

Perilaku Tiang Pancang Tunggal pada Tanah Lempung Lunak di Gedebage

**YUKI ACHMAD YAKIN,
HELDYS NURUL SISKI, WANDA ASKA ALAWIAH**
Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung
Email: yuki_yakin@yahoo.co.id

ABSTRAK

Deposit tanah lunak di Gedebage merupakan tanah lempung lunak non organik dengan plastisitas tinggi, dengan parameter fisis: kadar air (105,4% - 315,5%), batas cair (100% - 375%) dan angka pori (1,23 - 7,26). Sedangkan parameter teknis menunjukkan kohesi tak teralir (0,01 kg/cm² - 0,25 kg/cm²) dan sudut geser dalam (0,2^o - 5,5^o) serta indeks kompresi (2-5). Hal ini menunjukkan kuat geser yang rendah dan kompresibilitas yang tinggi. Daya dukung izin tiang pada deposit tanah lunak di Gedebage dengan panjang tiang 33,5 m, dilakukan dengan metode statik, metode N-SPT dan metode Mazurkiewicz yang berturut-turut menghasilkan nilai 185 ton, 155 ton dan 268 ton. Metode Mazurkiewicz adalah metode yang paling mendekati nilai daya dukung hasil uji rata-rata, yaitu 283 ton.

Kata kunci: *lempung lunak, kompresibilitas tinggi, daya dukung ultimit*

ABSTRACT

Deposite of soft soil in Gedebage is non-organic soft clay with high plasticity and physics parameters: water content (105.4% - 315.5%), liquid limit (100%-375%) and void ratio (1.23 - 7.26). Engineering parameters show undrained cohesion (0.01 kg/cm² - 0.25 kg/cm²), friction angle (0.20 - 5.50) and compression index (2 - 5). These indicate low shear strength and high compressibility. Allowable bearing capacity of pile at soft clay deposit in Gedebage with 33.5 m length of pile, calculated by static method, N-SPT method and Mazurkiewicz method with value of 185 tons, 155 tons and 268 tons. Mazurkiewicz method is the most reasonable value based on the average value of tests, namely 283 tons.

Keywords: *soft clay, high compressibility, ultimate bearing capacity*

1. PENDAHULUAN

Deposit tanah lempung lunak Gedebage memiliki karakteristik khusus dimana nilai kadar air, batas cair dan angka pori yang rendah, serta nilai kuat geser rendah dan nilai kompresibilitas tinggi. Karakterisasi pada parameter fisis dan mekanis diperlukan untuk memudahkan dalam mengambil parameter yang akan digunakan di dalam analisis daya dukung fondasi tiang. Analisis fondasi tiang dilakukan dengan beberapa metode, sehingga metode yang paling mendekati nilai uji adalah metode yang dapat diandalkan.

Ruang lingkup analisis ini adalah hal-hal yang dilakukan adalah karakterisasi tanah lempung lunak baik sifat fisis maupun sifat teknis tanah. Kemudian, perhitungan daya dukung ultimit fondasi tiang dengan menggunakan metode statik, metode N-SPT dan metode Mazurkiewicz.

Manfaat yang ingin dihasilkan dari studi ini adalah hubungan perilaku fondasi tiang yang dipancang dengan kondisi tanah yang terdapat di Gedebage, dimana perlapisan tanah yang ada berbanding lurus memberikan kontribusi terhadap daya dukung fondasi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sifat Fisis Tanah

Sifat fisis merupakan sifat tanah yang inheren, dimana tidak ada gaya luar yang bekerja pada tanah tersebut. Parameter tanah yang termasuk kepada sifat fisis adalah kadar air, angka pori, porositas, berat jenis, berat isi dan derajat kejenuhan serta koefisien permeabilitas. Disamping itu, tanah lempung memiliki nilai batas-batas Atterberg.

Parameter fisis yang penting dalam tanah lempung lunak untuk diperhatikan adalah kadar air, batas cair dan angka pori. Tiga parameter ini mengindikasikan nilai yang sangat tinggi, jika parameter tersebut dibandingkan dengan tanah lempung dengan konsistensi yang lebih tinggi.

Persamaan 1 berikut adalah formula untuk menghitung kadar air:

$$w = \frac{w_w}{w_s} * 100\% \quad \dots (1)$$

dimana:

w = kadar air (%),

w_w = berat air (gram),

w_s = berat tanah kering (gram).

Batas cair diperoleh dari grafik hubungan kadar air dan jumlah pukulan yang dilakukan alat Casagrande, dimana nilai batas cair (w_L) adalah nilai kadar air pada ketukan ke-25.

Persamaan 2 berikut adalah formula untuk menghitung angka pori:

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad \dots (2)$$

dimana:

e = angka pori [-],

V_v = volume pori [cm³],

V_s = volume tanah [cm³].

2.2 Sifat Mekanis Tanah

Sifat mekanis yaitu sifat tanah yang merespon gaya luar yang bekerja pada tanah tersebut. Respon tanah ini bergantung kepada sifat material tanah tersebut yang dinamakan modulus dan bergantung kepada mekanisme gaya yang bekerja.

