

Karakterisasi Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Lunak di Gedebage

HELDYS NURUL SISKA, YUKI ACHMAD YAKIN

Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung
e-mail: heldyskaa@gmail.com

ABSTRAK

Acuan data mengenai karakterisasi tanah lunak diperlukan, sehubungan dengan peningkatan pembangunan yang pesat di daerah tanah lunak. Karakterisasi tanah lunak di Gedebage yang meliputi data fisis dan mekanis. Berdasarkan grafik hubungan batas cair dan indeks plastisitas, maka tanah ini tergolong tanah lempung tak organik dengan plastisitas tinggi dan tanah lanau tak organik. Indeks properties tanah lunak Gedebage terdiri atas kadar air (105,4% - 315,5%), angka pori (1,23 - 7,26) dan berat jenis (2,1 - 2,67). Adapun parameter kuat gesernya meliputi c_u (0,01 - 0,25 kg/cm²) dan ϕ_u (0,2° - 5,5°). Parameter deformasinya menunjukkan nilai sedang sampai tinggi dan kompresibilitas yang besar. Uji triaksial unconsolidated undrained dan uji oedometer pada program PLAXIS 2D AE menghasilkan tegangan deviator dan regangan yang hampir sama dengan pengujian di laboratorium. Model hardening soil paling tepat digunakan sebagai modelisasi untuk jenis tanah lunak di Gedebage.

Kata kunci: *index properties, kuat geser, kompresibilitas, uji triaksial unconsolidated undrained, uji oedometer.*

ABSTRACT

It is necessary that a data base on soft soil is characterization, in relation with a fast development in this area. Characterized of soft soil in Gedebage consisted of physical and engineering data. Based on plasticity chart, liquid limit and index plasticity, this soil belongs to anorganic clay with high plasticity and anorganic silt. Index properties of Gedebage soft soil consist of water content (105.4% - 315.5%), void ratio (1.23 - 7.26) and specific gravity (2.1 - 2.67). The shear strength parameters consist of c_u (0.01 - 0.25 kg/cm²) and ϕ_u (0.2° - 5.5°). Deformation parameter indicates medium to high compressibility. Triaxial unconsolidated undrained test and oedometer test in the PLAXIS 2D AE program produces deviator strength and strain of soft soil which was similar to the test in the laboratory. The hardening soil model was appropriate to be used as the model in the PLAXIS 2D AE program for the type of soft soil at Gedebage.

Keywords: *index properties, shear strength, compressibility, triaxial unconsolidated undrained test, oedometer test.*

1. PENDAHULUAN

Kuat geser yang rendah mengakibatkan terbatasnya beban yang dapat bekerja di atasnya sedangkan kompresibilitas yang besar mengakibatkan terjadinya penurunan setelah pembangunan selesai. Pembangunan akses jalan tol pada tanah lunak di Gedebage harus dilakukan dengan cara yang tepat yaitu dengan pemancangan pondasi tiang pancang pada bagian bawah badan jalan. Pemancangan pondasi tiang pancang memerlukan data-data parameter tanah yang komprehensif yang meliputi kawasan Gedebage, Bandung, Jawa Barat. Sehubungan dengan peningkatan pembangunan yang pesat di atas tanah lunak, maka diperlukan suatu acuan data mengenai karakterisasi tanah lunak.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan karakterisasi tanah lunak di Gedebage, pemodelan uji triaksial UU dan uji oedometer menggunakan metode elemen hingga dengan memodelkan menggunakan *soil test tool* pada PLAXIS 2D AE.

Manfaat dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui karakterisasi sifat fisis dan mekanis tanah lunak, besarnya regangan, dan besarnya penurunan pada tanah lunak.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Tanah Lunak

Tanah lunak merupakan tanah kohesif yang terdiri dari tanah yang sebagian besar terdiri dari butir-butir yang sangat kecil seperti lempung dan lanau. Lapisan tanah lunak mempunyai sifat gaya geser yang rendah, kemampatan yang tinggi, koefisien permeabilitas yang rendah, dan mempunyai daya dukung yang rendah.

2.1.1 Sifat Fisis

Menurut Hardiyatmo (1992), nilai *specific gravity* (G_s) dari butiran tanah sangat berperan penting dalam bermacam-macam keperluan perhitungan mekanika tanah. Nilai *specific gravity* (G_s) dapat ditentukan secara akurat dilaboratorium. Nilai-nilai *specific gravity* untuk berbagai jenis tanah terdapat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Berat Jenis Tanah

Jenis Tanah	Berat Jenis
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau anorganik	2,62 – 2,68
Lanau organik	2,58 – 2,65
Lempung anorganik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

(Sumber: Hardiyatmo, 1992)

