

Pengaruh Jenis Energi Pemadatan Tanah di Laboratorium Terhadap Karakteristik Tanah Lempung dari Desa Pene dan Desa Konbaki Kabupaten TTS

Ronny S. Poyk¹, Tri M. W. Sir², Jusuf J. S. Pah³

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Nusa Cendana, Jalan Adisucipto, Kupang
e-mail: (rspoyk08@gmail.com)

² Program Studi Teknik Sipil, Universitas Nusa Cendana, Jalan Adisucipto, Kupang
e-mail: (trimwsir@staf.undana.ac.id)

³ Program Studi Teknik Sipil, Universitas Nusa Cendana, Jalan Adisucipto, Kupang
e-mail: (yuserpbdaniel@yahoo.com)

ABSTRAK

Pelaksanaan konstruksi timbunan tubuh bendungan merupakan pekerjaan yang memerlukan kajian geoteknik. Kajian geoteknik dilakukan terhadap material timbunan yang digunakan pada saat tahapan pemadatan (kompaksi) di lapangan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh energi pemadatan di laboratorium terhadap kuat geser tanah yang berasal dari Desa Pene dan Desa Konbaki, Kabupaten TTS. Tanah tersebut kemudian dipadatkan menggunakan alat *Standard Proctor* dan *Modified Proctor* dengan variasi pukulan 25 dan 29 pukulan dan juga variasi lapisan 4 dan 5 lapis tanah. Pada tanah yang dilakukan pemadatan selanjutnya akan diuji kuat geser menggunakan alat *Direct Shear Test*. Pengaruh energi pemadatan menghasilkan nilai berat kering volume paling besar yaitu 1.36 gr/cm^3 untuk tanah Pene dan 1.37 gr/cm^3 untuk tanah Konbaki dengan energi sebesar 14.164 kg/cm^3 (E6) dan jika pemadatan dengan energi berlebihan pada tanah jenis dari kedua desa ini justru menurunkan nilai kepadatan keringnya. Pengaruh energi terhadap kuat geser tanah menghasilkan tanah semakin kuat dengan tingkat kepadatan yang tergolong agak padat sampai dengan sangat padat ($36.93^\circ - 61.56^\circ$)

Kata Kunci: Karakteristik, Tanah, Energi, Pemadatan, Geser

1. Pendahuluan

Tanah merupakan komponen yang sangat penting dalam bidang konstruksi. Hal ini karena fungsi tanah adalah sebagai perletakan suatu konstruksi (Buana, Sarie and Gandi, 2022). Salah satu unsur penting yang harus diperhatikan dalam tanah timbunan adalah karakteristik tanah dan cara stabilisasi tanah itu sendiri. Penentuan karakteristik tanah harus melalui pengujian – pengujian laboratorium dan lapangan. Untuk memenuhi persyaratan stabilitas bendungan maka diperlukan kepadatan dan kekuatan geser yang memadai. Pelaksanaan pemadatan dilapangan didasarkan pada hasil pengujian pemadatan di laboratorium. Uji pemadatan di laboratorium terdiri atas 2 jenis yaitu pemadatan Standard dan pemadatan modifikasi. Kedua jenis pemadatan ini akan menghasilkan karakteristik teknis yang berbeda. Material untuk tubuh bendungan biasanya diusahakan agar dapat diambil sedekat mungkin dari tempat lokasi calon bendungan. Berhubung banyaknya jenis material yang terdapat di daerah sekitar lokasi bendungan, maka dengan dasar pemilihan material yang paling ideal, tubuh bendungan dapat direncanakan sedemikian rupa, sehingga dapat memenuhi aspek fungsi maupun stabilitas bendungan. Guna memenuhi kedua aspek tersebut perlu dilakukan pekerjaan pemadatan terhadap tanah timbunan inti bendungan. Untuk mendapatkan kepadatan maksimum maka perlu dilakukan pengujian di laboratorium. Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan Febriana dkk (2021), didapat bahwa semakin banyak pukulan atau energi yang diberikan maka semakin besar energi pemadatan yang dihasilkan, serta nilai kohesi yang baik didapat pada saat pemadatan dengan jumlah pukulan 21 pukulan per lapis dengan 5 lapis tanah dan sudut geser dalam yang baik didapat pada saat pemadatan dengan 29 pukulan per lapis dengan 4 lapisan tanah. Untuk mendapatkan kepadatan maksimum maka perlu dilakukan pengujian di laboratorium. Kepadatan tanah dipengaruhi oleh besar kecilnya energi pemadatan yang diberikan. Pada proses pemadatan, peningkatan energi tidak dipengaruhi secara linear melainkan nilai optimum energi pemadatan yang diperlukan untuk memperoleh kepadatan maksimum suatu tanah, akan tetapi penambahan air setelah kadar air optimum justru cenderung menurunkan berat volume kering tanah. Tanah yang mempunyai kuat geser rendah akan berdampak pada terbatasnya beban yang bekerja diatasnya, untuk itu perlu dilakukannya pemadatan tanah agar pori-pori dalam tanah bisa keluar dan dapat ditempati oleh partikel padat tanah. Oleh karena itu dilakukan penelitian di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Universitas Nusa Cendana untuk mengetahui pengaruh jenis energi pemadatan terhadap kuat geser tanah lempung yang berasal dari Desa Pene dan Desa Konbaki Kecamatan Polen Kabupaten Timor Tengah Selatan.

