

Analisis Pengaruh *Relative Density* Terhadap Parameter Konsolidasi Tanah

Pebrinar Riani Sangle ^{*1}, Irwan Lie Keng wong^{*2}, Agon Sumiaty P ^{*3}

Submit:
20 Januari 2025

Review:
24 Januari 2025

Revised:
30 Januari 2025

Published :
15 Februari 2025

^{*1} Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia, pebrinar_sangle@ukipaulus.ac.id

^{*2} Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia, irwanliekengwong@gmail.com

^{*3} Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia, agonsumiatyp@gmail.com

^aCorresponding Author: pebrinar_sangle@ukipaulus.ac.id

Abstrak

Penelitian ini berfokus pada analisis konsolidasi yang terjadi pada tanah yang dipadatkan dengan kepadatan relatif tertentu dengan jumlah kadar air yang sama. Sembilan sampel tanah yang mewakili kepadatan relatif lepas, sedang dan padat. Pengujian dilakukan dengan kepadatan yang berbeda untuk setiap sampel. Hasilnya dianalisis dan dikorelasikan dalam beberapa diagram dasar hubungan void ratio dan tegangan konsolidasi. Dari kurva-kurva ini, penurunan tanah di bawah tekanan di lapangan dapat diprediksi. Dengan membandingkan kurva-kurva yang berbeda ini, nilai *coefficient compression* dan *coefficient recompression* dari masing-masing kepadatan relatif dapat diperoleh. Kurva-kurva ini menunjukkan bahwa tanah dengan kepadatan relatif maksimum dan kadar air optimum memiliki penurunan minimum. Semakin besar nilai kepadatan relatif semakin kecil *settlement* atau penurunan yang terjadi.

Kata kunci: *Relative density, penurunan, pasir lanauan*

Abstract

This research focuses on analyzing the consolidation that occurs in soil compacted to a certain relative density with the same moisture content. A total of nine soil samples that represented loose, medium and dense relative densities were used. Different densities were tested for each sample. The results were analyzed and correlated in some basic diagrams of void ratio and consolidation stress relationships. From these curves, soil settlement under field stress can be predicted. Through comparing these different curves, the values of coefficient compression and coefficient recompression can be obtained. These curves showed that the soil with maximum relative density and optimum moisture content has minimum settlement. As the relative density value increases, the settlement decreases.

Keywords: *Relative density, settlement, silty sand*

PENDAHULUAN

Semua tanah bersifat kompresibel, yaitu mengalami perubahan volume ketika mengalami perubahan tegangan yang diberikan padanya. kompresi yang dihasilkan bisa sangat besar ketika drainase tidak terhambat, tetapi besarnya hanya signifikan secara teknik jika referensi dibuat untuk deformasi yang dapat ditoleransi untuk struktur tertentu. besarnya dan laju dformasi bergantung pada jenis tanah dan sifat beban yang diterapkan.

Meskipun masalah penurunan telah menjadi perhatian para insinyur sipil selama lebih dari satu abad, pendekatan kuantitatif yang rasional baru tersedia sejak diperkenalkannya teori konsolidasi terzhagi [1].

Penurunan tanah dipengaruhi berbagai faktor, salah satunya adalah *relative density* atau kepadatan relatif tanah. Kepadatan telah dikenal sebagai salah satu faktor yang mempengaruhi sifat fisik dan geoteknik tanah. Penerapan kepadatan tanah sudah digunakan secara luas sebelum tahun 1933 ketika Proctor [2] mengembangkan studi komprehensif mengenai kepadatan *remoulded*, yang disebut Pemadatan Proctor Standar. Kepadatan *remoulded* lainnya, termasuk Modified Proctor Compaction ASTM, Pemadatan Afrika Barat, dan Reduced Standard Proctor Compaction [3], kemudian dikembangkan. Kepadatan relatif adalah indeks penting untuk mengevaluasi sifat-sifat tanah, dan juga kunci untuk persiapan sampel laboratorium dan uji simulasi.

