E-ISSN:
2656-6001
Terbit Sejak 2018

JURNAL KACAPURI :
JURNAL KEILMUAN TEKNIK SIPIL
Alamat web jurnal:
https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/jurnalkacapuri/index
DOI : 10.31602/jk.v5i2.9094

Vol. 6. No. 1
Juni 2023
Halaman:
87-99



EFEK KONDISI INISIAL KADAR AIR TERHADAP KADAR AIR OPTIMUM DAN KEPADATAN KERING MAKSIMUM PADA TANAH BUTIR HALUS TERKOMPAKSI

[1]Andrias Suhendra Nugraha

[1]Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha
(andrias.snugraha@maranatha.ac.id)

ABSTRAK

Kompaksi adalah proses pemadatan tanah dengan menggunakan energi mekanik yang dipengaruhi oleh modifikasi kadar air untuk meningkatkan kekuatan (*strength*) dari suatu tanah yang digunakan sebagai *pavement subgrade*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memahami pengaruh kondisi inisial dari kadar air terhadap kadar air optimum (OMC) dan kepadatan kering maksimum (MDD) dari tanah berbutir halus terkompaksi di laboratorium. Tanah uji yang digunakan pada penelitian ini berasal dari dua lokasi di Jawa Barat yaitu: area Lembang – Bandung dan area Gn. Salak – Bogor. Uji kompaksi menggunakan energi kompaksi *standard Proctor* yang mengacu pada standar ASTM D 698. Terdapat dua kondisi inisial untuk kadar air dari tanah uji yaitu; kondisi *air dried* dan kondisi natural. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah Lembang maupun tanah Gn. Salak diklasifikasikan sebagai tanah berbutir halus dengan kadar air natural tinggi. Pada kondisi inisial kadar air *air dried*, walaupun memiliki perbedaan nilai OMC sebesar 15% (54% untuk tanah Lembang dan 39% untuk tanah Gn. Salak), tetapi nilai MDD untuk kedua tanah hampir sama yaitu 1.00 t/m^3 untuk tanah Lembang dan 1.07 t/m^3 untuk tanah Gn. Salak. Pada kondisi inisial kadar air natural, OMC dan MDD untuk tanah Lembang dan tanah Gn. Salak sulit untuk ditentukan karena tidak diperolehnya titik puncak dari kurva kompaksi.

Kata Kunci: kadar air optimum, kepadatan tanah kering maksimum, kondisi inisial kadar air, tanah butir halus terkompaksi.

ABSTRACT

Compaction is a soil densification process using mechanical energy which is influenced by modification of water content to increase the strength of a soil used as a pavement subgrade. The purpose of this study was to determine the effect of initial conditions of water content on optimum moisture content (OMC) and maximum dry density (MDD) of compacted fine-grained soils in the laboratory. The test soils used in this study came from two locations in West Java: the area of Lembang-Bandung and the area of Mt. Salak-Bogor. The compaction test uses the standard Proctor compaction energy, which refers to ASTM D 698. There are two initial conditions for the water content of the test soil: air-dried conditions and natural conditions. The results showed that the Lembang soil and the Mt. Salak soil can be classified as fine-

E-ISSN:
2656-6001
Terbit Sejak 2018

JURNAL KACAPURI :
JURNAL KEILMUAN TEKNIK SIPIL
Alamat web jurnal:
https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/jurnalkacapuri/index
DOI : 10.31602/jk.v5i2.9094

Vol. 6. No. 1
Juni 2023
Halaman:
87-99



grained soil with a high natural water content. In the initial condition of water content with the air-dried conditions, despite having a 15% difference in OMC values (54% for Lembang soil and 39% for Mt. Salak soil), the MDD values for the two test soils were nearly the same, namely 1.00 t/m^3 for Lembang soil and 1.07 t/m^3 for Mt. Salak soil. In the initial condition of water content with natural conditions, values of OMC and MDD for Lembang soil and Mt. Salak soil are challenging to determine because the peak point of the compaction curve is not obtained.

Keywords: *compacted fine-grained soils, initial condition of water content, maximum dry density, optimum moisture content.*

PENDAHULUAN

Kompaksi adalah proses pemadatan tanah dengan menggunakan energi mekanik yang dipengaruhi oleh modifikasi kadar air (*water content*) dan juga gradasi yang ditujukan untuk meningkatkan *soil strength* dan juga *bearing capacity* dari *pavement subgrade*. Suatu proses kompaksi di laboratorium akan menghasilkan kurva kompaksi. Kurva kompaksi adalah unik untuk suatu jenis tanah dengan suatu metode kompaksi tertentu dan suatu energi kompaksi yang konstan. Parameter kompaksi yang diperoleh dari suatu kurva kompaksi adalah kadar air optimum (*optimum moisture content*), w_{opt} atau OMC dan kepadatan kering maksimum (*maximum dry density*), $\gamma_{dry\ max}$ atau MDD. MDD adalah nilai maksimum yang berlaku untuk suatu energi kompaksi tertentu dan suatu metode kompaksi tertentu (Holtz dan Kovacs, 1981).