Parameter sifat mekanis yang penting pada tanah lempung lunak adalah kohesi tak teralir dan sudut geser dalam, dimana kedua parameter tersebut selalu menunjukkan nilai yang rendah. Mekanisme geser yang terjadi pada lempung lunak ini terjadi dalam waktu relatif cepat yang mewakili tahapan pada saat konstruksi dilakukan di lapangan. Sebaliknya, nilai deformasinya sangat besar, berbanding lurus dengan kadar air, batas cair dan angka pori.

Persamaan 3 berikut adalah formula untuk menghitung nilai kuat geser tanah:

$$s_u = c + (\sigma - u)\tan\varphi \quad \dots (3)$$

dimana:

s_u = kuat geser tanah [kN/m²],

c = kohesi [kN/m²],

σ = tegangan total [kN/m²],

u = tekanan air pori [kN/m²],

φ = sudut geser dalam [°].

Persamaan 4 berikut adalah formula untuk menghitung indeks kompresi pada proses konsolidasi:

$$c_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log p} \quad \dots (4)$$

dimana:

c_c = indeks kompresi [-],

e = angka pori [-],

p = tekanan [kN/m²].

2.3 Daya Dukung Fondasi Tiang Metode Statik

Daya dukung ultimit tiang terdiri atas dua komponen utama, yaitu daya dukung selimut tiang dan daya dukung ujung tiang. *Friction pile* adalah tiang dengan daya dukung selimut dominan sedangkan *end bearing pile* adalah tiang dengan daya dukung ujung yang dominan.

Persamaan 5 berikut adalah formula untuk menghitung daya dukung ultimit tiang:

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad \dots (5)$$

dimana:

Q_u = daya dukung ultimit tiang [kN],

Q_p = daya dukung ujung [kN],

Q_s = daya dukung selimut [kN].

2.3.1 Daya Dukung Ujung Tiang

Daya dukung ujung tiang pada tanah pasir (Das, B. M., 1995) dapat dihitung dengan mengalikan luas penampang tiang dengan daya dukung per satuan luas, dimana daya dukung per satuan luas adalah tegangan vertikal efektif tanah dikalikan faktor daya dukung ujung (**Gambar 1**), yaitu (**Persamaan 6**):

$$Q_p = A_p \cdot q' \cdot N_q^* \quad \dots (6)$$

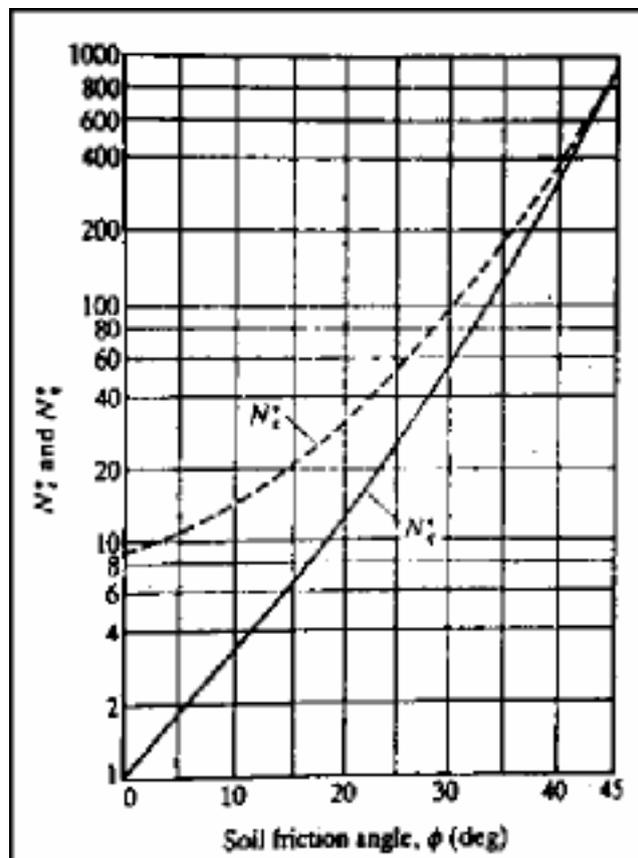
dimana:

Q_p = daya dukung ujung tiang [kN],

A_p = luas penampang tiang [m²],

q' = tekanan tanah vertikal efektif [kN/m²],

N_q^* = faktor daya dukung ujung [-],



Gambar 1. Faktor daya dukung ujung N_q^*
(Sumber: Meyerhof, 1976, dalam Das, B. M., 1995)

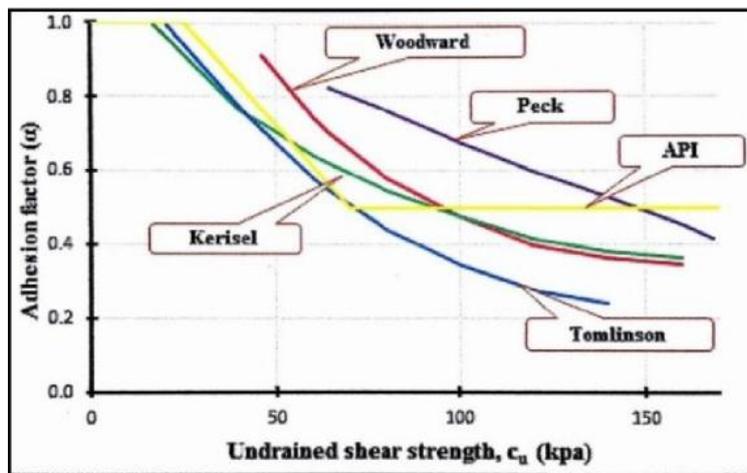
2.3.2 Daya Dukung Selimut Tiang

Kapasitas daya dukung selimut pada tiang pada tanah lempung dihitung dengan menggunakan formula atau metode alpha (Tomlinson, M. J., 1986). Nilai daya dukung selimut ini (**Persamaan 7**) merupakan nilai kumulatif dari setiap lapisan tanah yang ada.

