

## P-17

**PERKUATAN TANAH LEMPUNG DENGAN LIMBAH ALUMINIUM****REINFORCEMENT OF CLAY WITH ALUMINIUM WASTE**

**Muhamad Luthfi Andriza<sup>1</sup>, Insan Kamil<sup>2\*</sup>, Raudah Ahmad<sup>3</sup>**  
<sup>1,2,3</sup>Politeknik Negeri Samarinda, Jl. Dr. Cipto Mangunkusumo, Samarinda

\*E-mail: ikamil@polnes.ac.id

Diterima 23-10-2021	Diperbaiki 28-10-2021	Disetujui 02-11-2021
---------------------	-----------------------	----------------------

**ABSTRAK**

Tanah lempung memiliki sifat kembang susut yang sangat tinggi yang dipengaruhi oleh perubahan kadar air, jadi sangat dibutuhkan untuk meningkatkan sifat yang merugikan ini agar bisa dilakukannya konstruksi diatas tanah lempung. Ada banyak cara untuk memperbaiki tanah lempung, salah satunya adalah menggunakan limbah sebagai material penguat. Dalam studi ini, limbah aluminium yang digunakan sebagai perkuatan adalah limbah kaleng minuman bekas. Limbah kaleng dipotong dengan ukuran 1cm, lalu ditekuk secara simetris. Studi ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari limbah aluminium pada nilai California Bearing Ratio (CBR) Rendaman, Pengembangan, dan Kuat Tekan Bebas dari Tanah Lempung. 5 variasi persentase pencampuran limbah aluminium digunakan dalam eksperimen ini, yaitu 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai CBR optimum didapatkan pada persentase campuran 8% dengan nilai 4,02%, nilai Pengembangan terus menurun pada persentase campuran 10% dengan nilai 5,41%, dan nilai Kuat Tekan Bebas optimum didapatkan pada persentase campuran 6% dengan nilai  $qu$  12,661 kg/cm<sup>2</sup>.

**Kata kunci:** Tanah Lempung, Limbah Aluminium, CBR Rendaman, Pengembangan, Kuat Tekan Bebas.

**ABSTRACT**

Clay soil has an extreme shrink/swell behaviour due to the changes of water content, so it necessary to improve its unfavourable behaviour so that building a construction under clay is doable. There are various ways to improve expansive clay soil, one of them is by using waste as stabilizer material. in this study, the waste aluminium used as reinforcer is waste beverage can. The waste beverage cut to 1cm size, then folded symmetrically. The present study aims to investigate the effect of waste aluminium on the soaked California Bearing Ratio (CBR), Swelling, Unconfined Compressive Strength (UCS) of clayey soil. Five various percentages of waste aluminium were used during the experimental work by 2%, 4%, 6%, 8%, and 10% respectively. The test results show that CBR value has the optimum stage at 8% with the value of 4,02%, the swelling value keep decreasing until the stage at 10% with the value of 5,41%, and the Unconfined Compressive Strength value has the optimum stage at 6% with the  $qu$  value of 12,661 kg/cm<sup>2</sup>.

**Keywords:** Clayey Soil, Waste Aluminium, CBR Soaked, Swelling, UCS.

**PENDAHULUAN****A. Latar Belakang**

Tanah memiliki berbagai macam jenis, salah satunya adalah tanah lempung. Tanah lempung merupakan salah satu dari jenis-jenis tanah yang bermasalah, tanah ini memiliki sifat kembang susut yang sangat besar dan perilakunya sangat dipengaruhi oleh air. Kota Samarinda memiliki dua wilayah yang terbelah oleh Sungai Mahakam. Kota Samarinda sebagian besar memiliki kontur tanah berbutir

dan bergelombang dengan jenis tanah lempung, serta terletak diatas ketinggian antara 0-200 m di atas permukaan laut. Kondisi tanah seperti ini berpengaruh terhadap proses pembangunan penunjang kehidupan masyarakat Kota Samarinda, Kalimantan Timur.