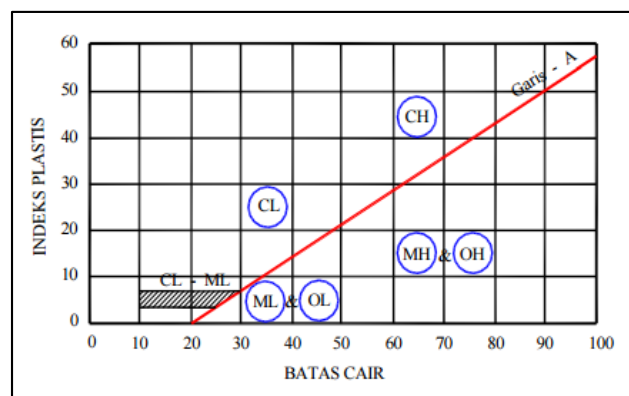
Indeks plastistas (PI) merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah. Jika tanah mempunyai nilai PI tinggi, maka tanah mengandung banyak butiran lempung. Jika tanah mempunyai nilai PI rendah, seperti lanau, sedikit pengurangan kadar air berakibat tanah menjadi kering. Batasan mengenai indeks plastisitas, sifat, dan jenis tanah terdapat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Nilai Indeks Plastisitas dan Jenis Tanah

<i>PI</i>	Sifat	Jenis Tanah	Plastisitas	Kohesi
0	Non plastis	Pasir	Non Plastis	Non Kohesif
< 7	Plastisitas rendah	Lanau	Rendah	Agak Kohesif
7 – 17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Sedang	Kohesif
>17	Plastisitas tinggi	Lempung	Tinggi	Kohesif

(Sumber: Jumikis, 1962)

Tanah lempung lunak dapat dikategorikan ke dalam kelompok *MH* atau *OH* berdasarkan system klasifikasi *unified soil classification system* yang dikembangkan di Amerika Serikat oleh Casagrande (1948) terdapat pada **Gambar 1**. Klasifikasi didasarkan atas prosedur-prosedur di laboratorium dan di lapangan. Tanah yang menunjukkan karakteristik dari dua kelompok harus diberi klasifikasi pembatas yang ditandai simbol yang dipisahkan oleh tanda hubung.



Gambar 1. Grafik plastisitas *unified soil classification system* (Wagner. A.A., 1957)

2.1.2 Sifat Mekanis

Uji geser triaksial adalah uji yang dapat dipakai untuk menentukan parameter tegangan geser (Bowles, 1984). Uji geser triaksial menggunakan *sample* tanah berdiameter 1,5 inchi (38,1 mm) dan panjang 3 inchi (76,2 mm). *Sample* tanah ditutup dengan membran karet yang tipis dan diletakkan di dalam sebuah bejana silinder dari bahan plastik atau gelas kemudian bejana tersebut diisi dengan air atau larutan gliserin. Uji triaksial *unconsolidated undrained*, air tidak diperbolehkan mengalir dari contoh tanah. Tegangan air pori tidak diukur pada percobaan ini. Hanya kekuatan geser *unconsolidated undrained* yang dapat ditentukan.

Uji kuat tekan bebas termasuk hal yang khusus dari uji triaksial *unconsolidated undrained* (tak terkonsolidasi tak terdrainase). Hasil uji kuat tekan bebas biasanya tidak begitu meyakinkan bila digunakan untuk menentukan nilai parameter kuat geser tanah tak jenuh. Kuat geser *undrained* dapat dihitung menggunakan **Persamaan 1**.

$$s_u = c_u = \frac{q_u}{2} \quad \dots (1)$$

dimana:

s_u atau c_u = kuat geser *undrained*,
 q_u = kuat tekan bebas.

Penurunan pada tanah lempung (lunak) membutuhkan waktu yang lama karena daya rembesan air sangat rendah. Angka pori pada akhir setiap periode penambahan tekanan dapat dihitung dari pembacaan arloji pengukur dan kadar air atau berat kering dari contoh tanah pada akhir pengujian. Penurunan tanah dapat dihitung menggunakan **Persamaan 2**.

$$\frac{\Delta e}{\Delta H} = \frac{1 + e_0}{H_0} \quad \dots (2)$$

dimana:

- ΔH = perubahan tebal tanah selama pengujian,
- Δe = perubahan nilai angka pori selama pengujian,
- e_0 = angka pori tanah awal,
- H_0 = tebal contoh tanah pada awal pengujian.

2.2 Korelasi untuk Menentukan Parameter Deformasi

Parameter deformasi berdasarkan angka pori dan kadar air terdapat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Persamaan-Persamaan Berdasarkan Angka Pori dan Kadar Air

Persamaan	Keterangan	Sumber
$C_c = 0,54 (e_0 - 0,35)$	Semua Lempung	Nishida (1956)
$C_c = 0,4 (e_0 - 0,25)$	Lempung Yunani dan Amerika Serikat	Azzous (1976)
$C_c = 0,01 (w - 5)$	Lempung Yunani dan Amerika Serikat	Azzous (1976)
$C_c = 0,4049 (e_0 - 0,3216)$	Tanah Kohesif Anorganik	Hough (1957)