$$Q_s = p \cdot \Delta L \cdot \alpha \cdot c_u \quad \dots (7)$$

dimana:

- Q_s = daya dukung selimut tiang [kN],
- p = keliling tiang [m],
- ΔL = panjang segmen tiang [m],
- α = faktor adhesi [-], (**Gambar 2**),
- c_u = kohesi tak teralir [kN/m²].



Gambar 2. Faktor adhesi untuk fondasi tiang pada tanah lempung
(Sumber: Geotechnical Engineering Center, 2013)

2.4 Daya Dukung Fondasi Tiang Metode N-SPT

Daya dukung ultimit tiang dapat pula dihitung berdasarkan data N-SPT yaitu dengan dengan membuat nilai rata-rata N-SPT untuk daya dukung selimut dan nilai N-SPT pada ujung tiang sebagai daya dukung ujung.

Formula empirik untuk daya dukung ultimit tiang menggunakan nilai N-SPT tertera pada **Persamaan 8** berikut:

$$Q_u = 400 \cdot N_b \cdot A_p + 2 \cdot \bar{N} \cdot A_s \quad \dots (8)$$

dimana:

- Q_u = daya dukung ultimit [kN],
- N_b = nilai N-SPT pada ujung tiang [-],
- A_p = luas penampang tiang [m²],
- \bar{N} = nilai N-SPT rata-rata pada selimut tiang [-],
- A_s = luas selimut tiang [m²].

2.5 Daya Dukung Fondasi Tiang Hasil *Static Loading Test*

Kapasitas daya dukung tiang pancang yang ditentukan dari hasil pengujian terdiri atas beberapa metode, tetapi metode yang paling mendekati nilai hasil uji beban statik rata-rata adalah metode Mazurkiewich.

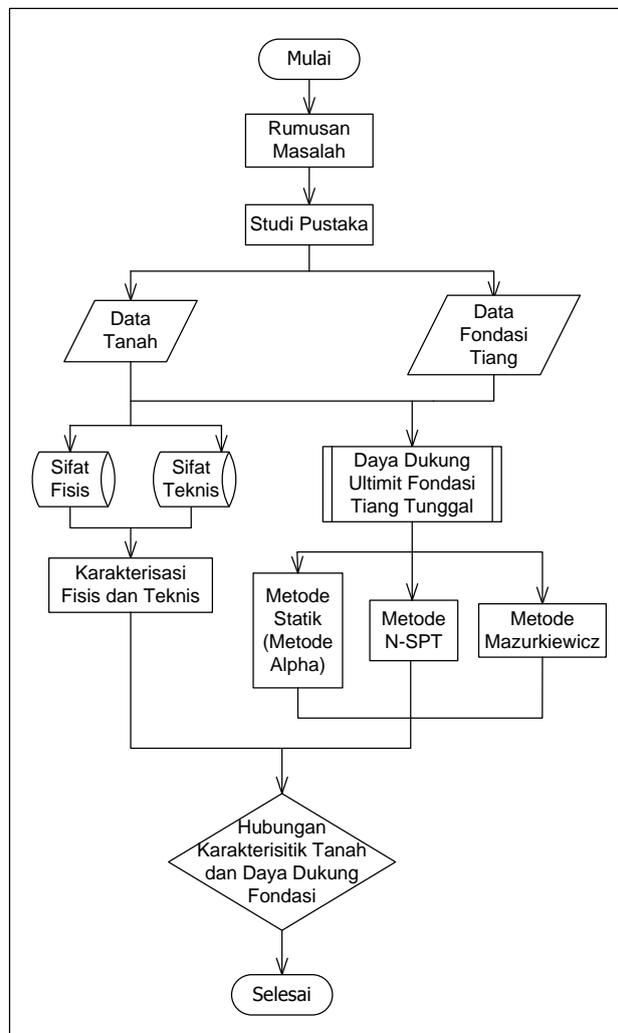
Prosedur penentuan beban ultimit dari fondasi tiang dengan metode Mazurkiewich, sebagai berikut:

1. Gambarkan kurva beban terhadap penurunan.
2. Tentukan beberapa titik pada sumbu penurunan dengan interval penurunan yang sama.
3. Tarik garis sejajar sumbu penurunan sehingga memotong sumbu beban.
4. Tarik garis membentuk 45^o pada setiap beban, terhadap garis perpotongan berikutnya.
5. Tarik garis lurus yang mewakili titik-titik yang terbentuk, dimana perpotongan garis ini dengan sumbu beban adalah beban ultimit tiang.