2. Bahan dan Metode

Bahan yang digunakan yaitu sampel tanah lempung yang diambil dari Desa Pene dan Desa Konbaki Kecamatan Polen Kabupaten Timor Tengah Selatan.

Metode yang digunakan yaitu metode eksperimental dengan variasi tumbukan dan lapisan pada proses pemadatan tanah.

2.1 Persiapan Bahan Uji

Sampel tanah terganggu yang telah diambil kemudian dikeringkan dengan dijemur di bawah terik matahari langsung selama 34 hari. Setelah kering dihancurkan dan diayak menggunakan saringan No. 4, 10 dan 40.

2.2 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji yakni tanah asli yang telah diuji sifat fisik dan mekaniknya, kemudian dilakukan pemadatan dengan variasi tumbukan dan lapisan. Variasi benda uji tersebut ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1 Variasi Tumbukan dan Lapisan

| Sampel | Jumlah Pukulan | Jumlah Lapisan | Energi (kg/cm ³) |
|--------|----------------|----------------|------------------------------|
| 1 | 25 | 3 | 6.068 |
| 2 | 29 | 3 | 7.039 |
| 3 | 29 | 4 | 9.386 |
| 4 | 29 | 4 | 11.250 |
| 5 | 25 | 5 | 12.123 |
| 6 | 29 | 5 | 14.063 |
| 7 | 25 | 5 | 27.277 |

Untuk pengujian sifat mekanik tanah yaitu pemadatan tanah sampel tanah yang digunakan diperam terlebih dahulu selama 24 jam untuk memberikan waktu pada campuran tanah dan kadar air optimum untuk bereaksi. Selanjutnya dilakukan pengujian kuat geser tanah dengan alat Direct Shear Test dengan campuran kadar air pada dari uji pemadatan.

2.3 Pengujian Sifat Fisik, dan Mekanik Tanah

Tanah asli meliputi beberapa pengujian diantaranya:

1. Pengujian kadar air (ASTM D 2216-98)
2. Pengujian berat jenis spesifik (ASTM D 854-02)
3. Pengujian analisis saringan (ASTM D 442-63)
4. Pengujian hydrometer (ASTM D 442-63)
5. Pengujian batas-batas *atterberg*:
 - a. Pengujian batas cair (ASTM D 4318-00)
 - b. Pengujian batas plastis (ASTM D 4318-00)
 - c. Pengujian batas susut (ASTM D 427-04)
6. Pengujian pemadatan standar Proctor (ASTM D 698-00)
7. Pengujian kuat geser langsung (ASTM D 3080-04)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Sifat Fisik dan Mekanik Tanah Asli

Berdasarkan pengujian yang dilakukan hasil pengujian sifat fisik dan mekanik tanah asli terdapat dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Tanah Asli

| No | Parameter | Hasil | | Satuan |
|----|--|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| | | Pene | Konbaki | |
| 1 | Kadar air (w) | 37,86 | 33,32 | % |
| 2 | Berat jenis spesifik (<i>Specific Gravity</i>) | 2,64 | 2,68 | - |
| 3 | Batas cair (<i>Liquid Limit</i>) | 35,9 | 43,26 | % |
| 4 | Batas plastis (<i>Plastic Limit</i>) | 26,1 | 34,76 | % |
| 5 | Batas susut (<i>Shrinkage Limit</i>) | 9,4 | 11,80 | % |
| 6 | Indeks plastisitas (<i>Plasticity Index</i>) | 9,8 | 8,51 | % |
| 7 | Butiran tertahan saringan No. 200 | 30,20 | 29,97 | % |
| 8 | Butiran lolos saringan No. 200 | 69,80 | 70,03 | % |
| 9 | Permeabilitas | $3,06 \times 10^{-5}$ | $6,62 \times 10^{-6}$ | cm/detik |
| 10 | Kadar air optimum | 31,28 | 32,13 | % |
| 11 | Berat volume kering maksimum | 0,86 | 0,84 | gr/cm ³ |
| 12 | Kohesi (c) | 0,07 | 0,05 | kg/cm ² |
| 13 | Sudut geser dalam (ϕ) | 49,94 | 55,41 | ° |

