

# ANALISA KEPADATAN TANAH MENGGUNAKAN SAND CONE PADA PENINGKATAN STRUKTUR TANGGUL BENDUNG LAU SIMEME SIBIRU-BIRU DELI SERDANG

**Say Krisna Persat, Kamaluddin Lubis**

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area

[krisnamurti437@gmail.com](mailto:krisnamurti437@gmail.com); [klubis250@gmail.com](mailto:klubis250@gmail.com)

## Abstrak

Pembangunan tanggul Bendungan Lau Simeme Sibiru-Biru direncanakan untuk mencegah atau mengurangi dampak banjir luapan sungai agar konstruksi bendungan terhindar dari bahaya longsor. Stabilitas tanggul sangat ditentukan oleh kepadatan tanah timbunan yang diperoleh melalui proses pemadatan dengan menggunakan peralatan berat. Untuk menjamin kekuatan dan keandalan struktur, tanah timbunan harus mencapai derajat kepadatan sekurang-kurangnya 95% dari kepadatan maksimum menurut standar uji laboratorium. Apabila nilai tersebut tidak tercapai, maka kapasitas dukung tanah akan menurun secara signifikan dan berpotensi menyebabkan degradasi atau kerusakan pada struktur bendungan dalam jangka panjang. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji apakah timbunan tanah pada bagian tanggul Bendungan Lau Simeme telah memenuhi persyaratan kepadatan sesuai standar teknis yang ditetapkan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini bersifat eksperimental, mencakup pengujian sifat fisik tanah, uji Proctor Modified, dan uji sand cone. Nilai berat volume kering tanah hasil pengujian laboratorium digunakan sebagai parameter acuan untuk menentukan derajat kepadatan tanah. Analisis dilakukan terhadap hasil uji laboratorium dan lapangan guna memperoleh nilai berat volume kering. Berdasarkan hasil pengujian Atterberg Limit, tanah memiliki nilai batas cair sebesar 58,45%, batas plastis sebesar 38,94%, dan indeks plastisitas sebesar 19,19%. Hasil pengujian pemadatan menunjukkan kadar air sebesar 34,59%, berat volume basah 1,62 gr/cm<sup>3</sup>, berat jenis 2,57, kadar air optimum 31,75%, dan berat isi kering maksimum sebesar 1,670 gr/cm<sup>3</sup>. Dari hasil pengujian menggunakan metode sand cone, diketahui bahwa seluruh titik pengujian pada Jalur A memenuhi syarat kepadatan dengan derajat kepadatan lebih dari 95%. Sebaliknya, Jalur B tidak memenuhi kriteria tersebut. Oleh karena itu, pada bagian timbunan yang telah memenuhi syarat, pekerjaan dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya, sedangkan bagian yang belum memenuhi persyaratan harus dilakukan pemadatan ulang. Berdasarkan karakteristiknya, tanah yang digunakan tergolong dalam klasifikasi kerikil berpasir dengan kondisi padat.

**Kata-Kata Kunci:** Kepadatan Tanah, Dencity, Proctor Test, Sand Cone

## I. Pendahuluan

Tanggul atau dinding miring, baik yang dibangun maupun alami pada bendungan memiliki fungsi utama sebagai struktur penahan air untuk mencegah banjir dan mengendalikan aliran sungai, (Agustina, 2019) [1]. Tanggul bendungan juga berfungsi untuk melindungi daerah sekitar dari luapan air menjaga kesetabilan aliran sungai dan mencegah erosi tanah. [2] Namun, dalam perencanaan dan pelaksanaan pembangunan tanggul bendungan, penting untuk mempertimbangkan berbagai aspek teknis seperti jenis tanah, tingkat kepadatan, serta kekuatan tanah. Ketiga aspek tersebut berperan krusial dalam menjamin stabilitas dan keandalan struktur tanggul, sehingga mampu mempertahankan fungsinya secara efektif dalam jangka panjang (Mulyono & Ladesi, 2021). [3] Bendungan, dan tanggul adalah struktursensitif yang dibangun untuk menahan air untuk berbagai tujuan (produksi energi, penyimpanan air, irigasi, pelestarian, rekreasi atau untuk memberikan perlindungan terhadap bencana alam. Salah satu faktor yang mempengaruhi kekuatan dan kestabilan struktur tanggul bendungan adalah kondisi kepadatan tanah di sekitarnya (Singh et al., 2023). [4] Salah satu variabel yang paling penting untuk dipertimbangkan

