa Data Tanah

Sampel tanah yang berdasarkan lokasi yaitu tepatnya di desa Pulutan Kecamatan Remboken, Kabupaten Minahasa, Provinsi Sulawesi Utara, jarak dari Manado sekitar 90 menit dengan berkendara, dan Jarak 5 Km dari wilayah danau tondano. Diketahui bahwa tanah tersebut sering digunakan untuk kerajinan tangan berupa gerabah jenis tanah yang digunakan

adalah tanah lempung pada ketinggian kamera Map 50 ft atau 20 meter dengan Titik koordinat 1°13'04.7"N 124°50'04.3"E.

### B. Pembebanan Struktur

Tahap ini yaitu membentuk kegiatan sebelum memulai pengumpulan data dan pengolahan data. dalam fase awal ini disusun hal-hal penting yang harus dilaksanakan dengan maksud untuk mengefektifkan waktu dan pekerjaan.

Adapun tahanan awal persiapan meliputi:

- Pada Studi literatur atau studi pustaka digunakan peneliti saat membaca dan menelusuri referensi terkait mengenai penelitian terhadap materi tugas akhir untuk menentukan garis besar permasalahan baik itu dalam buku, jurnal ilmiah, alamat email atau website yang terkait dengan penelitian ini yaitu mengenai istilah *Geosynthetic Clay Liners*, *Bentonite*, dan Lempung serta data pengujian di laboratorium, dan referensi mengenai kemampuan *self healing* dari GCL yang pernah digunakan pada penelitian sebelumnya.
- Menentukan pengumpulan data berdasarkan Data Primer dalam penelitian didapat melalui kondisi suatu tanah yang digunakan untuk selanjutnya di uji di laboratorium karena jenis tanah yang digunakan yaitu tanah lempung pulutan. Dari rencana yang dibuat pada data primer *Bentonite* sebanyak 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%, sebagai campuran dengan cara campur langsung dengan tanah selama pemeraman atau disimpan selama 0 hari selanjutnya digunakan tanah tersebut. Sedangkan untuk variasi lubang digunakan 1/5 D, 1/4 D, 1/3 D dari diameter sampel pengujian.

Data sekunder diperoleh dari beberapa sumber internet serta Jurnal atau studi pustaka untuk dijadikan penelitian dan diolah data tersebut kembali serta dijadikan patokan untuk sampel penelitian yang ada. Yang termasuk data sekunder disini adalah:

- Sifat kimia tanah pulutan, bentonite yang tidak diuji karena keterbatasan alat yang digunakan.
- Bahan penyusun geomembrane, hanya diambil dari literatur yang ada.

Data Pendukung

- Peta Lokasi seperti yang di uraikan dalam 3.1. yaitu di dapat dalam sumber aplikasi *Google Earth* 2022.
- Aturan-aturan dari ASTM D2487 tentang karakteristik tanah dan kondisi tanah.
- SNI 8460:2017 tentang persyaratan-persyaratan yang terkait langsung dengan perancangan geoteknik dan kegunaan suatu konstruksi

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil Uji Sifat Fisik Tanah dan Bentonite

Hasil pengujian sifat fisik tanah lempung pulutan dan bentonite telah dilaksanakan di Laboratorium Universitas Sam Ratulangi, ditampilkan pada Tabel 1 dan 2.

#### B. Hasil Uji Geser Langsung (*Direct Shear*)

Adapun hasil pengujian geser langsung yang dilakukan di Laboratorium Geoteknik Unsrat, didapatkan Grafik hubungan nilai tegangan geser dan tegangan normal dengan variasi beban dan lubang yang berbeda-beda ditunjukkan pada Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6, Gambar 7.

Gambar 3 menunjukkan grafik hubungan tegangan geser dan tegangan normal melalui uji geser langsung dengan Tanah Lempung 100% + Geomembrane. Dari persamaan dengan diameter sampel uji berbeda, untuk lubang 1/5 D diperoleh sudut geser  $1,31^\circ$  dan nilai kohesi (c) 1,40 kPa, lubang 1/4 D diperoleh sudut geser  $4,66^\circ$  dan nilai kohesi (c) 1,32 kPa, lubang 1/3 D diperoleh sudut geser  $3,06^\circ$  dan nilai kohesi (c) 2,46 kPa.

