

## Studi Kuat Geser Tanah Timbunan Yang Dipadatkan Dengan Cara Kompaksi Statik dan Kompaksi Dinamik Pada Tanah Vulkanik

Supardi Tri Susanto<sup>1,\*</sup>, Paulus P. Rahardjo<sup>1</sup>, Rinda Karlinasari<sup>2</sup>

Magister Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan, Bandung<sup>1</sup>, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang<sup>2</sup>

Koresponden\*, Email: [Suparditrisusanto@gmail.com](mailto:Suparditrisusanto@gmail.com)

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	14 Maret 2024	<i>Compaction is essential in achieving the desired density of fill materials in accordance with technical specifications. There are existing differences in the compaction methods employed in the field and at laboratory testing, with in field using rolling compaction, while the laboratory employs pounding compaction. The objective of this study is to compare static and dynamic laboratory compaction methods and their effects on shear strength. Research methods in the research, samples that have been compacted dynamic and static are molded for shear strength testing. Shear strength testing is conducted using the Triaxial Unconsolidated Undrained (Tx-UU) approach. The research findings show that in laboratory compaction of ML samples, there is a dry unit weight difference of 2,90%, and for MH samples, a dry unit weight difference of 3,42% is observed when switching from dynamic compaction to static compaction. Additionally, the shear strength values for ML and MH samples increase by 1,37% and 13,63%, respectively, when switching from dynamic to static compaction. These results demonstrate that compaction energy and shear strength are positively correlated.</i>
Diperbaiki	20 Mei 2024	
Disetujui	21 Mei 2024	

Keywords: compaction, shear strength, triaxial uu, samples.

Kata kunci: kompaksi, kuat geser, triaxial uu, sampel

### Abstrak

Kompaksi diperlukan untuk mendapatkan material tanah timbunan yang memiliki kepadatan sesuai dengan spesifikasi teknis. Uji kompaksi di lapangan dan di laboratorium terdapat perbedaan dari sistem pemadatannya, sistem pemadatan di lapangan menggilas dan di laboratorium menumbuk. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa pemadatan di laboratorium dengan statik dan dinamik serta hubungan terhadap kuat geser. Metode Penelitian dalam penelitian ini sampel yang sudah dipadatkan secara dinamik dan statik dicetak untuk dilakukan pengujian kuat geser. Pengujian kuat geser dengan menggunakan *Triaxial Unconsolidated Undrained (Tx-UU)*. Hasil penelitian kompaksi di laboratorium pada sampel ML menunjukkan adanya perbedaan berat isi kering sebesar 2,90 % dan sampel MH adanya perbedaan berat isi kering sebesar 3,42 % dari kompaksi dinamik ke kompaksi statik. Nilai kuat geser sampel ML terjadi perbedaan sebesar 10,62 % dan sampel MH nilai kuat geser terjadi perbedaan 14,21 % dari kompaksi dinamik ke kompaksi statik. Hasil tersebut menunjukkan semakin besar energi kompaksi maka nilai kuat geser semakin meningkat.

### 1. Pendahuluan

Dalam menunjang perekonomian dan memudahkan Masyarakat di Indonesia dalam mobilisasi, maka diperlukan Pembangunan infrastruktur yang mumpuni. Pembangunan jalan sering kali menggunakan material tanah timbunan vulkanik. Tanah vulkanik ini terbentuk langsung akibat letusan gunung api dan pelapukan kimiawi [1]. Pelapukan ini dapat merubah mineral yang terkandung di dalam batuan menjadi mineral lain yang berbeda sifatnya.

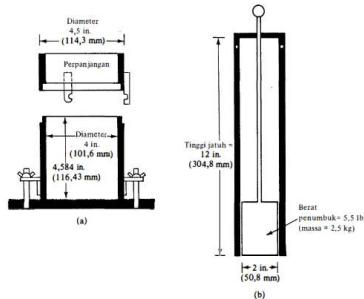
Kompaksi diperlukan untuk mendapatkan material tanah timbunan yang memiliki kepadatan sesuai spesifikasi teknis. Uji kompaksi di lapangan dan di laboratorium secara teknis dilakukan dengan metode berbeda, dimana pemadatan di lapangan dengan menggilas dan di laboratorium dengan menumbuk, sehingga energi yang dihadapi di lapangan dan

di laboratorium tidak sama. Pemadatan di laboratorium dengan menumbuk pada kompaksi *standard proctor* sering kali digunakan untuk kontrol kompaksi di lapangan, sehingga pemadatan dengan cara menggilas/menekan di laboratorium diperlukan untuk kontrol di lapangan.