Limbah berupa aluminium kaleng minuman sangat mudah ditemui di lingkungan sekitar. Riset terbaru mengungkapkan bahwa sebanyak 24% sampah di Indonesia masih tidak terkelola. Menurut *Sustainable Waste Indonesia*

(SWI), (2017) mengatakan bahwa data sampah di Indonesia sebanyak 65 juta ton sampah yang diproduksi tiap hari, sekitar 15 juta ton tidak ditangani, 7% sampah didaur ulang dan 69% sampah yang berakhir di Tempat Pembuangan Akhir (TPA).

Oleh karena itu, penelitian stabilisasi tanah lempung ini menggunakan bahan campuran aluminium dari kaleng bekas minuman, untuk meningkatkan stabilitas tanah dan untuk memanfaatkan limbah aluminium dari kaleng bekas minuman yang ada di Samarinda.

#### B. Batasan Masalah

1. tanah yang digunakan adalah tanah lempung klasifikasi AASTHTO A-7-5 di wilayah Bumi Sempaja City Kota Samarinda;
2. limbah aluminium yang digunakan adalah limbah aluminium yang berasal dari kaleng minuman 250ml yang berasal dari PT, Coca Cola Amatil Indonesia;
3. pengujian fisik tanah yang dilakukan adalah pengujian kadar air, berat jenis, batas-batas konsistensi (batas cair, dan batas plastis);
4. pengujian mekanis tanah yang dilakukan adalah pengujian CBR (California Bearing Ratio ) rendaman, Pengujian *Swelling*, dan Pengujian Kuat Tekan Bebas (Unconfined Compressive Test);
5. pembuatan dan perendaman sampel uji CBR dan uji *Swelling* dilakukan di laboratorium PT. Geosindo Utama. Sedangkan untuk pengujian sifat fisik tanah, pemadatan *modified*, CBR dan Kuat Tekan Bebas dilakukan di laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Samarinda.

#### C. Tujuan Penelitian

1. mengetahui pengaruh penambahan limbah aluminium dimensi 1cm x 1cm yang dilipat simetris terhadap nilai CBR Tanah Rendaman dan *Swelling* dengan variasi penambahan 2%, 4%, 6%, 8% dan 10%;
2. mengetahui pengaruh penambahan limbah aluminium dimensi 1cm x 1cm yang dilipat simetris terhadap nilai Kuat Tekan Bebas Tanah dengan variasi penambahan 2%, 4%, 6%, 8% dan 10%.

#### D. State Of The Art

Penelitian dilakukan oleh Canakci, et.all (2016) tentang stabilisasi tanah lempung menggunakan limbah kaleng minuman yang dipotong berukuran lebar 5mm dan panjang sesuai diameter kaleng, menunjukkan hasil pengujian bahwa penambahan limbah

aluminium dapat meningkatkan nilai CBR Tanah Rendaman (dari 2,7% dengan 0% aluminium menjadi 10,1% dengan 8% aluminium) dan paling optimum dipenambahan limbah aluminium dengan persentase sebanyak 6% terhadap berat tanah kering [1].

Penelitian dilakukan oleh Fadhilah (2019) meneliti tentang Pengaruh Penambahan Limbah Kaleng Minuman Terhadap Nilai California Bearing Ratio (Soaked) Pada Tanah Lempung Ekspansif, limbah kaleng dipotong sekecil mungkin dengan ukuran 1mm – 5mm, penelitian ini menunjukkan hasil bahwa nilai CBR Tanah lempung ekspansif yang awalnya 5,51% untuk penetrasi 0,1 dan 4,55% untuk penetrasi 0,2 menjadi 8,40% untuk penetrasi 0,1 dan 6,68% untuk penetrasi 0,2 dengan penambahan persentase limbah aluminium sebanyak 8% terhadap berat tanah kering [2].

Penelitian dilakukan oleh Karabash, et.all (2015) tentang perilaku tanah lempung ekspansif yang dicampur dengan limbah aluminium yang berbentuk spiral, menunjukkan hasil pengujian bahwa penambahan limbah aluminium dapat mempengaruhi bertambahnya nilai berat isi kering tanah, dengan penurunan nilai kadar air optimum tanah [3].