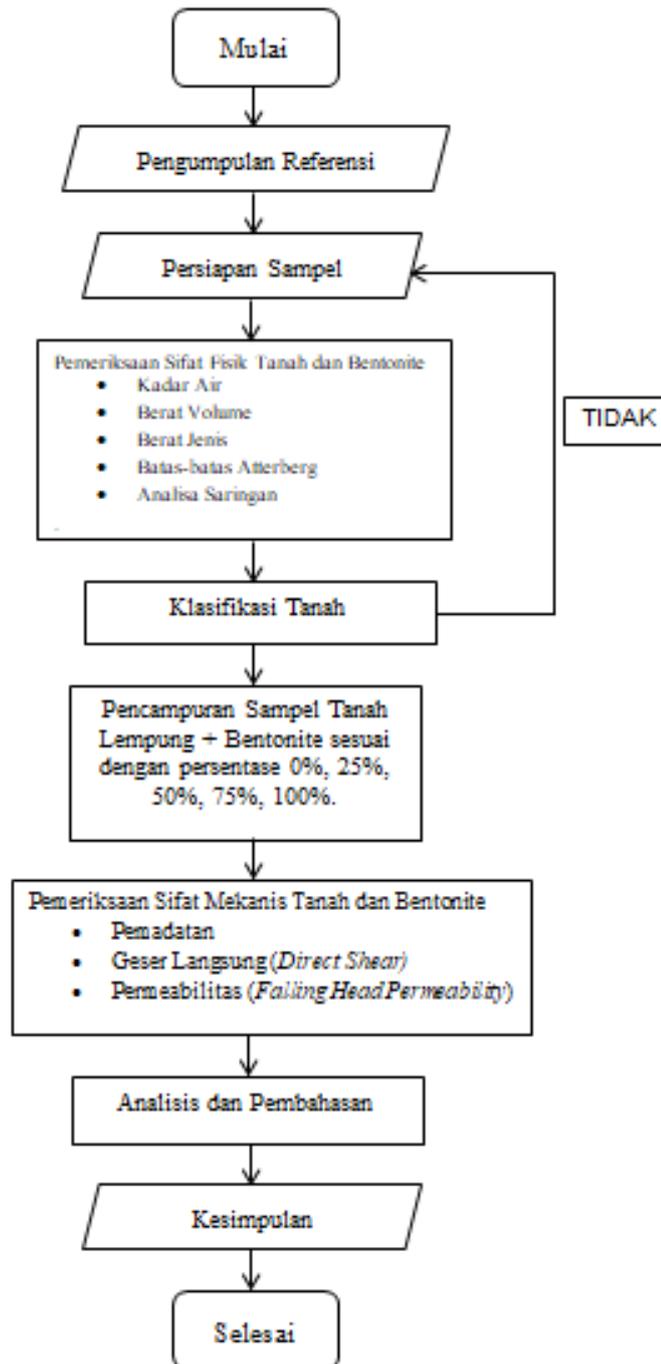
Gambar 4 menunjukkan grafik hubungan tegangan geser dan tegangan normal melalui uji geser langsung dengan Tanah Lempung 25% + Bentonite 75% + Geomembrane. Dari persamaan dengan diameter sampel uji berbeda, untuk lubang 1/5 D diperoleh sudut geser  $6,11^\circ$  dan nilai kohesi (c) 0,75 kPa, lubang 1/4 D diperoleh sudut geser  $5,53^\circ$  dan nilai kohesi (c) 0,31 kPa, lubang 1/3 D diperoleh sudut geser  $0,88^\circ$  dan nilai kohesi (c) 1,90 kPa.

Gambar 5 menunjukkan grafik hubungan tegangan geser dan tegangan normal melalui uji geser langsung dengan Tanah Lempung 50% + Bentonite 50% + Geomembrane. Dari persamaan dengan diameter sampel uji berbeda, untuk lubang 1/5 D diperoleh sudut geser  $5,53^\circ$  dan nilai kohesi (c) 0,00 kPa, lubang 1/4 D diperoleh sudut geser  $2,04^\circ$  dan nilai kohesi (c) 2,21 kPa, lubang 1/3 D diperoleh sudut geser  $3,79^\circ$  dan nilai kohesi (c) 0,71 kPa.