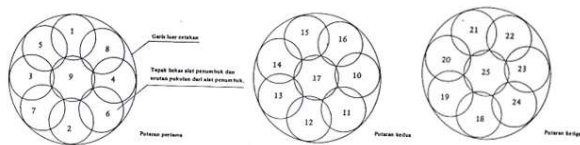
Pengujian kompaksi statik di laboratorium sudah dimulai dari pengujian O.J. Porter pada tahun 1935 dimana metode kompaksi statik dilakukan dengan membagi tiga lapisan dengan tekanan 140,6 kg/cm<sup>2</sup> per lapisan [2]. Rahardjo & Njo Melakukan pengujian kompaksi statik dan kompaksi dinamik dengan variasi beban statik akan mempengaruhi nilai berat isi kering pada tanah [3]. Hafez et al Melakukan pengujian kompaksi statik dengan alat *static packing pressure test* untuk proses pemadatan dengan menggunakan mold statik baru pada energi tertentu [4]. Talukdar & Sharma

Mendapatkan nilai ekuivalen tekanan kompaksi statik terhadap *standard proctor* sebesar  $820 \text{ kN/m}^2$  [5]. Nugraha melakukan pengujian kompaksi statik di lapangan dengan variasi jumlah gilasan berbeda dan pengujian kompaksi metode statik di laboratorium dengan alat kuat tekan *California Bearing Ratio* (CBR) dilakukan dengan satu kali penekanan [6]. Febriana et al melakukan pengujian kompaksi pada tanah lempung untuk mendapatkan pengaruh energi terhadap kuat geser tanah [7]. Karim et al dalam pengujiannya kuat geser dipengaruhi oleh besarnya nilai kepadatan tanah dimana semakin besar nilai kepadatannya maka semakin besar kuat gesernya [8]. Anggraini et al melakukan pengujian kuat geser pada tanah timbunan dari sampel kompaksi dinamik untuk mengetahui akibat perubahan kadar air terhadap kuat gesernya [9]. Prabowo Melakukan pengujian kompaksi statik di laboratorium dengan 8 kali penekanan dengan alat kuat tekan CBR untuk mendapatkan nilai kepadatan tanah [10].

Mekanisme pengujian pemadatan secara dinamik di laboratorium di lakukan dengan cara di tumbuk sebanyak 25 kali di setiap lapisan tanah dengan mengikuti pola pemadatan *standard proctor* [11].



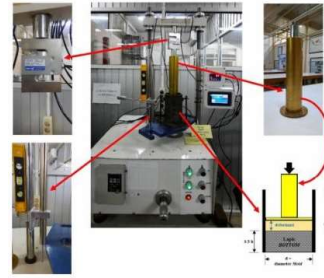
**Gambar 1.** Alat Uji Standard Proctor: (a) Cetakan, (b) Penumbuk [11]



**Gambar 2.** Pola Tumbukan Uji Standard Proctor untuk satu lapisan [12]

Pada pengujian pemadatan secara statik di laboratorium di lakukan dengan cara menekan di setiap lapisan tanah dalam satu mold.

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan pemadatan secara statik dan dinamik di laboratorium pada tanah vulkanik serta perilaku pemadatan statik dan dinamik terhadap kuat geser (*shear strength*) pada material tanah timbunan vulkanik.



**Gambar 3.** Skema Alat Uji Kompaksi Statik [6]

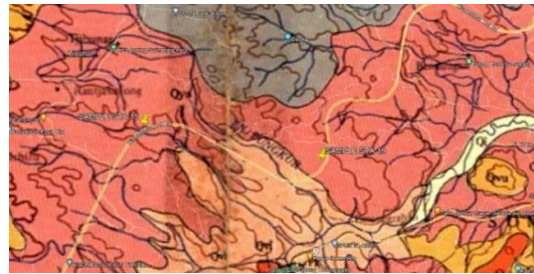
## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada dua lokasi tanah vulkanik yang diambil dari daerah Mulyasari, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat [13].



**Gambar 4.** Lokasi Pengambilan Sampel [13]

Sampel tanah ini berdasarkan peta geologinya masuk dalam katagori formasi gunung api muda tak teruraikan (Qyu) [14].