Berdasarkan Tabel 2, tanah Desa Pene masuk kelompok A-4 dengan nilai GI sebesar 6, dan tanah Desa Konbaki masuk dalam kelompok A-5 dengan nilai GI sebesar 7, yang dikategorikan sebagai bahan tanah dasar biasa sampai jelek menurut sistem klasifikasi AASHTO yang didasarkan nilai indeks plastisitas dan

persentase butir tanah lolos saringan No. 200. Sedangkan menurut sistem USCS, tanah Desa Pene dan Konbaki tergolong kedalam jenis lanau anorganik dengan plastisitas rendah (ML).

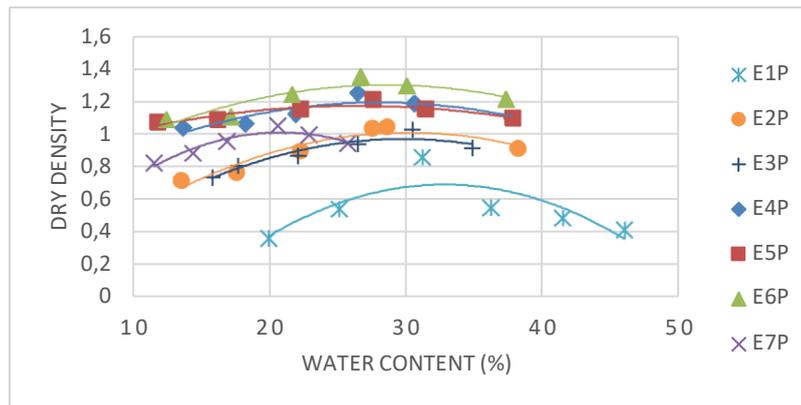
3.2 Pengaruh Energi Terhadap Pemadatan Tanah

Tujuan dari variasi energi ini adalah untuk mengetahui pengaruh mekanis tanah setelah dipadatkan pada kadar air optimum dan berat volume kering maksimum tanah dari Desa Pene dan Desa Konbaki. Hasil pengujian yang diperoleh tercantum pada Tabel 3.

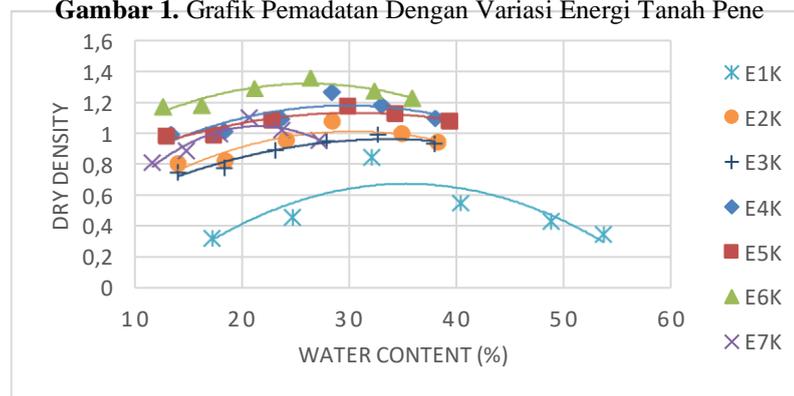
Tabel 3. Hasil Pengujian Pemadatan Tanah setelah Perubahan Energi

| Sampel | Tumbukan | Lapisan | Energi | Tanah Pene | | Tanah Konbaki | |
|--------|----------|---------|--------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | | | Wopt (%) ³⁾ | Wopt (%) ³⁾ | Wopt (%) ³⁾ | Wopt (%) ³⁾ |
| E1 | 25 | 3 | 6.068 | 32.28 | 0.86 | 31.12 | 0.83 |
| E2 | 29 | 3 | 7.039 | 28.66 | 1.04 | 28.39 | 1.09 |
| E3 | 29 | 4 | 9.386 | 30.53 | 1.03 | 32.64 | 0.99 |
| E4 | 29 | 4 | 11.250 | 26.51 | 1.26 | 28.33 | 1.27 |
| E5 | 25 | 5 | 12.123 | 27.61 | 1.22 | 29.86 | 1.18 |
| E6 | 29 | 5 | 14.063 | 26.66 | 1.36 | 26.31 | 1.37 |
| E7 | 25 | 5 | 27.277 | 20.60 | 1.05 | 20.57 | 1.11 |

