

PENGARUH PERENDAMAN TERHADAP NILAI KUAT UJI TEKAN YANG DIPADATKAN DENGAN CARA PROCTOR PADA BENGKOL

Josia Mariano Nicky Abel¹ dan Gregorius Sandjaja Sentosa²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
josia.325200015@stu.untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
gregoriuss@ft.untar.ac.id

Masuk: 26-06-2024, revisi: 15-07-2024, diterima untuk diterbitkan: 24-09-2024

ABSTRACT

Soil is an important factor in construction. one of the important soil parameters is the unconfined compressive test strength where the unconfined compressive test strength value is the stress value at the maximum strength that can be supported by an object before experiencing damage caused by compressive forces. One of the factors that influences the strength value of the unconfined compression test is water. This research aims to find a decrease in the strength value of the free compression test caused by immersion. This research is based on standards from ASTM D698, ASTM D1557, SNI 1744, ASTM D2166, ASTM D2216, dan ASTM D4318. The highest compressive test strength values for compaction are in dry conditions and modified compaction types. And it has a significant decrease in compressive test strength value after soaking. The lowest compressive test strength value is found in dry conditions and standard compaction after soaking. The higher the water content after passing the optimum water content, the soil experiences a large decrease in the unconfined compressive strength test value.

Keywords: Soil; unconfined compressive test strength; soaking; compaction

ABSTRAK

Tanah merupakan salah satu faktor penting dalam konstruksi. salah satu parameter tanah yang penting adalah kuat uji tekan bebas dimana nilai kuat uji tekan bebas adalah nilai tegangan pada kekuatan maksimum yang dapat ditopang oleh suatu benda sebelum mengalami kerusakan yang disebabkan oleh gaya tekan. Salah satu faktor yang mempengaruhi nilai kuat uji tekan bebas adalah air. Penelitian ini bertujuan untuk mencari penurunan nilai kuat uji tekan yang diakibatkan perendaman. Penelitian ini berstandar dari ASTM D698, ASTM D1557, SNI 1744, ASTM D2166, ASTM D2216, dan ASTM D4318. Nilai kuat tekan tertinggi pada pemadatan berada dalam kondisi kering dan jenis pemadatan modifikasi. Dan memiliki penurunan nilai kuat tekan yang signifikan setelah direndam. Nilai kuat tekan terendah terdapat pada kondisi kering dan pemadatan standar setelah direndam. Semakin tinggi kadar air setelah melewati kadar air optimum tanah mengalami penurunan nilai kuat uji tekan bebas yang cukup besar.

Kata kunci: Tanah; kuat uji tekan bebas; perendaman; pemadatan

1. PENDAHULUAN

Tanah merupakan salah satu faktor penting dalam konstruksi. Salah satu parameter tanah yang penting adalah kuat uji tekan bebas dimana nilai kuat uji kuat tekan adalah nilai tegangan pada kekuatan maksimum yang dapat ditopang oleh suatu benda sebelum mengalami kerusakan yang disebabkan oleh gaya tekan. Salah satu faktor yang mempengaruhi nilai uji kuat tekan adalah air. Penelitian ini bertujuan untuk mencari penurunan nilai kuat uji kuat tekan yang diakibatkan perendaman.

Nilai tegangan runtuh uji kuat tekan (qu) pada tanah yang dipadatkan dan distabilisasi telah banyak dilakukan dan dipublikasikan. Nilai qu setelah distabilisasi menggunakan variasi campuran semen dengan memberikan variasi enersi pemadatan memiliki hasil yang berbeda beda (Ayeledeen et al., 2016). Nilai qu tanah dapat bervariasi tergantung pada berbagai faktor, termasuk tingkat pemadatan dan stabilitasi. Temuan menunjukkan bahwa pemadatan dengan energi yang lebih tinggi dapat membuat tanah lebih rentan terhadap kepecahan, meskipun nilai qu -nya mungkin lebih tinggi. Nilai qu dengan stabilisasi semen bisa meningkat lebih tinggi setelah proses curing (Yusuf et al., 2012). Nilai qu juga dapat ditingkatkan dengan menambahkan limbah seperti serbuk kaca, sehingga penambahan limbah dapat mengikat partikel, serta mengisi rongga pada partikel tanah yang menghasilkan kepadatan rongga menjadi lebih tinggi dan kuat tekan pada sampel tanah menjadi lebih tinggi (Stainlaus & Prihatiningsih, 2019). Penambahan semen putih menghasilkan nilai kuat tekan bebas yang lebih besar daripada penambahan menggunakan semen hitam (Elendra &

Prihatiningsih, 2019). Nilai q_u juga dapat ditingkatkan setelah mencampur bahan kimia dan pemeraman setelah beberapa hari (Aribudiman et al., 2023). Semakin rendah kadar air maka nilai uji desak semakin tinggi kuat tekan dan kuat gesernya begitupun sebaliknya semakin tinggi kadar air semakin rendah pula kuat tekan dan kuat gesernya (Ningsih et al, 2021). Penambahan abu sawit yang berlebihan dapat membuat penurunan nilai q_u (Kusuma et al. 2015). Penambahan fly ash yang berlebihan pada tanah yang direndam akan menyebabkan fly ash rusak sehingga menyebabkan nilai q_u menurun (Leta et al, 2024).