3. ANALISIS DATA

3.1 Prosedur Penelitian

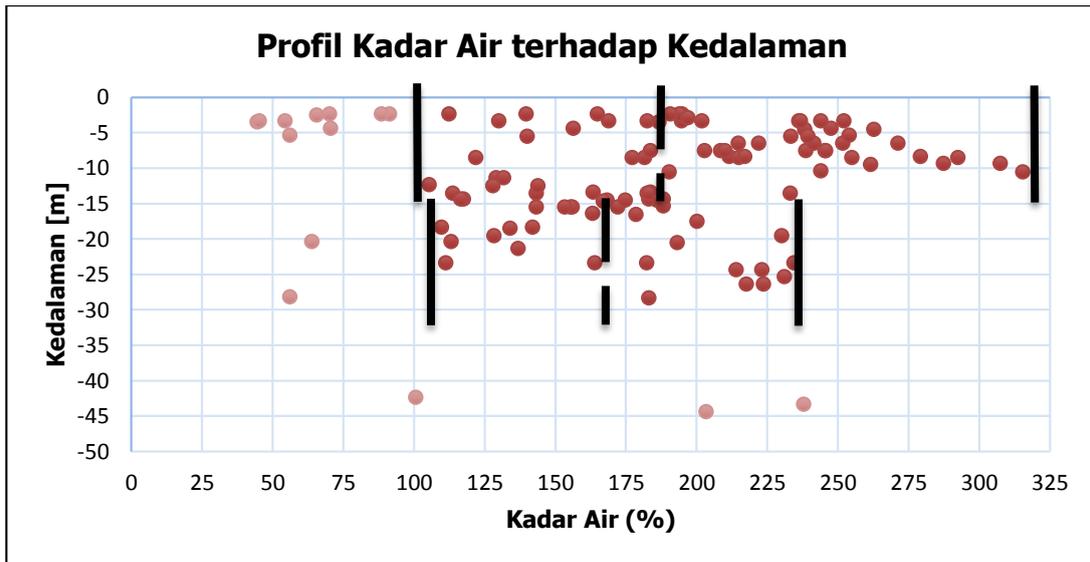
Alur penelitian ini dapat dilihat pada rangkaian proses analisis karakteristik tanah dan daya dukung fondasi tiang pada **Gambar 3**.



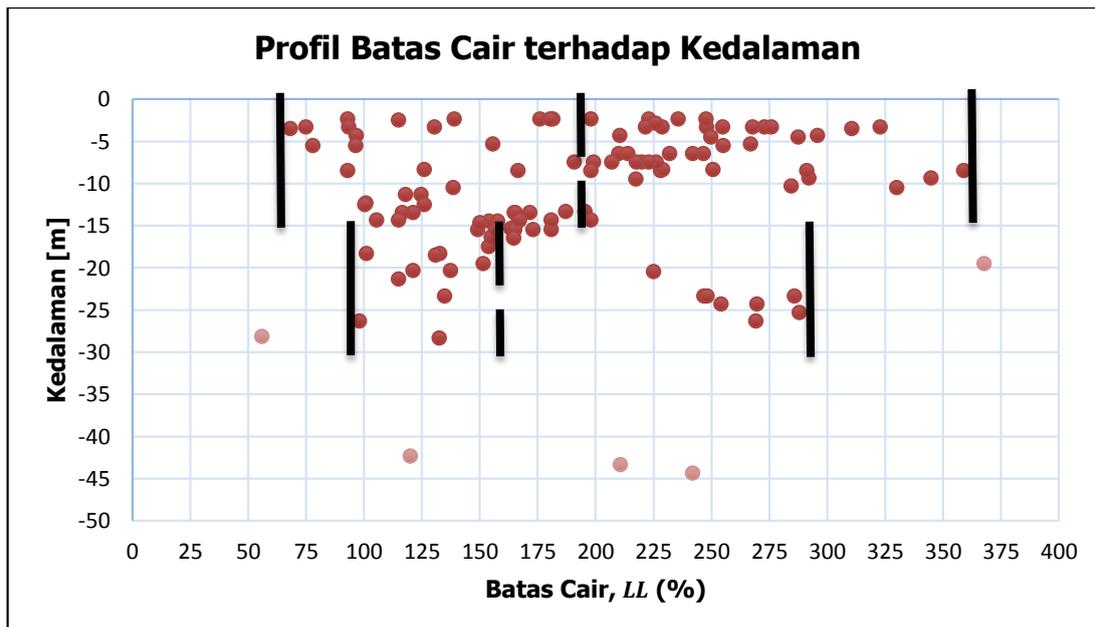
Gambar 3. Bagan alir analisis daya dukung tiang tunggal statik

3.3 Karakterisasi Fisis

Ploting kadar air terhadap kedalaman lapisan tanah lunak setebal 30 meter menunjukkan konsistensi nilai kadar air dengan nilai yang sangat besar, yaitu antara 90% - 320% seperti tertera pada **Gambar 4**. Dengan perbandingan volume air yang sangat besar terhadap volume tanah, deposit tanah lunak ini memiliki derajat kejenuhan yang tinggi. Kondisi ini diperkuat oleh nilai batas cair yang sangat tinggi pula, yaitu antara 100% - 360% (**Gambar 5**), karena kadar air yang menyamai batas cair, lapisan lempung ini memiliki wujud cair.