Banyak penelitian yang bertujuan untuk mempelajari pengaruh kepadatan terhadap beberapa sifat fisik dan geoteknik tanah telah dilakukan. Daniel & Benson [3] melakukan penelitian intensif mengenai kondisi optimal untuk lapisan tanah lempung yang stabil. Sifat-sifat geoteknik yang dipertimbangkan adalah kuat geser, berat satuan, kembang susut, dan permeabilitas tanah lempung. Sifat-sifat ini dievaluasi pada tiga tingkat energi pemadatan yang bervariasi. Daniel & Wu [4] melakukan penelitian pada tanah lempung dari Texas untuk mengevaluasi kisaran kadar air dan berat satuan kering, dimana benda uji yang dipadatkan akan memiliki konduktivitas hidraulik yang rendah dan potensi yang minimal. Penggunaan kepadatan yang dibentuk ulang diperluas ke teori dan praktik untuk mencapai kekuatan dan daya tahan maksimum batu bata tanah liat oleh Lopez-Lara dkk. [5]. Yusoff dkk. [6] mempelajari pengaruh tingkat energi pemadatan terhadap berat satuan dan UCS campuran tanah kaolin-laterit, pada kadar air yang bervariasi. Para penulis hanya mempertimbangkan pemadatan Standard Proctor dan kepadatan pemadatan Standard Proctor yang dimodifikasi. Uji pengaruh *relative density* terhadap parameter kuat geser tanah dalam kondisi unsaturated juga telah diteliti oleh Maghvan & McCartney [7]. Perubahan parameter konsolidasi akibat penambahan beberapa bahan tambah juga telah diteliti. Dimana beberapa bahan tambah ini memiliki batas maksimum dalam mencegah penurunan tanah [8] [9] [10].

Sudah menjadi hal yang umum dalam praktik geoteknik untuk memperkirakan daya dukung dan penurunan suatu konstruksi [11]. Penurunan tanah pernah terjadi di kota Semarang utara yang disebabkan oleh faktor endapan alluvium yang berkonsolidasi secara alamiah karena tanah mengalami pemampatan akibat pembebanan sehingga volume tanah berkurang akibat keluarnya air pori dalam waktu yang lama yang menyebabkan tenggelamnya beberapa wilayah daratan daerah Semarang [12]. Bencana longsor dan penurunan tanah juga sering terjadi pada ruas Bittuang-Se'seng yang menyebabkan terputusnya jalur antar kabupaten yang ada di Tanah Toraja. Maka dari itu tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi pengaruh kepadatan terhadap konsolidasi dan parameter tanah lanau kepasiran (*silty sand*).

METODOLOGI

A. Lokasi Pengambilan Sampel

Material tanah yang digunakan adalah berasal dari Lembang Kole Palian, Kecamatan Bittuang, Kabupaten Tana Toraja. Merupakan daerah yang menghubungkan kabupaten Tana Toraja dengan kabupaten Mamasa.

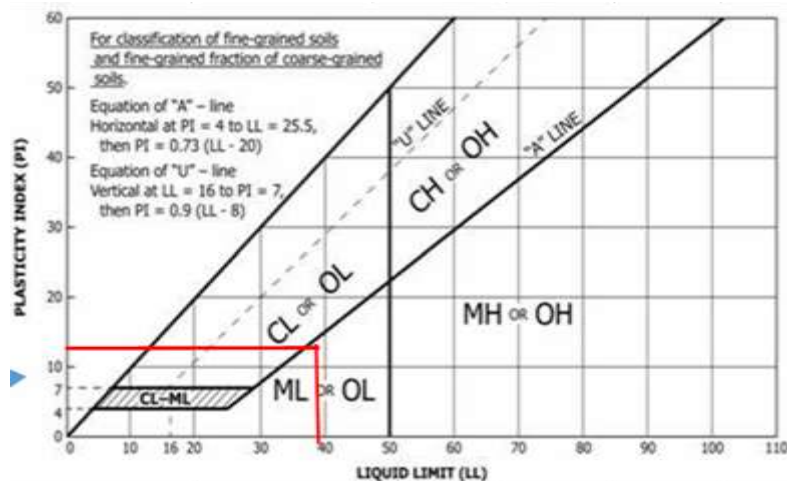
B. Klasifikasi Tanah

Metode pelaksanaan yang digunakan adalah ekperimental, metode ini mencakup pelaksanaan uji karakteristik tanah (analisa gradasi, batas cair, plastisitas indeks, berat jenis) [13] untuk menklasifikasikan tanah tersebut dan uji mekanis yaitu uji konsolidasi. Hasil uji karakteristik dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi hasil pengujian karakteristik tanah