2.3 Korelasi untuk Menentukan Berat Isi dan Kadar Air

Berat isi dan kadar air pada lapisan tanah yang kapasitas daya dukungnya rendah dan kompresibilitasnya tinggi. Aplikasi yang sama untuk kadar air (**Persamaan 3**), berat isi jenuh (**Persamaan 4**) dan berat isi kering (**Persamaan 5**).

$$w_n = \frac{e}{G_s/g} \quad \dots (3)$$

$$\gamma_{sat} = \frac{G_s(1 + w_n)}{(G_s/g)(w_n + 1)} \quad \dots (4)$$

$$\gamma_d = \frac{G_s}{1 + (G_s/g)w_n} \quad \dots (5)$$

dimana:

- w_n = kadar air tanah,
- e = angka pori tanah,
- G_s = berat jenis tanah,

g = gaya gravitasi bumi,
 γ_{sat} = berat isi tanah jenuh,
 γ_d = berat isi tanah kering.

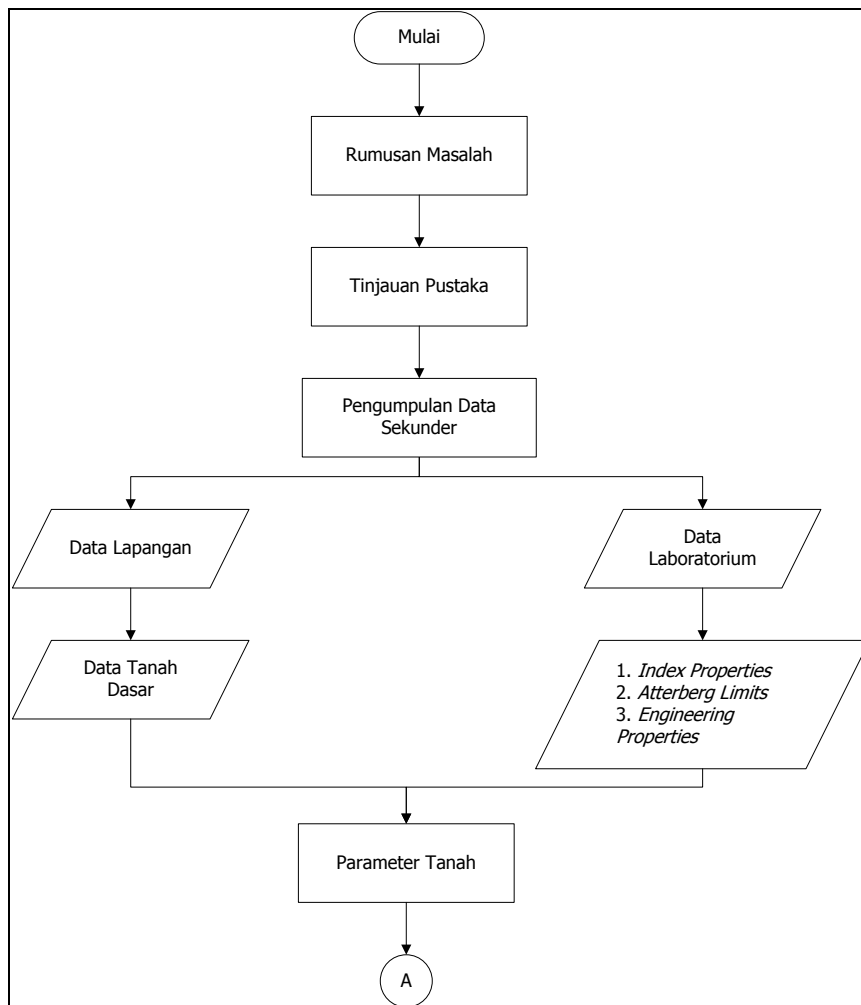
3. ANALISIS DATA

3.1 Pengumpulan Data

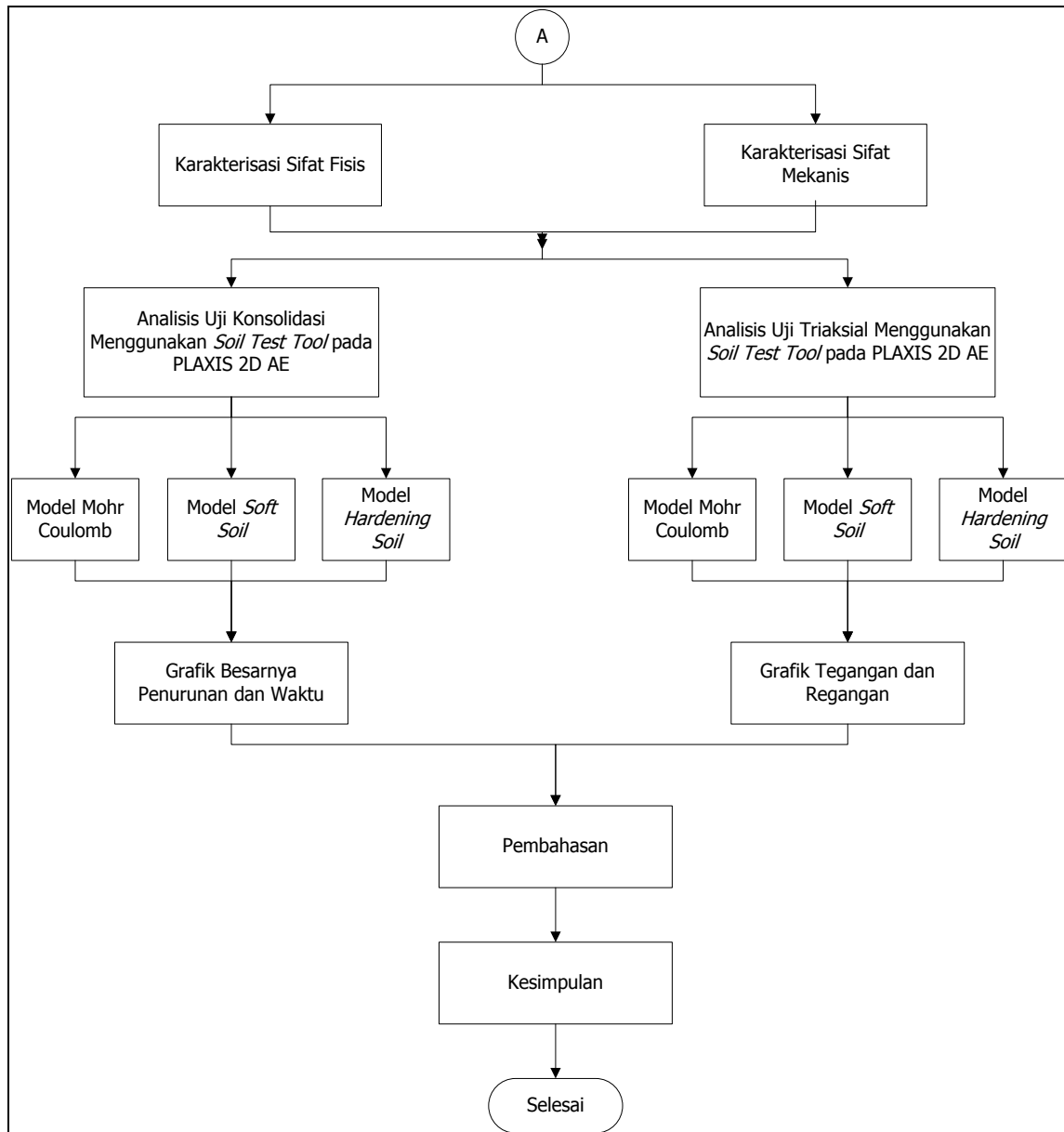
Data-data yang digunakan untuk tugas akhir ini berupa data parameter tanah yang didapat dari Proyek Pembangunan Akses Jalan Tol Gedebage Tahap 1 Bandung, Jawa Barat. Data penyelidikan tanah yang digunakan dalam analisis ini meliputi pengujian di lapangan dan laboratorium oleh PT Soil Investigation, Survey and Engineering (SOILENS) sebagai konsultan geoteknik.

3.2 Prosedur Penelitian

Analisis karakterisasi tanah dilakukan dengan cara korelasi-korelasi parameter tanah. Tahapan analisis pada Tugas Akhir ini dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Prosedur penelitian analisis karakterisasi tanah



Gambar 2. Prosedur penelitian analisis karakterisasi tanah (lanjutan)

3.3 Analisis Karakterisasi Tanah

Tanah lunak secara umum mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

1. Kuat geser rendah.
2. Plastisitas tanah tinggi dan mudah mampat.
3. Menyusut bila kering dan mengembang bila basah.

Posisi tanah lunak di Gedebage dikorelasikan antara batas cair dan indeks plastisitas berdasarkan klasifikasi *Unified Soil Classification System* (**Gambar 3**). Hasil data-data tanah lunak di Gedebage berada di atas garis pemisah garis acuan A dengan $PI = 0,73 (LL - 20)$ antara lempung dan lanau. Tanah lunak di Gedebage merupakan tanah lempung dengan plastisitas tinggi sampai sangat tinggi. **Persamaan 6** merupakan persamaan garis korelasi antara batas cair dengan indeks plastisitas untuk tanah lunak di Gedebage.