saat membangun tanggul bendungan adalah kepadatan oleh kadar air meskipun jumlah energi yang digunakan sama, namun nilai kepadatan yang diperoleh akan berbeda (Fahrizal et al., 2022) [6]. Salah satu aspek penting dalam pembangunan tanggul bendungan adalah kepadatan tanah, yang secara langsung memengaruhi daya dukung tanah terhadap beban struktur di atasnya. Tanah dengan kepadatan rendah cenderung memiliki daya dukung yang lemah, sehingga berisiko menyebabkan penurunan atau kerusakan struktural pada tanggul. Oleh karena itu, untuk menjamin kestabilan dan keandalan struktur tanggul, diperlukan analisis kepadatan tanah yang dilakukan secara akurat. Pemilihan metode pengujian yang tepat, baik di laboratorium maupun di lapangan, menjadi kunci untuk memperoleh data kepadatan tanah yang representatif. Dengan demikian, estimasi daya dukung tanah dapat dilakukan secara lebih akurat sebagai dasar perencanaan dan pelaksanaan konstruksi tanggul yang aman dan berkelanjutan (Asfaw & Workineh, 2019). [7] Pemadatan tanah adalah proses meningkatkan kepadatan tanah dengan memperpendek ruang antar partikel, yang menghasilkan pengurangan volume udara (Ikbāl & Zhafirah, 1992). [8] Berat volume kering hasil

pemadatan digunakan sebagai indikator untuk menilai tingkat kepadatan tanah. Penambahan air pada tanah yang telah diratakan berfungsi sebagai media pembasah guna mempermudah pergerakan dan keterikatan antar partikel tanah. Pengukuran kepadatan tanah dinyatakan dalam satuan berat kering ( $\gamma_d$ ). Proses pengujian pemadatan umumnya dilakukan dengan metode tumbukan untuk memperkirakan nilai kepadatan maksimum yang dapat dicapai oleh jenis tanah tertentu. (Villavicencio et al. 2022).

[9] Peningkatan kepadatan tanah dapat dilakukan dengan berbagai metode, salah satunya adalah dengan metode Sand cone. Metode ini menggunakan alat yang disebut dengan sand cone test untuk mengukur kepadatan tanah pada lokasi penelitian (Francois et al., 2021) [10]. Penggunaan metode sand cone ini dinilai sebagai salah satu metode yang efektif dan efisien untuk meningkatkan kekuatan struktur tanah. Metode sand cone merupakan salah satu teknik pengujian lapangan yang digunakan untuk menentukan berat isi kering (kepadatan) tanah, baik pada kondisi alami maupun setelah dilakukan proses pemadatan. Pengujian ini dapat diterapkan pada berbagai jenis tanah, baik tanah kohesif maupun non-kohesif (Akbar et al., 2021). Proses pengujian terdiri atas beberapa tahapan, antara lain pengukuran volume lubang uji, penimbangan berat tanah basah, pengeringan dan penimbangan berat tanah kering, serta pengukuran berat pasir yang digunakan untuk mengisi lubang. Berdasarkan data tersebut, nilai kepadatan tanah dapat dihitung secara akurat. Hasil dari pengujian sand cone ini umumnya digunakan untuk mengevaluasi kualitas pemadatan tanah pada struktur pondasi, termasuk pada konstruksi tanggul. (Alfarizt et al., 2024).