Penelitian dilakukan oleh Pandey dan Yadav (2020) tentang nilai kepadatan tanah dan CBR karakteristik pada tanah ekspansif yang distabilisasi dengan kapur dan limbah kaleng minuman yang dipotong dengan ukuran 5cm dengan aspek rasio 15:20, menunjukkan hasil pengujian bahwa penambahan limbah aluminium dapat meningkatkan nilai CBR tanah Rendaman dari 2,22% menjadi 11,28% dengan persentase penambahan limbah aluminium sebanyak 8% terhadap berat tanah kering dan kapur sebanyak 5% terhadap berat tanah kering [4].

Penelitian dilakukan oleh Rahmayanti, dkk (2019) tentang Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Menggunakan Limbah Aluminium Kaleng Minuman Bekas Terhadap Kuat Geser Tanah, limbah kaleng dipotong sekecil mungkin dengan ukuran 1mm – 5mm, penelitian ini menunjukkan hasil bahwa penambahan limbah aluminium dapat meningkatkan nilai kuat geser tanah dari 2,11 Kg/cm<sup>2</sup> menjadi 2,17 Kg/cm<sup>2</sup> [5].

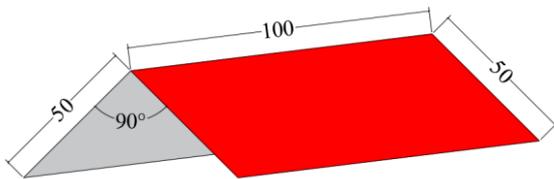
**METODOLOGI**

**A. Tempat Dan Waktu Penelitian**

Pembuatan dan perendaman sampel uji CBR dan uji *Swelling* dilakukan di laboratorium PT. Geosindo Utama. Sedangkan untuk pengujian sifat fisik tanah, pemadatan *modified*, CBR dan Kuat Tekan Bebas dilakukan di laboratorium Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Samarinda. Penelitian dilakukan selama 4 bulan pada bulan Mei 2021 sampai dengan Agustus 2021.

**B. Alat Dan Bahan Penelitian**

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah alat uji Fisik Tanah, alat uji CBR laboratorium, alat uji *Swelling*, dan alat uji kuat Tekan Bebas. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah tanah terganggu (*Disturbed Soil*) yang berasal dari wilayah Bumi Sempaja Kota Samarinda, dan limbah aluminium yang berasal dari kaleng bekas minuman 250 ml PT. Coca Cola Amatil Indonesia yang dipotong-potong berukuran 1cm x 1cm lalu dilipat simetris, seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi Permodelan Limbah Aluminium

**C. Pengujian Sifat Fisik Tanah**

Pengujian yang akan dilakukan untuk melihat sifat fisik tanah asli adalah Kadar Air (SNI 1965:2008), Berat Jenis (SNI 1964:2008), Analisa Saringan No.200 Cara Basah (SNI-3423:2008), Batas Plastis (SNI 1966:2008), dan Batas Cair (SNI 1967:2008).

**D. Pengujian Sifat Mekanis Tanah**

Pengujian yang akan dilakukan untuk melihat sifat mekanis tanah asli dan campuran limbah aluminium adalah Pemadatan *Modified* (SNI 1743-2008), CBR Laboratorium (SNI 1744:2012), *Swelling* (SNI 6424:2008), dan Kuat Tekan Bebas (SNI 3638:2012).

**E. Pembuatan Benda Uji**

Pembuatan benda uji CBR dibuat dengan cara mencampurkan tanah asli dengan limbah aluminium (sesuai dengan variasi yang ingin dibuat) yang telah dihitung kebutuhannya masing masing untuk mencapai kepadatan maksimum yang sama, lalu diberikan air hingga mencapai kadar air optimum. Setelah itu, campuran dipadatkan menggunakan penumbuk (berat 4,54 kg dan tinggi jatuh 457 mm) dengan 56x tumbukan perlayer sebanyak 5 layer.

Kemudian sampel CBR direndam selama 4 hari untuk dibaca nilai *Swelling*-nya

Pembuatan benda uji Kuat Tekan Bebas dibuat berdasarkan berat kering maximum hasil pengujian pemadatan *modified* dan kadar air optimum, yang disesuaikan dengan kadar air asli.