Tabel 3 menunjukkan bahwa nilai berat volume kering maksimum bertambah seiring dengan bertambahnya energi pemadatan yang diberikan pada setiap sampel tanah dari desa Pene dan desa Konbaki. Sedangkan kadar air semakin berkurang sesuai dengan bertambahnya energi. Selanjutnya perbandingan dari metode standard proctor dan modified proctor (E1-E7) untuk setiap sampel tanah dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Grafik Pemadatan Dengan Variasi Energi Tanah Pene



Gambar 2. Grafik Pemadatan Dengan Variasi Energi Tanah Konbaki

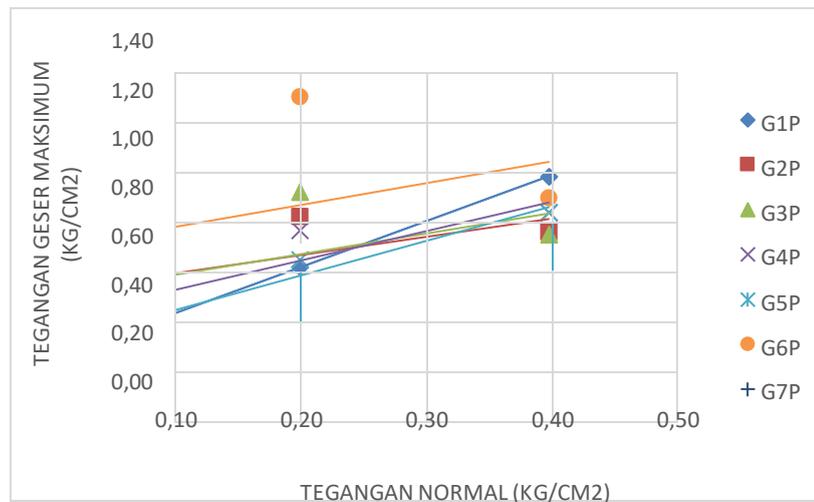
Gambar 1 dan 2 di atas untuk pengujian pemadatan dengan variasi energi menggunakan standard proctor (E1-E4) dan modified proctor (E5-E7) pada masing-masing sampel tanah Pene dan Konbaki memperlihatkan nilai berat volume kering maksimum yang semakin meningkat seiring dengan kenaikan energi pemadatan. Untuk pengujian pemadatan dengan variasi energi menggunakan modified proctor (E5-E7)

pada masing-masing sampel tanah Pene dan Konbaki memperlihatkan bahwa berat volume kering maksimum tanah masih mengalami peningkatan sampai dengan energi 14.063 kg/cm² (E6) dan kemudian mengalami penurunan berat volume kering maksimum pada energi 27.277 kg/cm² (E7), hal ini menunjukkan bahwa pemadatan dengan energi yang berlebih pada tanah jenis dari desa Pene dan Konbaki akan mengalami penurunan berat volume kering maksimum.

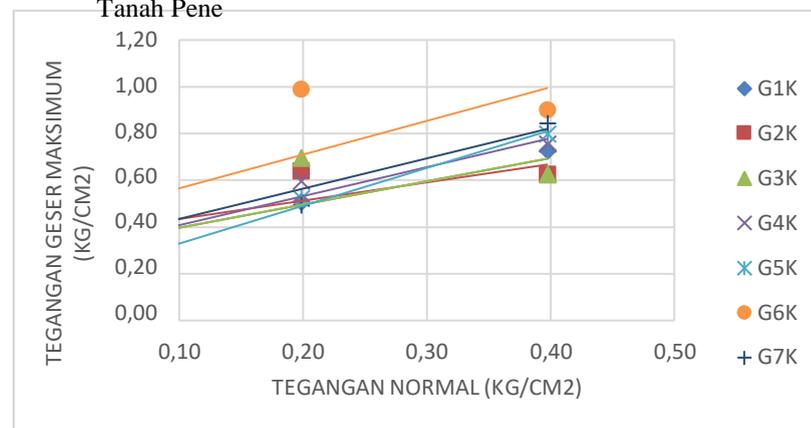
Hal lain yang dapat dilihat bahwa nilai kadar air optimum mengalami penurunan seiring bertambahnya energi pemadatan. Artinya adalah semakin tinggi energi pemadatan maka semakin meningkat berat volume kering maksimum namun menurunkan kadar air optimum tanah untuk jenis sampel tanah dari desa Pene dan Konbaki.