Karakterisasi Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Lunak di Gedebage

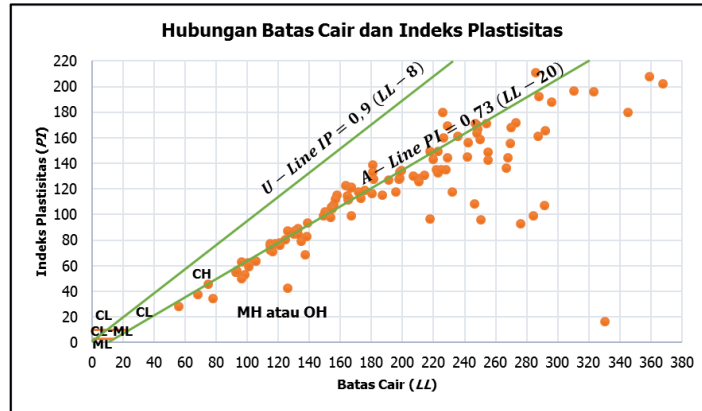
$$PI = 0,9 (LL - 8)$$

... (6)

dimana:

PI = indeks plastisitas,

LL = batas cair.



Gambar 3. Grafik hubungan batas cair dan indeks plastisitas

Korelasi antara angka pori dengan indeks kompresi tanah lunak di Gedebage untuk Lapisan Tanah I pada kedalaman 0 – 15 m menunjukkan perbandingan yang lurus (**Gambar 4**). Peningkatan nilai angka pori sejalan peningkatan indeks kompresi dan berada di atas persamaan Nishida (1956). **Persamaan 7** didapat dari korelasi angka pori dengan indeks kompresi.

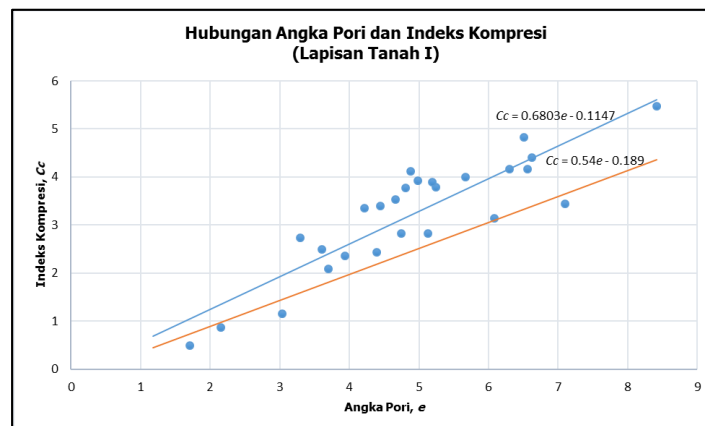
$$C_c = 0,6803e - 0,1147$$

... (7)

dimana:

C_c = indeks kompresi,

e = angka pori.

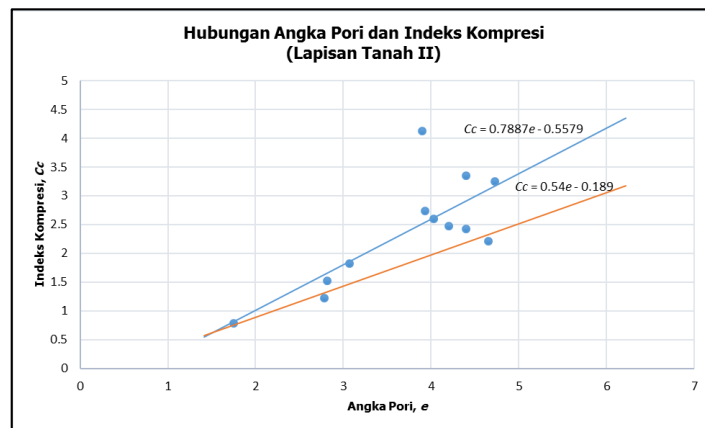


Gambar 4. Grafik hubungan angka pori dan indeks kompresi pada lapisan tanah I

Korelasi antara angka pori dengan indeks kompresi tanah lunak di Gedebage untuk Lapisan Tanah II pada kedalaman 15 – 30 m menunjukkan perbandingan yang lurus (**Gambar 5**). Peningkatan nilai angka pori sejalan peningkatan indeks kompresi dan berada di atas persamaan Nishida (1956). **Persamaan 8** didapat dari korelasi angka pori dengan indeks kompresi.

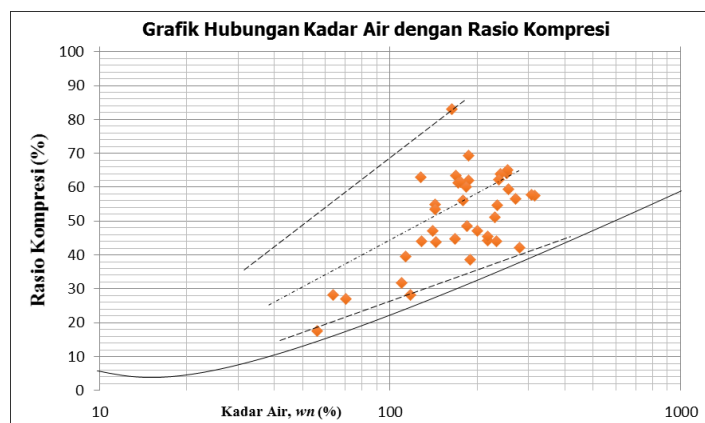
$$C_c = 0,7887e - 0,5579$$

... (8)



Gambar 5. Grafik hubungan angka pori dan indeks kompresi pada lapisan tanah II

Gambar 6 menunjukkan grafik semi logaritma hubungan antara kadar air dengan rasio kompresi untuk tanah lunak di Gedebage. Rentang nilai kadar air 50% - 320% dan rentang nilai rasio kompresi 18% - 84%. Garis batas bawah (*lower boundary*) dari korelasi kadar air dengan rasio kompresi hampir berimpit dengan garis yang dibuat oleh Lambe dan Whittman (1969).