Perhitungan kebutuhan tanah asli dan bahan campur limbah aluminium pada sampel Uji CBR Soaked dan Kuat Tekan Bebas sebagai berikut :

- Mencari Bobot Isi Basah Tanah (***γb asli***)

$$\gamma_{dmax\ asli} = \frac{\gamma_{b\ asli}}{1+W_{opt\ asli}}$$

$$\gamma_{b\ asli} = \gamma_{dmax\ asli} \cdot (1 + W_{opt\ asli})$$

- Mencari Berat Bahan Campur Aluminium (***Waluminium***)

$$W_s = \gamma_{dmax\ asli} \cdot V_{mold}$$

$$Waluminium = W_s \cdot \% \text{ aluminium}$$

- Mencari Berat Tanah (***Wtanah***)

$$\gamma_{b\ asli} = \frac{W_{tanah} + Waluminium}{V_{mold}}$$

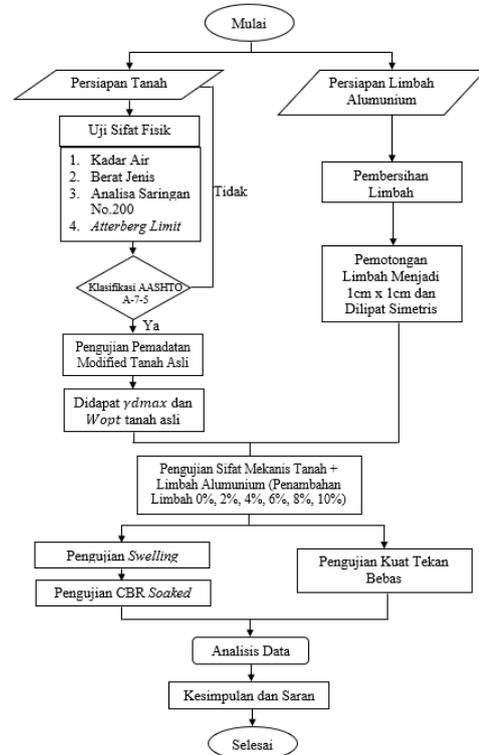
$$W_{tanah} = (\gamma_{b\ asli} \cdot V_{mold}) - Waluminium$$

- Mencari Penambahan Air

$$Penambahan\ Air = \frac{W_{opt\ asli} - W_{asli}}{1 + W_{asli}} \cdot (W_s)$$

**F. Diagram Alir Penelitian**

Alur pelaksanaan penelitian mengenai Perkuatan tanah Lempung Dengan Limbah Aluminium ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Pengujian Sifat Fisik Tanah**

Hasil Pengujian Soil properties merupakan pengujian karakteristik sifat fisik tanah yang diambil dari Jl. Bengkuring, Kabupaten Kota Samarinda. Hasil pengujian Soil properties dapat dilihat pada Tabel 1. dibawah ini :

Tabel 1. Hasil Pengujian Sifat Fisik Tanah

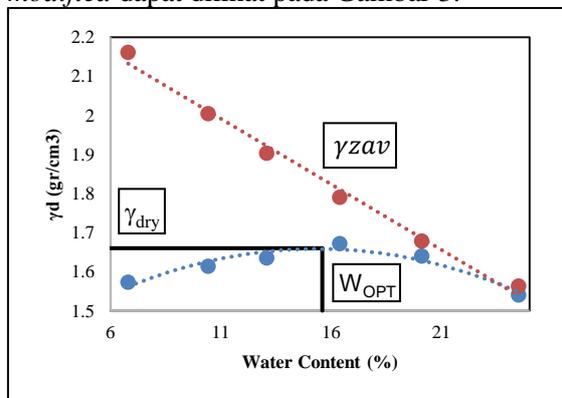
No.	Identifikasi Tanah	Hasil Pengujian
1	Spesific Gravity (Gs)	2,53
2	Batas Cair (LL)	50%
3	Batas Plastis (PL)	30,23%
4	Indeks Plastisitas (PI)	19,77%
5	Tanah Lolos Saringan 200 (<0,075 mm)	88,4%
6	Klasifikasi Menurut AASHTO	A-7-5
7	Kadar Air Optimum	15,6%