Penelitian ini merupakan penelitian yang melanjutkan penelitian yang dilakukan oleh Sentosa et al. (2018) yang bertujuan mengeksplorasi beberapa nilai q_u untuk tanah dari lokasi yang berbeda, dan merupakan bagian dari analisis karakteristik tanah dasar untuk fondasi jalan raya dikarenakan pada penelitian sebelumnya terapat bebetapa kekurangan yaitu tidak memperhitungkan nilai q_u apabila tanah terendam.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Tarumanagara, Jakarta. Sampel tanah diuji karakteristik dan parameter tanah, dengan uji *specific gravity*, *atterberg limit* (batas plastis), *grain size* (ukuran butir) dengan tujuan untuk menentukan ukuran butir tanah. Kemudian dilakukan uji kepadatan dengan pemadatan standar dan modifikasi, untuk mendapatkan kepadatan tanah kering maksimum dan kadar air optimum. Pengujian uji kuat tekan dilakukan pada contoh tanah yang dipadatkan pada γ_{dmax} , 98% dari γ_{dmax} pada sisi kering dan sisi basah. Sebelum diuji sampel akan terlebih dahulu direndam selama 4 hari. Penelitian ini berstandar dari ASTM D698, ASTM D1557, SNI 1744, ASTM D2166, ASTM D2216, dan ASTM D4318.

Penelitian ini menggunakan sampel tanah yang diambil dari daerah Bengkulu, Sulawesi Utara . Sampel tanah Bengkulu sudah pernah diuji dan diketahui mengandung tanah lanau 84,7% (Sentosa et. al, 2018).

Sistematika penelitian:

- Semua sampel tanah yang akan digunakan diuji karakteristiknya (*index properties*) meliputi: *Specific gravity*, *atterberg limit*, sebaran ukuran butir.
- Melakukan pemadatan tanah.
- Melakukan perendaman.
- Melakukan *unconfined compression test* (UCT).
- Pengolahan data yang didapat dari hasil percobaan.

Diagram alir tahapan penelitian dari pengujian *index properties* hingga pengujian UCT dapat dilihat pada Gambar 1.

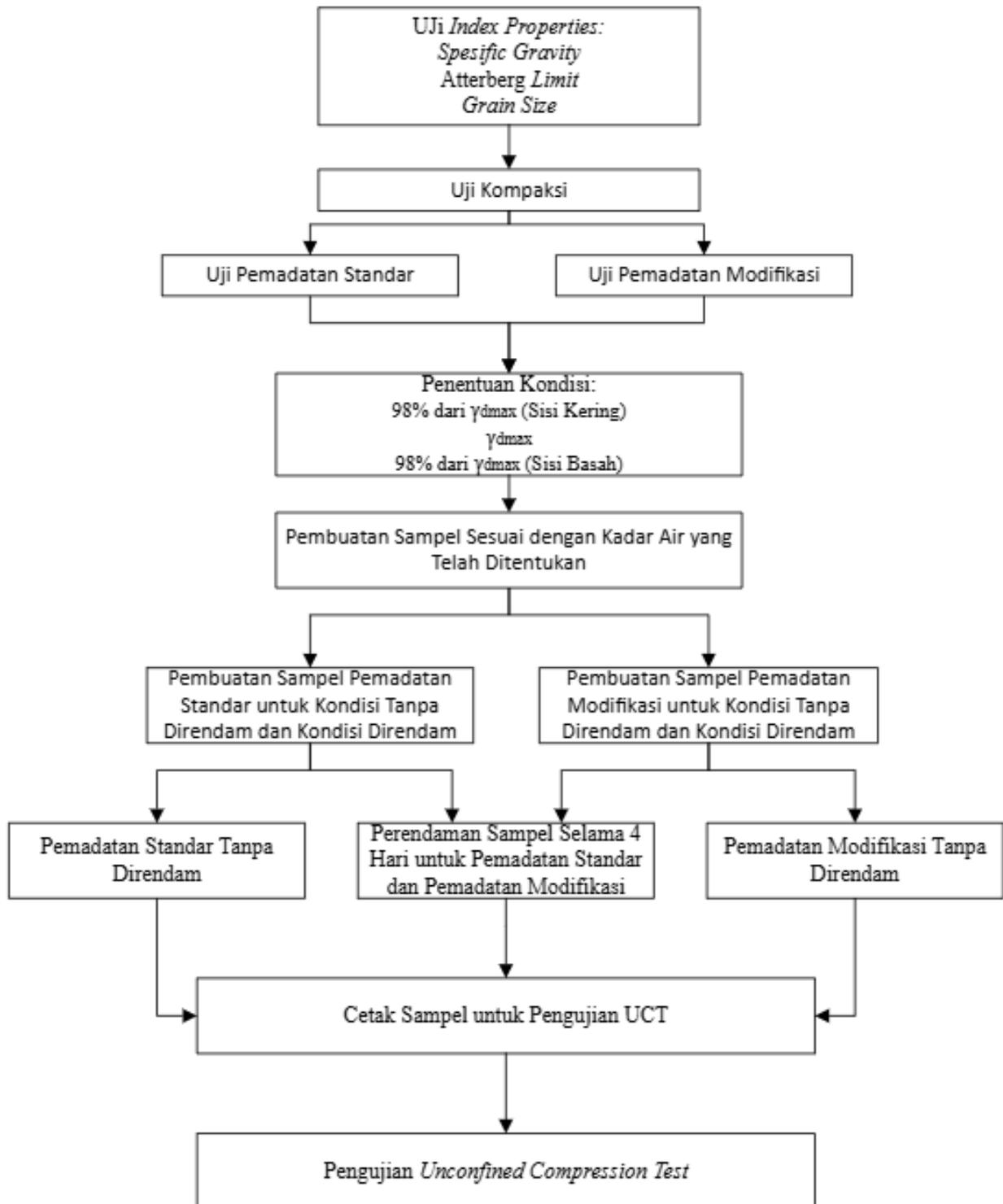
3. HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan Tabel 1, tanah pada daerah Bengkulu merupakan tanah lanau kelempungan dikarenakan sebaran butiran halus lanau sebanyak 63,92% dan lempung sebanyak 31,45%. Batas cair tanah sebesar 65,92%, batas plastis sebesar 40,33% dan indeks plastisitas sebesar 25,59%. Berdasarkan parameter tersebut tanah Bengkulu dapat dikategorikan dengan simbol MH dalam sistem klasifikasi USCS dan dalam sistem klasifikasi AASHTO dapat dikategorikan dalam kelompok A-7-5.