No	Parameter	Satuan	Nilai
1	Kadar air	%	25,98
2	Berat Jenis		2,67
3	Batas-batas Atterberg		
	Batas cair (LL)	%	39,88
	Batas plastis (PL)	%	26,46
	Batas susut (SL)	%	8,28
	Indeks Plastisitas (PI)	%	13,43
4	Gradasi Butiran		
	Kerikil (G)	%	4,52
	Pasir (S)	%	64,56
	Lanau (M)	%	30,30
	Lempung (C)	%	0,62
5	Kompaksi		
	Kadar air optimum	%	27,27

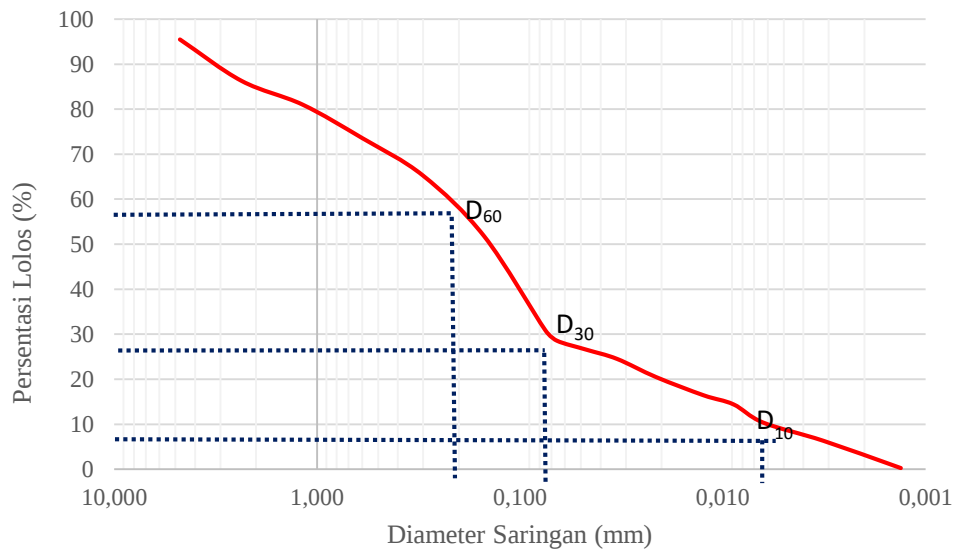
Berdasarkan Gambar 1, hasil pengujian batas-batas Atterberg dengan menggunakan diagram index plastisitas tanah, sampel yang diuji tergolong kedalam ML atau OL dengan kadar butir halus > 12%.



Gambar 1. Diagram plastisitas

Koefisien keseragaman (C_u) menunjukkan kisaran ukuran butiran di dalam tanah. Gradasi tanah yang baik memiliki nilai $C_u > 4$ untuk kerikil (Gravel), dan > 6 untuk pasir (Sand) dan termasuk dalam kategori bergradasi baik, sedangkan tanah dengan nilai $C_u < 4$ diklasifikasikan sebagai tanah yang bergradasi buruk. Koefisien gradasi (C_c) menunjukkan ukuran bentuk kurva distribusi ukuran butiran. Jika $C_c = 1$ maka tanah dikatakan bergradasi baik, jika nilai C_c terlalu besar atau kecil ($C_c < 1$ atau $C_c > 1$) maka tanah tersebut tidak memiliki ukuran sedang dan dikategorikan sebagai bergradasi senjang (gap graded) [13]. Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai $C_u > 6$ sehingga dikategorikan sebagai tanah dengan gradasi baik.