Perubahan gradasi material *poorly graded crushed limestone* dengan koefisien *uniformity*, Cu antara 1.6 – 2.4 menghasilkan bentuk kurva kompaksi yang berbeda walaupun dikompaksi di laboratorium dengan energi kompaksi yang sama (Nugraha et al., 2019). Perubahan energi kompaksi di laboratorium dari $\pm$ 600 kN.m/m^3 (*Standard Proctor*) ke $\pm$ 1800 kN.m/m^3 terhadap proses kompaksi di laboratorium pada material *crushed limestone* bergradasi seragam menghasilkan bentuk kurva kompaksi yang berbeda juga (Nugraha dan Saputra, 2020).

Pada tanah berbutir halus (*fine grained soil*) yang dikompaksi dengan energi *standard Proctor* dan *modified Proctor*, indeks plastisitas (*plasticity index*), PI memberikan pengaruh terhadap MDD dan OMC (Khalid dan Rehman, 2018). Selain PI, batas cair (*liquid limit*), LL juga berpengaruh terhadap OMC (Farooq et al., 2015, Hussain dan Atalar, 2020). LL adalah kadar air yang merupakan batas transisi kondisi plastis (*plastic state*) ke kondisi cair (*liquid state*) dari suatu tanah (Das, 2010).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memahami pengaruh kondisi inisial dari kadar air terhadap kadar air optimum (OMC) dan kepadatan kering maksimum (MDD) dari suatu tanah terkompaksi di laboratorium. Tinjauan terhadap bentuk kurva kompaksi yang dihasilkan akan dilakukan juga pada penelitian ini. Tanah uji yang digunakan pada penelitian ini adalah tanah berbutir halus.

E-ISSN:
2656-6001
Terbit Sejak 2018

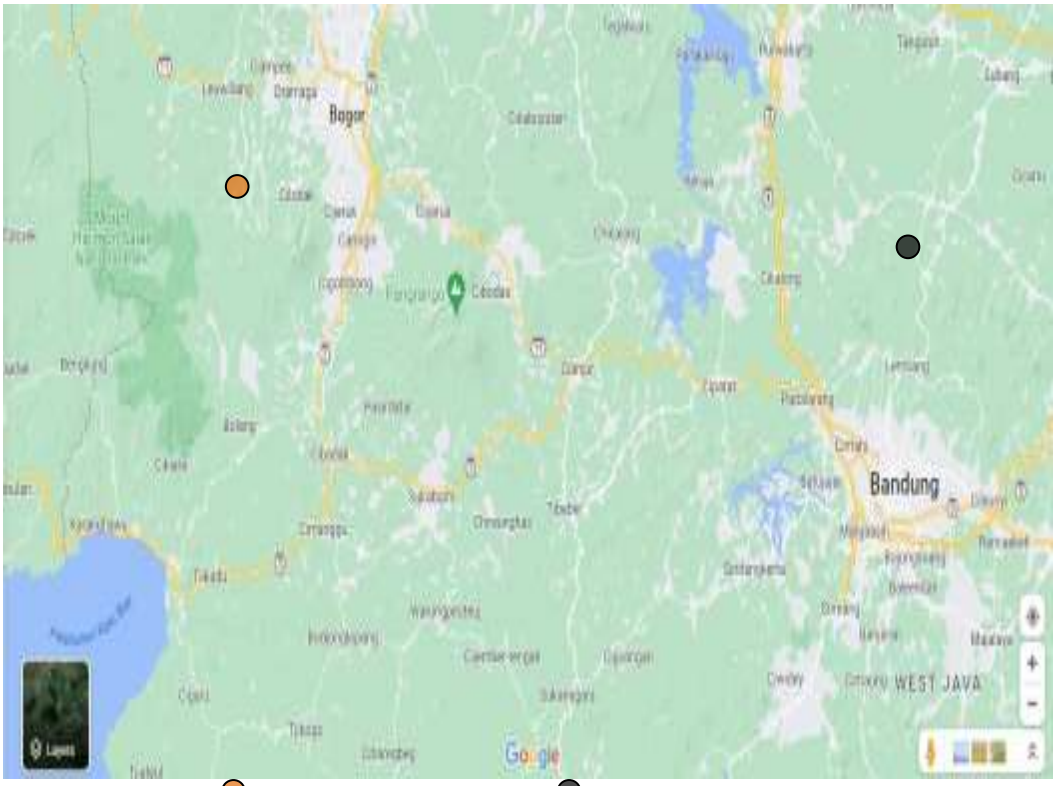
JURNAL KACAPURI :
JURNAL KEILMUAN TEKNIK SIPIL
Alamat web jurnal:
https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/jurnalkacapuri/index
DOI : 10.31602/jk.v5i2.9094

Vol. 6. No. 1
Juni 2023
Halaman:
87-99



METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian berdasarkan data-data eksperimental di Laboratorium Mekanika Tanah, Prodi. Teknik Sipil – U.K. Maranatha, Bandung.



