



Terbit online pada laman web jurnal :
<https://ejournal.sttp-yds.ac.id/index.php/js/index>

SAINSTEK

| ISSN (Print) 2337-6910 | ISSN (Online) 2460-1039 |



Kuat Geser Tanah Timbunan Akibat Perubahan Kadar Air

Muthia Anggraini^{a*}, Virgo Trisep Haris^b, Alfian Saleh^c

^{a,b,c} Universitas Lancang Kuning, Jl. Yos Sudarso Km 8, Pekanbaru 28265, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 09 Oktober 2023

Revisi Akhir: 09 November 2023

Diterbitkan Online: 29 Desember 2023

KATA KUNCI

Daya dukung,

Kadar air Optimum,

Subgrade

KORESPONDENSI

Telepon: 08117673089

E-mail: muthia@unilak.ac.id

ABSTRACT

Tanah lempung apabila digunakan untuk *subgrade* perlu dilakukan perbaikan tanah untuk menaikkan daya dukung tanahnya, salah satu cara dengan perbaikan sifat fisis. Perbaikan sifat fisis yaitu dengan mengganti *subgrade* dengan tanah yang memiliki daya dukung yang baik yang disebut sebagai tanah timbunan. Pemadatan tanah timbunan di lapangan pada kondisi ideal yaitu pada saat kadar air optimum, permasalahannya di lapangan kondisi ideal ini tidak selalu bisa diperoleh. Dimana pemadatan dapat terjadi pada kondisi kering (dibawah kadar air optimum) dan pada kondisi basah (diatas kadar air optimum). Tujuan penelitian mengetahui karaktersistik kuat geser pemadatan tanah timbunan untuk *subgrade* terhadap perubahan kadar air. Metode penelitian adalah pengujian kuat geser laboratorium SNI 3420:2016. Hasilnya diperoleh nilai kohesi meningkat pada kondisi kering (OMC-2%) dan kondisi basah (OMC+2%). Nilai sudut geser turun pada kondisi basah (OMC+2%) dan kondisi kering (OMC-2%). Kesimpulan terjadi penurunan sudut geser apabila dipadatkan dalam kondisi basah dan kering dari kadar air optimum.

1. PENDAHULUAN

Tanah dasar yang berfungsi untuk menahan beban yang ada di atasnya harus memiliki kapasitas dukung yang baik, sehingga apabila kondisi tanah yang buruk tentunya akan mempengaruhi konstruksi di atasnya [1]. Tanah merupakan material yang sangat penting peranannya dalam pekerjaan konstruksi, sehingga perlu diketahui sifat fisis dan mekanisnya yang memadai [2].

Riau yang berada di daerah pesisir dan terletak pada dataran rendah sehingga memiliki kondisi tanah yang kurang baik, disebabkan karena jenis tanahnya adalah tanah kohesif [3].

Tanah dasar pada konstruksi jalan dapat berupa tanah timbunan yang dipadatkan yang berpedoman pada kepadatan maksimum, dan dapat berupa tanah setempat (*in-situ*) yang dibersihkan atau di *strihaling* [4]. Tanah

dasar yang ada di lapangan diperbaiki dengan melakukan timbunan untuk menaikkan elevasi tanah dasar. Tanah yang digunakan untuk timbunan harus dipadatkan untuk dapat meningkatkan nilai daya dukung dan mengurangi penurunan [5]. Perbaikan tanah secara fisis yaitu dengan mengganti *sybgrade* dengan tanah yang memiliki daya dukung yang baik yang disebut sebagai tanah timbunan [6].

Pemadatan tanah timbunan pada *subgrade* di lapangan dilakukan dengan cara menggilas dengan menggunakan mesin penggilas dengan energy tertentu [7]. Pemdatan meningkatkan karakteristik kekuatan tanah dan mengurangi kompresibilitas dan permeabilitas tanah [8].

Untuk menentukan timbunan tanah mempunyai daya dukung yang bagus adalah dari kepadatan tanah tersebut [9]. Pemadatan tanah terjadi ketika partikel tanah dipadatkan secara bersamaan yang bertujuan untuk

mengurangi rongga pori antar partikel. Pemadatan meningkatkan karakteristik kekuatan tanah, mengurangi kompresibilitas dan permeabilitas tanah [8].