Dengan hasil uji karakteristik tanah pada gradasi butiran berdasarkan gambar 2 maka tanah tergolong SM, dengan tanah berbutir kasar $\geq 50\%$ tertahan saringan nomor 200, dan pasir $\geq 50\%$ fraksi kasar lolos saringan nomor 4, sehingga berdasarkan sistem klasifikasi USCS tanah tersebut termasuk pasir berlanau, campuran pasir-lanau.



Gambar 2. Grafik analisa saringan dan hydrometer

C. *Relative Density (Dr)*

Kepadatan relatif adalah istilah yang biasanya disebut sebagai gambaran tingkat kepadatan tanah berbutir kasar, juga dinyatakan dalam bentuk persentase yang digunakan untuk mengkorelasikan sudut gesek, potensi likuifaksi, dan lain-lain. Persamaan kepadatan relatif dalam rumus berikut [14][15].

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \quad (1)$$

Klasifikasi butiran tanah dapat dikategorikan berdasarkan kepadatan relatifnya [15]. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi butiran tanah berdasarkan kepadatan relatif

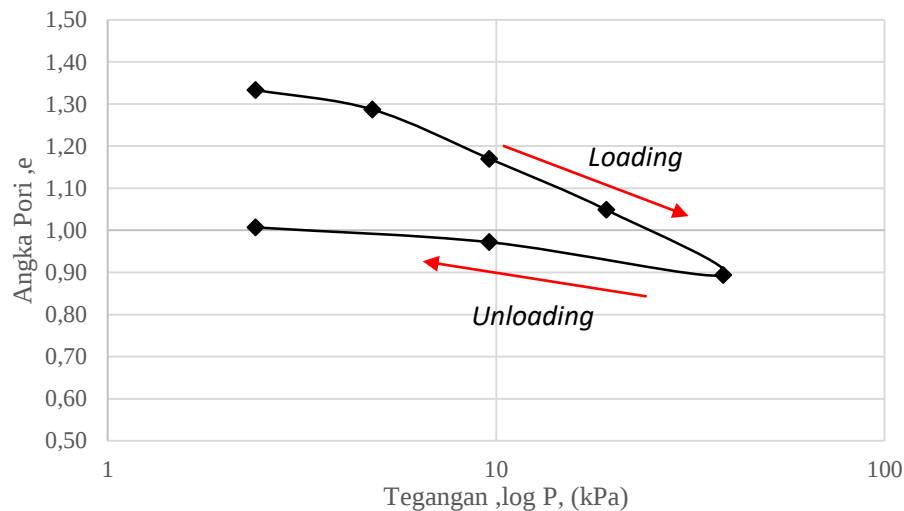
Dr (%)	Porositas (%)	Keterangan
0-20	100-80	Very loose
20-40	80-60	Free
40-70	60-30	Medium
70-85	30-15	Congested
85-100	<15	Very solid

D. *Pengujian Konsolidasi*

Pada pengujian konsolidasi, *tanah remoulded* digunakan untuk menganalisis pengaruh dari kepadatan terhadap settlement. Rencana variasi dari relative density yang ditunjukkan pada Tabel 3 akan digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 3. Rencana Relative Density Benda uji Konsolidasi

<i>Relative Density</i>	Jumlah Benda Uji
30 %	3
50 %	3
80 %	3



Gambar 3. Skematik pengujian konsolidasi

Hasil dari proses *loading* dan *unloading* pada pengujian konsolidasi yang ditunjukkan pada Gambar 3 adalah untuk mendapatkan nilai C_c dan C_r yang merupakan parameter untuk menghitung *settlement*. C_c adalah *coefficient compression* dan C_r adalah *coefficient recompression*.