Gn. Salak - Bogor Lembang – Bandung

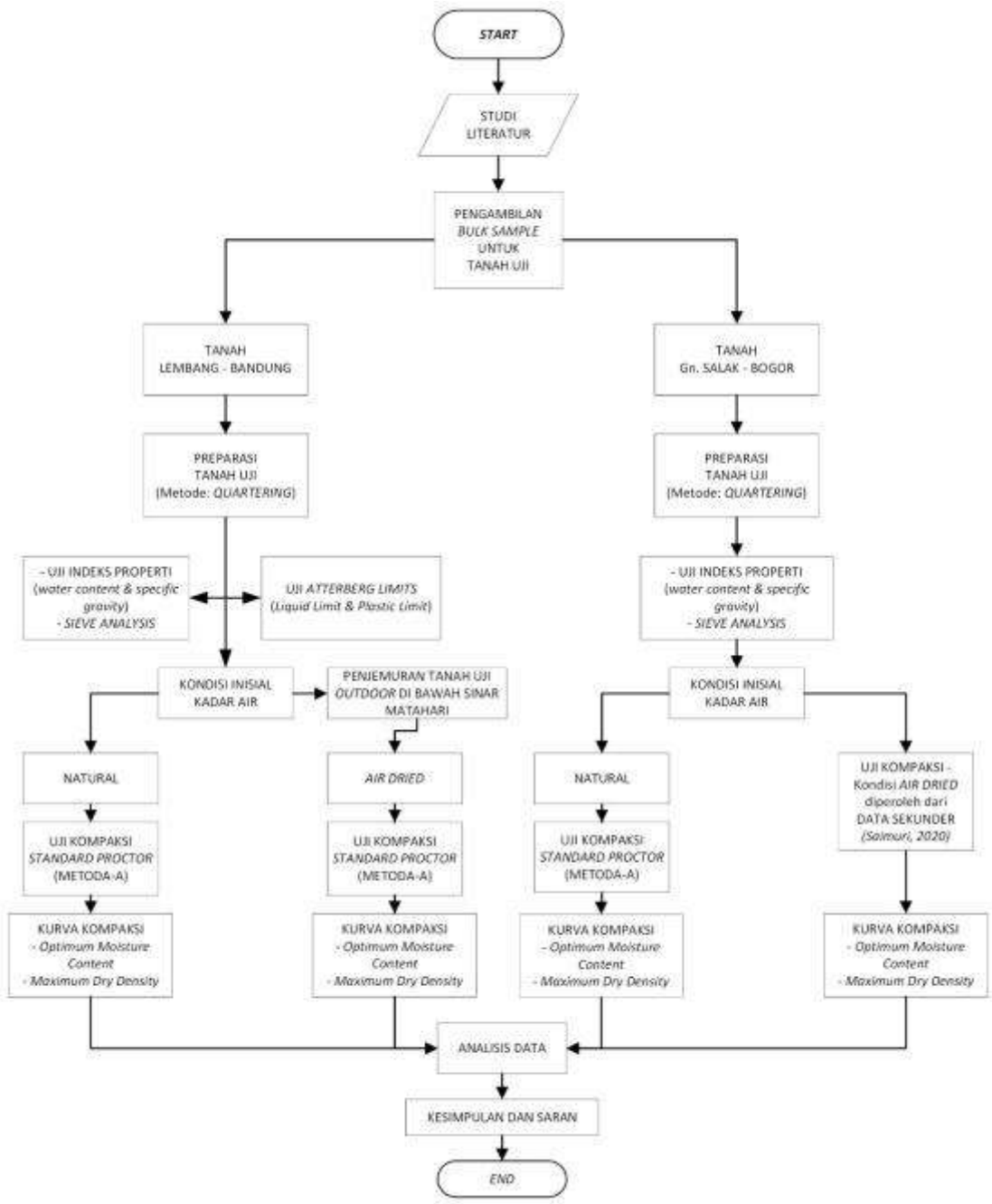
Gambar 1. Lokasi Pengambilan Tanah (Sumber: https://www.google.com/maps)

Tanah uji yang digunakan pada penelitian ini berasal dari dua lokasi di Jawa Barat yaitu: area Lembang – Bandung dan area Gn. Salak – Bogor, seperti tampak pada Gambar 1. Bagan alir penelitian dinyatakan pada Gambar 2.