Pemadatan tanah timbunan pada *subgrade* di lapangan dilakukan dengan cara menggilas dengan menggunakan mesin gilas dengan energy tertentu [10]. Pemadatan yang dilaksanakan di lapangan diharapkan pada kondisi ideal yaitu pada kondisi kadar air optimum, permasalahannya kondisi ideal ini sulit diperoleh di lapangan. Pemadatan dapat terjadi pada kondisi kadar air lebih kering (di bawah kadar air optimum) dan kondisi kadar air lebih banyak (di atas kadar air optimum) [7]. Akibatnya nilai parameter kohesi dan sudut geser dalam, mengalami pergeseran pada rentang nilai tertentu.

Tanah dasar untuk timbunan perlu diperhatikan kestabilan pada jangka pendek dan jangka panjang. Pengujian kestabilan jangka pendek di laboratorium dengan pengujian kuat geser dengan kondisi *unconsolidated undrained* (UU), dan untuk pengujian kestabilan jangka panjang di laboratorium dengan uji *consolidated undrained* (CU) [7].

Bowles mensyaratkan tanah lempung dalam kondisi *unconsolidated undrained* (UU) mempunyai nilai sudut geser dalam berkisar 3° - 20° [7]. Perubahan kadar air optimum digunakan berdasarkan penelitian [7] pada kondisi basah yaitu kondisi kadar air optimum (OMC+2%) dan pada kondisi kering yaitu kondisi dibawah kadar air optimum (OMC -2%).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pemadatan Tanah

Pemadatan tanah adalah suatu proses yang dilakukan untuk memadatkan partikel tanah sehingga terjadi pengurangan volume udara dan volume air yang dilakukan secara mekanis [11]. Pemadatan merupakan suatu komponen yang paling penting dalam suatu konstruksi seperti pada jalan, lapangan terbang, tanggul, dan fondasi [12].

Pemadatan tanah laboratorium dilakukan untuk mendapatkan parameter nilai berat volume kering maksimum (γ_d) dan nilai kadar air optimum (W_{opt}) [13]. Pemadatan tanah lapangan memerlukan evaluasi sebagai suatu jaminan kualitas pekerjaannya. Metode yang mudah dan sering digunakan untuk mengevaluasi pemadatan tanah lapangan adalah dengan nilai kepadatan relative tanah (*relative compaction*) [5].

Penelitian pemadatan tanah timbunan perlu diperhatikan kestabilan tanah timbunan tanah yang akan menjadi

fondasi jalan raya perlu dipastikan konsistensi kestabilannya dalam jangka pendek dan jangka panjang. Kestabilan jangka pendek pada laboratorium bisa diidentifikasi melalui uji triaksial atau pengujian kuat geser dengan kondisi *unconsolidated undrained* (UU), sedangkan kestabilan untuk jangka panjang pada laboratorium bisa diidentifikasi dengan uji *consolidated undrained* (CU) [7].

Pemadatan tanah adalah suatu proses memadatkan partikel tanah sehingga terjadi pengurangan volume udara dan volume air yang dilakukan secara mekanis. Tujuan dalam melakukan pemadatan adalah [11] :

1. Menaikkan kuat geser tanah
2. Memperkecil kompresibilitas dan daya rembesan air atau memperkecil pori antar ruang udara dan tanah.
3. Mengurangi permeabilitas.
4. Mengurangi besarnya penurunan ketika pasca konstruksi.
5. Memperkecil pengaruh air terhadap tanah.
6. Mengurangi permeabilitas.
7. Meningkatkan kekakuan tanah dasar maupun timbunan

Pemadatan tanah membentuk kembali tanah menjadi gumpalan, sehingga meminimalkan rongga antar butiran dan memastikan pengurangan permeabilitas dan penurunan konsolidasi dari tanah yang dipadatkan serta meningkatkan kekuatan tarik dan geser tanah [14]. Pemadatan tanah dilaksanakan tergantung pada nilai kadar air, meskipun menggunakan energy pemadatan yang sama dan nilai kepadatan yang akan didapat akan berbeda-beda. Kadar air maksudnya adalah suatu kondisi dimana tanah mencapai keadaan yang paling padat yang disebut sebagai Kadar Air Optimum [15].