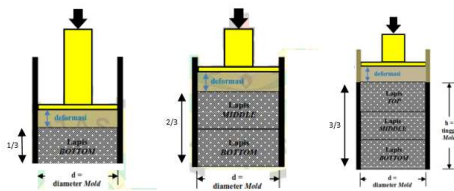
**Gambar 5.** Peta Geologi Lokasi Pengambilan Sampel [14]

Pengujian awal indeks properties tanah dilakukan untuk mengetahui sifat fisik mekanis pada sampel sebelum dilakukan pengujian lanjutan. Pengujian dilanjutkan dengan kompaksi *standard proctor* dimana pengujian ini dilakukan dengan variasi kadar air dari beberapa sampel pengujian hingga terbentuk kurva hubungan antara kadar air dengan berat isi kering maksimum [15]. Pengujian kompaksi statik dilakukan dengan alat kuat tekan *California Bearing Ratio* (CBR) dan dengan menggunakan *mold standard proctor* dimana sampel sebelum dilakukan penekanan terlebih dahulu divariasikan kadar airnya dari kondisi kering hingga kondisi basah. Pada pengujian kompaksi statik ini jumlah penekanan

yang diberikan pada alat kuat tekan sebanyak 8 kali disetiap lapisan tanah dalam mold. Jumlah isian dalam mold kompaksi ini disesuaikan dengan prosedur kompaksi standar proctor.



**Gambar 6.** Skema Alat Uji Kompaksi Statik Dengan Alat Kuat Tekan CBR



**Gambar 7.** Set-Up Proses Lapisan Uji Kompaksi Statik [6]

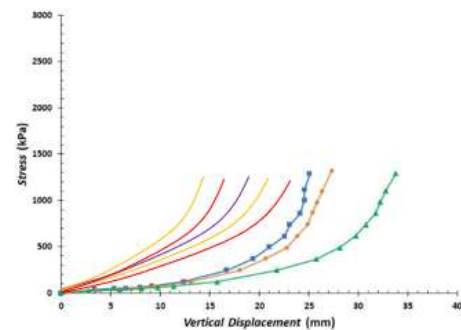
Pengujian yang dilakukan oleh Rahardjo & Njo memperoleh nilai berat isi kering maksimum kompaksi statik beban 1 ton mendekati berat isi kering *standard proctor*. Beban 1 ton ini sebanding dengan alat pemadatan *Smooth Wheel Rolle* [3]. (Nugraha) pada trial pemadatan dilapangan beban 1 ton sebanding dengan alat *Smooth Drum Roller* [6]. Berdasarkan sumber tersebut Penekanan pada kompaksi statik ini diberikan beban sebesar 1 ton dengan jumlah penekanan sebanyak 8 kali.

Metode pengujian kompaksi secara statik dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menyiapkan sampel tanah dengan berat sampel  $\pm 2,0$  kg/sampel sebanyak 5 sampel.
2. Memvariasi kadar air pada sampel dari kondisi kering hingga kondisi basah.
3. Saat sampel sudah tercampur dalam kondisi homogen, dilanjutkan dengan membagi menjadi 3 bagian untuk isian dalam mold standard proctor yang kemudian setiap isian beratnya ditimbang sebelum menuangkan kedalam mold dan dicatat tebalnya dengan jangka sorong.
4. Pasang Mold yang sudah diisi tanah ke alat kuat tekan (CBR) dan dicatat besarnya penurunan (Penurunan tanah akibat alat)

5. Penekanan pertama dimulai dengan beban 1 ton, setelah mencapai 1 ton maka penekanan pada alat CBR di lepas yang kemudian dicatat besarnya penurunan.
6. Penekanan dilanjutkan dengan 8 kali lintasan/penekanan sebesar 1 ton di setiap tekanan dan dicatat besarnya penurunannya.
7. Proses pengujian di lakukan berulang sebanyak 5 kali dengan kondisi dari sampel kering hingga kondisi basah hingga terbentuk grafik kurva kompaksi.
8. Sampel pada kondisi optimum selanjutnya diambil untuk pengujian Triaxial UU

Hasil penekanan pada pengujian kompaksi statik dengan alat kuat tekan akan menghasilkan grafik hubungan *vertical displacement – stress* pada setiap penekanan.



**Gambar 8.** Kurva *Vertical displacement – Stress*

Dalam menghitung besarnya tegangan dan energi pada kompaksi statik maka digunakan rumus persamaan (1 dan 2) [6]:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Dimana:

- $\sigma$  : Stress  
 $F$  : Force/beban  
 $A$  : Luas mold

Energi pada kompaksi statik dapat dihitung dengan persamaan (2)

$$E = \sum \frac{F \cdot d}{v} \quad (2)$$

Dimana:

- $E$  : Energi Kompaksi ( $\text{kN} \cdot \text{m} / \text{m}^3$ )  
 $F$  : Force/beban  
 $d$  : Deformasi  
 $v$  : Volume tanah terkompaksi

Hasil yang didapatkan dari uji kompaksi statik dan dinamik terhadap hubungan kadar air dan berat isi kering dalam kondisi optimum. Dari hasil kondisi tersebut

selanjutnya dilakukan kompaksi kembali untuk mencetak sampel pengujian *Triaxial Unconsolidated Undrained*.