Sampel tanah ketika dipadatkan menggunakan metode pemadatan standar (*standard compaction test*, ASTM 698) dan pemadatan modifikasi (*modified compaction test*, ASTM 1557) menghasilkan kurva seperti pada Gambar 2.

Berdasarkan Gambar 2 dan Tabel 2 kadar air optimum (W_{opt}) sebesar 38,5% dengan berat isi kering (γ_{dmax}) sebesar 11,89 kN/m³, 98% dari γ_{dmax} (sisi kering) sebesar 34,5% dengan γ_d sebesar 11,65 kN/m³, serta 98% dari γ_{dmax} (sisi basah) dari γ_{dmax} sebesar 42,5% dengan γ_d sebesar 11,65 kN/m³ untuk pemadatan standar, sedangkan untuk pemadatan modifikasi didapatkan γ_{dmax} sebesar 37,4% dengan γ_d sebesar 12,43 kN/m³, 98% dari γ_{dmax} (Sisi kering) sebesar 35% dengan γ_d sebesar 12,18 kN/m³, serta 98% dari γ_{dmax} (sisi basah) sebesar 42,5% dengan γ_d sebesar 12,18 kN/m³.

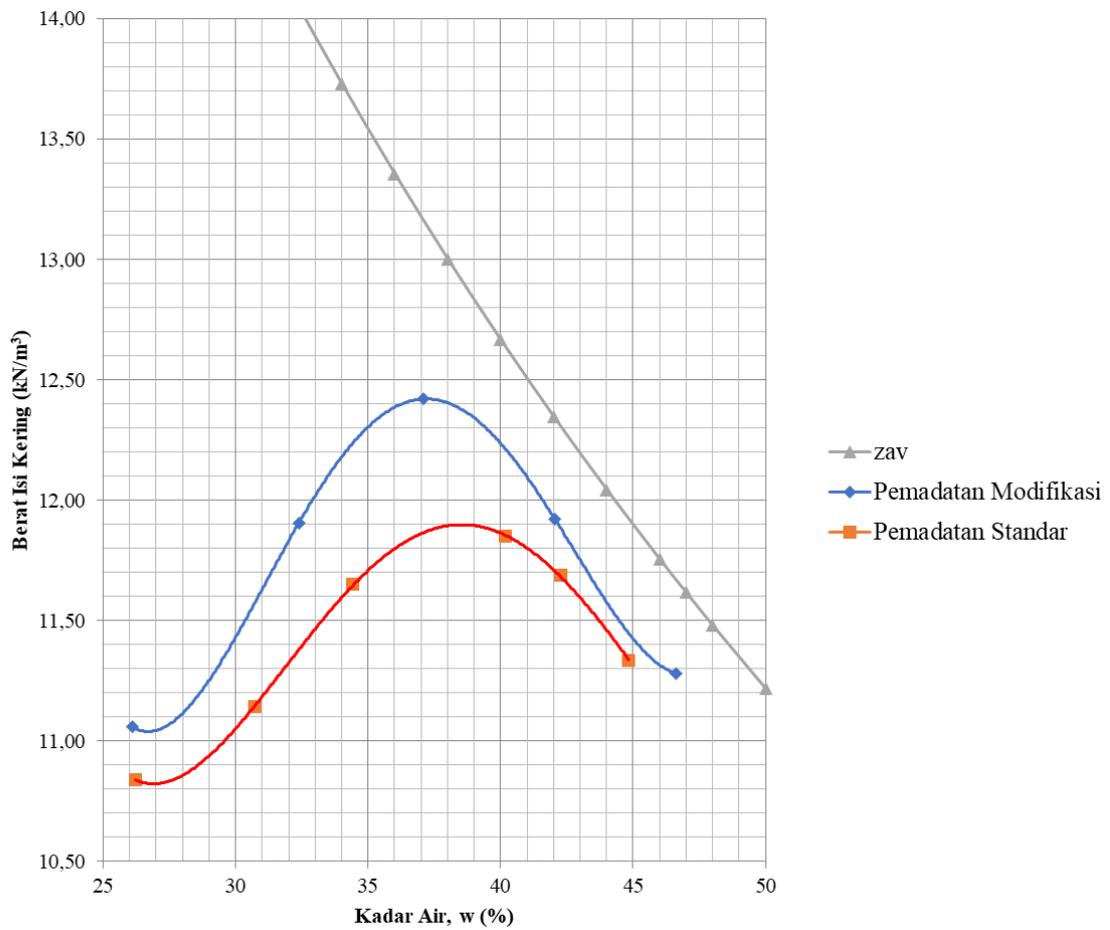
Dari Gambar 3, nilai kuat uji tekan terbesar terdapat pada kondisi pemadatan modifikasi tanpa direndam diikuti kondisi pemadatan standar tanpa direndam, kondisi pemadatan modifikasi setelah direndam 4 hari dan yang terkecil adalah kondisi pemadatan standar setelah direndam selama 4 hari.