Pemadatan tanah laboratorium untuk mendapatkan nilai berat isi kering maksimum dan nilai kadar air optimum dengan menggunakan alat pemadatan yaitu *proctor*. Rumus yang digunakan untuk mendapatkan nilai berat isi kering yaitu [11] :

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+w} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

γ_d : berat isi kering (gr/cm^3)

γ_b : berat isi basah (gr/cm^3)

w : kadar air

Untuk mendapatkan nilai berat isi basah (γ_b) rumus yang digunakan adalah :

$$\gamma_b = \frac{w}{v} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

γ_b : berat isi basah

w : berat tanah yang dipadatkan dalam cetakan

v : volume cetakan

2.2. Tanah Timbunan

Tanah Timbunan dibagi menjadi dua jenis, yaitu [10]:

1. Timbunan biasa
Urugan tanah atau timbunan digunakan di lapangan untuk pencapaian elevasi akhir. Tanah dasar yang dipersyaratkan dalam gambar perencanaan tanpa maksud khusus lainnya. Timbunan biasa digunakan untuk mengganti material atau material tanah dasar yang tidak memenuhi syarat. Timbunan tanah harus memiliki syarat sebagai berikut [6]:
 - A. Klasifikasi untuk tanah timbunan yang difungsikan sebagai timbunan biasa harus atas persetujuan pengawas yang memenuhi syarat yang digunakan untuk pekerjaan permanen.
 - B. Timbunan tidak termasuk tanah plastisitas tinggi, untuk metode AASTHO diklasifikasikan sebagai A-7-6 dan untuk metode *unified* disimbolkan dengan CH. Tanah timbunan disyaratkan memiliki nilai CBR tidak boleh kurang dari 6% setelah dilakukan perendaman 4 hari apabila dipadatkan 100% kepadatan kering maksimum (MDD).
 - C. Tanah yang memiliki pengembangan tinggi dengan nilai aktif lebih besar dari 1.25 yang dilakukan dengan pengujian AASTHO T 258 tidak disyaratkan untuk digunakan timbunan. Nilai aktif dimaksudkan untuk Plastisitas Indeks (PI) dan persentase dari ukuran lempung.
2. Timbunan pilihan merupakan tanah urugan yang digunakan untuk mencapai elevasi akhir tanah dasar yang disyaratkan dalam gambar perencanaan dengan maksud khusus lainnya seperti untuk mengurangi tebal lapisan pondasi bawah, untuk memperkecil gaya lateral tekanan pada tanah di belakang dinding penahan tanah talud jalan. Timbunan pilihan harus memiliki persyaratan berikut [6]:
 - A. Timbunan pilihan hanya dibolehkan sebagai klasifikasi timbunan jika digunakan pada lokasi yang telah ditentukan secara tertulis oleh pengawas.
 - B. Timbunan yang diklasifikasi sebagai timbunan pilihan wajib terdiri dari bahan pasir atau cadas yang memenuhi persyaratan dan sebagai tambahan harus mempunyai sifat tertentu yang ditujukan untuk tujuan penggunaannya. Nilai tanah timbunan pilihan harus memiliki nilai CBR paling sedikit 10%.

2.3. Klasifikasi Tanah

Sifat fisis tanah bergantung pada ukuran butiran. Besaran butiran dijadikan sebagai dasar untuk klasifikasi atau

pemberian nama (simbol). Parameter untuk menentukan klasifikasi tanah adalah [16]:

1. *Sieve analysis*.
2. Batas Cair (LL).
3. *Indeks plastisitas* (PI).

Klasifikasi tanah yang digunakan pada bidang Teknik Sipil ada 2 (dua) metode yaitu [16]:

1. Metode USCS (*Unified Standard Classification System*).
Klasifikasi tanah dibagi menjadi dua yaitu berbutir kasar (kerikil dan pasir) syaratnya < 50% lolos saringan No.200 dan diklasifikasikan sebagai berbutir halus (lanau dan lempung) syaratnya > 50% lolos saringan No.200.
2. Metode AASTHO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*).
Sistem klasifikasi metode ini digunakan untuk menentukan kualitas tanah dalam perancangan timbunan jalan, lapis pondasi (*subbase*), dan tanah dasar (*subgrade*). AASTHO membagi tanah ke dalam 8 (delapan) kelompok yaitu A-1 sampai A-8.

2.4. Kuat Geser

Kuat geser adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap tarikan. Kuat geser diukur berdasarkan parameter kohesi (c) dan sudut geser (ϕ) [17].