Gambar 6 menunjukkan grafik hubungan tegangan geser dan tegangan normal melalui uji geser langsung dengan Tanah Lempung 75% + Bentonite 25% + Geomembrane. Dari persamaan dengan diameter sampel uji berbeda, untuk lubang 1/5 D diperoleh sudut geser  $0,44^\circ$  dan nilai kohesi (c) 1,40 kPa, lubang 1/4 D diperoleh sudut geser  $1,31^\circ$  dan nilai kohesi (c) 1,75 kPa, lubang 1/3 D diperoleh sudut geser  $1,02^\circ$  dan nilai kohesi (c) 2,09 kPa.

Gambar 7 menunjukkan grafik hubungan tegangan geser dan tegangan normal melalui uji geser langsung dengan Bentonite 100% + Geomembrane. Dari persamaan dengan diameter sampel uji berbeda, untuk lubang 1/5 D diperoleh sudut geser  $4,81^\circ$  dan nilai kohesi (c) 1,51 kPa, lubang 1/4 D diperoleh sudut geser  $2,34^\circ$  dan nilai kohesi (c) 2,21 kPa, lubang 1/3 D diperoleh sudut geser  $0,88^\circ$  dan nilai kohesi (c) 1,92 kPa.

Pada Gambar 8 sampai 10 luasan tertutupnya lubang dengan hubungan penambahan bentonite (0%, 25%, 50%, 75%, 100%) dengan variasi beban 3 kg, 6 kg, 9 kg didapatkan penurunan luasan tertutup yang signifikan pada setiap variasi lubang karena kemampuan menyembuhkan diri dari bentonite disebabkan salah satunya karena meremas bentonit terhidrasi ke dalam lubang kerusakan untuk meningkatkan kapasitas penyembuhan diri, sementara yang lain adalah efek restriksi yang cenderung membatasi jumlah ekspansi bentonit di GCL dan mengurangi kapasitas penyembuhan diri.



Gambar 2. Bagan Alur Penelitian

**C. Hasil Permeabilitas (Falling Head Permeability Test)**

Hasil pengujian permeabilitas dengan metode falling head ditampilkan pada tabel 3. Pada gambar 11 dapat dilihat bahwa hasil pengukuran permeabilitas dengan metode falling head yang didapat dari hasil uji di laboratorium memiliki nilai koefisien permeabilitas optimum pada variasi sampel dengan dibuat lapisan bentonite dan lempung masing-masing 50% dengan

nilai koefisien permeabilitas sebesar  $9,74 \times 10^{-6}$  cm/detik. Salah satu yang menyebabkan nilai hasil uji laboratorium menjadi kecil adalah disebabkan oleh butir-butir tanah pada sampel cenderung halus, sehingga menyebabkan air sulit untuk melewati sampel tanah pada permeameter. Nilai koefisien permeabilitas tanah sangat tergantung terhadap ukuran butir, distribusi bentuk dan kerapatan yang berfungsi sebagai penentu ukuran pori-pori yang ada di tanah.

**TABEL 1**  
**Hasil Pengujian Sifat Fisis Tanah Asli**

No.	Karakteristik Tanah	Nilai
1	Kadar Air Tanah Asli (w)	41,209 %
2	Kadar Air setelah dijemur (w)	14,642 %
3	Berat Isi Basah ( $\gamma_b$ )	1,442 g/cm <sup>3</sup>
4	Berat Isi Kering ( $\gamma_d$ )	1,003 g/cm <sup>3</sup>
5	Batas Cair (LL)	57,77 %
6	Batas Plastis (PL)	34,896 %
7	Indeks Plastisitas (PI)	22,874 %
8	Berat Jenis (Gs)	2,472 g/cm <sup>3</sup>
9	Klasifikasi Tanah (AASHTO)	A-7-5
10	Klasifikasi Tanah (USCS)	CH
11	Klasifikasi Tanah (USDA)	Clay
12	Lolos Saringan No.200	53,5 %
13	Distribusi Ukuran Butiran :	
-	Kerikil (gravel)	0,000 %
-	Pasir kasar (coarse sand)	2,71 %
-	Pasir sedang (medium sand)	20,63 %
-	Pasir halus berlanau (fine sand)	23,17 %
-	Lanau dan lempung	53,5 %