**B. Klasifikasi Tanah AASHTO**

Klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO menggunakan nilai analisa saringan, batas cair (LL), Plastic Limit (PL) dan indeks plastis (PI). Sampel tanah masuk kedalam tanah berbutir halus dimana sebesar 88,4% tanah lolos saringan No. 200. Nilai LL sebesar 50%, nilai PL sebesar 30,23%, dan nilai PI sebesar 19,77%. Dari plotting nilai LL, PL dan PI tersebut didapatkan klasifikasi sampel tanah berdasarkan klasifikasi AASHTO yaitu tergolong dalam klasifikasi A-7-5.

**C. Pengujian Pemadatan Modified**

Pada pengujian pemadatan modified pada tanah asli didapatkan nilai kadar air optimum (Wopt) sebesar 15,6% dan nilai berat kering maksimum ( $\gamma_d$  maks) sebesar 1,66 gr/cm<sup>3</sup>. Hasil pengujian pemadatan tanah modified dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Hubungan Antara Kadar Air dan Bobot Isi Kering Tanah

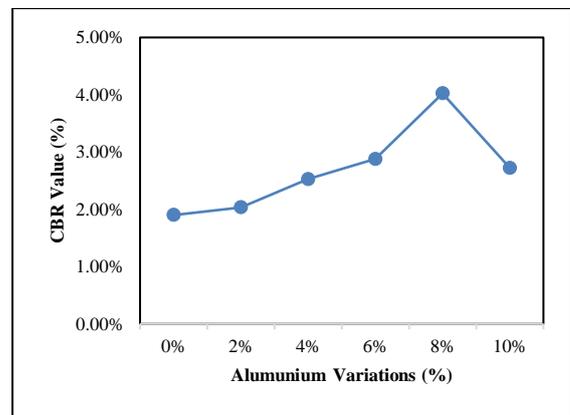
**D. Pengujian CBR Soaked**

Hasil Pengujian CBR Soaked pada tanah lempung dengan variasi Limbah

Alumunium 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% dengan 56x pukulan, dan setelah direndam selama 4 hari ditampilkan pada Tabel 2. dan Gambar 4.

Tabel 2. Hasil Pengujian CBR Soaked

Variasi	Nilai CBR			Persentase Kenaikan Terhadap Nilai CBR Tanah Asli
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata	
La0%	1,65%	2,15%	1,90%	0%
La2%	2,07%	2,00%	2,04%	7,12%
LA4%	2,48%	2,58%	2,53%	32,97%
LA6%	2,81%	2,95%	2,88%	51,40%
LA8%	3,94%	4,10%	4,02%	111,67%
LA10%	2,73%	2,71%	2,72%	43,22%



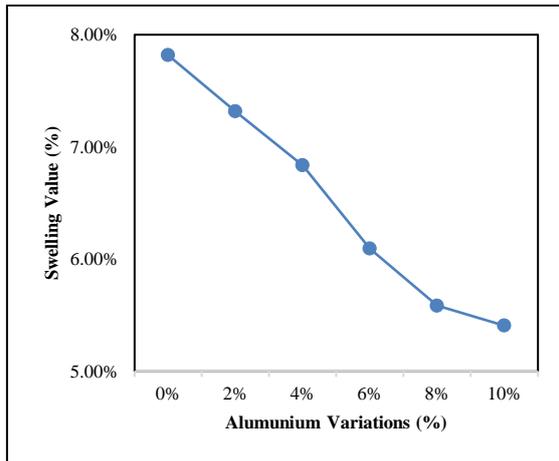
Gambar 4. Grafik Hasil Pengujian CBR Soaked

**E. Pengujian Swelling (Berdasarkan Pengujian CBR Soaked)**

Hasil Pengujian Sweling pada tanah lempung dengan variasi Limbah Alumunium 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% setelah direndam selama 4 hari ditampilkan pada Tabel 3. dan Gambar 5.