Gambar 1. Diagram alir dari pengujian kompaksi hingga pengujian UCT

Tabel 1. Parameter perencanaan (Hardiyatmo, 2002)

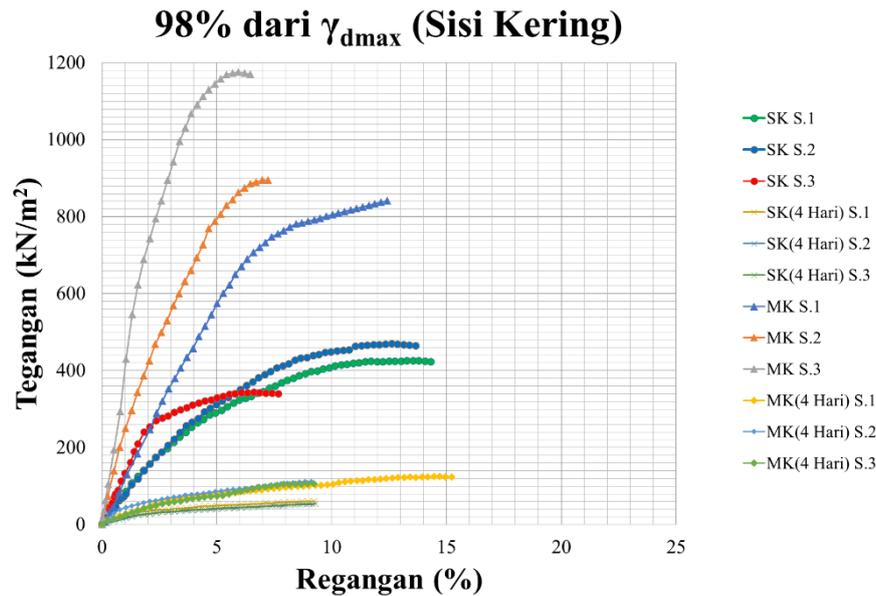
| Uji Laboratorium | | Hasil Pengujian |
|----------------------------|--------------------------|-----------------|
| Spesific Gravity | Gs | 2,67 |
| Atterberg Limit | Batas Cair(%) | 65,9235 |
| | Batas Plastis(%) | 40,3303 |
| | Indeks Plastisitas (%) | 25,5932 |
| Grain Size | Gravel(%) | 0,028 |
| | Pasir(%) | 4,628 |
| | Lanau(%) | 63,9248 |
| | Lempung(%) | 31,4472 |
| | Klasifikasi Tanah (USCS) | MH |
| Klasifikasi Tanah (AASHTO) | | A-7-5 |



Gambar 2. Hasil uji pemadatan standar dan modifikasi

Tabel 1. Rangkuman kadar air dan berat isi kering bengkol

| Kondisi Pemadatan | Kadar Air Pemadatan (%) | | Berat Isi Kering (kN/m ³) | |
|--|-------------------------|------------|---------------------------------------|------------|
| | Standar | Modifikasi | Standar | Modifikasi |
| 98% dari γ_{dmax} (Sisi Kering) | 34,5 | 35 | 11,65 | 12,18 |
| γ_{dmax} | 38,5 | 37,4 | 11,89 | 12,43 |
| 98% dari γ_{dmax} (Sisi Basah) | 42,5 | 40,2 | 11,65 | 12,18 |



Gambar 3. Perbandingan nilai uji kuat tekan tanah yang diuji dengan pemadatan standar dan modifikasi dengan kondisi 98% dari γ_{dmax} (sisi kering)

Keterangan Gambar 3:

- SK = Hasil uji kuat tekan setelah dipadatkan dengan metode pemadatan standar pada kondisi 98% dari γ_{dmax} (sisi kering).
- SK (4 hari) = Hasil uji kuat tekan setelah dipadatkan dengan metode pemadatan standar pada kondisi 98% dari γ_{dmax} (sisi kering) dan telah direndam selama 4 hari.
- MK = Hasil uji kuat tekan setelah dipadatkan dengan metode pemadatan modifikasi pada kondisi 98% dari γ_{dmax} (sisi kering).
- MK (4 hari) = Hasil uji kuat tekan setelah dipadatkan dengan metode pemadatan modifikasi pada kondisi 98% dari γ_{dmax} (sisi kering) dan telah direndam selama 4 hari.
- S.1 = Sampel 1 hasil uji kuat tekan.
- S.2 = Sampel 2 hasil uji kuat tekan.
- S.3 = Sampel 3 hasil uji kuat tekan.

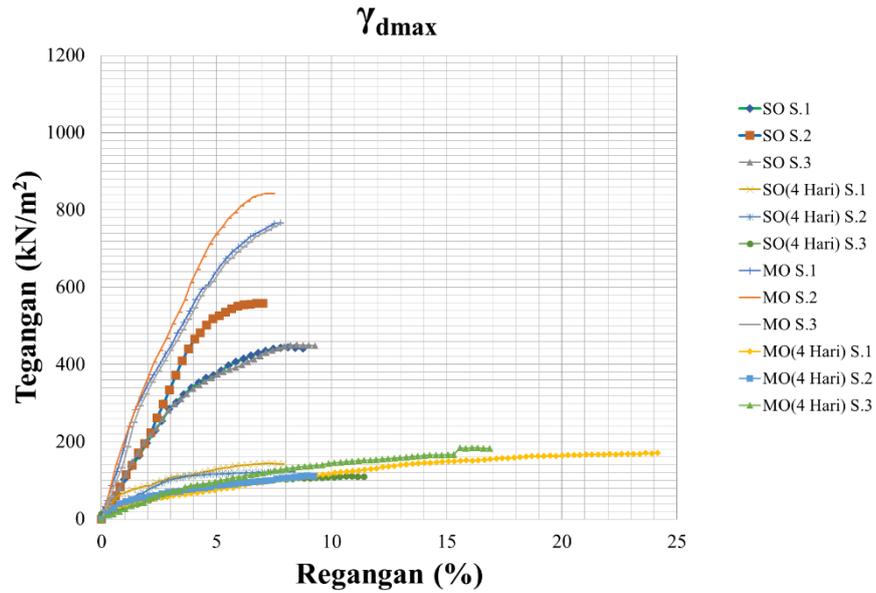
Dari Gambar 4, nilai kuat uji terbesar terdapat pada kondisi pemadatan modifikasi tanpa direndam diikuti kondisi pemadatan standar tanpa direndam, kondisi pemadatan modifikasi setelah direndam 4 hari dan yang terkecil adalah kondisi pemadatan standar setelah direndam selama 4 hari.

Dari Gambar 5, nilai q_u terbesar terdapat pada kondisi pemadatan modifikasi tanpa direndam diikuti kondisi pemadatan standar tanpa direndam, untuk kondisi pemadatan modifikasi setelah direndam 4 hari dan kondisi pemadatan standar setelah direndam selama 4 hari memiliki nilai q_u yang hampir sama.

Berdasarkan Tabel 3 nilai q_u tertinggi terdapat pada pemadatan modifikasi yang memiliki kondisi 98% dari γ_{dmax} (sisi kering) dengan nilai sebesar 1176,87 kN/m², dan menunjukkan penurunan nilai q_u yang signifikan setelah direndam 4 hari, hingga mencapai 125,11 kN/m². Penurunan nilai q_u mencapai 89,37%. Untuk kondisi pemadatan standar nilai q_u terbesar terdapat pada kondisi γ_{dmax} dengan nilai q_u sebesar 444,83 kN/m² dan mengalami penurunan nilai q_u setelah direndam 4 hari sebesar 110,77 kN/m². Penurunan nilai q_u mencapai 74,18%. Nilai q_u paling rendah terdapat pada sampel tanah yang direndam ketika kondisi 98% dari γ_{dmax} (sisi kering) pemadatan standar, yaitu sebesar 52,40 kN/m², jika tidak direndam nilai q_u mencapai 343,85 kN/m².

Penurunan terbesar terjadi pada sampel tanah dengan kondisi 98% dari γ_{dmax} (sisi kering) pada pemadatan modifikasi, yang nilainya mencapai penurunan sebesar 89,37%, sedangkan penurunan terkecil terjadi pada kondisi sampel tanah yang dipadatkan dengan metode pemadatan standar, yaitu nilainya sebesar 62,89%.