Tanah lempung dalam kondisi UU (*Unconsolidated undrained*) memiliki nilai sudut geser 0° . Nilai sudut geser dalam berdasarkan nilai indeks plastisitas (PI) yaitu apabila nilai PI 20 – 40 maka perkiraan nilai sudut geser dalam berkisar $17^\circ - 23^\circ$ [7].

Kuat geser tanah yaitu suatu perlawanan yang ditimbulkan dari butir-butir tanah terhadap desakan atau suatu tarikan, dimana terjadi gesekan antara butiran tanah yang berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya [18].

Kuat geser tanah diperlukan untuk diperlukan untuk berbagai macam persoalan praktis terutama untuk menghitung daya dukung tanah, tegangan tanah untuk dinding penahan tanah dan stabilitas lereng [19]. Perhitungan nilai kuat geser tanah dapat dihitung dengan persamaan berikut [14]:

$$S = c + \sigma \tan \theta \quad (1)$$

Dimana :

- S : kekuatan geser tanah
C : kohesi
 σ : tegangan efektif
 θ : sudut geser dalam

Bowles (1997) menyimpulkan untuk nilai sudut geser tanah lempung dalam kondisi UU (*unconsolidated undrained*) memiliki nilai sudut geser 0° . Pada kondisi CU (*consolidated undrained*) sudut geser berkisar $3^\circ - 20^\circ$. Untuk kondisi jenis tanah *silt* dan *silty sand* dalam kondisi UU dan lepas sudut geser berkisar $20^\circ - 22^\circ$, sedangkan apabila tanah kondisi pada maka perkiraan sudut geser antara $25^\circ - 30^\circ$ [7].

Bowles juga memperlihatkan kisaran nilai sudut geser berdasarkan nilai plastisitas indeks (PI) pada rentang 20 – 40, maka perkiraan nilai sudut geser dalam sebesar $17^\circ - 23^\circ$ [7].

Faktor yang mempengaruhi kuat geser menurut Bowles (1997) adalah kerapatan dan angka pori, tegangan yang pernah dialami tanah, kekasaran, bentuk dan butiran tanah, dan kandungna mineral [20].

3. METODOLOGI

Lokasi penelitian dilaksanakan di Laboratorium Program Studi Teknik Sipil Universitas Lancang Kuning. Sampel tanah timbunan diambil di Jalan Badak Ujung Kota Pekanbaru. Sampel tanah yang diambil adalah sampel tanah tidak terganggu dengan menggunakan *handbore* pada kedalaman 1,00 m – 1,50 m dan kedalaman 1,50 m – 2,00 m. Sampel tanah terganggu dilakukan dengan uji test pit sampai kedalaman 1 m, kemudian galian tanah diambil sebagai sampel tanah terganggu. Langkah awal pengujian dilakukan pengujian sifat fisik tanah dan mekanis tanah dengan pengujian pemadatan standar yang dilakukan di laboratorium dan pengujian CBR laboratorium. Simulasi kondisi pemadatan pada kondisi kadar air optimum, 98% dibawah kadar air optimum (OMC-2%), dan 98% diatas kadar air optimum (OMC+2%) untuk mendapatkan parameter kekuatan tanah yaitu nilai kohesi (c) dan sudut geser (θ). Tanah yang akan diuji geser terlebih dahulu dipadatkan pada kondisi berat isi kering maksimum dan kemudian dibuat sampel tanah pada kondisi 98% lebih kering dan 98% lebih basah dari berat isi kering maksimum. Sampel tanah dicetak menjadi tanah yang akan diuji pada alat uji kuat geser.

Pengujian sifat fisis dan pengujian pemadatan di laboratorium mengacu pada :

1. Untuk pengujian analisa saringan menggunakan SNI 3423-2008.
2. Untuk pengujian kadar air menggunakan standar SNI 1965-2008.
3. Untuk pengujian berat jenis standar SNI 1964-2008.
4. Untuk pengujian pemadatan menggunakan standar SNI 1742-2008.
5. Untuk pengujian CBR laboratorium menggunakan standar SNI 1744-2012

6. Untuk pengujian kuat geser menggunakan standar SNI 3420:2016

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Propertis Tanah Asli

Pengujian propertis tanah asli bertujuan untuk mendapatkan jenis atau klasifikasi tanah dan mendapatkan parameter karakteristik sampel tanah yang di ambil. Tabel pengujian sifat fisis dan sifat mekanis tanah pada Tabel 1.