Sumber : Hasil Analisis

**TABEL 2**  
**Hasil Pengujian Sifat Fisis Bentonite**

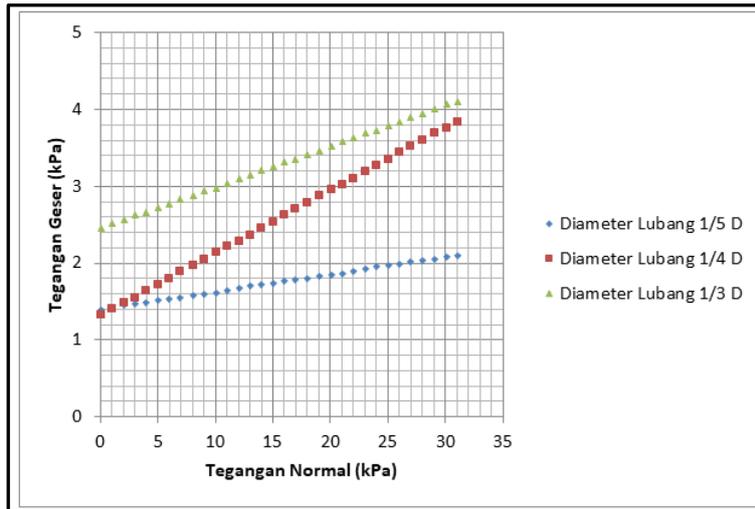
No.	Karakteristik Bentonite	Nilai
1	Kadar Air Tanah Asli (%)	28,799 %
2	Berat Isi Basah ( $\gamma_b$ )	1,069 g/cm <sup>3</sup>
3	Berat Isi Kering ( $\gamma_d$ )	0,841 g/cm <sup>3</sup>
4	Batas Cair (LL)	99,896 %
5	Batas Plastis (PL)	65,815 %
6	Indeks Plastisitas (PI)	34,081 %
7	Berat Jenis (Gs)	1,818 g/cm <sup>3</sup>
8	Klasifikasi Tanah (AASHTO)	A-7-5
9	Klasifikasi Tanah (USCS)	CH
10	Klasifikasi Tanah (USDA)	Clay
11	Lolos Saringan No.200	52,3 %

Sumber : Hasil Analisis

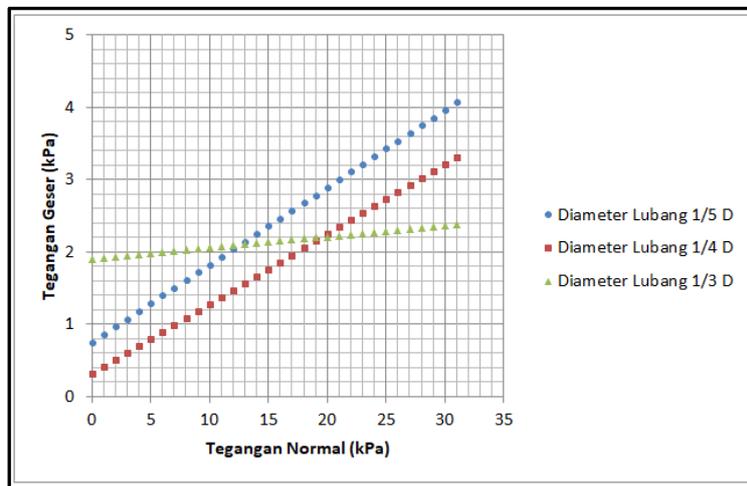
**TABEL 3**  
**Hasil Pengujian Permeabilitas**

Variasi	Hasil Pemeriksaan	
	Koefien Permeabilitas (k)	
0%	7,76E-06	cm/detik
25%	7,56E-06	cm/detik
50%	9,08E-06	cm/detik
75%	9,25E-06	cm/detik
100%	8,65E-06	cm/detik
Lapisan 50% Lempung 50% Bentonite	9,74E-06	cm/detik