E-ISSN:
2656-6001
Terbit Sejak 2018

JURNAL KACAPURI :
JURNAL KEILMUAN TEKNIK SIPIL
Alamat web jurnal:
https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/jurnalkacapuri/index
DOI : 10.31602/jk.v5i2.9094

Vol. 6. No. 1
Juni 2023
Halaman:
87-99



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Tanah uji yang berasal dari dua lokasi tersebut dibawa ke Laboratorium dalam kondisi *bulk sample* tanah yang dimasukan ke dalam karung. Setelah tiba di Laboratorium, pada tanah uji dilakukan prosedur *quartering* seperti tampak pada

E-ISSN:
2656-6001
Terbit Sejak 2018

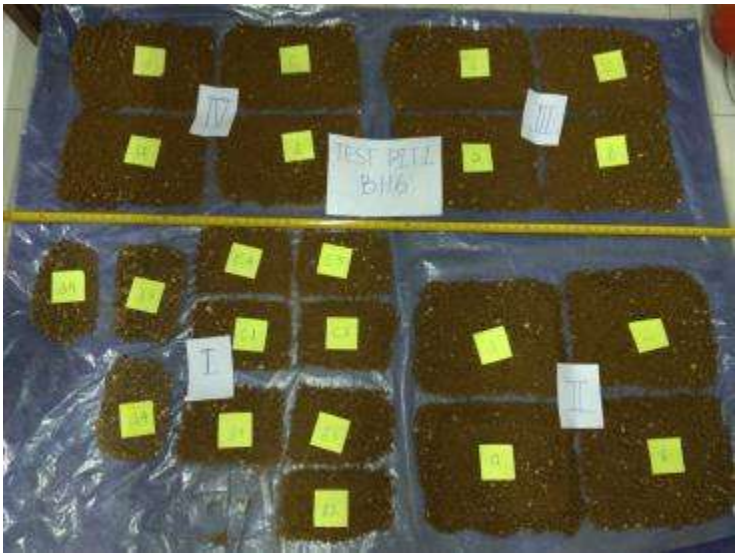
JURNAL KACAPURI :
JURNAL KEILMUAN TEKNIK SIPIL
Alamat web jurnal:
https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/jurnalkacapuri/index
DOI : 10.31602/jk.v5i2.9094

Vol. 6. No. 1
Juni 2023
Halaman:
87-99

Gambar 3, agar diperoleh kondisi tanah yang uji representatif untuk setiap pengujian yang dilakukan.



(a)



(b)

Gambar 3. Proses *Quartering* Tanah Uji pada Kondisi Natural (a) Tanah Lembang (b) Tanah Gn. Salak

Standar uji yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

E-ISSN:
2656-6001
Terbit Sejak 2018

JURNAL KACAPURI :
JURNAL KEILMUAN TEKNIK SIPIL
Alamat web jurnal:
https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/jurnalkacapuri/index
DOI : 10.31602/jk.v5i2.9094

Vol. 6. No. 1
Juni 2023
Halaman:
87-99



- Kadar air, w : ASTM D 2216-98
- *Specific gravity*, G_s : XP CEN ISO/TS 17892-3
- *Atterberg Limits*, LL dan PL : ASTM D 4318-10
- *Sieve Analysis* : ASTM D 422-02
- Klasifikasi Tanah : ASTM D 2487-00
- Kompaksi - *Standard Proctor* : ASTM D 698-00



(a)



(b)

Gambar 4. Proses *Air Dried* (a) Penjemuran *Outdoor* di Bawah Sinar Matahari (b) Kondisi Akhir *Air Dried*

Kondisi inisial kadar air pada penelitian terbagi menjadi dua yaitu kadar air kondisi natural dan kadar air kondisi *air dried*. Kadar air kondisi natural adalah kondisi kadar air tanah uji pada kondisi naturalnya. Kadar air kondisi *air dried* dilakukan dengan

E-ISSN: 2656-6001 Terbit Sejak 2018

JURNAL KACAPURI : JURNAL KEILMUAN TEKNIK SIPIL
Alamat web jurnal: https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/jurnalkacapuri/index
DOI : 10.31602/jk.v5i2.9094

Vol. 6. No. 1 Juni 2023 Halaman: 87-99



cara menjemur tanah uji *outdoor* di bawah sinar matahari dalam kurun waktu 3 hingga 4 hari (waktu penjemuran efektif: 4 hingga 5 jam perhari) dengan variasi suhu 30-32^{o}C seperti tampak pada Gambar 4.

Uji kompaksi pada tanah uji untuk setiap kondisi inisial kadar air dilakukan dengan energi *Standard Proctor* (600 kN.m/m^{3}). Terdapat empat kondisi kadar air (empat titik kadar air) yang berbeda untuk setiap uji kompaksi dengan kondisi inisial kadara air natural dan *air dried* seperti tampak pada Gambar 5.