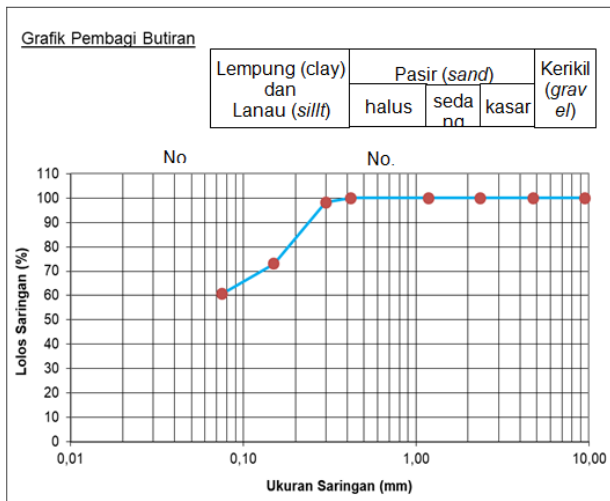
Tabel 1. Hasil Pengujian Sifat Fisis dan Sifat Mekanis Tanah Asli

Pengujian Laboratorium	Satuan	Hasil
<i>Spesific gravity</i> (GS)	%	2,637
Kadar air natural (w)	%	29,31%
Batas Cair (LL)	%	36,24
Batas Plastis (PL)	%	47,6
Indeks Plastisitas (PI)	%	11,36
Kohesi	Kg/cm ²	0,1997
Sudut geser	°	28,18
Kadar air optimum (OMC) Wopt	gr/cc	13,9
Berat isi kering maksimum (γ_{maks})	%	1,82

Tanah lempung tergolong pada jenis lempung organik, karena memiliki nilai *specific gravity* (GS) sebesar 2,637 [21]. Untuk nilai PI diperoleh sebesar 11,36%, sehingga tergolong jenis lempung plastisitas sedang [21]. Berdasarkan nilai sudut geser yang diperoleh 28,18° tergolong lempung kelanauan [3].

4.2. Pengujian Analisa Saringan

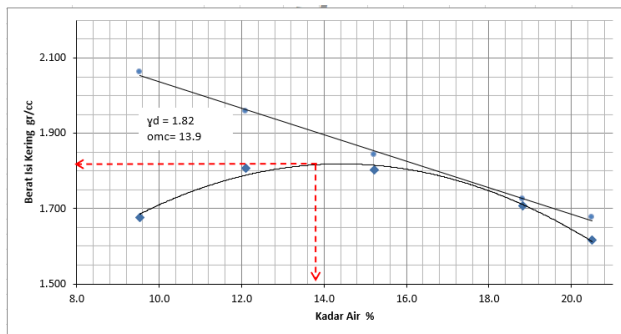
Pengujian analisa saringan dilakukan untuk menentukan jumlah atau persentasi gradasi sampel tanah berdasarkan berat yang lolos saringan. Hasil pengujian analisa saringan seperti Gambar berikut :



Gambar 1. Grafik analisa saringan tanah timbunan tanah asli

4.3. Pengujian Pemadatan Tanah

Pengujian pemadatan di laboratorium di peroleh hasil berdasarkan Gambar berikut :

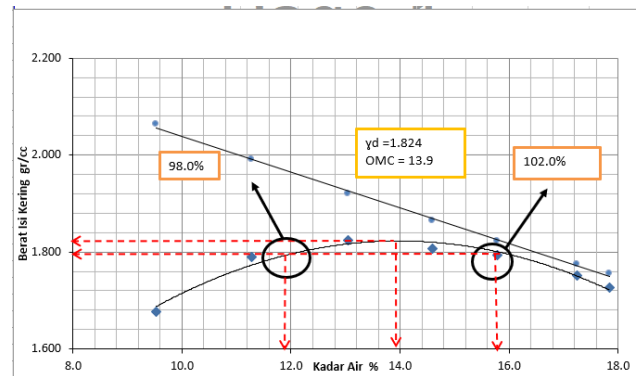


Gambar 2. Hasil Pengujian Pemadatan Laboratorium

Hasil pemadatan tanah asli diperoleh nilai berat isi kering maksimum (γ_{dmaks}) sebesar 1,82 gr/cc dan nilai kadar air optimum (w_{opt}) sebesar 13,9%.