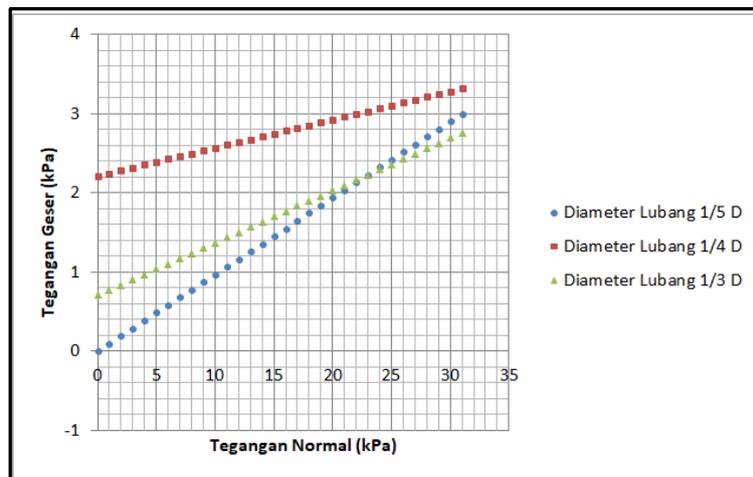
Sumber : Hasil Analisis



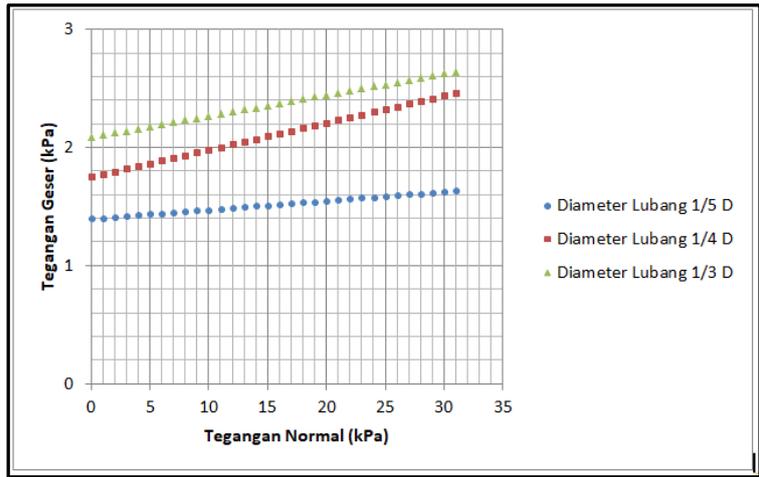
Gambar 3. Grafik Hubungan Antara Tegangan Normal dan Tegangan Geser Hasil Pengujian Geser Langsung (Direct Shear Test) Tanah Lempung 100% + Geomembrane



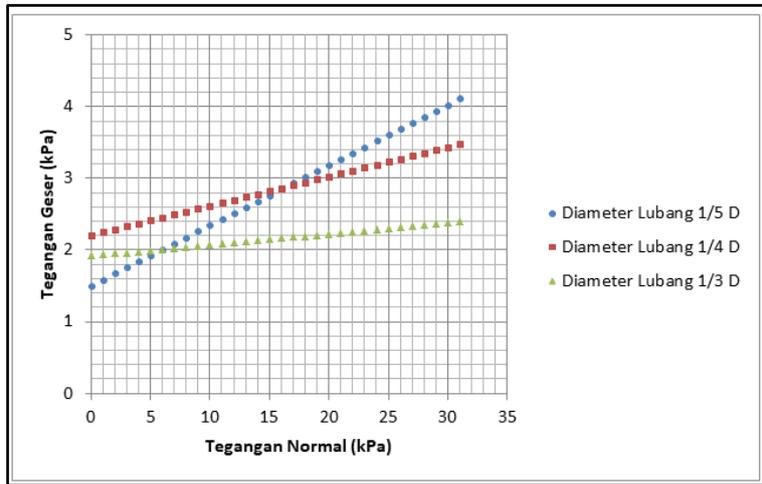
Gambar 4. Grafik Hubungan Antara Tegangan Normal dan Tegangan Geser Hasil Pengujian Geser Langsung (Direct Shear Test) Tanah Lempung 25% + Bentonite 75% + Geomembrane