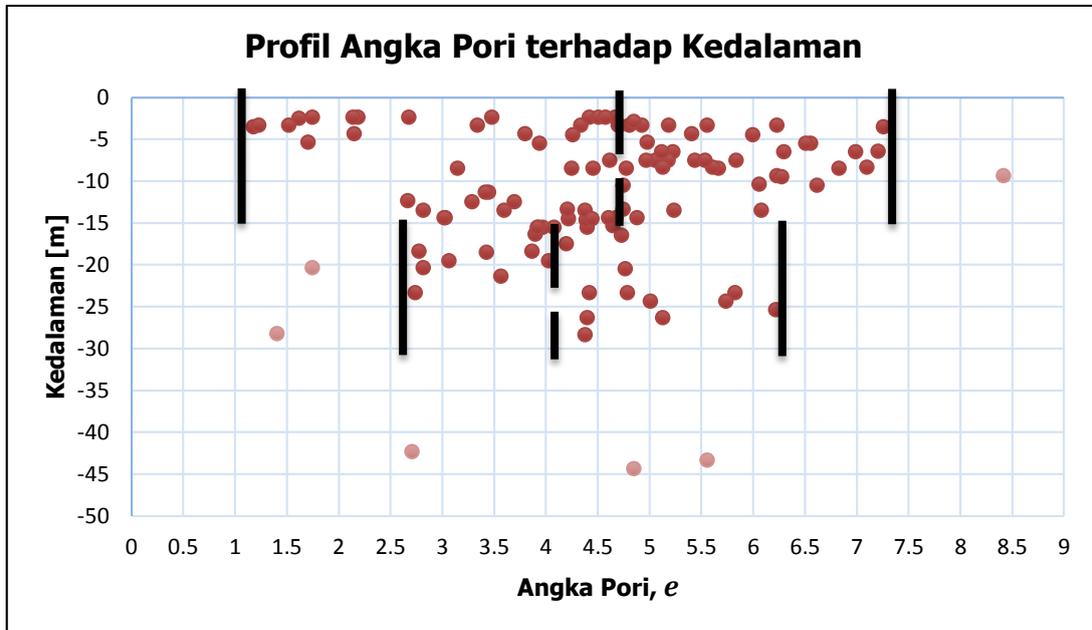


Gambar 4. Profil kadar air lapisan lempung lunak terhadap kedalaman



Gambar 5. Profil batas cair lapisan lempung lunak terhadap kedalaman

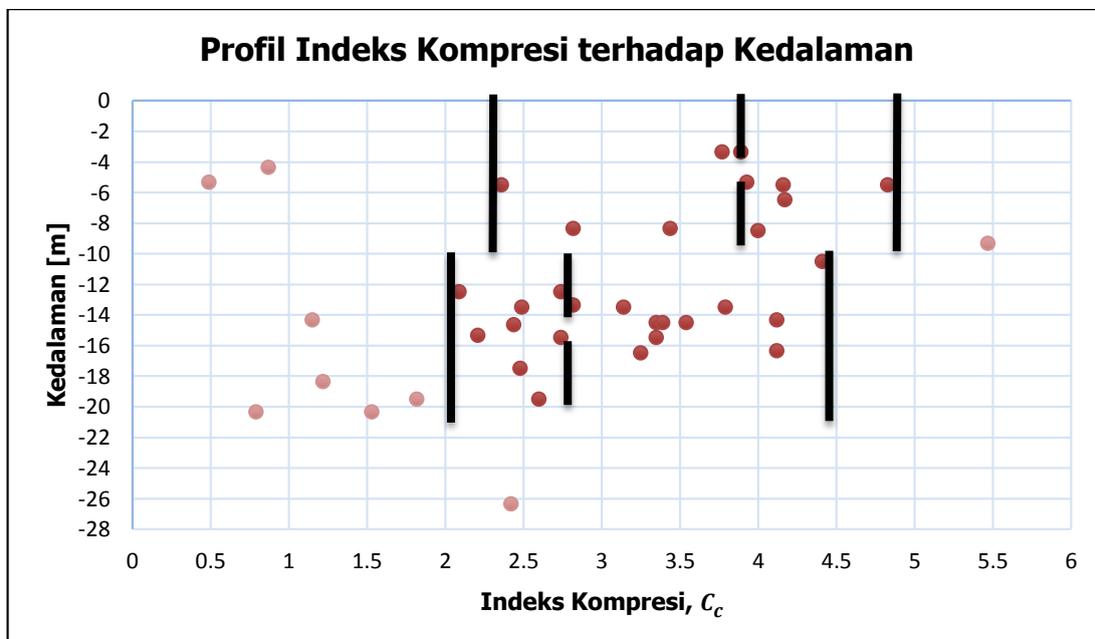
Profil angka pori terhadap kedalaman mengindikasikan nilai angka pori yang tinggi, yaitu antara 2 – 7,25 (**Gambar 6**). Hal ini memperlihatkan bahwa deposit tanah lunak ini mempunyai volume pori yang sangat besar dibandingkan dengan volume solid dari material tanah itu sendiri. Konsekuensinya sifat kemampatan tanah pun akan sangat besar.