Kurva/grafik gradasi menunjukkan butiran lolos saringan No. 200 (0,075 mm) lebih besar dari 50% yaitu sebesar 60,71%, maka tanah tersebut digolongkan sebagai tanah berbutir halus (lempung dan lanau) [21].

Hasil pengujian pemadatan pada kondisi kondisi basah yaitu kondisi kadar air optimum (OMC+2%) dan pada kondisi kering yaitu kondisi dibawah kadar air optimum (OMC -2%), ditampilkan pada Gambar berikut :



Gambar 3. Hasil Pengujian Pemadatan Kondisi Basah dan Kondisi Kering

Dari Gambar di atas, parameter pemadatan yang di peroleh pada kondisi kering (OMC -2%) yaitu untuk nilai berat isi kering maksimum (γ_{dmaks}) sebesar 1,79 gr/cc dan nilai kadar air optimum (w_{opt}) sebesar 11,9%. Parameter pemadatan pada kondisi basah (OMC + 2%) yaitu untuk nilai berat isi kering maksimum (γ_{dmaks}) sebesar 1,79 gr/cc dan nilai kadar air optimum (w_{opt}) sebesar 15,8%.

4.4. Pengujian Geser Tanah

Dari hasil parameter yang diperoleh dari uji laboratorium pada kondisi kadar air optimum, kondisi kering (OMC - 2%), dan kondisi basah (OMC + 2%) maka diperoleh nilai kohesi dan sudut geser pada Tabel berikut:

Tabel 2. Hasil Uji Geser

Kadar Air	Pemadatan		Uji Kuat Geser	
	γ_{dmaks} (gr/cc)	w_{opt} (%)	c (kg/cm ²)	ϕ (°)
Kering (98%) (OMC - 2%)	1,79	11,9	0,2222	24,65
Optimum (100%)	1,82	13,9	0,1997	28,18
Basah (102%) (OMC + 2%)	1,79	15,8	0,2120	18,74

Dari Tabel nilai kohesi (c) yang diperoleh dari sisi basah (OMC + 2%) dan sisi kering (OMC - 2%) terjadi penurunan dimana nilai kohesinya mendekati sama sebesar 0,2222 kg/cm² dan 0,2120 kg/cm².

Nilai sudut geser yang diperoleh pada sisi basah (102%) terjadi penurunan dan pada sisi kering (98%) terjadi peningkatan. Nilai sudut geser juga mengalami penurunan pada kondisi basah (102%) dan pada kondisi kering (98%), rentang sudut geser yang diperoleh berkisar

antara 18 - 24°. Nilai sudut geser pemadatan kondisi basah (102%) dan kondisi kering (98%) mendekati nilai sudut geser yang tercantum dalam Bowles (1997) [7].