3.3 Pengaruh Energi Terhadap Kuat Geser Tanah

Nilai kuat geser diperoleh dari hubungan nilai tegangan normal dan tegangan geser tanah, yang dilakukan dengan uji Direct Shear. Dari hasil pengujian Direct Shear ini juga akan didapatkan nilai kohesi tanah dan sudut geser tanah. Pengujian dilakukan pada sampel tanah Pene dan Konbaki yang telah dipadatkan dengan variasi energi dengan nilai kohesi dan sudut geser yang dihasilkan terlihat pada Gambar 3 dan 4 berikut.



Gambar 3. Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser Maksimum Tanah Pene



Gambar 4. Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser Maksimum Tanah Konbaki

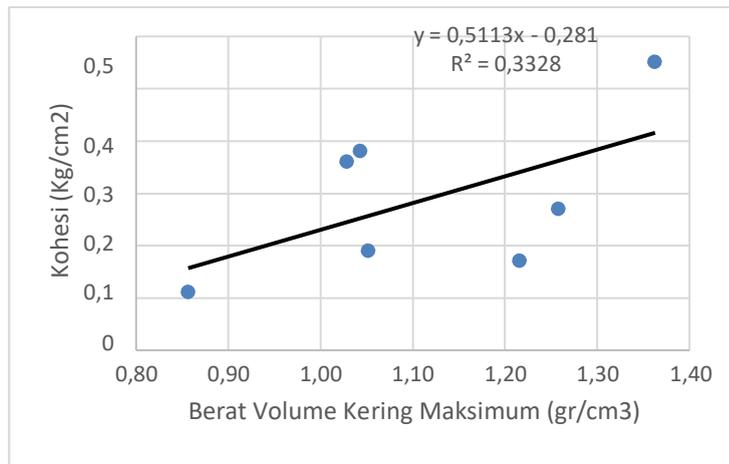
Tabel 4. Hasil Pengujian Direct Shear

| Sampel | Energi | Tanah Pene | | Tanah Konbaki | |
|--------|--------|-----------------------|-------------|-----------------------|-------------|
| | | Kohesi | Sudut geser | Kohesi | Sudut geser |
| | | (kg/cm ²) | dalam (°) | (kg/cm ²) | dalam (°) |
| G1 | 6.068 | 0.11 | 61.56 | 0.21 | 52.96 |

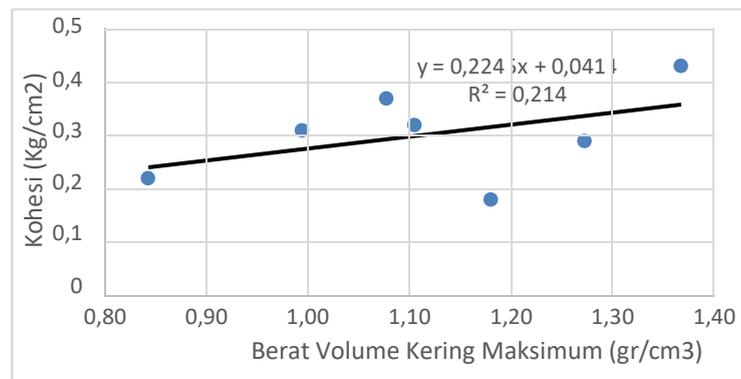
| | | | | | |
|----|--------|------|-------|------|-------|
| G2 | 7.039 | 0.38 | 36.93 | 0.36 | 38.05 |
| G3 | 9.386 | 0.36 | 39.87 | 0.30 | 44.76 |
| G4 | 11.250 | 0.27 | 49.70 | 0.28 | 51.15 |
| G5 | 12.123 | 0.17 | 54.22 | 0.17 | 58.27 |
| G6 | 14.063 | 0.55 | 41.27 | 0.42 | 55.23 |
| G7 | 27.277 | 0.19 | 56.34 | 0.31 | 52.29 |

Hasil dari Gambar 3 dan 4 hubungan tegangan normal dan tegangan geser maksimum tanah dari masing-masing sampel tanah Pene dan Konbaki menunjukkan bahwa nilai kohesi terbesar yang dihasilkan oleh pengujian geser langsung yaitu pada (G6) 0.55 kg/cm² untuk tanah Pene, dan (G6) 0.42 kg/cm² untuk tanah Konbaki. Atau dapat dikatakan bahwa nilai kohesi terbesar (G6) dihasilkan oleh energi pemadatan yang sama untuk masing-masing sampel tanah Pene dan Konbaki yaitu dengan nilai energi sebesar 14.063 kg/cm².