Gambar 6. Profil angka pori lapisan lempung lunak terhadap kedalaman

3.4 Karakterisasi Teknis

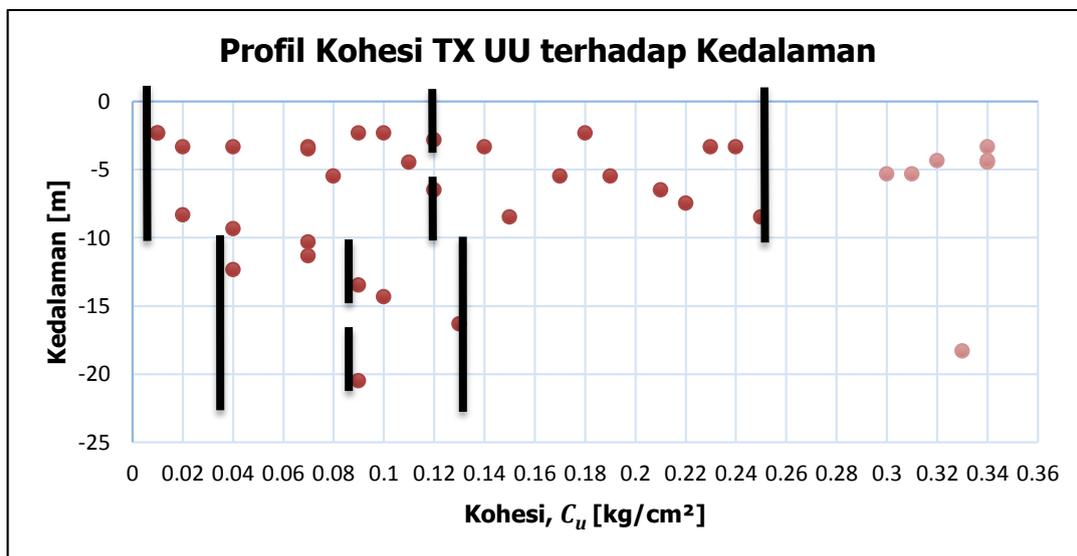
Pada **Gambar 7**, sifat mekanis yang menunjukkan kemampatan yang tinggi adalah nilai indeks kompresi primer pada uji konsolidasi, yaitu sebesar 2 – 5. Hal ini menjelaskan rasio perubahan angka pori untuk setiap satu satuan logaritmik pembebanan.



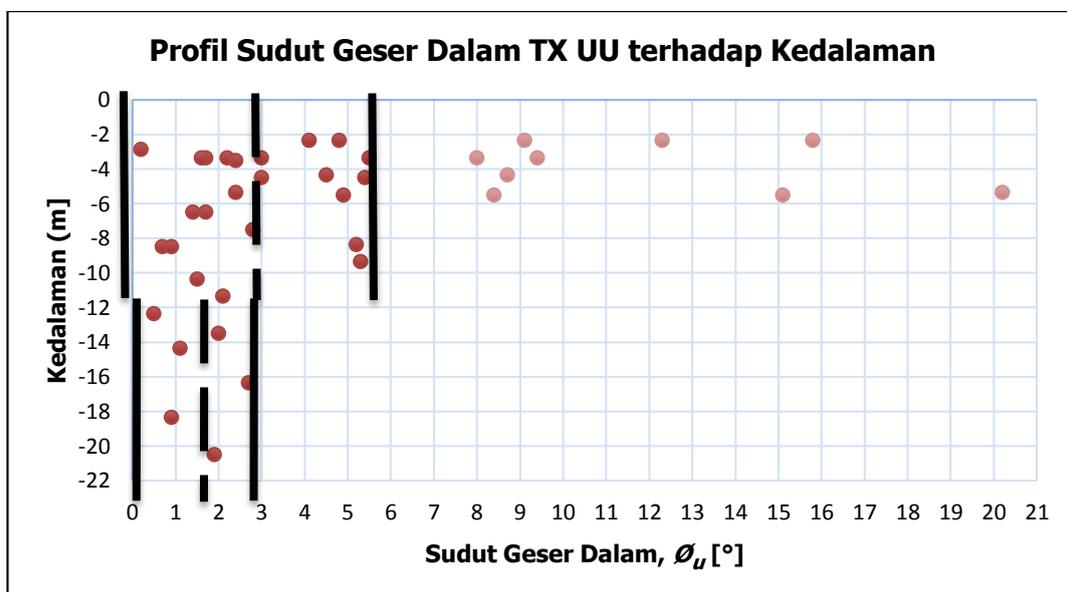
Gambar 7. Profil indeks kompresi lapisan lempung lunak terhadap kedalaman

Kekuatan geser tanah yang rendah ditunjukkan oleh hasil uji triaksial UU seperti tertera pada **Gambar 8** dan **Gambar 9**. Nilai kohesi tak teralir pada uji ini yang kurang dari 25 kN/m² mengindikasikan daya lengket antar partikel lempung yang lemah, sehingga lempung ini kemampuannya kecil untuk menahan tegangan geser yang terjadi, yaitu pada saat fase konstruksi. Nilai sudut geser dalam pun tidak memberikan tambahan kekuatan geser, dimana nilainya hanya berkisar kurang dari 10°.