Pengujian triaksial UU ini digunakan untuk mengetahui perilaku kuat geser tanah pada sampel kompaksi statik dan kompaksi dinamik.

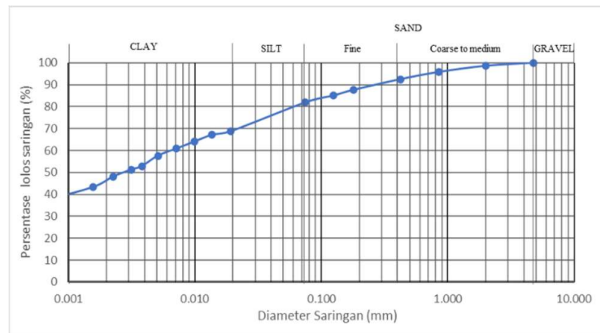
**3. Hasil dan Pembahasan**

Pengujian pendahulu seperti *indeks properties*, uji *batas Atterberg*, dan distribusi ukuran butir pada sampel digunakan untuk mengetahui karakteristik tanah pada sampel dengan hasil sebagaimana disajikan pada **Tabel 1**.

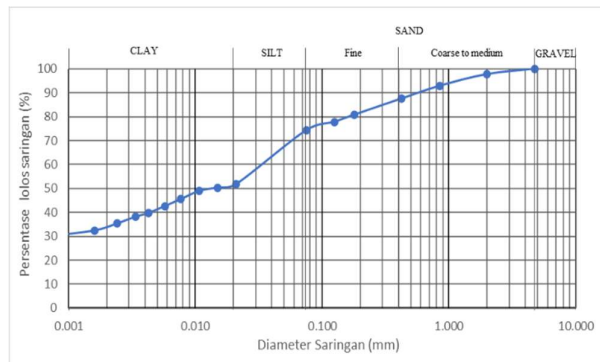
**Tabel 1.** Hasil *Indeks Properties*

Lokasi	W <sub>n</sub> (%)	G <sub>s</sub> (%)	γ <sub>wet</sub> (%)	γ <sub>dry</sub> (%)	e
15	38,0	2,8	1,8	1,3	1,14
19	51,8	2,7	1,7	1,1	1,48

Sedangkan hasil distribusi ukuran butir ditunjukkan pada **Gambar 9** dan **Gambar 10**.



**Gambar 9.** Distribusi Ukuran Butir 15



**Gambar 10.** Distribusi Ukuran Butir 19

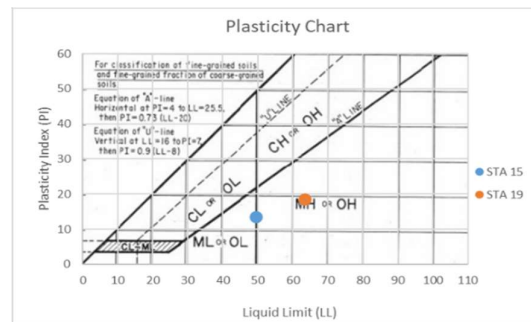
Resume hasil distribusi ukuran butir berdasarkan kurva **Gambar 9** dan **Gambar 10** dapat dilihat pada **Tabel 2**.

**Tabel 2.** Hasil Distribusi Ukuran Butir

Lokasi	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Gravel (%)
15	63,50	18,43	18,06	0,00
19	52,24	22,11	25,66	0,00

Dari hasil distribusi ukuran butir pada **Tabel 2** didapatkan sampel penelitian ini ukuran butir lebih didominasi pada butiran halus dengan fraksi berukuran clay 63,50 % sampel 15 sedangkan Sampel 19 fraksi berukuran clay 52,24 %.

Sedangkan hasil *batas-batas atterberg* ditunjukkan pada **Gambar 11**:



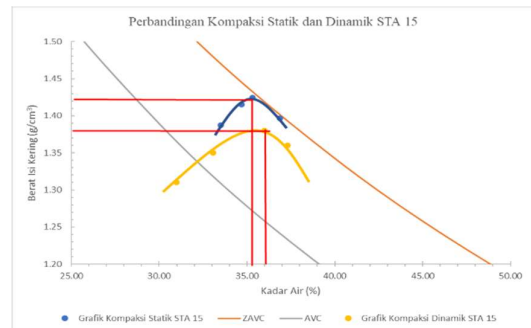
**Gambar 11.** Plasticity Chart

Dari hasil **Gambar 11** maka pada sampel 15 masuk dalam katagori ML (lanau dengan plastisitas rendah) dan sampel 19 masuk dalam katagori MH (lanau dengan plastisitas tinggi).