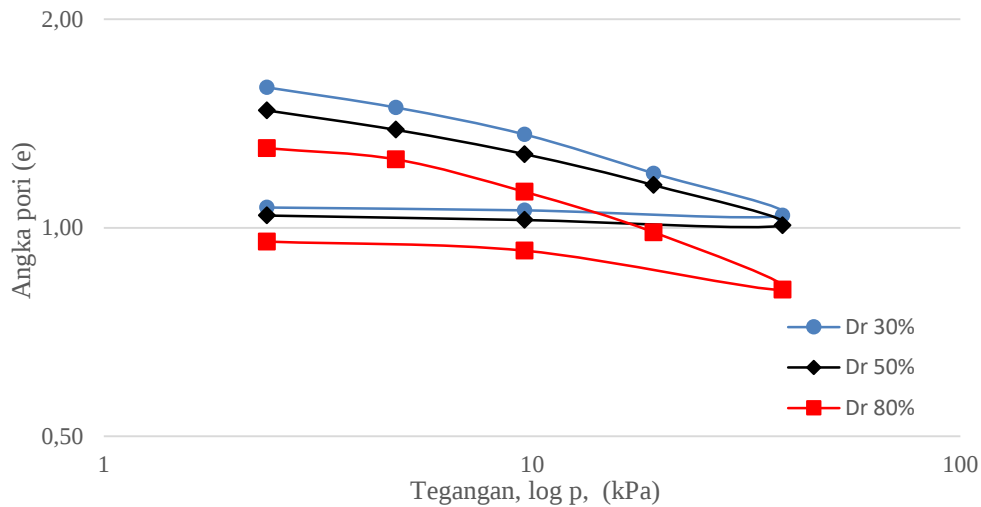
HASIL DAN PEMBAHASAN

Estimasi penurunan yang berkaitan dengan C_c , indeks pemampatan pada Gambar 4 memberikan indikasi adanya perubahan volume yang besar yang berhubungan dengan tanah yang mengalami penurunan akibat dari tekanan vertikal yang diberikan secara terus menerus dan durasi beban yang berkelanjutan sehingga menciptakan rongga.

Gambar 4 menunjukkan angka pori terhadap log tegangan dari lapisan pasir lanauan yang didesain dengan kepadatan yang berbeda. Ada sedikit variasi pada indeks kompresibilitas yang diamati, namun sampel yang memiliki kepadatan relatif 30% lebih mudah dimampatkan daripada yang lain, dan angka porinya berkurang hingga 0,52 pada tingkat tegangan 38 kPa. Semua sampel disiapkan dengan angka pori awal 1,406 hingga 1,696.

Tabel. 4. Data C_c , C_r , S dan Δe

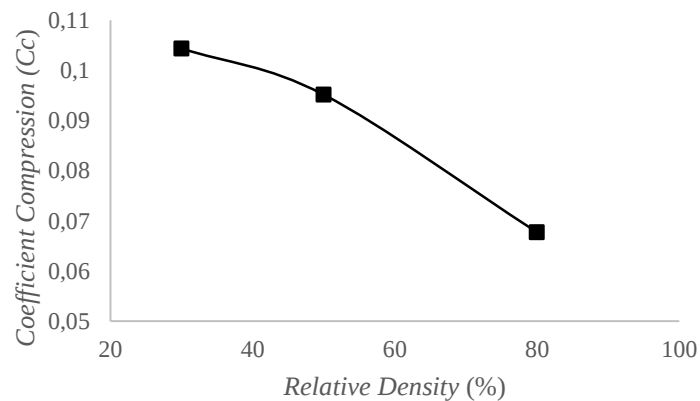
Dr (%)	C_c	C_r	S (cm)	Δe
30	0,104	0,031	0,121	0,52
50	0,095	0,034	0,121	0,46
80	0,068	0,035	0,103	0,35



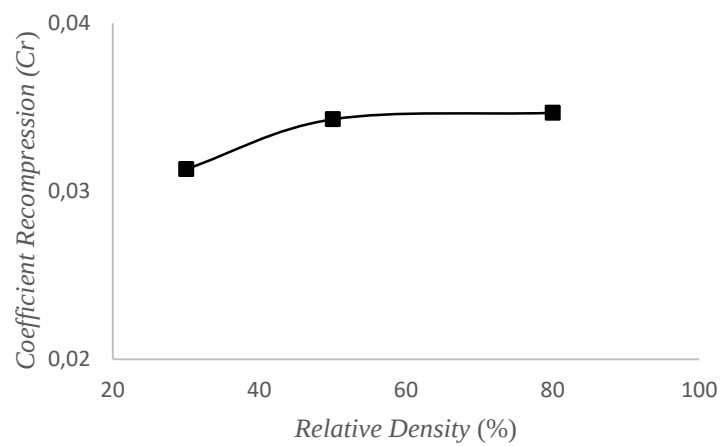
Gambar 4. Perbandingan e-log p pada *relative density* 30%,50%,80%