Gambar 6. Grafik hubungan kadar air dan rasio kompresi

Korelasi antara batas cair dengan indeks kompresi tanah lunak di Gedebage untuk Lapisan Tanah I pada kedalaman 0 – 15 m menunjukkan perbandingan yang lurus (**Gambar 7**). Peningkatan nilai batas cair sejalan peningkatan indeks kompresi dan berada pada rentang persamaan Terzaghi dan Peck (1987). **Persamaan 9** didapat dari korelasi batas dengan indeks kompresi.

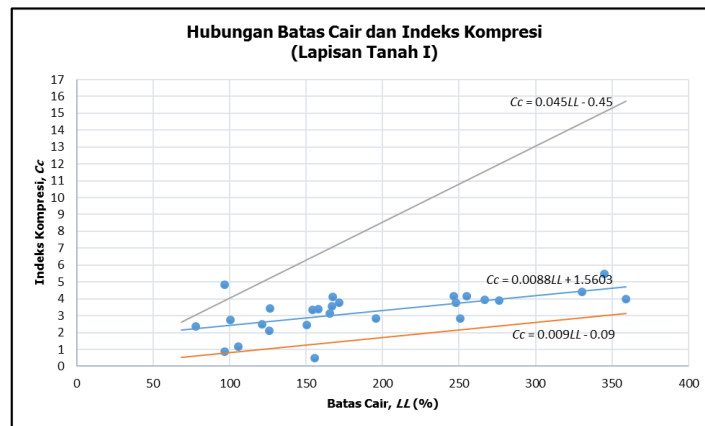
$$C_c = 0,0088LL + 1,5603$$

... (9)

dimana:

C_c = indeks kompresi,

LL = batas cair.

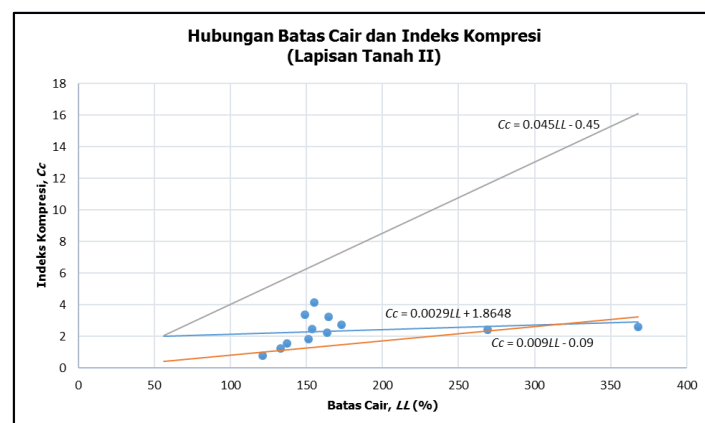


Gambar 7. Grafik hubungan batas cair dan indeks kompresi pada lapisan tanah I

Korelasi antara batas cair dengan indeks kompresi tanah lunak di Gedebage untuk Lapisan Tanah II pada kedalaman 15 – 30 m menunjukkan perbandingan yang lurus (**Gambar 8**). Peningkatan nilai batas cair sejalan peningkatan indeks kompresi dan berada pada rentang persamaan Terzaghi dan Peck (1987). **Persamaan 10** didapat dari korelasi batas dengan indeks kompresi.

$$C_c = 0,0029LL + 1,8648$$

... (10)