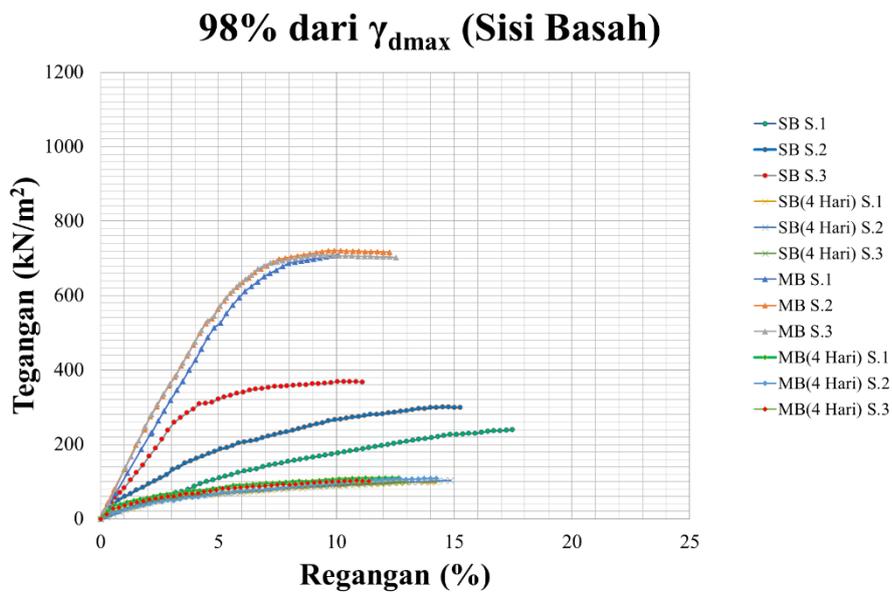
Swelling tertinggi terjadi pada sampel tanah dengan kondisi 98% dari γ_{dmax} (sisi kering) pemadatan modifikasi sebesar 2,87% dan *swelling* terendah terjadi pada sampel tanah dengan kondisi 98% dari γ_{dmax} (sisi basah) pada pemadatan modifikasi, yaitu sebesar 0,11%.



Gambar 4. Perbandingan nilai uji kuat tekan tanah yang diuji dengan pemadatan standar dan modifikasi dengan kondisi γ_{dmax}

Keterangan Gambar 4:

- SO = Hasil uji kuat tekan setelah dipadatkan dengan metode pemadatan standar pada kondisi γ_{dmax} .
- SO (4 hari) = Hasil uji kuat tekan setelah dipadatkan dengan metode pemadatan standar pada kondisi γ_{dmax} dan telah direndam selama 4 hari.
- MO = Hasil uji kuat tekan setelah dipadatkan dengan metode pemadatan modifikasi pada kondisi γ_{dmax} .
- MO (4 hari) = Hasil uji kuat tekan setelah dipadatkan dengan metode pemadatan modifikasi pada kondisi γ_{dmax} dan telah direndam selama 4 hari.
- S.1 = Sampel 1 hasil uji kuat tekan.
- S.2 = Sampel 2 hasil uji kuat tekan.
- S.3 = Sampel 3 hasil uji kuat tekan.



Gambar 5. Perbandingan nilai uji kuat tekan tanah yang diuji dengan pemadatan standar dan modifikasi dengan kondisi 98% dari γ_{dmax} (sisi basah).

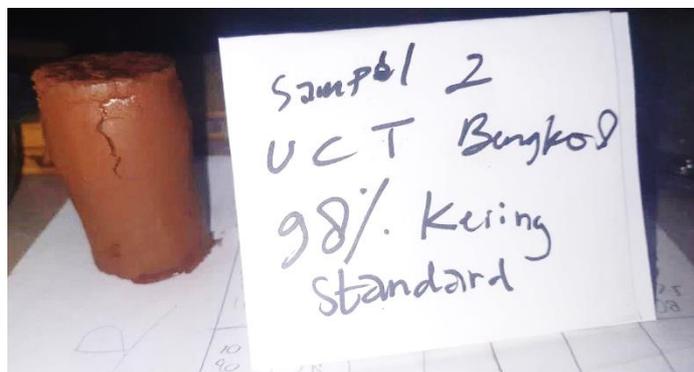
Keterangan Gambar 5:

- SB = Hasil uji kuat tekan setelah dipadatkan dengan metode pemadatan standar pada kondisi 98% dari γ_{dmax} (sisi basah).
- SB (4 hari) = Hasil uji kuat tekan setelah dipadatkan dengan metode pemadatan standar pada kondisi 98% dari γ_{dmax} (sisi basah) dan telah direndam selama 4 hari.
- MB = Hasil uji kuat tekan setelah dipadatkan dengan metode pemadatan modifikasi pada kondisi 98% dari γ_{dmax} (sisi basah).
- MB (4 hari) = Hasil uji kuat tekan setelah dipadatkan dengan metode pemadatan modifikasi pada kondisi 98% dari γ_{dmax} (sisi basah) dan telah direndam selama 4 hari.
- S.1 = Sampel 1 hasil uji kuat tekan.
- S.2 = Sampel 2 hasil uji kuat tekan.
- S.3 = Sampel 2 hasil uji kuat tekan.