Berdasarkan Gambar 5, nilai C_c untuk *relative density* 30% adalah 0,104, pada *relative density* 50%, nilai C_c adalah 0,095, dan pada *relative density* 80% nilai C_c adalah 0,068. Sehingga semakin tinggi *relative density* maka *coefficient compression* (C_c) semakin kecil.

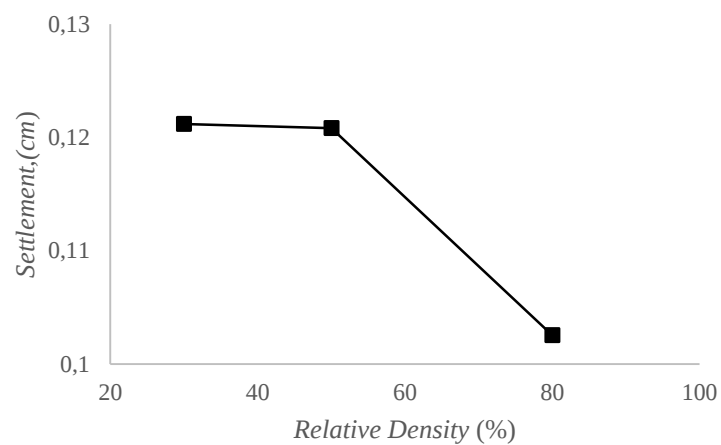
Dari Gambar 6 menunjukkan bahwa C_r pada *relative density* 30% adalah 0,031, pada *relative density* 50% nilai C_r adalah 0,034, sedangkan pada *relative density* 80% nilai C_r adalah 0,035. Maka semakin tinggi *relative density* maka *coefficient recompression* (C_r) semakin rendah.



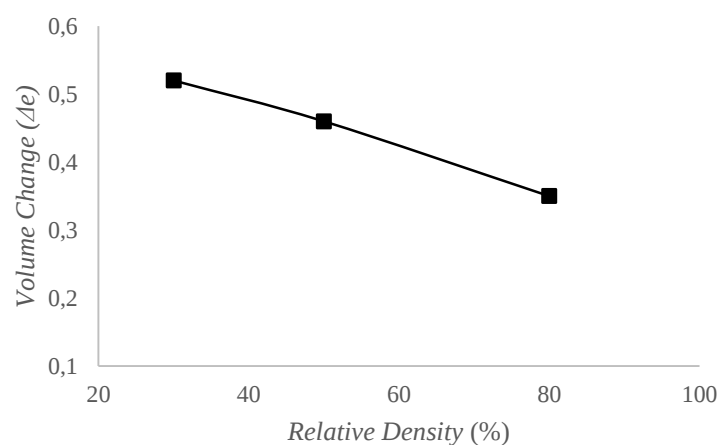
Gambar 5. Hubungan *relative density* dan *coefficient compression*



Gambar 6. Hubungan *relative density* dan *coefficient recompression*



Gambar 7. Hubungan *relative density* dan *settlement*



Gambar 8. Hubungan *relative density* dan *volume change*

Hubungan antara *relative density* dengan *settlement* ditunjukkan pada Gambar 7. Dimana semakin besar nilai *relative density* semakin kecil *settlement* yang terjadi. Pada Gambar 8 menunjukkan bahwa perubahan volume (volume change) Δe pada *relative density* 30%=0,52, pada *relative density* 50%=0,44, dan pada *relative density* 80%=0,35. Maka dapat dilihat semakin tinggi *relative density* maka *volume change* (Δe) semakin rendah karena ruang untuk udara dan air semakin kecil.