[12] Analisis kepadatan tanah menggunakan metode sand cone memiliki peran penting dalam menentukan karakteristik tanah yang digunakan pada pekerjaan konstruksi, serta menjadi acuan dalam perhitungan kekuatan dan tegangan yang diperlukan pada struktur tanggul pantai (Siregar et al., 2021). Nilai berat volume tanah ( $\gamma$ ) diperoleh berdasarkan perbandingan antara berat tanah dan volumenya. Selanjutnya, sampel tanah dikeringkan di dalam oven untuk menentukan kadar air ( $w$ ) dan berat volume tanah kering ( $\gamma_d$ ). Tingkat kepadatan tanah dihitung berdasarkan hasil uji di lapangan dan laboratorium (Agustina, 2019).

Data kepadatan yang akurat sangat penting untuk mencegah potensi kegagalan struktur tanggul, serta memberikan perlindungan terhadap kawasan aliran sungai dari risiko kerusakan akibat banjir maupun banjir bandang. Dalam konteks peningkatan struktur tanggul Bendungan Lau Simeme di Sibiru-biru, pengujian kepadatan tanah dengan metode sand cone dilakukan untuk meningkatkan daya dukung tanah terhadap beban konstruksi, sehingga menghasilkan tanggul yang lebih kuat, stabil, dan berumur panjang.

Dalam penelitian ini, pengukuran kepadatan tanah dilakukan pada beberapa titik di bagian tanggul yang direncanakan untuk ditingkatkan. Setiap titik diuji menggunakan metode sand cone, dan seluruh hasil pengukuran didokumentasikan. Data yang diperoleh kemudian digunakan sebagai dasar perhitungan daya dukung tanah yang akan menopang struktur tanggul bendungan yang sedang dirancang.

Melalui hasil analisis yang dilakukan, diharapkan dapat diperoleh informasi mengenai tingkat kepadatan tanah di area sekitar lokasi pembangunan tanggul bendungan, serta melakukan estimasi terhadap daya dukung tanah yang akan menopang struktur tersebut. Pengujian kepadatan tanah di lapangan menggunakan metode sand cone umumnya dilakukan untuk menilai apakah hasil pemadatan telah memenuhi persyaratan teknis yang ditetapkan dalam standar nasional, seperti yang tercantum dalam spesifikasi SNI (Permatasari, 2018). [15] Selain itu juga dapat dijadikan dasar untuk pengambilan keputusan terkait perencanaan dan pembangunan tanggul bendungan di daerah Sibiru-biru.

Pengujian Atterberg (Atterberg Limit) merupakan metode untuk mengevaluasi perilaku plastis tanah, yang mencakup pengujian terhadap batas cair (liquid limit), batas plastis (plastic limit), dan batas susut (shrinkage limit). Tujuan pengujian ini adalah untuk menilai kelayakan jenis tanah berdasarkan distribusi ukuran butir, khususnya butiran tanah yang lolos ayakan No. 40 (Aripin et al., 2022). Sementara itu, pengujian pemadatan dilakukan untuk mengurangi volume udara dalam pori-pori tanah agregat. Proses ini dilakukan secara mekanis, baik di lapangan dengan menggunakan alat penggilas, maupun di laboratorium dengan metode tumbukan atau pemukulan. Pemadatan tanah memiliki tujuan utama untuk memperbaiki sifat mekanis tanah guna mengurangi risiko penurunan permukaan dan kerusakan struktur yang dibangun di atasnya. Kepadatan tanah dihitung berdasarkan berat volume kering (dry density), yang pada umumnya akan meningkat seiring dengan penambahan kadar air hingga mencapai titik optimum, namun menurun kembali apabila kadar air melebihi batas tersebut (Agustina, 2019).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kepadatan tanah menggunakan metode sand cone dalam rangka mendukung peningkatan struktur tanggul bendungan. Salah satu aspek yang sangat krusial dalam pembangunan tanggul bendungan adalah kemampuan daya dukung tanah, yang sangat dipengaruhi oleh tingkat kepadatan tanah. Nilai kepadatan tanah digunakan untuk menentukan apakah suatu lokasi tanah layak dijadikan sebagai material timbunan. Apabila nilai kepadatan tidak memenuhi persyaratan teknis, maka potensi kerusakan padatan akan meningkat, dan dalam jangka panjang, hal tersebut dapat berdampak pada kerusakan struktur bangunan di atasnya.