**Tabel 3.** Hasil *Batas-Batas Atterberg*

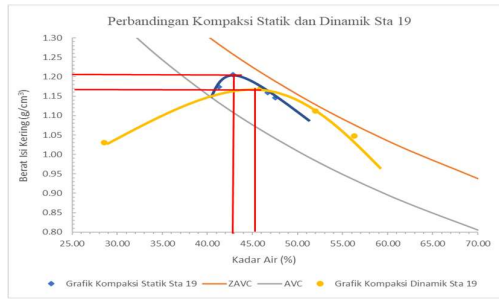
Lokasi	W <sub>L</sub> (%)	W <sub>p</sub> (%)	IP (%)	W <sub>n</sub> (%)	Plasticity Chart
15	49,5	35,9	13,6	38,0	ML
19	63,4	44,9	18,5	51,8	MH

Berikut hasil pengujian kompaksi di laboratorium baik secara kompaksi statik dan kompaksi dinamik dapat ditunjukkan pada **Gambar 12** dan **Gambar 13**:



**Gambar 12.** Hasil Pengujian Kompaksi Sampel ML



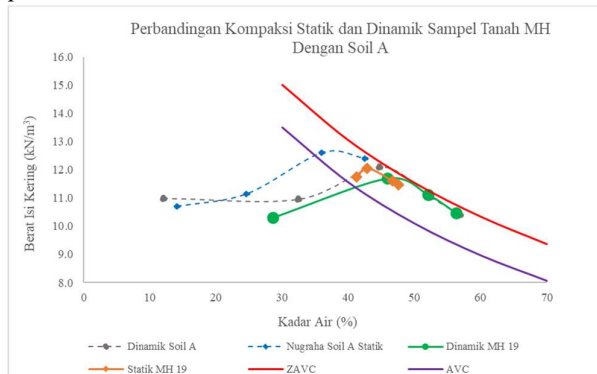


Gambar 13. Hasil Pengujian Kompaksi Sampel MH

Pada Gambar 12 dan Gambar 13 menunjukkan bahwa hubungan kadar air terhadap berat isi kering antara kompaksi statik dan kompaksi dinamik. Berat isi kering pada kompaksi statik lebih besar dibandingkan dengan berat isi kering kompaksi dinamik. Sampel tanah vulkanik ML berat isi kering meningkat dari 1,38 g/cm<sup>3</sup> menjadi 1,42 g/cm<sup>3</sup>, sedangkan sampel tanah vulkanik MH berat isi kering meningkat dari 1,17 g/cm<sup>3</sup> menjadi 1,21 g/cm<sup>3</sup>. Peningkatan berat isi kering pada sampel tanah vulkanik ML sebesar 2,90 % sedangkan pada sampel tanah vulkanik MH sebesar 3,42 %.

Pada Tanah ML berat isi kering lebih besar dibandingkan dengan Tanah MH, hal ini dikarenakan perbedaan kadar air optimum tanah ML lebih kecil dibandingkan tanah MH. Adapun perbedaan berat isi kering ini dikarenakan perbedaan energi yang dihasilkan dimana pada pengujian kompaksi statik energinya lebih besar dibandingkan dengan kompaksi dinamik. Perbedaan energi kompaksi statik yang dihasilkan antara tanah ML dengan tanah MH dipengaruhi nilai void ratio yang dihasilkan, pada tanah ML nilai void ratio kecil dibandingkan tanah MH.

Berikut adalah perbedaan berat isi kering dan kadar air optimum antara penelitian yang dilakukan dengan penelitian pendahulu berdasarkan jenis tanah MH dapat ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Perbandingan Kadar Air – Berat Isi Kering Pada Kompaksi Statik dan Dinamik Soil A dengan Tanah MH

Hasil perhitungan energi kompaksi statik dan kompaksi dinamik ditunjukkan pada Tabel 4:

Tabel 4. Hasil Uji Kompaksi

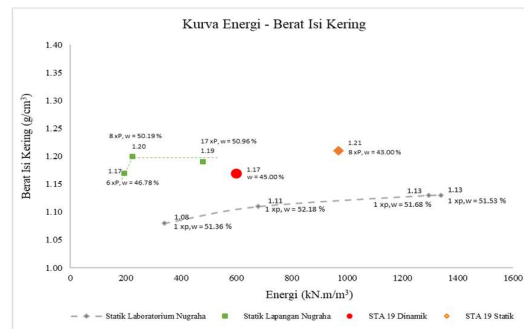
STA	Energi kN.m/m <sup>3</sup>	Berat Isi Kering Maksimum		USCS
		Dinamik g/cm <sup>3</sup>	Statik g/cm <sup>3</sup>	
15	600,00	1,38		ML
	623,58		1,42	
19	600,00	1,17		MH
	971,12		1,21	

Dengan menggunakan data sekunder pengujian pendahulu [6] dan membandingkan terhadap pengujian yang sedang dilakukan berdasarkan kesamaan sifat mekanis tanahnya dapat ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Sifat Fisik Mekanis Tanah

Lokasi	Gs	Grain Size Analysis				Atterberg Limits			USCS
		Clay %	Silt %	Sand %	Gravel %	W <sub>L</sub> %	W <sub>P</sub> %	IP %	
Soil - A	2,5	57,0	26,0	17,0	0,0	63,2	50,6	12,7	MH
MH	2,7	52,2	22,1	25,7	0,0	63,4	44,9	18,5	MH

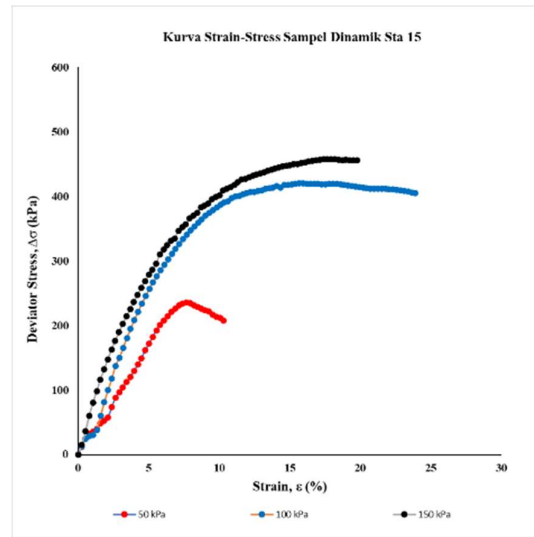
Dengan hasil perbandingan Tabel 5 maka sampel MH sifat mekanisnya sama dengan sampel Soil-A.



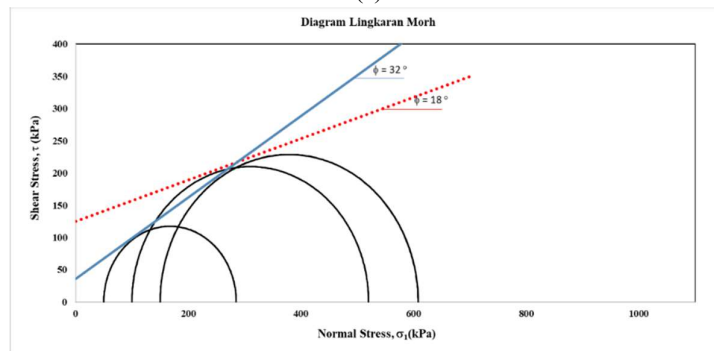
Gambar 15. Hubungan Energi-Berat Isi Kering Sampel MH

Pada Gambar 15 dapat dilihat berat isi kering pada kompaksi statik di laboratorium dengan 8 kali penekanan sebesar 1,21 g/cm<sup>3</sup> dan kompaksi di lapangan dengan 8 kali gilasan sebesar 1,20 g/cm<sup>3</sup>. Dengan hasil tersebut maka metode penekanan 8 kali di laboratorium sama dengan 8 kali gilasan di lapangan.

Berikut hasil pengujian kuat geser tanah dengan pengujian *Triaxial Unconsolidated Undrained* sebagai contoh pada sampel tanah vulkanik ML dapat dilihat pada Gambar 16 dan Gambar 17.