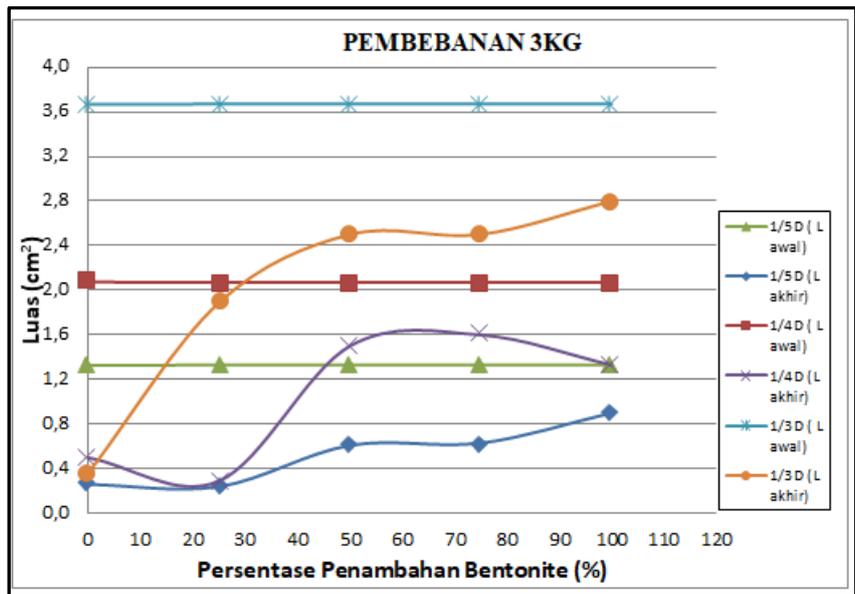
Gambar 5. Grafik Hubungan Antara Tegangan Normal dan Tegangan Geser Hasil Pengujian Geser Langsung (Direct Shear Test) Tanah Lempung 50% + Bentonite 50% + Geomembrane



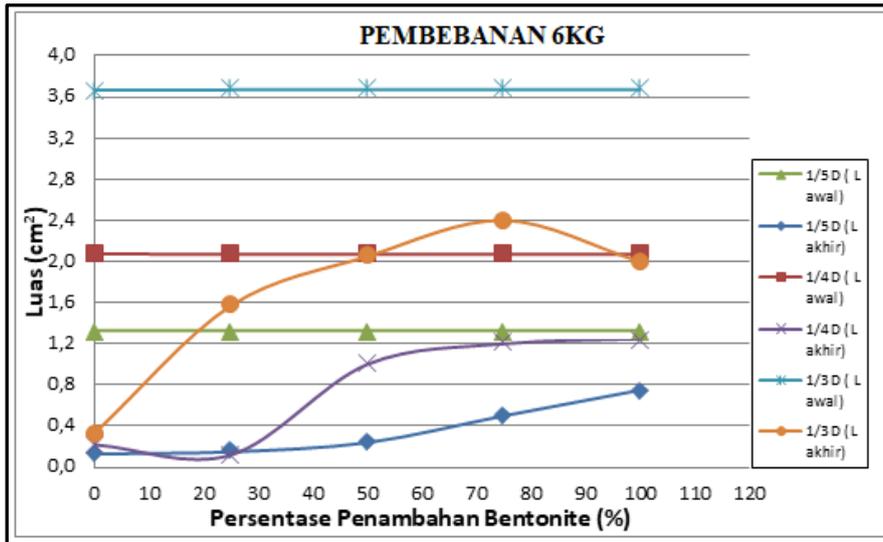
Gambar 6. Grafik Hubungan Antara Tegangan Normal dan Tegangan Geser Hasil Pengujian Geser Langsung (Direct Shear Test) Tanah Lempung 75% + Bentonite 25% + Geomembrane



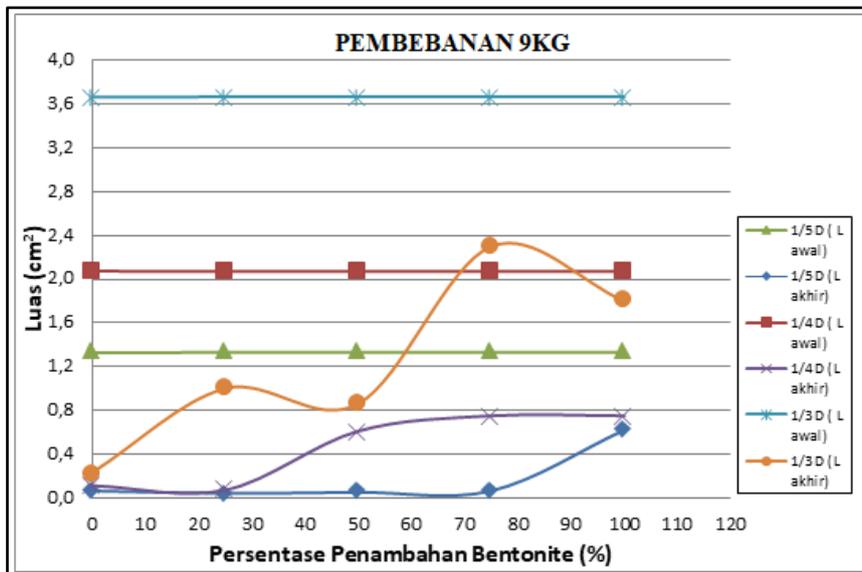
Gambar 7. Grafik Hubungan Antara Tegangan Normal dan Tegangan Geser Hasil Pengujian Geser Langsung (Direct Shear Test) Bentonite 100% + Geomembrane