Kepadatan tanah diperoleh melalui proses pemadatan, yaitu usaha mekanis untuk meningkatkan berat volume kering tanah. Proses ini bertujuan memperkecil volume pori dengan merapatkan butiran tanah, tanpa mengubah volume butirannya. Untuk menilai tingkat kepadatan, dilakukan perbandingan antara nilai berat volume kering tanah dari hasil pengujian lapangan (sand cone test) dan hasil laboratorium (Proctor test). Tanah dikatakan padat dan memenuhi kriteria teknis apabila nilai derajat kepadatan melebihi 95%, sehingga dapat dinyatakan layak untuk dilanjutkan ke tahap pekerjaan konstruksi selanjutnya.

## II. Metodologi

Metode penelitian yang diterapkan dalam studi ini bersifat eksperimental, meliputi pengujian baik di lapangan maupun di laboratorium. Proses penelitian diawali dengan kajian pustaka yang mencakup tinjauan terhadap penelitian terdahulu serta standar pengujian yang relevan sebagai landasan teoritis yang sesuai dengan topik penelitian. Pengambilan sampel tanah dilakukan pada lokasi rencana bendungan Lau Simeme Sibiru-Biru dengan menggunakan teknik pengambilan sampel tanah tidak terganggu (undisturbed sample). Pengujian kepadatan tanah di lapangan dengan menggunakan alat sand-cone mengacu pada SNI 03- 2828-1992, sedangkan pengujian kepadatan tanah di laboratorium mengacu pada SNI 1742-2008. Analisis hasil pengujian kepadatan tanah di lapangan dan di laboratorium masing-masing dilakukan untuk mendapatkan nilai berat volume kering tanah. Hasil pengujian berat volume kering tanah digunakan sebagai dasar untuk menghitung nilai derajat kepadatan tanah.

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif yang bertujuan untuk menganalisis data berdasarkan pengukuran menggunakan instrumen atau alat uji tertentu. Pengumpulan data dilakukan melalui pendekatan eksperimental. Sebelum pelaksanaan uji pemadatan tanah, terdapat beberapa tahapan yang harus dilalui, dimulai dengan studi literatur yang dijadikan dasar penulisan dan kerangka penelitian, dilanjutkan dengan pelaksanaan kegiatan di lapangan dan pengujian di laboratorium. Pengambilan sampel tanah dilakukan langsung di lokasi lapangan, kemudian sampel tersebut dianalisis di laboratorium untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik tanah. Pengujian yang dilakukan meliputi uji batas Atterberg sesuai standar ASTM D-4318 dan uji pemadatan berdasarkan standar SNI M-8-1991-03. Selanjutnya, data yang diperoleh diolah dan dianalisis untuk mengevaluasi hasil pemadatan tanah, yang kemudian digunakan sebagai referensi dalam mendukung keseluruhan kajian dalam penelitian ini.

## III. Pembahasan

### 3.1 Hasil Pengujian Pemadatan

Pengambilan tanah di lapangan dilakukan dengan mengambil pada tiga titik yang berbeda2 jalur dengan jarak masing 50 meter dan dianggap telah dapat mewakili pengambilan tanah undisturbed yang selanjutnya hasil pengujian kepadatan tanah di lapangan dapat dilihat pada Tabel 1 berikut:

**Tabel 1. Hasil pengujian kepadatan tanah di lapangan**

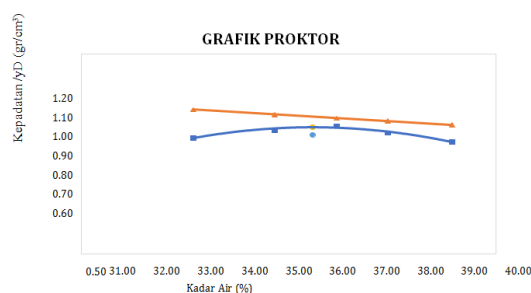
|           | Berat volume<br>Kering gram/cm <sup>3</sup> |        |        |
|-----------|---------------------------------------------|--------|--------|
| Titik SPL | BR-A.1                                      | BR-A.2 | BR-A.3 |
| TG-A      | 1,649                                       | 2,095  | 2,127  |
| TG-B      | 1,070                                       | 1,807  | 2,055  |