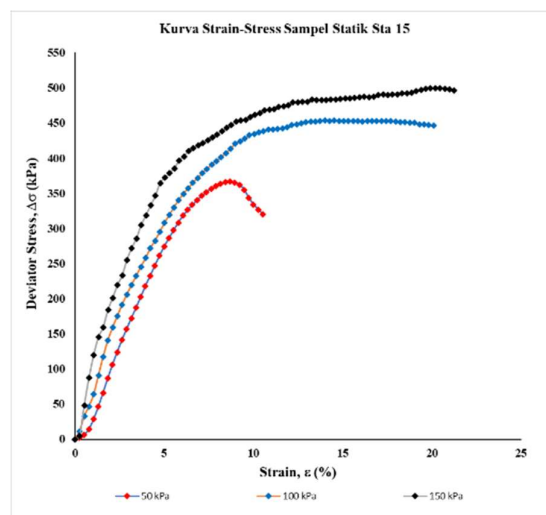


(a)

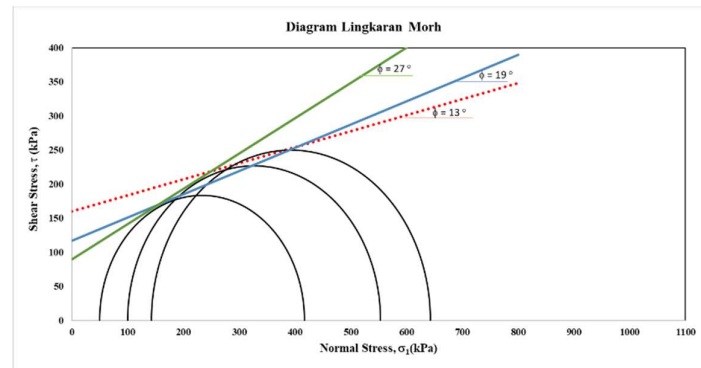


(b)

**Gambar 16.** Hasil Triaxial UU (a) Grafik Hubungan Tegangan-Regangan dan (b) Diagram Mohr Kompaksi Dinamik Sampel ML



(a)



(b)

**Gambar 17.** Hasil Triaxial UU (a) Grafik Hubungan Tegangan-Regangan dan (b) Diagram Mohr Kompaksi Statik Sampel ML

Dari **Gambar 16** dan **Gambar 17** menunjukkan bahwa terjadi perilaku yang berbeda pada sampel dengan statik dan dinamik.

Hasil pengujian kuat geser dari sampel kompaksi dinamik dan kompaksi statik ditunjukkan pada **Tabel 6**.

**Tabel 6.** Hasil Pengujian Triaxial UU

Kompaksi	Sampel	c (kPa)	$\phi$ (°)	$\tau$ kPa	Water content %
Dinamik	ML	125,0	18	179,9	34,4
Statik	ML	160,0	13	199,0	32,5
Dinamik	MH	78,0	19	137,2	44,2
Statik	MH	120,0	12	156,7	43,1

Hasil pengujian triaxial UU menunjukkan bahwa perilaku kuat geser dengan kompaksi statik nilai kuat gesernya lebih besar dibandingkan dengan kompaksi dinamik. Kuat geser sampel ML terjadi peningkatan pada kompaksi dinamik terhadap kompaksi statik sebesar 10,62 %, sedangkan pada sampel MH terjadi peningkatan kuat geser sebesar 14,21% dari kompaksi dinamik terhadap kompaksi statik. Hal ini dikarenakan perbedaan energi yang dihasilkan pada kompaksi Statik dan perbedaan kadar air pada sampel tanah.

Hasil pengujian kuat geser yang didapatkan Nugraha antara kompaksi dinamik dengan kompaksi statik terjadi peningkatan sebesar 5,75 % [6].

Berikut hasil kuat geser sampel MH dan sampel Soil A penelitian pendahulu dengan penelitian yang dilakukan ditunjukkan pada **Tabel 7**.

**Tabel 7.** Hasil Kuat Geser Sampel MH dan Soil A Penelitian Pendahulu

Kompaksi	Sampel	c kPa	$\phi$ (°)	$\tau$ kPa	Peningkatan Kuat Geser %
Dinamik	MH	78	19,0	137,2	14,21
Statik	MH	120	12,0	156,7	

Dinamik	Soil A MH	35	44,4	51,6	5,76
Statik	Soil A MH	40	40,7	54,6	

Dari hasil nilai kuat geser pada **Tabel 7** menunjukkan bahwa pada penelitian yang dilakukan sampel MH dengan TX-UU terjadi peningkatan 14,21% sedangkan pada penelitian pendahulu dengan pengujian TX-CU terjadi peningkatan sebesar 5,76 %.