Tabel 3. Hasil Pengujian Swelling

Variasi	Nilai Swelling			Range Penurunan Terhadap Nilai Swelling Tanah Asli
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata	
La0%	7,83%	7,81%	7,82%	0%
La2%	7,54%	7,10%	7,32%	-6,40%
LA4%	6,86%	6,81%	6,84%	-12,56%
LA6%	6,08%	6,11%	6,09%	-22,05%
LA8%	5,53%	5,64%	5,59%	-28,55%
LA10%	5,28%	5,53%	5,41%	-30,82%



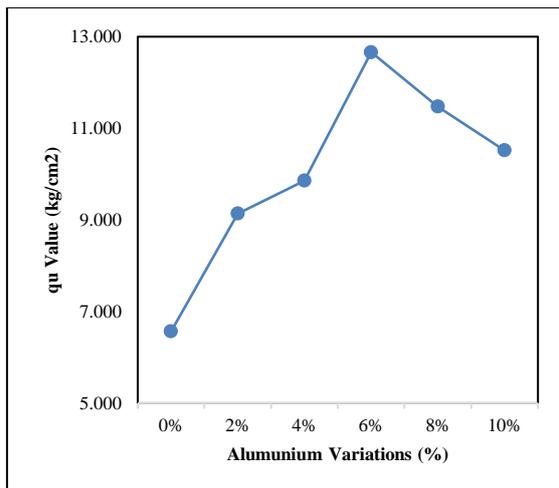
Gambar 5. Grafik Hasil Pengujian Swelling

#### F. Kuat Tekan Bebas

Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas pada tanah lempung dengan variasi Limbah Alumunium 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% yang di-remoulded, ditampilkan pada Tabel 4. dan Gambar 6.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas

Variasi	Nilai qu			Persentase Kenaikan Terhadap Nilai qu Tanah Asli
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata	
La0%	6,045	7,087	6,566	0%
La2%	8,975	9,305	9,140	39,20%
LA4%	9,297	10,417	9,857	50,12%
LA6%	13,096	12,226	12,661	92,83%
LA8%	11,996	10,946	11,471	74,71%
LA10%	10,800	10,237	10,518	60,20%



Gambar 6. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas

#### G. Pembahasan Hasil Pengujian

Pada pengujian CBR Soaked didapat nilai CBR tanah mengalami kenaikan pada variasi campuran limbah alumunium 8% namun turun di variasi campuran limbah alumunium

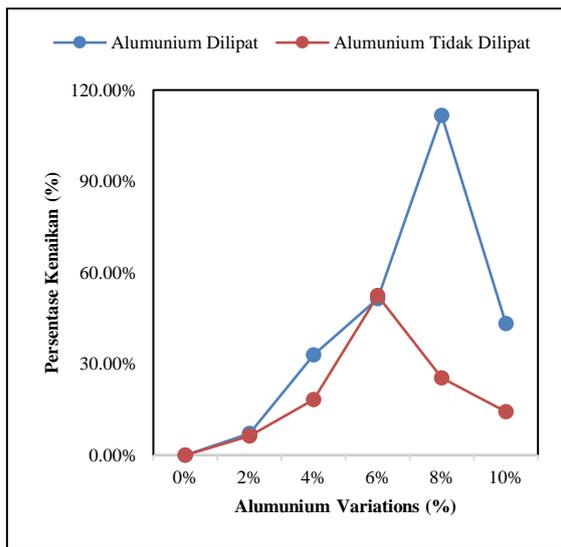
10%. Hal ini dikarenakan limbah alumunium mengisi rongga-rongga tanah yang kosong, sehingga kepadatan tanah semakin meningkat. Fungsi dari limbah alumunium disini hanya sebagai pengisi rongga tanah, tidak sebagai pencampur dengan tanah, jadi tidak berarti semakin banyak limbah alumuniumnya, maka semakin tinggi pula nilai daya dukung tanahnya.