Gambar 8. Grafik hubungan batas cair dan indeks kompresi pada lapisan tanah II

3.4 Analisis *Triaxial Test* dan *Oedometer Test* Menggunakan PLAXIS 2D AE

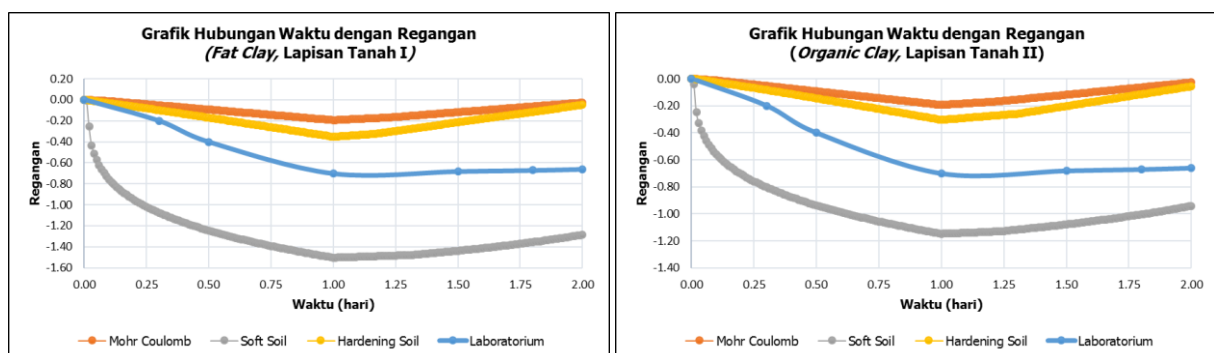
Parameter tanah yang digunakan untuk analisis *triaxial test* dan *oedometer test* pada program PLAXIS 2D AE terdapat pada **Tabel 4**. Hasil yang diperoleh pada *oedometer test* dan *triaxial test* di laboratorium dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari pemodelan menggunakan

soft soil tool pada program PLAXIS 2D AE dengan tiga jenis model tanah, yaitu mohr coulomb, *hardening soil* dan *soft soil*.

Hasil yang diperoleh pada *oedometer test* di laboratorium dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari pemodelan *soft soil tool* pada program PLAXIS 2D AE dapat dilihat pada **Gambar 9**. Hasil yang diperoleh pada *triaxial unconsolidated undrained test* di laboratorium dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari pemodelan *soft soil tool* pada program PLAXIS 2D AE dapat dilihat pada **Gambar 10** dan **Gambar 11**.

Tabel 4. Data Parameter Tanah

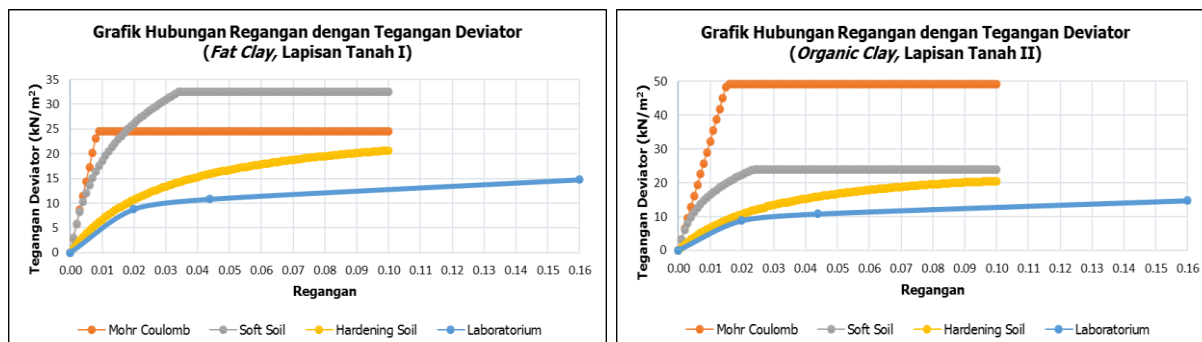
Parameter Tanah	Jenis Tanah					
	<i>Fat Clay</i>	<i>Fat Clay</i>	<i>Fat Clay</i>	<i>Organic Clay</i>	<i>Organic Clay</i>	<i>Organic Clay</i>
Model	Mohr Coulomb	<i>Soft Soil</i>	<i>Hardening Soil</i>	Mohr Coulomb	<i>Soft Soil</i>	<i>Hardening Soil</i>
Type	<i>Undrained</i> (B)	<i>Undrained</i> (A)	<i>Undrained</i> (B)	<i>Undrained</i> (B)	<i>Undrained</i> (A)	<i>Undrained</i> (B)
γ_{unsat} (kN/m ³)	11,17	11,17	11,17	11,56	11,56	11,56
γ_{sat} (kN/m ³)	12,17	12,17	12,17	12,56	12,56	12,56
e_{init}	4,69	4,69	4,69	4,14	4,14	4,14
$S_{u\ ref}$ (kN/m ²)	12,26	-	12,26	24,53	-	24,53
E_s (kN/m ²)	2.501,55	-	-	2.795,85	-	-
ν'	0,3	-	-	0,3	-	-
c'_{ref} (kN/m ²)	-	11,77	-	-	8,83	-
ϕ (°)	0	3	0	0	2	0
ψ (°)	0	0	0	0	0	0
λ^*	-	0,25	-	-	0,20	-
κ^*	-	0,046	-	-	0,039	-
C_c	-	3,89	3,89	-	2,74	2,74
C_s	-	0,34	0,34	-	0,24	0,24
E_{50}^{ref} (kN/m ²)	-	-	420,5	-	-	539,3
E_{eod}^{ref} (kN/m ²)	-	-	336,4	-	-	431,5
E_{ur}^{ref} (kN/m ²)	-	-	2.066	-	-	2.313
m	-	-	1	-	-	1