Sumber: Analisa Data, 2025

Pengujian kepadatan tanah di laboratorium menggunakan proctor modified test. Pengujian dilakukan sebanyak 5 (lima) kali dengan penambahan air yang berbeda-beda. Hasil pengujian kepadatan tanah di laboratorium berupa kurva pemadatan yang nantinya akan didapatkan nilai kadar air optimum dan berat volume kering maksimum yang dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 2:

**Tabel 2. Hasil Pengujian Kepadatan di laboratorium**

| Percobaan ke | Kadarair (%) | Beratvolume kering gram/cm <sup>3</sup> |
|--------------|--------------|-----------------------------------------|
| SPL-A.1      | 8,750        | 1,530                                   |
| SPL-A.1      | 13,80        | 1,670                                   |
| SPL-A.1      | 15,20        | 1,630                                   |
| SPL-A.1      | 18,35        | 1,560                                   |
| SPL - A.1    | 19,30        | 1,530                                   |



**Gambar 1. Kurva Pengujian Pemadatan**

Berdasarkan kurva pemadatan (kurva Proctor), kadar air optimum yaitu sekitar 13,17% merupakan nilai kadar air ideal yang menghasilkan kepadatan tanah tertinggi pada usaha pemadatan tertentu. Sebaliknya, berat volume kering maksimum, yaitu 1,670g/cm<sup>3</sup>, menunjukkan massa jenis kering tanah

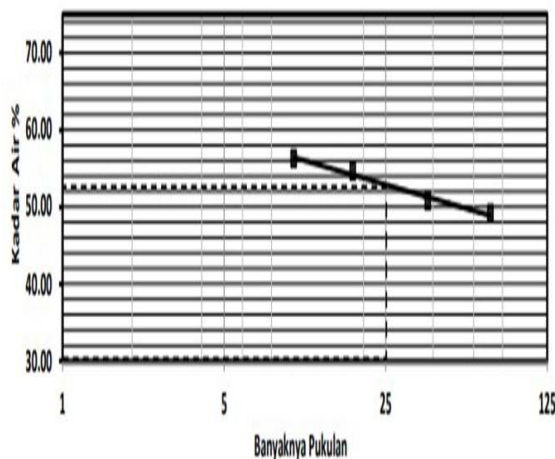
tertinggi yang dijadikan acuan saat melakukan uji kepadatan tanah di lapangan. Parameter-parameter ini sangat penting dalam desain dan kontrol kualitas pekerjaan pemadatan tanah dalam rekayasa geoteknik

### 3.2 Pengujian Atterberg Limit

Pengujian atterberg limit dapat dilakukan di laboratorium dengan pengambilan tanah timbunan yang ada dilokasi rencana bendungan Lau Sememe Sibiru-Biru sebagai berikut:

#### 1. Liquid Limit {LL}

Nilai batas cair (liquid limit) untuk tanah timbunan terukur sebesar 45,65%, seperti yang ditampilkan pada Gambar 2 berikut ini:



Gambar 2. Liquid Limit

Tanah lempung dengan kadar air sebesar 45,65% dapat dikategorikan dalam kondisi sangat basah. Hal ini dikarenakan tingkat kelembaban tersebut melebihi batas kelembaban lapangan dan bahkan mendekati zona kelembaban tinggi dalam klasifikasi konsistensi tanah lempung.