Pada pengujian *Swelling* yang dilakukan pada sampel CBR yang direndam selama 4 hari dan dibaca tiap 24 jam, didapatkan nilai *Swelling* yang terus menurun dari tanah asli yang sebesar 7,82% menjadi 5,41% pada campuran Limbah Alumunium 10%. Hal ini disebabkan oleh sifat alumunium yang tidak menyerap air dan juga tidak mengalami pengembangan, jadi semakin banyaknya substitusi tanah dengan Limbah Alumunium, maka tanah yang mengembangpun menjadi semakin sedikit karena tergantung oleh limbah alumunium. Pengembangan pada tanah dapat pula terhambat atau tertahan oleh limbah alumunium yang menyebabkan pengembangan semakin mengecil.

Pada pengujian kuat tekan bebas didapat nilai qu dan Cu mengalami kenaikan pada variasi campuran limbah alumunium 6% namun turun di variasi campuran limbah alumunium 8% dan 10%. Penurunan ini dikarenakan pada proses pemadatan tanah kedalam cetakan kuat tekan bebas, tanah tidak menempel secara sempurna per lapisannya yang menyebabkan tanah menjadi rapuh terkena beban secara vertikal. Hal ini dikarenakan tidak adanya reaksi antara limbah alumunium dengan tanah lempung. Sehingga mengakibatkan tidak menempelnya permukaan satu dengan yang lainnya.

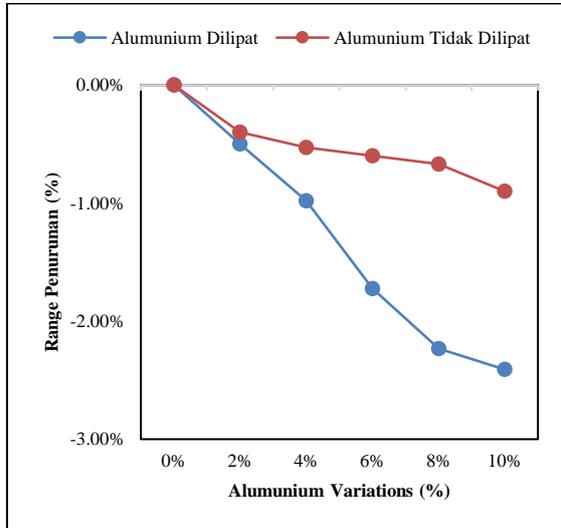
#### H. Perbandingan Alumunium Dilipat dan Tidak Dilipat

Dari data Fadhillah (2018) mengenai nilai CBR tanah dengan campuran variasi alumunium 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% yang tidak dilipat, didapat perbandingan persentase kenaikan nilai CBR terhadap nilai CBR tanah asli antara tanah yang dicampur dengan limbah alumunium yang dilipat dan tidak dilipat yang dapat dilihat pada Gambar 7.



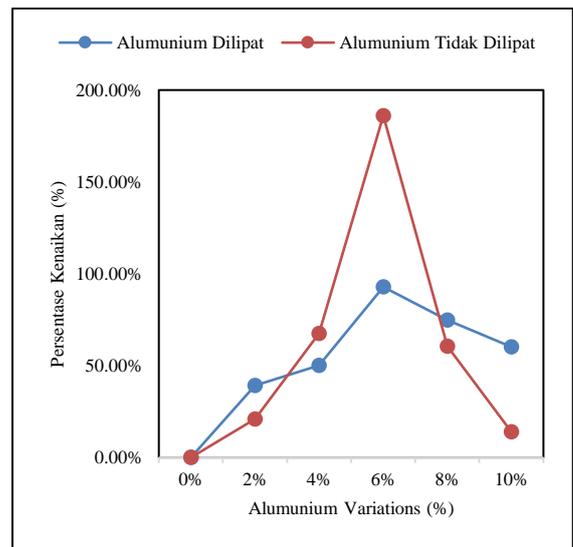
Gambar 7. Grafik Perbandingan Nilai CBR Soaked Tanah dicampur Alumunium Dilipat dan Tidak Dilipat