Gambar 9. Grafik hubungan waktu dengan regangan

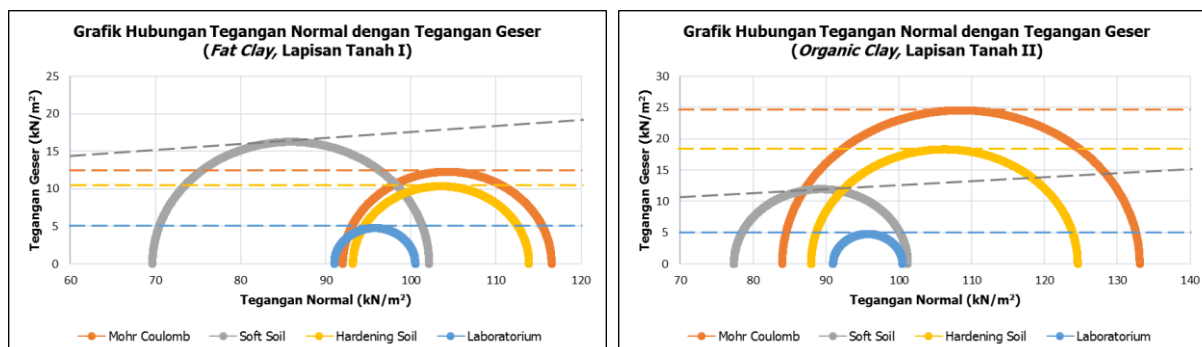
Hasil yang diperoleh dari pemodelan *soft soil tool* (**Gambar 9**) pada lapisan tanah I dan lapisan tanah II dengan menggunakan model mohr coulomb menunjukkan regangan pada saat keruntuhan dan kemiringan awal hubungan waktu-regangan yang lebih rendah dibandingkan

dengan pengujian di laboratorium. Hasil yang diperoleh dari pemodelan dengan menggunakan model *hardening soil* mendekati dengan nilai regangan yang dihasilkan pada pengujian di laboratorium. *Sample* tanah yang digunakan merupakan *fat clay* dan *organic clay* pada *bor hole no. 0+125 RAMP-8*.



Gambar 10. Grafik hubungan regangan dengan tegangan deviator

Hasil yang diperoleh dari **Gambar 10** dapat disimpulkan bahwa regangan pada saat keruntuhan pada *sample* yang diuji di laboratorium memiliki tegangan deviator yang paling kecil. Tegangan deviator yang paling besar terjadi pada pemodelan dengan menggunakan model *soft soil* pada lapisan tanah I dan model *mohr coulomb* pada lapisan tanah II. *Sample* tanah yang digunakan merupakan tanah *fat clay* pada lapisan tanah I dan *organic clay* pada lapisan tanah II pada *bor hole no. 0+125 RAMP-8*.



Gambar 11. Grafik hubungan tegangan normal dengan tegangan geser

Grafik hubungan tegangan normal dengan tegangan geser terdapat pada **Gambar 11**. *Triaxial unconsolidated undrained test* menghasilkan tegangan deviator pada saat keruntuhan ($\Delta\sigma_f$) yang berbeda-beda setiap model yang digunakan. Garis selubung keruntuhan pada model Mohr Coulomb dan model *hardening soil* membentuk garis horizontal dengan sudut geser dalam ($\phi_u = 0$), sedangkan garis selubung keruntuhan pada model *soft soil* membentuk garis dengan sudut geser dalam ($\phi_u = 3$) pada lapisan tanah I dan membentuk garis dengan sudut geser dalam ($\phi_u = 2$).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, maka dapat dibuat beberapa kesimpulan, sebagai berikut:

1. Parameter deformasi tanah lunak di Gedebage mengindikasikan bahwa tanah tersebut memiliki plastisitas yang tinggi dengan nilai indeks kompresi (C_c) antara 2,09 – 4,83.

2. Berdasarkan grafik hubungan batas cair (*LL*) dan indeks plastisitas (*IP*) maka tanah di Gedebage tergolong tanah lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk (*fat clay*) (*CH*) dan lanau tak organik atau pasir halus diatomase, lanau elastis (*MH*).
3. Garis batas bawah (*lower boundary*) dari korelasi kadar air dengan rasio kompresi hampir berimpit dengan garis yang dibuat oleh Lambe dan Whittman (1969).
4. Model *hardening soil* pada program PLAXIS 2D AE paling tepat digunakan sebagai modelisasi untuk jenis tanah lunak di Gedebage.
5. *Triaxial unconsolidated undrained test* menghasilkan tegangan deviator pada saat keruntuhan ($\Delta\sigma_3$) yang berbeda setiap model yang digunakan.

DAFTAR RUJUKAN

- Bowles, J. E. (1984). Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Hardiyatmo, H. C. (1992). Mekanika Tanah 1. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Terzaghi, K. dan Peck, R. (1987). Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd edition, terjemahan Krisna, B. dan Witjaksono, B. Jakarta: Penerbit Erlangga.