Hubungan antara berat volume kering maksimum terhadap kohesi sampel tanah Pene dan Konbaki juga terlihat bahwa semakin besar nilai berat volume kering maksimum sampel tanah menjadikan nilai kohesi cenderung meningkat seperti terlihat pada Gambar 5 untuk tanah Pene dan Gambar 6 untuk tanah Konbaki.



Gambar 5. Hubungan Berat Volume Kering Maksimum dan Nilai Kohesi Tanah Pene.



Gambar 6. Hubungan Berat Volume Kering Maksimum dan Nilai Kohesi Tanah Konbaki.

Berdasarkan grafik pada Gambar 5 dan 6 dapat dilihat bahwa hubungan berat volume kering maksimum terhadap kohesi tanah dari masing-masing desa menghasilkan perubahan nilai kohesi yang tetap mengalami peningkatan walaupun nilai korelasinya rendah, hal ini disebabkan oleh ketersediaannya sampel yang sedikit. Dapat dilihat juga bahwa pengaruh energi terhadap sudut geser tanah dari masing-masing desa menghasilkan tingkat kepadatan yang tergolong agak padat sampai dengan sangat padat, karena rentang nilai sudut geser adalah 36.93° – 61.56° untuk sampel tanah Pene, dan 38.05° – 55.23° untuk sampel tanah Konbaki. Semakin besar sudut geser dalam suatu material maka material tersebut akan lebih tahan menerima tegangan luar yang diberikan terhadapnya. Besaran sudut geser dalam tanah menurut Bowles (1989) terlihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Besaran Sudut Geser Dalam Tanah

| Tingkat Kepadatan | Sudut Geser Dalam |
|-------------------|-------------------|
| Sangat lepas | <30 |
| Lepas | 30-35 |
| Agak padat | 35-40 |
| Padat | 40-45 |
| Sangat padat | >45 |

Selanjutnya, perubahan peningkatan dan penurunan nilai kohesi dan nilai sudut geser berdasarkan variasi energi pemadatan terhadap dinyatakan pada Tabel 6 untuk sampel tanah Desa Pene, dan Tabel 7 untuk sampel tanah Desa Konbaki.

Tabel 6. Peningkatan Kohesi dan Sudut Geser sampel Tanah Pene

| Sampel | Jumlah pukulan | Jumlah lapisan | Energi pemadatan (kg/cm ²) | Kohesi (kg/cm ²) | Peningkatan Kohesi | Sudut geser (°) | Perubahan sudut geser (%) |
|--------|----------------|----------------|--|------------------------------|--------------------|-----------------|---------------------------|
| E1 | 25 | 3 | 6.068 | 0.11 | - | 61.56 | - |
| E2 | 29 | 3 | 7.039 | 0.38 | 3.5 | 36.93 | 40.0 |
| E3 | 29 | 4 | 9.386 | 0.36 | 3.3 | 39.87 | 35.2 |
| E4 | 29 | 4 | 11.250 | 0.27 | 2.5 | 49.70 | 19.3 |
| E5 | 25 | 5 | 12.123 | 0.17 | 1.5 | 54.22 | 11.9 |
| E6 | 29 | 5 | 14.063 | 0.55 | 5.0 | 41.27 | 33.0 |
| E7 | 25 | 5 | 27.277 | 0.19 | 1.7 | 56.34 | 8.5 |

Tabel 7. Peningkatan Kohesi dan Sudut Geser sampel Tanah Konbaki

| Sampel | Jumlah pukulan | Jumlah lapisan | Energi pemadatan (kg/cm ²) | Kohesi (kg/cm ²) | Peningkatan Kohesi | Sudut geser (°) | Perubahan sudut geser (%) |
|--------|----------------|----------------|--|------------------------------|--------------------|-----------------|---------------------------|
| E1 | 25 | 3 | 6.068 | 0.21 | - | 52.96 | - |
| E2 | 29 | 3 | 7.039 | 0.36 | 1.7 | 38.05 | 28.2 |
| E3 | 29 | 4 | 9.386 | 0.30 | 1.4 | 44.76 | 15.5 |
| E4 | 29 | 4 | 11.250 | 0.28 | 1.3 | 51.15 | 3.4 |
| E5 | 25 | 5 | 12.123 | 0.17 | 0.8 | 58.27 | 10.0 |
| E6 | 29 | 5 | 14.063 | 0.42 | 2.0 | 55.23 | 4.3 |
| E7 | 25 | 5 | 27.277 | 0.31 | 1.5 | 52.29 | 1.3 |