Gambar 5. Kadar Air pada Setiap Titik Uji Kompaksi

HASIL & PEMBAHASAN

Hasil Uji Indeks Properti, *Sieve Analysis*, dan *Atterberg Limits*

Hasil pengujian indeks properti, *sieve analysis*, dan *Atterberg limits* untuk tanah uji dinyatakan pada Tabel 1. Tanah yang berasal dari Lembang dan Gn. Salak memiliki kadar air yang tinggi. *Specific gravity* untuk Tanah Gn. Salak lebih besar dibandingkan dengan Tanah Lembang. Kedua tanah memiliki persentase *fines content* > 50% sehingga dapat diklasifikasikan sebagai tanah berbutir halus atau *fine grained soils* (ASTM D2487-00).

Uji Atterberg limits yaitu; *liquid limit* dan *plastic limit* dilakukan hanya pada tanah Lembang. Saat pengujian dilakukan pada kondisi inisial kadar air dengan kondisi *air dried*, tanah Lembang memiliki kondisi non plastis, karena tidak dapat dilakukannya pengujian *plastic limit* seperti tampak pada Gambar 6.

Tabel 1. Indeks Properti, *Particle Size* dan *Atterberg Limits* Tanah

Parameter Tanah	Satuan	Tanah Lembang	Tanah Gn. Salak
Kadar air, w	(%)	107.76	119.96
Specific Gravity, G_s		2.30	2.50
Gravel	(%)	0	3
Sand	(%)	36	29
Fines Content	(%)	64	68
Liquid Limit, LL	(%)	146.97	*Not Tested*
Plastic Limit, LL	(%)	109.22	*Not Tested*
Plasticity Index, PI = LL - PL	(%)	37.75	*Not Tested*

E-ISSN:
2656-6001
Terbit Sejak 2018

JURNAL KACAPURI :
JURNAL KEILMUAN TEKNIK SIPIL
Alamat web jurnal:
https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/jurnalkacapuri/index
DOI : 10.31602/jk.v5i2.9094

Vol. 6. No. 1
Juni 2023
Halaman:
87-99



Gambar 6. Kondisi Non Plastis Tanah Lembang pada Kondisi *Air Dried*



(a)



(b)

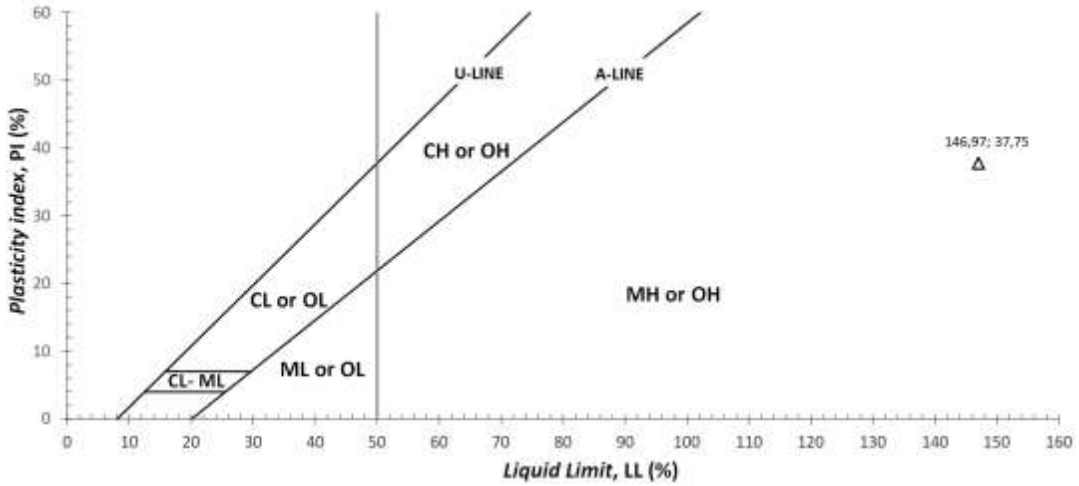
Gambar 7. Uji *Atterberg Limits* Tanah Lembang pada Kondisi Natural
(a) Uji *Plastic Limit* (b) Uji *Liquid Limit*

Saat pengujian dilakukan pada kondisi inisial kadar air dengan kondisi natural, uji *liquid limit* dan *plastic limit* untuk tanah Lembang dapat dilakukan seperti tampak pada Gambar 7. Pada kondisi natural, berdasarkan *Cassagrande plasticity chart* menunjukkan bahwa tanah Lembang termasuk ke dalam klasifikasi MH [*silt* (lanau) *with high* LL (Wesley, 2010)] atau OH [*sandy organic silt* (ASTM D 2487-00)], seperti tampak pada Gambar 8.