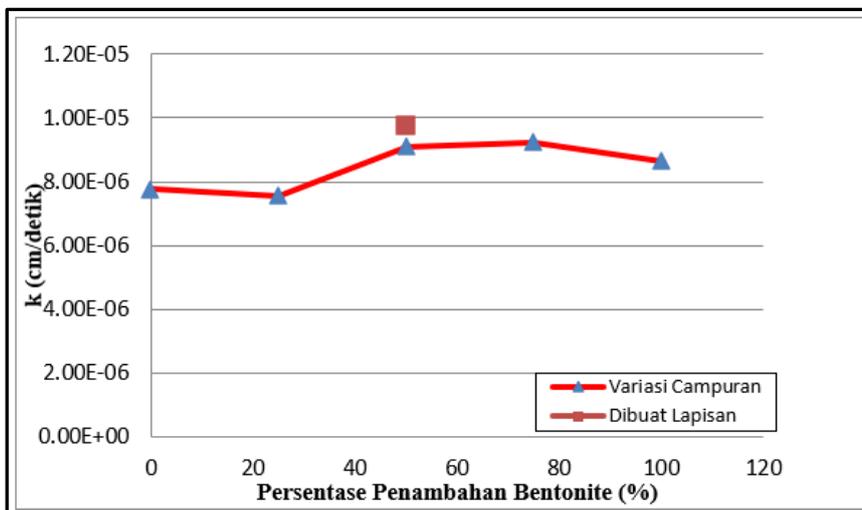
Gambar 8. Hubungan Antara Luas dan Persentase Penambahan Bentonite dengan Beban 3 kg



Gambar 9. Hubungan Antara Luas dan Persentase Penambahan Bentonite dengan Beban 6 kg



Gambar 10. Hubungan Antara Luas dan Persentase Penambahan Bentonite dengan Beban 9 kg



Gambar 11. Hubungan Persentase Penambahan Bentonite (%) dan Koefisien Permeabilitas (cm/detik)

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### A. Kesimpulan

Dari hasil pengujian, pengolahan, perhitungan dan pengamatan data. Dapat ditarik beberapa kesimpulan. Beberapa kesimpulan adalah sebagai berikut :

1. Dengan diberikan variasi lubang maka didapatkan luasan tertutup lubang setelah akhir pengujian. Pengaruh beban pada uji geser langsung secara konseptual memiliki dua efek pada kapasitas penyembuhan diri GCL. Salah satunya adalah meremas bentonit terhidrasi ke dalam lubang kerusakan untuk meningkatkan kapasitas penyembuhan diri, sementara yang lain adalah efek restriksi yang cenderung membatasi jumlah ekspansi bentonit di GCL dan mengurangi kapasitas penyembuhan diri.
2. Dari hasil pengujian permeabilitas didapatkan nilai koefisien permeabilitas pada variasi campuran setiap sampel  $7,76 \times 10^{-6}$  cm/detik,  $7,56 \times 10^{-6}$  cm/detik,  $9,08 \times 10^{-6}$  cm/detik,  $9,25 \times 10^{-6}$  cm/detik,  $8,65 \times 10^{-6}$  cm/detik, dan satu sampel dibuat lapisan dengan perbandingan campuran 50% didapatkan  $9,74 \times 10^{-6}$  cm/detik. Terlihat bahwa pada saat pencampuran sampel lempung dan bentonite ada kenaikan nilai koefisien signifikan namun pada saat sampel 100% bentonite terjadi penurunan dikarenakan bentonite memiliki kemampuan mengembang yang cukup besar sehingga air yang tersedia masuk kedalam pori-pori bentonite.
3. Pada lima variasi campuran GCL dengan persentase campuran 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% bentonite dengan pengujian Direct Shear didapatkan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ) cenderung mengalami penurunan karena bentonite yang divariasi dengan lempung akan mengurangi lekatan karena sifat swelling dari bentonite itu sendiri.