Tabel 4.8 untuk tanah Pene menunjukan besaran nilai perubahan kohesi terhadap E1 yang cenderung mengalami penurunan seiring dengan peningkatan energi, kemudian untuk nilai perubahan sudut geser terhadap E1 juga mengalami penurunan. Tabel 4.9 untuk tanah Konbaki menunjukan besaran nilai perubahan kohesi terhadap E1 yang juga cenderung mengalami penurunan seiring dengan peningkatan energi, kemudian untuk nilai perubahan sudut geser terhadap E1 juga mengalami penurunan.

Maka dapat dikatakan bahwa perubahan energi pemadatan tidak berpengaruh terlalu besar terhadap nilai kohesi dan sudut geser tanah untuk jenis sampel tanah dari desa Pene dan Konbaki.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, perubahan energi pemadatan tanah Desa Pene dan Desa Konbaki terhadap pengaruh pemadatan dan kekuatan geser tanah, dapat disimpulkan :

1. Tanah Pene memiliki nilai kadar air 37.86%, nilai berat jenis tanah 2.64, nilai batas cair 35.92%, nilai batas plastis 26.11%, nilai batas susut 9.49% dan nilai indeks plastisitas 9.81%. Gradasi butiran tanah 69.80% lolos saringan No. 200. Hasil pengujian permeabilitas memiliki nilai 3.06×10^{-5} cm/detik. Dalam klasifikasi AASHTO tanah ini termasuk ke dalam kelompok A-4 (6) dengan penilaian sebagai bahan tanah dasar biasa sampai jelek, dan dalam klasifikasi USCS tanah ini termasuk dalam kelompok ML yang merupakan jenis lanau anorganik dengan plastisitas rendah. Tanah Pene memiliki berat kering maksimum 0.86 gr/cm^3 pada kadar air optimum 31.28%. Nilai kohesi (c) = 0.07 kg/cm^3 dan sudut geser dalam (ϕ) = 49.94° . Tanah Konbaki memiliki nilai kadar air 33.32%, nilai berat jenis tanah 2.68, nilai batas cair 43.26%, nilai batas plastis 34.76%, nilai batas susut 11.80% dan nilai indeks plastisitas 8.51%. Gradasi butiran tanah 70.03% lolos

saringan No. 200. Hasil pengujian permeabilitas memiliki nilai 6.62×10^{-6} cm/detik. Dalam klasifikasi AASHTO tanah ini termasuk ke dalam kelompok A-5 (7) dengan penilaian sebagai bahan tanah dasar biasa sampai jelek, dan dalam klasifikasi USCS tana ini termasuk dalam kelompok ML yang merupakan jenis lanau anorganik dengan plastisitas rendah. Tanah Konbaki memiliki berat kering maksimum 0.84 gr/cm^3 pada kadar air optimum 32.12%. Nilai kohesi (c) = 0.05 kg/cm^3 dan sudut geser dalam (ϕ) = 55.41° .

2. Pengaruh energi pemadatan dari hasil studi dapat disimpulkan bahwa peningkatan energi pemadatan untuk kompaksi di laboratorium dari energi *standard Proctor* (E1) sebesar 6.068 kg/cm^2 menjadi (E6) sebesar 14.063 kg/cm^2 menaikkan *maximum dry density*, $\gamma_{dry \text{ max}}$ sebesar 59% untuk sampel tanah Desa Pene, dan $\gamma_{dry \text{ max}}$ sebesar 62% untuk sampel tanah Desa Konbaki, dan pemadatan dengan energi berlebihan pada tanah jenis sampel dari kedua desa ini justru akan menurunkan nilai kepadatan keringnya seperti nilai $\gamma_{dry \text{ max}}$ pada (E7) sebesar 23% untuk sampel tanah Desa Pene, dan 31% untuk sampel tanah Desa Konbaki.