Kekuatan geser yang sangat kecil ini tidak akan memberikan daya dukung yang cukup untuk suatu fondasi bangunan, sehingga fondasi memerlukan kedalaman yang lebih besar untuk meningkatkan nilai daya dukung tanahnya.



Gambar 8. Profil kohesi tak teralir TX UU lapisan lempung lunak terhadap kedalaman



3.5 Penentuan Perlapisan Tanah

Berdasarkan data pemboran yang terdekat dengan titik pengujian tiang, stratifikasi tanah dapat dilihat pada **Tabel 1**. Ketebalan tanah lunak mencapai 20 m, sehingga daya dukung fondasi tiang akan dipikul oleh lapisan tanah di bawahnya, yaitu setebal 13,5 m. Konsistensi dan kepadatan setiap lapisan tanah diukur dengan nilai N-SPT yang dilakukan setiap 2 m kedalaman tanah. Nilai N-SPT ini dikoreksi terhadap tegangan vertikal efektif, rasio energi, panjang batang, diameter lubang dan pengambilan contoh.

Tabel 1. Data Tanah Hasil Pemboran

Kedalaman [m]	Jenis Tanah	Tebal [m]	N	$(N_1)_{60}$
0,00 - 0,50	<i>Silty Clay</i>	0,50	2	1
0,50 - 3,00	<i>Fat Clay</i>	3,00	2	1
3,00 - 8,00	<i>Elastic Silt</i>	8,00	1	1
8,00 - 10,70	<i>Elastic Silt</i>	10,70	2	1
10,70 - 18,00	<i>Fat Clay</i>	18,00	2	1
18,00 - 21,00	<i>Fat Clay</i>	21,00	5	3
21,00 - 26,00	<i>Elastic Silt</i>	26,00	9	6
26,00 - 26,80	<i>Poorly Graded Sand</i>	26,80	21	14
26,80 - 29,85	<i>Well Graded Sand</i>	29,85	24	16
29,85 - 33,50	<i>Well Graded Sand</i>	33,50	22	14

3.6 Metode N-SPT

Perhitungan daya dukung ultimit dengan metode N-SPT dengan **Persamaan 8** sebesar 464,76 ton, meliputi daya dukung ujung sebesar 161,79 ton serta daya dukung selimut sebesar 302,96 ton (**Tabel 2**). Daya dukung izin diperoleh sebesar 154,92 ton dengan faktor keamanan sebesar 3. Daya dukung ujung tersebut dipikul oleh lapisan pasir pada kedalaman 33,5 m, sedangkan daya dukung selimut dipikul oleh lapisan di atas lapisan pasir tersebut setebal 13,5 m.

Tabel 2. Daya Dukung Selimut dengan Metode N-SPT

Kedalaman [m]	Jenis Tanah	H [m]	A_s [m]	$(N_1)_{60}$	N_s	$0,2 N_s$	Q_s [ton]
0,00 - 0,50	<i>Silty Clay</i>	0,50	63,171	1	1,30	0,26	16,42
0,50 - 3,00	<i>Fat Clay</i>	3,00	63,171	1	1,30	0,26	16,42
3,00 - 8,00	<i>Elastic Silt</i>	8,00	63,171	1	1,08	0,22	13,69
8,00 - 10,70	<i>Elastic Silt</i>	10,70	63,171	1	1,14	0,23	14,37
10,70 - 18,00	<i>Fat Clay</i>	18,00	63,171	1	1,17	0,23	14,78
18,00 - 21,00	<i>Fat Clay</i>	21,00	63,171	3	1,52	0,30	19,16
21,00 - 26,00	<i>Elastic Silt</i>	26,00	63,171	6	2,14	0,43	26,98
26,00 - 26,80	<i>Poorly Graded Sand</i>	26,80	63,171	14	3,57	0,72	45,17
26,80 - 29,85	<i>Well Graded Sand</i>	29,80	63,171	16	4,91	0,98	62,05
29,85 - 33,50	<i>Well Graded Sand</i>	33,50	63,171	14	5,85	1,17	73,91
Jumlah							302,96