KESIMPULAN

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kepadatan relatif memainkan peran penting dalam mempengaruhi parameter konsolidasi. Untuk konsolidasi, berdasarkan kadar air yang sama kepadatan yang lebih rendah, tentu saja membuat tanah lebih mudah terkonsolidasi. Hal ini berlaku untuk semua sampel tanah yang diuji, tetapi jumlah konsolidasi yang dipengaruhi oleh kepadatan bervariasi menurut jenis tanahnya.

REFERENSI

- [1] Terzaghi, K, "Die berechnung der durchlässigkeitsziffer des tones aus dem verlauf der hydro-dynamischen spannungserscheinungen," *Sitzungsberichte Akademie der Wissenschaften*, vol. 132, pp. 125-138, 1923.
- [2] Proctor, R. R, "The Design and Contruction of Rolled Earth Dams," *Engineering News Records*, vol. 111, pp. 372-376, 1933.
- [3] Daniel, D. E., & Benson, C. H, "Water content-Density Criteria for Compacted Soil Liners," *Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 116, no. 12, pp. 1811-1830, 1990.
- [4] Daniel, D. E., & Wu, Y. K, "Compacted Clay Liners and Covers for Arid Sites," *Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 119, no. 2, pp. 223-237, 1993.
- [5] Lopez-Lara, T., Gonzalez-Vega, C. L., Hernandez-Zaragoza, J. B., Rojas-Gonzalez, E., Carreon-Freyre, D., Salgado-Delgado, R., Garcia-Hernandez, E., & Cerca, M, "Application of Optimum Compaction Energy in the Development of Bricks made with Construction Trash Soil," *Advances in Material Science and Engineering*, vol. 2, pp. 119-141, 2014.
- [6] Yusoff, S. A. N. M., Bakar, I., Wijeyesekera, D. C., Zainorabidin, A., Azmi, M., & Ramli, H, "The Effect of Different Compaction Energy on Geotechnical Properties of Kaolin and Laterite," in *International Conference on Applied Physics and Engineering (ICAPE)*, Penang, 2016.
- [7] Maghvan, S. V., Imam, R., & McCartney, J. S, "Relative Density Effects on the Bearing Capacity of Unsaturated Sand," *Soil and Foundation*, vol. 59, no. 5, pp. 1280-1291, 2019.
- [8] Syarifudin, A, Djarwanti, N, & Surjandari, N.S, "Perubahan Parameter Konsolidasi Tanah Lempung Tanon yang Dicampur Abu Ampas Tebu," *Matriks Teknik Sipil*, vol. 1, no. 4, pp. 356-362, 2013.
- [9] Sandy, J, & Desiani, A, "Parameter Konsolidasi Tanah Organik Berdasarkan Uji Laboratorium Akibat Pengaruh Kandungan Batu Bara," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 16, no. 1, 2020.
- [10] Dwitya, F, Putra, A.D, & Iswan, "Pengaruh Penambahan Semen pada Tanah Lempung terhadap Parameter Konsolidasi dan Kecepatan Penurunan," *Journal Rekayasa Sipil dan Desain (JRSDD)*, vol. 9, no. 2, 2021.
- [11] Oh, W. T., Vanapalli, S. K., & Puppala, A. J, "Semi-empirical Model for the Prediction of Modulus of Elasticity for Unsaturated Soil," *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 46, no. 8, pp. 903-914, 2009.
- [12] Masvika, H., Adi, A. D., & Faris, F, "Evaluasi Penurunan Konsolidasi Tanah di Semarang Utara Berdasarkan Korelasi N-SPT dengan mv," *Rekayasa Sipil*, vol. 7, no. 1, pp. 1-12, 2019.
- [13] J. P. Bardet, *Experimental Soil Mechanis*, Los Angeles: Pearson Education, 1997.

- [14] Das B M, Endah N and Mochtar I B, *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)* Jilid 1, Jakarta: Erlangga, 1995.
- [15] Orang J, Bruketta M and Motamed S R, "Experimental Evaluation of Spatial Variability Effects on Liquefaction-induced Settlements," in *Geo-Congress: Earthquake Engineering and Soil Dynamics (Reston VA: American Society of Civil Engineering)*, Philadelphia, Pennsylvania, 2019.