E-ISSN:
2656-6001
Terbit Sejak 2018

JURNAL KACAPURI :
JURNAL KEILMUAN TEKNIK SIPIL
Alamat web jurnal:
https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/jurnalkacapuri/index
DOI : 10.31602/jk.v5i2.9094

Vol. 6. No. 1
Juni 2023
Halaman:
87-99



Gambar 8. *Plot* LL dan PI untuk Tanah Lembang pada *Cassagrande Plasticity Chart*

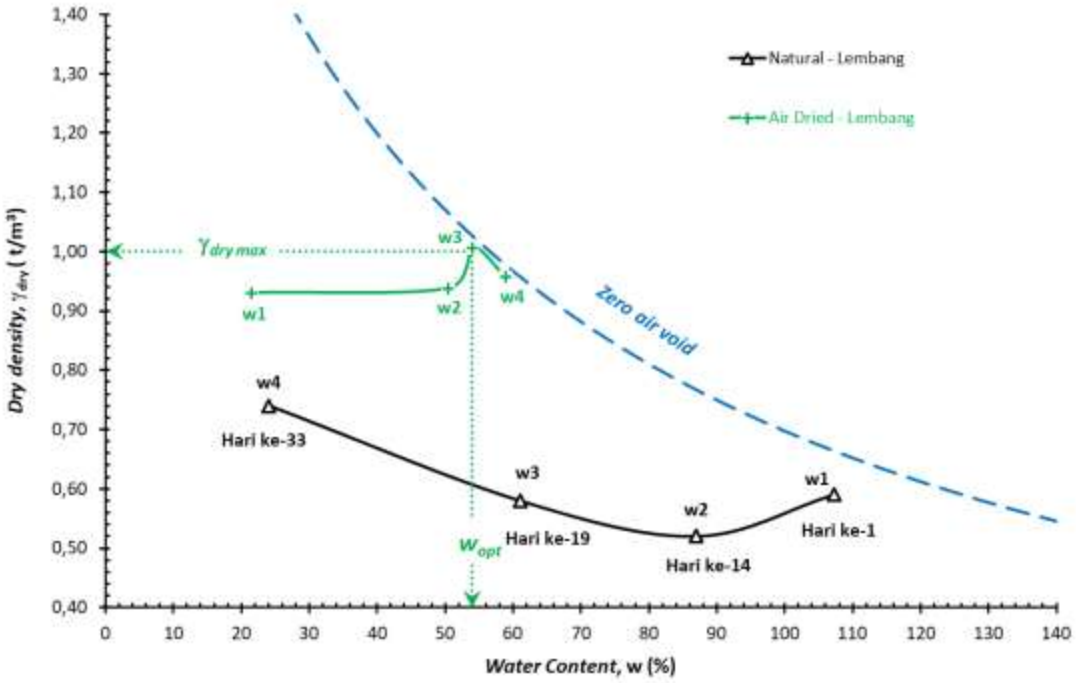
Hasil Uji Kompaksi

Kurva kompaksi yang merupakan hasil pengujian kompaksi di Laboratorium untuk tanah Lembang dan tanah Gn. Salak pada kondisi inisial kadar air natural dan *air dried* tampak berturut-turut pada Gambar 9 dan Gambar 10. Kurva kompaksi pada kondisi *air dried* selalu berada di atas kurva kompaksi pada kondisi natural baik untuk tanah Lembang maupun untuk tanah Gn. Salak. Terdapat 4 bentuk kurva kompaksi yang berbeda satu dengan yang lain (2 bentuk kurva kompaksi untuk tanah Lembang dan 2 bentuk kurva kompaksi untuk tanah Gn. Salak) walaupun energi kompaksi yang digunakan adalah sama yaitu energi kompaksi *Standard Proctor*. Seperti tampak pada Gambar 9 dan Gambar 10, diperlukan lebih dari 30 hari untuk mendapatkan 1 kurva kompaksi untuk kondisi inisial kadar air natural (33 hari untuk tanah Lembang dan 31 hari untuk tanah Gn. Salak).