#### 2. Plastis Limit (PL)

Tanah timbunan diuji menggunakan batas plastis, sehingga ditemukan bahwa nilai batas plastis (PL) adalah 38,94% dan batas likuid (LL) sebesar 58,45%. Dengan demikian, indeks plastisitas (IP) dihitung sebagai berikut:

$$IP = [LL - PL] = [58,45 - 38,94] = 19,19\%$$

Hasil ini menunjukkan rata-rata IP sebesar 19,19%, yang menempatkan tanah dalam kategori plastis tinggi. Nilai ini juga mengonfirmasi tingginya kandungan lempung, karena  $IP > 17\%$  (plastisitas menengah-tinggi) sesuai klasifikasi umum untuk tanah halus. Tabel 3 berikut memuat detail perolehan data tersebut, yaitu sebagai berikut:

Tabel 3. Batas Atterberg

| Uji Batas Atterberg | SPL-1 | SPL-2 | SPL-3 |
|---------------------|-------|-------|-------|
| Liquid Limit (%)    | 55,65 | 58,45 | 58,45 |
| Plastic Limit (%)   | 45,65 | 35,78 | 35,40 |
| Plastic Indeks (%)  | 23,93 | 22,67 | 19,19 |

Tabel 4. Hasil Pengujian Fisik Tanah Asli

| Pengujian                              | SPL-1 | SPL-2 | SPL-3 | Rata-rata |
|----------------------------------------|-------|-------|-------|-----------|
| Kadar air (%)                          | 35,56 | 34,56 | 33,67 | 34,59     |
| Berat vol. basah (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1,64  | 1,62  | 1,60  | 1,62      |
| Berat Jenis (Gs)                       | 2,55  | 2,60  | 2,58  | 2,57      |
| Kadar air optimum (%)                  | 31,56 | 32,90 | 30,80 | 31,75     |

Sumber: Analisa Data, 2025

#### B. Analisa Derajat Kepadatan Tanah

Tingkat kepadatan tanah dihitung berdasarkan Persamaan (1), dan hasilnya disajikan dalam Tabel 5 untuk Jalur A:

Tabel 5. Nilai derajat kepadatan jalur A

| Jalur A | $\gamma_{\text{lapangan}}$ (gram/cm <sup>3</sup> ) | $\gamma_{\text{laboratorium}}$ (gram/cm <sup>3</sup> ) | D (%)  | Keterangan |
|---------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------|------------|
|         | (a)                                                | (b)                                                    | a)/(b) |            |
| SPL-A   | 1,649                                              | 1,670                                                  | 98,7   | Memenuhi   |
| SPL-B   | 2,095                                              | 1,670                                                  | 125,5  | Memenuhi   |
| SPL-C   | 2,127                                              | 1,670                                                  | 127,4  | Memenuhi   |
| SPL-D   | 1,858                                              | 1,670                                                  | 111,4  | Memenuhi   |
| SPL-E   | 1,911                                              | 1,670                                                  | 112,5  | Memenuhi   |

Sumber: Analisa Data, 2025

Derajat kepadatan tanah didapatkan dengan menggunakan Pers (1) dan dapat dilihat pada Tabel 6 untuk Jalur B:

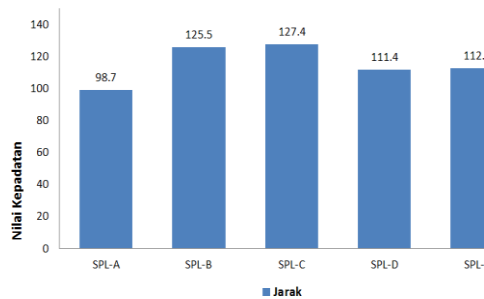
Tabel 6. Nilai Derajat Kepadatan Jalur B

| Jalur B | $\gamma_{\text{lapangan}}$ (gram/cm <sup>3</sup> ) | $\gamma_{\text{laboratorium}}$ (gram/cm <sup>3</sup> ) | D (%)  | Keterangan     |
|---------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------|----------------|
|         | (a)                                                | (b)                                                    | a)/(b) |                |
| SPL-A   | 1,070                                              | 1,670                                                  | 64,01  | Tidak Memenuhi |
| SPL-B   | 1,087                                              | 1,670                                                  | 108,30 | Memenuhi       |
| SPL-C   | 2,055                                              | 1,670                                                  | 123,06 | Memenuhi       |
| SPL-D   | 1,450                                              | 1,670                                                  | 92,73  | Tidak Memenuhi |
| SPL-E   | 1,725                                              | 1,670                                                  | 103,32 | Memenuhi       |