3.7 Metode Statik (Metode Alpha)

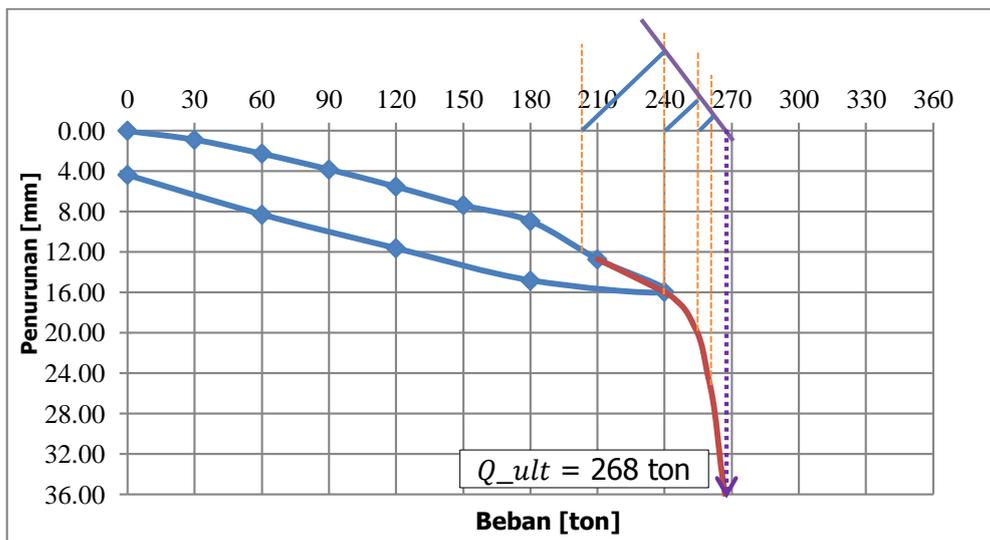
Metode Statik untuk menghitung daya dukung tiang pancang pada deposit tanah di lokasi ini menghasilkan daya dukung ujung sebesar 381,86 ton, dan daya dukung selimut tiang sebesar 1.435,5 ton (**Tabel 3**). Daya dukung ultimit yang dihasilkan adalah 525,21 ton, sedangkan daya dukung izin sebesar 175,7 ton.

Tabel 3. Daya Dukung Selimut dengan Metode Alpha

Kedalaman [m]	Jenis Tanah	L_i [m]	c_u [kN/m ²]	α	f_s [kN/m ²]	A_s [m ²]	Q_s [kN]
0,00 - 0,50	<i>Silty Clay</i>	0,50	12,50	1,00	12,50	0,94	11,79
0,50 - 3,00	<i>Fat Clay</i>	2,50	12,50	1,00	12,50	4,71	58,93
3,00 - 8,00	<i>Elastic Silt</i>	5,00	12,50	1,00	12,50	9,43	117,86
8,00 - 10,70	<i>Elastic Silt</i>	2,70	12,50	1,00	12,50	5,09	63,64
10,70 - 18,00	<i>Fat Clay</i>	7,30	12,50	1,00	12,50	13,77	172,07
18,00 - 21,00	<i>Fat Clay</i>	3,00	37,50	0,80	30,00	5,66	169,71
21,00 - 26,00	<i>Elastic Silt</i>	5,00	75,00	0,47	35,25	9,43	332,36
26,00 - 26,80	<i>Poorly Graded Sand</i>	0,80	150,00	0,24	36,00	1,51	54,31
26,80 - 29,85	<i>Well Graded Sand</i>	3,05	150,00	0,24	36,00	5,75	207,05
29,85 - 33,50	<i>Well Graded Sand</i>	3,65	150,00	0,24	36,00	6,88	247,78
Jumlah							1.435,50

3.8 Metode Mazurkiewicz

Metode Mazurkiewicz adalah metode interpretasi dari grafik hubungan beban dan penurunan pada uji tiang statik untuk mendapatkan daya dukung ultimit. Metode ini menggunakan rangkaian data terakhir, sehingga nilai daya dukung ultimit yang diperoleh menjadi konvergen sebesar 268 ton (**Gambar 10**).



Gambar 10. Daya dukung ultimit tiang dengan metode Mazurkiewicz

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil karakterisasi tanah lunak dan analisis daya dukung tiang tunggal, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Tanah lempung lunak di Gedebage memiliki ketebalan 20 meter yang ditunjukkan oleh parameter fisis dan teknis.
2. Lapisan tanah lempung lunak ini berpotensi mengalami penurunan yang besar, dengan angka pori 2 sampai 7,25 dan indeks kompresi 2 sampai 5.
3. Lapisan ini tidak mampu menjadi lapisan pendukung fondasi, karena nilai kuat geser yang sangat rendah, yaitu kurang dari 25 kN/m².
4. Tiang pancang tidak didukung oleh lapisan lempung lunak, sehingga hal ini akan menimbulkan pergerakan lateral pada kepala tiang.
5. Tiang akan mengalami beban tambahan akibat penurunan yang terjadi pada lapisan lempung lunak tersebut.
6. Daya dukung yang diperoleh baik dari metode statik maupun metode N-SPT mengalami perbedaan dengan interpretasi uji tiang dengan metode Mazurkiewicz. Hal ini disebabkan faktor *set up*, dimana tahanan selimut meningkat sesaat setelah pemancangan.

DAFTAR RUJUKAN

- Bowles, J. E. (1984). *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Jakarta: Erlangga.
- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Alih bahasa oleh Ir. Noor E. Mochtar. M.Sc., Ph.D. dan Ir. Indrasurya B. Mochtar M.Sc., Ph.D. Jakarta: Erlangga.
- Geotechnical Engineering Center. (2013). *Manual Fondasi Tiang (4th edition)*. Bandung: Geotechnical Engineering Center (GEC) Universitas Katolik Parahyangan.
- Hardiyatmo, H. C. (2010). *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Terzaghi, K. dan Peck, R. (1987). *Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd edition*. Alih bahasa oleh Krisna, B. dan Witjaksono, B. Jakarta: Erlangga.
- Tomlinson, M. J. (1986). *Foundation Design and Construction*. London: John Wiley & Sons.