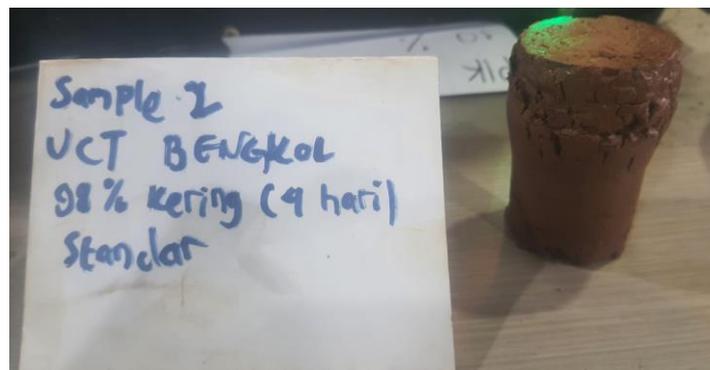
Tabel 2. Rangkuman nilai uji kuat tekan, q_u (kN/m²)

| Kondisi Sampel | Nilai q_u | | | q_u Max | q_u Min | Penurunan q_u | | Kadar Air w, (%) | Berat Isi Kering γ_d (kN/m ³) | Swelling (%) |
|----------------|-------------|--------|---------|-----------|-----------|-----------------|-------|------------------|--|--------------|
| | S1 | S2 | S3 | | | Max | Min | | | |
| SK | 426,44 | 432,16 | 343,85 | 432,16 | 343,85 | | | 34,93 | 11,67 | |
| SK (4 Hari) | 60,36 | 52,40 | 53,94 | 60,36 | 52,40 | 86,03 | 84,76 | 45,11 | 11,70 | 1,73 |
| SO | 444,83 | 558,34 | 451,98 | 558,34 | 444,83 | | | 37,41 | 11,69 | |
| SO (4 Hari) | 144,15 | 123,24 | 110,77 | 144,15 | 110,77 | 74,18 | 75,10 | 45,98 | 12,00 | 0,95 |
| SB | 239,38 | 300,55 | 369,28 | 369,28 | 239,38 | | | 42,15 | 11,64 | |
| SB (4 Hari) | 98,49 | 88,84 | 99,00 | 99,00 | 88,84 | 73,19 | 62,89 | 43,77 | 11,65 | 0,54 |
| MK | 841,93 | 896,27 | 1176,87 | 1176,87 | 841,93 | | | 35,11 | 12,37 | |
| MK (4 Hari) | 125,11 | 111,70 | 106,74 | 125,11 | 106,74 | 89,37 | 87,32 | 43,84 | 12,16 | 2,87 |
| MO | 767,77 | 843,42 | 765,02 | 843,42 | 765,02 | | | 36,98 | 12,52 | |
| MO (4 Hari) | 113,84 | 138,45 | 158,06 | 158,06 | 113,84 | 81,26 | 85,12 | 40,82 | 12,49 | 0,43 |
| MB | 709,62 | 721,47 | 709,01 | 721,47 | 709,01 | | | 41,74 | 12,19 | |
| MB (4 Hari) | 110,52 | 108,95 | 102,40 | 110,52 | 102,40 | 84,68 | 85,56 | 44,60 | 12,29 | 0,11 |

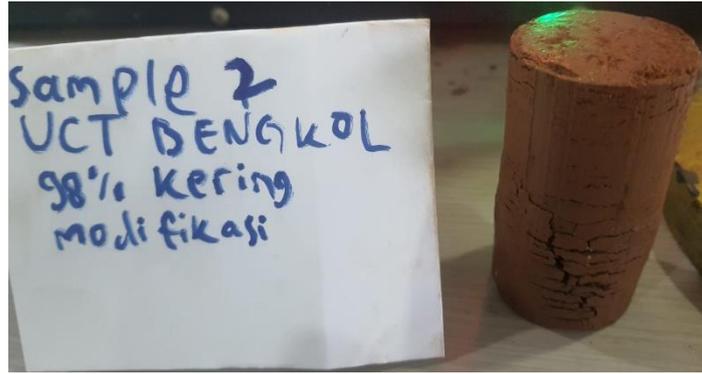
Gambar 6-9 memperlihatkan beberapa sampel tanah yang telah diuji dengan metode uji kuat tekan.



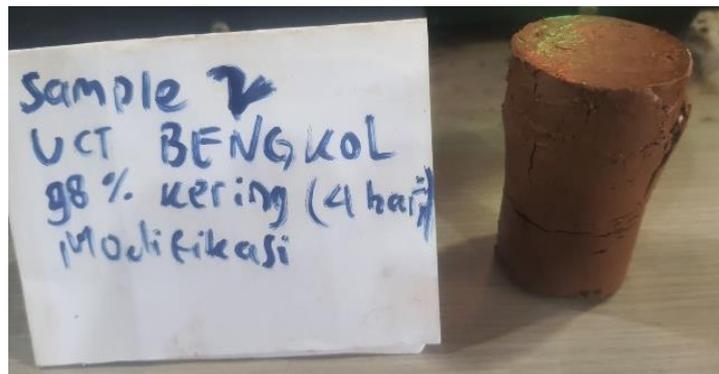
Gambar 6. Hasil pengujian kuat tekan bebas kondisi pemadatan standar 98% dari γ_{dmax} (sisi kering)