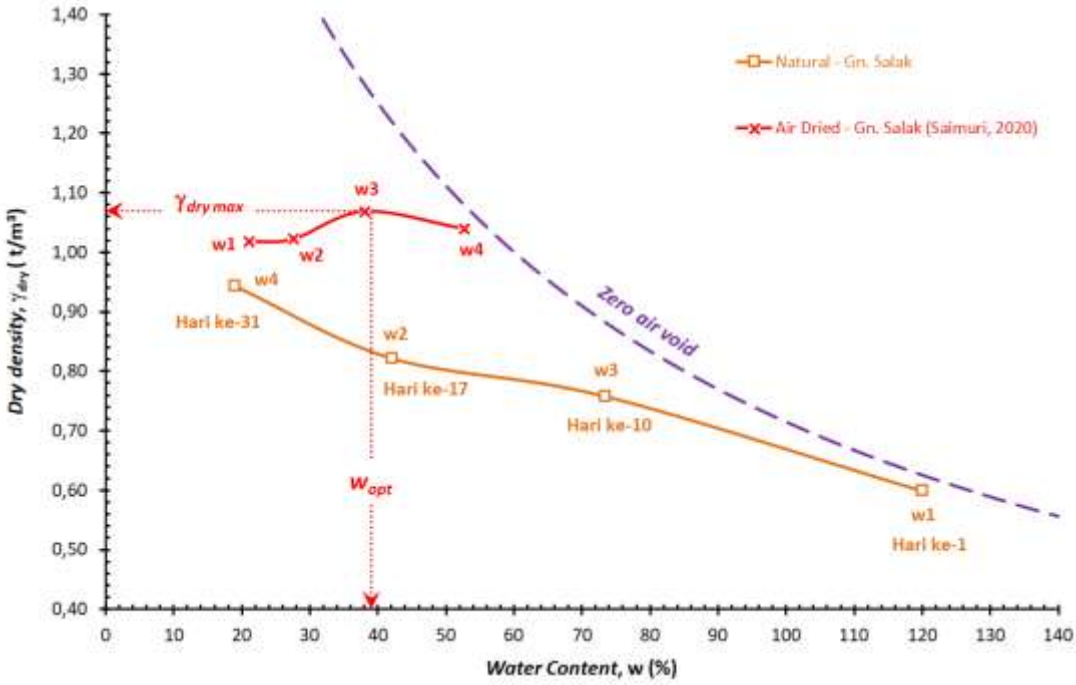
E-ISSN:
2656-6001
Terbit Sejak 2018

JURNAL KACAPURI :
JURNAL KEILMUAN TEKNIK SIPIL
Alamat web jurnal:
https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/jurnalkacapuri/index
DOI : 10.31602/jk.v5i2.9094

Vol. 6. No. 1
Juni 2023
Halaman:
87-99



Gambar 9. Kurva Kompaksi Tanah Lembang



Gambar 10. Kurva Kompaksi Tanah Gn. Salak

E-ISSN:
2656-6001
Terbit Sejak 2018

JURNAL KACAPURI :
JURNAL KEILMUAN TEKNIK SIPIL
Alamat web jurnal:
https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/jurnalkacapuri/index
DOI : 10.31602/jk.v5i2.9094

Vol. 6. No. 1
Juni 2023
Halaman:
87-99



Bentuk kurva pada Gambar 9 dan Gambar 10 menunjukkan *trend* yang sama dengan kurva kompaksi dari hasil penelitian Wesley (1973) dan Wesley (2009) untuk tanah andosol serta kurva kompaksi dari hasil penelitian Hendry (2012) untuk tanah Wayang Windu Pangalengan, Jawa Barat. Parameter kompaksi yang diperoleh dari uji kompaksi di Laboratorium yaitu kadar air optimum (OMC) dan kepadatan kering maksimum (MDD) untuk kondisi inisial kadar air *air dried* dinyatakan pada Tabel 2.

Tabel 2. OMC dan MDD untuk Kondisi Inisial Kadar Air *Air Dried*

	Kadar Air Optimum (*Optimum Moisture Content*) w_{opt} atau OMC (%)	**Kepadatan Kering Maksimum (*Maximum Dry Density*) $\gamma_{dry\ max}$ atau MDD (t/m^3)**
Tanah Lembang	54	1.00
Tanah Gn. Salak	39	1.07

Tabel 2 menunjukkan bahwa pada kondisi inisial kadar air *air dried*, nilai kadar air optimum untuk tanah Lembang (54%) lebih besar dari nilai kadar air optimum untuk tanah Gn. Salak (39%). Nilai kepadatan kering maksimum untuk tanah Lembang dan tanah Gn. Salak memiliki nilai yang mirip yaitu 1.00 t/m^3 untuk tanah Lembang dan 1.07 t/m^3 untuk tanah Gn. Salak walaupun dengan selisih nilai kadar air maksimum sebesar 15%.

Penentuan nilai kadar air optimum dan kepadatan kering maksimum untuk tanah Lembang dan tanah Gn. Salak pada kondisi inisial kadar air natural sulit untuk ditentukan karena kurva kompaksi yang tidak menunjukkan suatu titik maksimum pada *range* kadar air yang diperoleh pada kurva. Walaupun terdapat kondisi nilai tertinggi untuk *dry density* (kepadatan kering), yaitu pada kondisi kadar air terendah tetapi nilai tersebut belum dapat dikatakan sebagai kepadatan kering maksimum, karena nilai kepadatan kering maksimum biasanya diperoleh pada saat nilai kadar air yang mendekati nilai *plastic limit* dari tanah (Wesley, 2010).