##### B. Saran

Serangkaian tes tingkat kebocoran laboratorium dilakukan untuk menyelidiki faktor-faktor utama yang mempengaruhi serta tingkat pengaruhnya terhadap kapasitas penyembuhan diri GCL. Kondisi yang diadopsi di laboratorium mungkin tidak sama dengan yang ada di lapangan dan skenario yang disimulasikan sangat terbatas. Berikut beberapa topik yang disarankan untuk studi masa depan tentang kapasitas penyembuhan diri GCL.

1. Di lapangan, biasanya GCL ditempatkan di atas lapisan tanah liat. Disarankan untuk melakukan uji laju kebocoran dengan memasang lapisan tanah di bawah sampel GCL.
2. Pada pengujian harus menggunakan GCL yang telah dipabrikasi sehingga keadaan di lapangan

dapat diterapkan pada saat pengujian di Laboratorium.

3. Perlu dibuat penelitian berulang-ulang tentang campuran bentonite dan lempung atau tanah lain yang lebih banyak variasi dengan kombinasi campuran serta dibuat penelitian pemeraman berhari-hari yang lebih lama dengan campuran tersebut untuk mendapat data yang lebih banyak variasi.
4. Perlu dilakukan beberapa tes perkuatan tanah dengan alat yang lebih baru dan cepat.
5. Untuk pembacaan arloji ukur (dial) supaya diperhatikan dengan seksama agar mendapatkan hasil yang lebih akurat.
6. Mengingat fakta bahwa kebocoran dari TPA mengandung beberapa ion, dan mungkin merupakan kombinasi dari komponen kimia organik maupun anorganik, kapasitas penyembuhan diri dapat diselidiki dengan menggunakan lindi sebenarnya dari TPA.

#### KUTIPAN

- [1] Bowles, J.E., 1991, "Sifat-Sifat Fisis Tanah dan Geoteknis Tanah", Erlangga, Jakarta.
- [2] Das, B.M., 1995, "Principle of Geotechnical engineering", PWS Publisher, Boston
- [3] Hardiyatmo, H.C., 2007, "Mekanika Tanah II" edisi ke VI, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- [4] Hardiyatmo, H.C., 2010, "Mekanika Tanah I" edisi ke V, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- [5] Das, Braja M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jilid 1 Jakarta: Erlangga.
- [6] Hardiyatmo, H.C. 2002. *Mekanika Tanah I*. Gadjah Mada University Press: Yogyakarta
- [7] Ruskandi, Cecep, Siswanto, Ari, Widodo, R (2020). *Karakteristik fisik dan kimiawi bentonite untuk membedakan natural sodium bentonite hasil aktivasi*.
- [8] Wijati, S., Istirokhatun, T., Sudarno (2016). *Kemampuan Geosynthetic Clay Liner (GCL) dalam menyisihkan konsentrasi warna, Besi (Fe) dan TSS pada Lindi*, Vol. 5
- [9] Rembet, R., Steeva Rondonuwu, Alva Sarajar, "Analisis Kuat Geser Tanah Lempung dengan Tambahan Fertilizer."
- [10] Bouazza, A. (2002). Geosynthetic clay liners. *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 30, pp. 3-17.
- [11] Sari, Kartika (2013). *Investigation on Self Healing Capacity of Geosynthetic Clay Liner*.
- [12] Chai, J.-C., Miura, N., Hayashi, S. (2005). Large-scale tests for leachate flow through composite liner due to geomembrane defects. *Geosynthetics International*, Vol. 12, No. 3. pp. 134-144
- [13] Chai, J.-C., Miura, N. (2002). Comparing the performance of landfill liner systems. *Journal of Material Cycles Waste Management*, Vol. 4, pp. 135-142.
- [14] SNI 8460:2017 *Persyaratan-persyaratan yang terkait langsung dengan Perancangan Geoteknik dan Kegempaan suatu Kontruksi*.