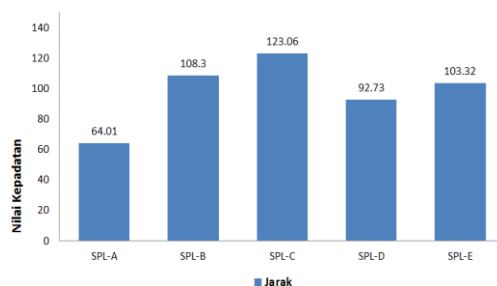
Sumber: Analisa Data, 2025

Berdasarkan analisis derajat kepadatan untuk Jalur A, semua titik pengukuran memenuhi kriteria yang ditetapkan, yaitu memiliki nilai kepadatan lebih dari 95%. Sebaliknya, pada Jalur B terdapat dua titik yang gagal memenuhi standar, karena menunjukkan tingkat kepadatan di bawah 95% yaitu sebesar 64,1% dan 92,7%. Titik-titik yang tidak sesuai ini memerlukan

pemadatan ulang menggunakan alat berat, kemudian dilakukan pengukuran ulang untuk memastikan apakah nilai kepadatan telah mencapai syarat atau belum. Sementara itu, titik yang telah memenuhi persyaratan dapat langsung dilanjutkan ke tahap pekerjaan selanjutnya



Gambar 3. Grafik Nilai Derajat Kepadatan Jalur A



Gambar 4. Grafik Nilai Derajat Kepadatan Jalur B

#### IV. Kesimpulan

- Hasil pengujian batas cair nilai rata-rata diperoleh  $[LL] = 58,45$  dan rata-rata  $[PL] = 38,94$  maka nilai  $[PI] = 19,19\%$  maka dalam hal ini tanah dapat dikatakan jenis tanah yang bersifat batas plastis tinggi karena  $[PI] > 17\%$ . Dari hasil pengujian pemadatan, diperoleh hasil besar kadar air sebesar  $34,59\%$  berat volume basah sebesar  $1,62 \text{ gr/cm}^3$ , Tanah di lokasi bendungan memiliki nilai berat jenis (specific gravity) sebesar  $2,57$ , kadar air optimum sebesar  $31,75\%$ , dan berat isi kering maksimum mencapai  $1,670 \text{ g/cm}^3$ . Berdasarkan karakteristik ini, tanah diklasifikasikan sebagai lempung anorganik dengan plastisitas tinggi (CH) dalam sistem Unified Soil Classification System (USCS), yang umumnya digunakan untuk menggambarkan tanah pada kondisi seperti ini, yakni lempung dengan batas likuid (LL)  $> 50\%$  dan indeks plastisitas (PI) yang tinggi antara lain  $> 20\%$ . Pengklasifikasian ini mengindikasikan bahwa tanah menunjukkan perilaku khas fat clay, yang penting dipertimbangkan dalam perencanaan teknik sipil karena sifat plastisitasnya yang signifikan dan kemungkinan mengalami perubahan volume (swell-shrink) yang tinggi.

- Hasil analisis menunjukkan bahwa semua titik pada Jalur A telah memenuhi syarat cakupan kepadatan, dengan derajat kepadatan di atas ambang batas  $95\%$ . Sementara itu, pada Jalur B terdapat dua titik yang tidak sesuai, dengan nilai kepadatan masing-masing  $64,1\%$  dan  $92,73\%$ . Dengan demikian, pelaksanaan timbunan pada Jalur A dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya. Namun, untuk titik-titik di Jalur B yang belum memenuhi syarat diperlukan pemadatan ulang menggunakan alat berat, diikuti oleh pengujian ulang untuk memastikan kepadatan telah terpenuhi. Ini penting karena tingkat kepadatan sangat dipengaruhi oleh kadar air optimum tanah, di mana kadar air tersebut berperan dalam mencapai kepadatan kering maksimum sesuai dengan kurva pemadatan laboratorium.