Dari data Fadhillah (2018) mengenai nilai Swelling tanah dengan campuran variasi alumunium 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% yang tidak dilipat, didapat perbandingan range penurunan nilai Swelling terhadap nilai Swelling tanah asli antara tanah yang dicampur dengan limbah alumunium yang dilipat dan tidak dilipat yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Perbandingan Nilai Swelling Tanah dicampur Alumunium Dilipat dan Tidak Dilipat

Dari data Rahmayanti (2018) mengenai nilai qu tanah dengan campuran variasi alumunium 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% yang tidak dilipat, didapat perbandingan persentase kenaikan nilai qu terhadap nilai qu tanah asli antara tanah yang dicampur dengan limbah alumunium yang dilipat dan tidak dilipat yang dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Perbandingan Nilai qu Tanah dicampur Alumunium Dilipat dan Tidak Dilipat

Dengan adanya lipatan pada limbah tersebut akan meningkatkan nilai momen inersia pada bahan tersebut. Momen Inersia ( $I$ ) pada bahan yaitu  $I = \frac{1}{12} b \cdot h^3$ , dengan  $b$  merupakan lebar bahan dan  $h$  merupakan tebal bahan.

### KESIMPULAN

Dengan penambahan limbah alumunium, terjadi peningkatan pada nilai CBR Soaked, dengan nilai CBR Optimum didapatkan pada penambahan variasi 8% alumunium dengan nilai CBR Soaked sebesar 4,02%, dan mengalami penurunan pada variasi 10%. Terjadi peningkatan nilai CBR sebesar 111,67% dari nilai CBR tanah asli yaitu 1,90%. Dengan penambahan limbah alumunium, terjadi penurunan pada nilai Swelling, dari 7,12% terus menurun menjadi 5,41% pada variasi campuran 10%.

Dengan penambahan limbah alumunium, terjadi peningkatan pada nilai qu dan cu, dengan nilai optimum pada variasi 6% dengan nilai qu sebesar 12,846 kg/cm<sup>2</sup> dan nilai perkiraan Cu sebesar 6,423 kg/cm<sup>2</sup> dan terjadi penurunan pada variasi 8% dan 10%. Nilai ini menunjukkan peningkatan sebesar 95,64% dari nilai qu dan perkiraan Cu Tanah Asli yaitu 6,566 kg/cm<sup>2</sup> dan 3,283 kg/cm<sup>2</sup>.

### SARAN

Saran untuk penelitian lebih lanjut, penulis menyarankan agar meneliti nilai CBR Unsoaked, Geser Langsung dengan variasi yang sama yaitu 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10%. Dapat

juga dilakukan penelitian Alumunium *Properties* untuk mengetahui sifat fisik dari alumunium yang digunakan.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada PT. Geosindo Utama beserta karyawannya, dan Tim Laboratorium Teknik Sipil, Politeknik Negeri Samarinda yang telah memfasilitasi dalam melakukan penelitian. Dan juga kepada Tim Penelitian Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Samarinda.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Canakci, F. Celik, M. O. A. Bizne, and M. O. A. Bizne, "Stabilization of Clay with Using Waste Beverage Can," *Procedia Eng.*, vol. 161, pp. 595–599, 2016, doi: 10.1016/j.proeng.2016.08.70.
- [2] R. Fadhillah, "Pengaruh Penambahan Limbah Kaleng Minuman Terhadap Nilai California Bearing Ratio (Soaked) Pada Tanah Lempung Ekspansif," 2019.
- [3] Z. Karabash, A. F. Çabalar, and N. Akbulut, "The Behavior of Clayey Soil Reinforced With Waste Aluminium Pieces," *Procedia Earth Planet. Sci.*, vol. 15, pp. 353–358, 2015, doi: 10.1016/j.proeps.2015.08.088.
- [4] A. Pandey and R. K. Yadav, "Compaction and CBR Characteristics of Expansive Soil Stabilized with Lime and Waste Beverage Can," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 8, no. 6, pp. 925–929, 2020, doi: 10.22214/ijraset.2020.6149.
- [5] A. Rahmayanti, "Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Menggunakan Limbah Alumunium Kaleng Minuman Terhadap Kuat Geser Tanah," vol. 10, no. Ll, pp. 39–44, 2009.