Gambar 7. Hasil pengujian kuat tekan bebas kondisi pemadatan standar 98% dari γ_{dmax} (sisi kering) setelah direndam



Gambar 8. Hasil pengujian kuat tekan bebas kondisi pemadatan modifikasi 98% dari γ_{dmax} (sisi kering)



Gambar 9. Hasil pengujian kuat tekan bebas kondisi pemadatan modifikasi 98% dari γ_{dmax} (sisi kering) setelah direndam

Berdasarkan Gambar 6-9 kerusakan tanah paling tinggi terjadi pada tanah yang lebih basah dan pada kondisi pemadatan standar.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Pemadatan modifikasi dengan nilai q_u sebesar $1176,87 \text{ kN/m}^2$ lebih besar dibandingkan pemadatan standar dengan $558,34 \text{ kN/m}^2$ dikarenakan pemadatan modifikasi menggunakan hammer yang lebih berat.
2. Untuk pemadatan standar tanah Bengkol sebaiknya dipadatkan dengan kondisi 98% dari γ_{dmax} (sisi basah) dalam desain karena penurunan terkecil terjadi sebesar 62,89% hingga 73,19% dan *swelling* tanah cukup kecil yaitu sebesar 0,54% saat terendam.
3. Untuk pemadatan modifikasi tanah Bengkol sebaiknya dipadatkan dengan kondisi γ_{dmax} dalam desain karena penurunan terkecil terjadi sebesar 81,26% hingga 85,12% dan *swelling* tanah cukup kecil yaitu sebesar 0,43% saat terendam.

Saran

1. Perlu diteliti lagi pengaruh *mold* selama proses perendaman untuk mengetahui besar penurunan jika perendaman tanpa *mold*.
2. Perlu melakukan pengujian lebih lanjut untuk mencari faktor yang mengakibatkan penurunan nilai q_u .

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM International. (2010). *Standard test method for unconfined compressive strength of cohesive soil* (ASTM D2166-06). DOI: 10.1520/D2166-06
- ASTM International. (2018). *Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils* (ASTM D4318-17e1). DOI: 10.1520/D4318-17E01
- ASTM International. (2019). *Standard test methods for laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock by mass* (ASTM D2216-19). DOI: 10.1520/D2216-19

- ASTM International. (2021). *Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³))* (ASTM D1557-12). DOI: 10.1520/D1557-12R21
- ASTM International. (2021). *Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using standard effort (12,400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³))* (ASTM D698-12). DOI: 10.1520/D0698-12R21
- Ayeldeen, M., Hara, Y., Kitazume, M., & Negm, A. (2016). Unconfined compressive strength of compacted disturbed cement-stabilized soft clay. *International Journal Of Geosynthetics And Ground Engineering*, 2(28). <https://doi.org/10.1007/s40891-016-0064-4>
- Aribudiman, I. N., Ardana, M. D. W., & Partayana, I. M. (2023). Analisis perilaku tanah lempung yang distabilisasi ionic soil stabilizer BTI-20 untuk subgrade jalan. *Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS)*, 1(6).
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *Metode uji CBR laboratorium* (SNI 1744:2012).
- Elendra, E., & Prihatiningsih, A. (2019). Analisis tanah ekastmspanisif dengan perbaikan semen putih dan semen hitam menggunakan UCT. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(3), 53-60. <https://doi.org/10.24912/jmts.v2i3.5781>
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika tanah I*. Gadjah Mada University Press.
- Kusuma, R. I., Mina, E., & Bonar, R. (2015). Stabilisasi tanah lempung dengan menggunakan abu sawit terhadap nilai kuat tekan bebas. *FONDASI*, 4(2), 69-80.
- Leta, A. V. L., Wong, I. L. K., & Tangdialla, L. T. (2024). Pengaruh penambahan batu lava terhadap nilai kuat tekan bebas pada tanah. *Paulus Civil Engineering Journal*, 6(1), 40-48.
- Ningsih, R., Ikhwan, I., & Suradji, S. (2021). Pengaruh perubahan kadar air pada tanah lempung terhadap uji geser langsung dan uji kuat tekan bebas. *Sigma: Jurnal Teknik Sipil*, 1(2), 54-62.
- Sentosa, G. S., Prihatiningsih, A., & Kosasih, D., (2018). *Rentang nilai tegangan runtuh uji kuat tekan pada berbagai kondisi tanah yang dipadatkan* [Skripsi tidak dipublikasi]. Universitas Tarumanagara.
- Stanislaus, S., & Prihatiningsih, A. (2019). Studi perbandingan pencampuran 4 jenis limbah yang sulit didaur ulang terhadap peningkatan properti tanah. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(3), 117-124. <https://doi.org/10.24912/jmts.v2i3.5815>
- Yusuf, H., Pallu, M. H., Samang, L., & Tjaronge, M. W. (2012). Characteristical analysis of unconfined compressive strength and CBR laboratory on dredging sediment stabilized with portland cement. *International Journal Of Civil & Environmental Engineering*, 12(4), 25-31.