#### 4. Simpulan

Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa pengujian kompaksi di laboratorium dengan cara statik terjadi peningkatan berat isi kering maksimum dibandingkan dengan kompaksi dinamik pada kedua sampel tanah vulkanik ML dan MH. Sampel tanah vulkanik ML terjadi peningkatan berat isi kering sebesar 2,90 % dari 1,38 g/cm<sup>3</sup> menjadi 1,42 g/cm<sup>3</sup>. Pada sampel tanah vulkanik MH terjadi peningkatan berat isi kering sebesar 3,42 % dari 1,17 g/cm<sup>3</sup> menjadi 1,21 g/cm<sup>3</sup>. Peningkatan berat isi kering ini dikarenakan perbedaan energi pada kedua metode, dimana energi kompaksi statik lebih besar dibandingkan dengan kompaksi dinamik.

Metode kompaksi statik di laboratorium dengan 8 kali penekanan berat isi kering sebesar 1,21 g/cm<sup>3</sup> sama dengan kompaksi di lapangan dengan 8 kali gilasan berat isi kering sebesar 1,20 g/cm<sup>3</sup>. Sehingga metode di laboratorium dengan 8 kali penekanan ini merupakan metode yang sudah menyerupai hasil dengan 8 kali gilasan di lapangan.

Hasil kuat geser pada sampel tanah vulkanik ML terjadi peningkatan kuat geser sebesar 10,62 % dari kompaksi dinamik terhadap kompaksi statik. Pada sampel tanah vulkanik MH terjadi peningkatan kuat geser sebesar 14,21 % dari kompaksi dinamik terhadap kompaksi statik. Peningkatan kuat geser dipengaruhi oleh besarnya energi

pada kompaksi statik lebih besar dibandingkan kompaksi dinamik.

#### Daftar Pustaka

- [1] Wesley, L.D., (2010), *Fundamentals of Soil Mechanics for Sedimentary and Residual Soils*, John Wiley & Sons, New Jersey
- [2] Rodrigues, A.R., del Castillo, H., Sowers, G.F., (1988). *Soil Mechanics in Highway Engineering*, 7<sup>th</sup> Ed., Trans Tech Publication, Clausthal-Zellerfeld, Germany.
- [3] Rahardjo, P. P., & Njo, T. (1991). Uji Kompaksi Statik Pada Tanah Kohesif. *Skripsi*, Universitas Katolik Parahyangan.
- [4] Hafez, M. A., Doris Asmani, M. Y., & Nurbaya, S. (2010). Comparison Between Static and Dynamic Laboratory Compaction Methods. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering (EJGE)*, 15, 1641–1650.
- [5] Sharma, B., Sridharan, A., & Talukdar, P. (2016). *Static Method to Determine Compaction Characteristics of Fine-Grained Soils*. *Geotechnical Testing Journal*, 39 (6), 20150221. <https://doi.org/10.1520/GTJ20150221>
- [6] Nugraha, A. S., (2021). Studi laboratorium kompaksi statik dan dinamik dan uji kompaksi di lapangan dengan energi terukur pada tanah vulkanik di Jawa Barat (*Doctoral dissertation*, Program Studi Teknik Sipil Program Doktor Fakultas Teknik-UNPAR).
- [7] Febriana, P.E., & Agustina, D.H. (2021). Pengaruh energi pemadatan terhadap kuat geser tanah. *Jurnal Sigma Teknika*, (4), 263-266. <https://doi.org/10.33373/sigmateknika.v4i2.3622>
- [8] Karim, A., Supardi, S., Alifuddin, A., & Maruddin, M. (2023). Karakteristik kekuatan geser tanah terhadap perubahan nilai kepadatan tanah. *Jurnal Flaover (JFO)*, (3), 2829-5684. <https://doi.org/10.52103/jfo.v3i2.1532>
- [9] Anggraini, M., Haris, V.T., & Saleh, A., (2023). Kuat geser tanah timbunan akibat perubahan kadar air. *Jurnal Sainstek STT*, Vol. 11, 2337-6910. <https://doi.org/10.35583/js.v11i2.209>
- [10] Prabowo, G., Rahardjo, P. P., & Karlinasari, R. (2023). Studi Kompressibilitas Tanah Vulkanik yang Dipadatkan Dengan Cara Statik dan Dinamik. *Bentang: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 11(2), 245-250.
- [11] Das, Braja M, (1995), *Mekanika Tanah Jilid 1*, Jakarta: ERLANGGA
- [12] SNI 1724: 2008. Cara Uji Kepadatan Ringan Untuk Tanah. Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- [13] Google Earth, (2022). Daerah Mulyasari Pada *Google Earth*, Kabupaten Sumedang. <https://earth.google.com>
- [14] Silitonga, P. H., (1973). Peta Geologi Lembar Bandung, Jawa. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- [15] ASTM D 698-00, *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort*, Annual Book of ASTN Standards.