3. Pengaruh energi pemadatan terhadap kekuatan geser tanah dari hasil pengujian geser langsung dapat disimpulkan bahwa peningkatan energi pemadatan menghasilkan nilai sudut geser yang semakin menurun dari E1 sebesar 61.56° menjadi E7 sebesar 56.34° untuk sampel tanah desa Pene, dan E1 sebesar 52.96° menjadi E7 sebesar 52.29° untuk sampel tanah desa Konbaki. Tingkat kepadatan tanah tergolong agak padat sampai dengan sangat padat karena peningkatan energi menghasilkan nilai sudut geser diantara $36.93^\circ - 61.56^\circ$ untuk sampel tanah Desa Pene dan $38.05^\circ - 55.23^\circ$ untuk sampel tanah desa Konbaki berdasarkan besaran sudut geser dalam tanah terhadap tingkat kepadatan tanah menurut Bowles (1989).

Daftar Pustaka

- Bowles, J. E. (1984). *Sifat-sifat Fisik Dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)* (Edisi 2). Jakarta: Erlangga.
- Bowles, J. E. (1991). *Sifat Fisik Dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah) (Edisi I)*. Jakarta: Erlangga.
- Das, B. M. (1988). *Mekanika Tanah I*. Jakarta: Erlangga. Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah II*. Jakarta: Erlangga.
- Das, B. M. (2009). *Mekanika Tanah Dan Prinsip Rekayasa Geoteknik*. Jakarta: Erlangga.
- Hardiyatmo, H. C. (1992). *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2017). *Mekanika Tanah I. Edisi Ketujuh*. Jakarta: Erlangga.
- Hazzi, A. A. (2021). *Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Dengan Variasi Serbuk Bata Merah Pada Tanah Lempung Terhadap Parameter Kuat Geser Tanah*. Skripsi. Yogyakarta: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
- Irawan, C. (2010). *Pengaruh Pemadatan Dengan Proctor Modifikasi Pada Kuat Geser Tanah Gambut Melalui Uji Triaksial Consolidated Undrained*. Skripsi. Depok: Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Indonesia.
- Mashemi., & Saputra, F. S. (2018). *Analisis Uji Pemadatan Standard Dan Uji Pemadatan Modified Terhadap Nilai Koefisien Permeabilitas Tanah Lempung Berkerikil*. Jurnal Teknik Sipil. TAPAK, Vol 8, No. 1, November, 2018.
- Putri, V. S., Rangga, F., Hadiyati, S., & S, W. K. (2017). *Analisa Permeabilitas Zona Inti dan Zona Filter Bendungan Logung*. Jurnal Karya Teknik Sipil. Vol 6, No. 2, Tahun 2017.
- Sari, K. I., & Tambunan, L. (2020). *Studi Perbandingan Uji Pemadatan Standar Dan Uji Pemadatan Modified Terhadap Tanah Dari Jalan Pertahanan - Patumbuk Yang Dicampur Kapur*. JCEBT, 4 (1) Maret, 2020.
- Sembiring, N., Iswan., & Jafri, M. (2016). *Studi Perbandingan Uji Pemadatan Standar dan Uji Pemadatan Modified Terhadap Nilai Koefisien Permeabilitas Tanah Lempung Berpasir*. JRSDD, Vol. 4, No. 3, Edisi September, 2016.
- Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1987). *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*. Jakarta: Erlangga.
- Utami, W., Setyanto., & Sulistyorini, R. (2019). *Korelasi Uji Pemadatan Standard Proctor Method Terhadap Pengujian CBR Laboratorium Berdasarkan Alat Uji Tekan Modifikasi di Laboratorium Untuk Pemadatan Tanah di Lapangan*. JRSDD, Vol 7, No, 1, Edisi Maret, 2019.
- Wijatmiko, E. I. Ir., Dr. (2013). *Bendungan Urugan I*. Bahan Ajar Fakultas Teknik Universitas Islam Malang.
- Wesly, L. D. Dr., & Pranyoto S. Ir., Dr. (2010). *Mekanika Tanah, untuk Tanah Endapan dan Residu*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Muda, Anwar (2016). *Model Pendekatan Alat Uji Kepadatan Ringan Untuk Tanah Di Laboratorium*. Jurnal Info Teknik Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional VII Volume 17 No. 1 Juli 2016 (53-68). Febriana, E., Primanita., & Agustina H., Dian (2021). *Pengaruh Energi Pemadatan Terhadap Kuat Geser Tanah*. Sigma Teknika, Vol. 4, No.2 : 262-266, Edisi November, 2021