#### Daftar Pustaka

- Agustina, D. H., 2019. *Pengaruh Energi Pemadatan terhadap Nilai Kepadatan Tanah*. Sigma Teknika, 2(2), 202. <https://doi.org/10.33373/sigma.v2i2.2067>
- Akbar, S. J., Burhanuddin, B., & Jufriadi, J. 2021. *Hubungan Nilai CBR dan Sand Cone Lapisan Pondasi Bawah pada Perkerasan Lentur Jalan*. Teras Jurnal, 5(1), 21–31. <https://doi.org/10.29103/tj.v5i1.4>
- Alfarizt Wicaksana, Gurawan Djati W. GA 2024, *Kepadatan Tanah Menggunakan Sand Cone pada Peningkatan Struktur tanggul Pantai di Kota Pekalongan* Jurnal ilmu tekni sipil Vo;8 No. 1 2024 pp 67-73.
- Aripin, D. D., Asniar, N., & Hendardi, A. R., 2022, *Studi Analisis Stabilitas Lereng (Studi Kasus Lereng Bukit Cikirai Cikoneng Ciamis)*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, 2(2), 108–124. <https://doi.org/https://doi.org/10.36423/jitsi.v2i2.994>
- Asfaw, D., & Workineh, G., 2019. *Quantitative analysis of morphometry on Ribb and Gumara watersheds: Implications for soil and water Conservation Research*, 7(2), 150–157 <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.02.00>
- Fahrizal, Y., Saputro, Y. A., & Rochmanto, D., 2022. *Analisis Kepadatan Tanah pada Akses Jalan Conveyor PLTUTJBUNIT 3,4 dengan Menggunakan Standar AASHTO T 191*. Jurnal Civil Engineering Study, 02, 42–48.
- Francois, A., Offenbacher, D., & Mehta, Y., 2021, *Evaluating the Cost Effectiveness of Using Various Types of Stabilized Base Layers in Flexible Pavements*. In Eleventh International Conference on the Bearing

- Capacity of Roads, Railways and Airfields, Volume 1 (Vol. 1). Routledge. <https://doi.org/10.1201/9781003222880-15>
- [8]. Ikbāl, F. M., & Zhafirah, A., 1992, *Evaluasi Kepadatan Tanah Timbunan dengan Sand Cone Test*. Jurnal Konstruksi, 1, 228–233. <https://doi.org/https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.20-2.1136>
- [9]. Mulyono, T. & Ladesi, V. K., 2021, *Pemeliharaan dan Perawatan Bangunan Pantai di Muaragembong sebagai Upaya Menjaga Lingkungan Berkelanjutan*. Jurnal Pengabdian Masyarakat Fakultas Teknik: Jurnal Abdittek, 1(01), 44–59
- [10]. Permatasari, S., 2018. *Analisis Kepadatan Lapangan Menggunakan Metode Konus Pasir (Sand Cone) pada Desa Sebelimbingan Kabupaten Kotabaru*. Tapak (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil, 8(1), 20–25
- [11]. Singh, S., Kumar, A., & Sitharam, T. G., 2023. *Stability investigation of embankments of a tailings pond for its dry closure: an Indian case study*. Sadhana - Academy Proceedings in Engineering Sciences, 48(2). <https://doi.org/10.1007/s12046-023-02157-5>
- [12]. Siregar, R. D., Sarifah, J., & Tanjung, D., 2021, *Analisa Kepadatan Tanah Menggunakan Metode Sand Cone pada Pembangunan Relokasi Jalan Bendungan Lau Simeme Paket II Kab. Deli Serdang Sumatera Utara*. Buletin Utama Teknik, 16(2), 157–162
- [13]. Sudrajat, A. S. E., 2021, *Analisis Kesesuaian Lahan Kabupaten Pekalongan Berdasarkan Sistem Informasi Geografis*. Indonesian Journal of Spatial Planning, 1(2), 37. <https://doi.org/10.26623/ijsp.v1i2.3096>
- [14]. Villavicencio, G., Bacconnet, C., Valenzuela, P., Palma, J., Carpanetti, A., Suazo, G., Silva, M., & García, J., 2022. *The Use of Lightweight Penetrometer PANDA for the Compaction Control of Classified Sand Tailings Dams*. Minerals, 12(11), 1–29. <https://doi.org/10.3390/min12111467>