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah terjadi penurunan nilai sudut geser pada kondisi basah (102%) dan kondisi kering (98%). Nilai kohesi pada kondisi basah (102%) dan kondisi kering (98%) relatif hampir sama.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh bantuan APBU Universitas Lancang Kuning. Ucapan Terimakasih kepada LHALM Universitas Lancang Kuning dan Program Studi Teknik Sipil Unilak yang telah memfasilitasi laboratorium untuk penelitian. Terimakasih pada laboran dan mahasiswa yang membantu dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Ningrum, Husnah, H. Mubarak, dan A. Restu, "Pengaruh Penambahan Abu Tandan Sawit Pada Tanah Lempung Berdasarkan Nilai Kuat Geser," *J. APTEK Vol.*, vol. 14, no. 1, hal. 6–12, 2020.
- [2] D. P. Pratama dan N. Gofar, "Pengaruh Kandungan Lempung Terhadap Kuat Geser Tanah Menggunakan Uji Geser Langsung," *Bina Darma Conf.*, no. 200, hal. 961–971, 2021.
- [3] G. Wibisono, S. A. Nugroho, dan K. Umam, "The Influence Sands Gradation And Clay Content Of Direct Sheart Test On Clayey Sand," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 316, no. 1, 2018.
- [4] M. Anggraini, A. Saleh, dan V. T. Haris, "Karakteristik Sifat Fisis dan Mekanis Landfill Sebagai Subgrade," *J. RACIC*, vol. 7, no. 2, hal. 224–233, 2022.
- [5] W. Diana, E. Hartono, A. S. Muntohar, dan K. Wulandary, "Evaluasi Pemadatan Tanah Pada Proyek Pembangunan Gedung," *Media Komun.*, vol. 28, no. 1, hal. 1–8, 2022.
- [6] S. Srihandayani dan D. I. Mazni, "Karakteristik tanah timbun sebagai pengganti subgrade di lahan gambut," *J. Penelit. dan Kaji. Tek. Sipil*, vol. 7, no. 1, hal. 10–14, 2020.
- [7] A. J. Susilo, G. S. Sentosa, I. Sumarli, dan A. Prihatiningsih, "Karakteristik Parameter Kekuatan Tanah Yang Dipadatkan Dengan Uji Triaksial Metode UU," *J. Muara Sains, Teknol. Kedokt. dan Ilmu Kesehat.*, vol. 2, no. 2, hal. 572, 2018.
- [8] A. Ardakani dan A. Kordnaeij, "Soil Compaction Parameters Prediction Using GMDH-Type Neural Network and Genetic Algorithm," *Eur. J. Environ. Civ. Eng.*, vol. 23, no. 4, hal. 449–462, 2019.
- [9] M. Anggraini, V. T. Haris, dan A. Saleh, "Karakteristik Tanah Timbun Sebagai Pengganti Subgrade," *JICE*, vol. 3, no. 2, hal. 100–103, 2023.
- [10] F. Susilowati, Z. Haza, dan D. Sulistyorini, "Studi Eksperimental Pengujian Pemadatan Tanah Di Gunungkidul Dengan Metode Standard Proctor," *Renov. Rekayasa Dan Inov. Tek. Sipil*, vol. 4, no. 1, hal. 25–32, 2019, [Online].
- [11] D. Rahdianata dan I. N. Hamdhan, "Analisis Tingkat Akurasi Uji Pemadatan dengan Pendekatan Numerik Berbasis Elemen Hingga," *RekaRacana J. Tek. Sipil*, vol. 5, no. 4, hal. 87–98, 2019.
- [12] Y. K. Atemimi, "Relationship between Compaction Ratio (RC) and Compacted Layer Thickness," *Saudi Journal Eng. Technol.*, vol. 1, no. 4, hal. 112–123, 2016.
- [13] F. Tatsuoka dan A. Gomes Correia, "Importance of Controlling the Degree of Saturation in Soil Compaction Linked to Soil Structure Design," *Transp. Geotech.*, vol. 17, hal. 3–23, 2018.
- [14] M. Anggraini dan A. Saleh, "Kuat Geser Tanah Lempung Dengan Abu Tandan Sawit dan Semen," *J. SAINSTEK*, vol. 10, no. 1, hal. 24–31, 2022.
- [15] S. Siregar, F. Fatnanta, dan M. M., "Pengaruh Perubahan Kadar Air Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas Stabilisasi Tanah Cl-Ml Dengan Semen," *SIKLUS J. Tek. Sipil*, vol. 4, no. 2, hal. 111–122, 2018.
- [16] Y. Yudhyantoro, A. Prayoga, J. T. Sipil, F. Teknik, dan U. S. Kuala, "Analisis Perubahan Volume pada Timbunan Tanah Lempung Berdasarkan Nilai Batas Susut (SNI 3422 : 2008)," vol. 2, hal. 114–123, 2022.
- [17] S. A. Nugroho, A. I. Putra, dan R. Ermina, "Korelasi Parameter Kuat Geser Hasil Pengujian Triaksial dan Unconfined Compression Strength (UCS)," *J. Sains dan Teknol.*, vol. 11, no. 1, hal. 1–10, 2012.
- [18] Indrayani, A. Herius, P. N. Zeri, dan N. Fernando, "Analisis Kuat Geser Tanah Lempung Menggunakan Kapur dan Petrasoil," *J. Teknol. Terpadu*, vol. 53, no. 9, hal. 1689–1699, 2019.
- [19] R. Indera Kusuma, E. Mina, dan I. Ikhsan, "Tinjauan Sifat Fisis Dan Mekanis Tanah

- (Studi Kasus Jalan Carenang Kabupaten Serang),” *J. Fondasi*, vol. 5, no. 2, hal. 30–39, 2016.
- [20] Fathurrozi, “Analisis Parameter Kekuatan Geser Antarmuka Pasir Palangkaraya dengan Geotekstil,” *Intekna*, no. 1, hal. 1–7, 2014.
- [21] C. H. Hardiyatmo, *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2019.