PENUTUP

Kesimpulan

Tanah Lembang maupun tanah Gn. Salak dapat diklasifikasikan sebagai tanah berbutir halus yang memiliki kadar air natural yang tinggi. Kondisi inisial dari kadar air mempengaruhi perubahan bentuk kurva kompaksi baik untuk tanah Lembang maupun untuk tanah Gn. Salak. Walaupun memiliki perbedaan nilai kadar air optimum sebesar 15% (54% untuk tanah Lembang dan 39% untuk tanah Gn. Salak), tetapi nilai kepadatan kering maksimum untuk kedua tanah uji hampir sama yaitu 1.00 t/m^3 untuk tanah Lembang dan 1.07 t/m^3 untuk tanah Gn. Salak untuk kondisi inisial kadar air air *dried*. Nilai kadar air optimum dan kepadatan kering maksimum untuk tanah Lembang dan tanah Gn. Salak pada kondisi inisial kadar air natural sulit untuk ditentukan karena tidak diperolehnya titik puncak dari kurva kompaksi yang

E-ISSN:
2656-6001
Terbit Sejak 2018

JURNAL KACAPURI :
JURNAL KEILMUAN TEKNIK SIPIL
Alamat web jurnal:
https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/jurnalkacapuri/index
DOI : 10.31602/jk.v5i2.9094

Vol. 6. No. 1
Juni 2023
Halaman:
87-99



dihasilkan. Kondisi inisial kadar air akan mempengaruhi nilai dari kadar air maksimum dan kepadatan kering maksimum baik untuk tanah Lembang maupun untuk tanah Gn. Salak yang terkompaksi di laboratorium.

Saran

Melakukan uji SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan XRD (*X-Ray Diffraction*) pada sampel tanah uji untuk mendapatkan informasi mengenai kandungan mineral.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM D 2216-98. *Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture Content) of Soil and Rock by Mass*. Annual Book of ASTM Standards.

ASTM D 2487-00. *Standard Practice for Classification of soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*. Annual Book of ASTM Standards.

ASTM D 422-02. *Standard Test Methods for Particle Size Analysis of Soils*. Annual Book of ASTM Standards.

ASTM D 4318-10. *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*. Annual Book of ASTM Standards.

ASTM D 698-00. *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort*. Annual Book of ASTM Standards.

Das, B.M. 2010. *Principles of Geotechnical Engineering*, 7th Ed., Cengage Learning, Stamford, USA.

Farooq, K., Khalid, U. dan Mujtaba, H. 2015. *Prediction of Compaction Characteristics of Fine-Grained Soils Using Consistency Limits*. Arabian Journal for Science and Engineering. doi:10.1007/s13369-015-1918-0

Hendry. 2012. *Perilaku Pemadatan Tanah Wayang Windu Pangalengan*. Industrial Research Workshop and National Seminar.

Holtz, R.D. dan Kovacs, W.D. 1981. *An Introduction to Geotechnical Engineering*. Prentice Hall. New Jersey. USA.

Hussain, A. dan Atalar, C. 2020. *Estimation of Compaction Characteristics of Soils Using Atterberg Limits*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 800. 5th International Conference on New Advances in Civil Engineering (ICNACE). doi:10.1088/1757-899X/800/1/012024.

Khalid, U. dan Zia ur Rehman. 2018. *Evaluation of Compaction Parameters of Fine-Grained Soils using Standard and Modified Efforts*. International Journal of Geo-Engineering. https://doi.org/10.1186/s40703-018-0083-1.

Nugraha, A.S. dan Saputra, J.G.D. 2020. *Pengaruh Energi Pemadatan di Laboratorium terhadap Parameter Kompaksi Material Crushed Limestone Padalarang*. Jurnal Teknik Sipil. Universitas Kristen Marantaha. Vol. 16 No. 1. https://doi.org/10.28932/jts.v16i1.2496.

E-ISSN:
2656-6001
Terbit Sejak 2018

JURNAL KACAPURI :
JURNAL KEILMUAN TEKNIK SIPIL
Alamat web jurnal:
https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/jurnalkacapuri/index
DOI : 10.31602/jk.v5i2.9094

Vol. 6. No. 1
Juni 2023
Halaman:
87-99

Nugraha, A.S., Fahlevi, J.D., dan Soentpiet, W.H. 2017. *Studi Pengaruh Ukuran Butir terhadap Parameter Kompaksi dan Nilai CBR Material Crushed Limestone Padalarang*. Jurnal Teknik Sipil. Universitas Kristen Marantaha. Vol. 13 No. 2. https://doi.org/10.28932/jts.v13i2.1442.

Saimuri, F.I. 2020. *Pengaruh Proses Preparasi pada Tanah Kohesif Terhadap Parameter Kompaksi*. Universitas Kristen Maranatha. Bandung.

Wesley, L.D. 1973. *Some Basic Engineering Properties of Halloysite and Allophane Clays in Java, Indonesia*. Geotehnique 23. No. 4.

Wesley, L.D. 2009. *Behaviour and Geotechnical Properties of Residual Soils and Allophane Clays*. Obras y Proyectos 6.

Wesley, L.D. 2010. *Fundamentals of Soil Mechanics for Sedimentary and Residual Soils*. John Wiley & Sons. New Jersey.

XP CEN ISO/TS 17892-3. 2005. *Laboratory Testing of Soil-Part 3: Determination of Particle Density – Pycnometer Method*. French Standardization. Geotechnical Investigation and Testing.

https://www.google.com/maps diakses tanggal 22 April 2023.