

Penentuan Parameter Tanah Untuk Perencanaan Struktur Penahan Galian

Budi, G. S.¹, dan Neoleinad, W.²

¹Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, Jl. Siwalankerto No. 121-131, Siwalankerto, Kec. Wonocolo, Surabaya, Jawa Timur 60236

e-mail: gogot@petra.ac.id

²Mahasiswa program Studi S1 Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, Jl. Siwalankerto No. 121-131, Siwalankerto, Kec. Wonocolo, Surabaya, Jawa Timur 60236

e-mail: B11210009@petra.ac.id

ABSTRAK

Pekerjaan penggalian tanah sangat umum dilaksanakan untuk struktur di bawah tanah (*sub-structures*) seperti lantai parkir, tangki air bersih (*ground water tank*), atau tangki pengolah limbah air kotor (*sewage water tank*), dll. dengan kedalaman galian yang bervariasi. Untuk menjaga kestabilan galian yang relatif dalam selama pekerjaan, diperlukan struktur penahan galian seperti *sheet pile*, *soldier pile*, *secant pile*, *diaphragm wall*, *contiguous bored pile*, dan lain-lain. Struktur penahan galian pada umumnya direncanakan dengan menggunakan bantuan program aplikasi komputer yang memerlukan parameter tanah sebagai *input data*. Seringkali beberapa parameter tanah yg diperlukan sebagai *Input data* tidak tersedia dalam Laporan hasil penyelidikan tanah, sehingga *input data* harus ditentukan berdasarkan korelasi-korelasi dengan mempertimbangkan nilai tipikal yang ada. Pemilihan data yang kurang tepat sebagai *input data* akan menghasilkan desain yang kurang tepat dan dapat mempengaruhi kestabilan galian. Makalah ini membahas dan membandingkan pemilihan parameter tanah yang digunakan untuk merencanakan struktur penahan galian sedalam 3m di lapisan lempung dengan konsistensi sangat lunak/lunak. Hasil perencanaan selanjutnya dibandingkan dengan hasil pengukuran deformasi/pergerakan struktur penahan tanah yang diperoleh dari hasil *monitoring* menggunakan inclinometer. Prediksi deformasi kepala (*top*) *secant pile* berdasarkan perencanaan adalah 73mm, yang menunjukkan kesesuaian dibandingkan dengan hasil *monitoring* yang terjadi di lapangan selama proses penggalian, yaitu 59mm. Perbedaan yang sangat signifikan terlihat pada pergerakan/defleksi pada ujung (*tip*) *secant pile*, dimana pada hasil perencanaan ujung *secant pile* diprediksi bergeser sebesar 43 mm, sedangkan berdasarkan hasil *monitoring* ujung tiang relatif tidak mengalami pergerakan. Disamping itu, dalam berdasarkan perencanaan menunjukkan bahwa *secant pile* akan mengalami deformasi *bending* dibandingkan dengan data hasil pengukuran yang relatif lurus.

Kata kunci (keywords): penahan tanah, lempung lunak, galian, plaxis, inclinometer

1. PENDAHULUAN

Pekerjaan penggalian tanah sangat umum dilaksanakan untuk struktur di bawah tanah (*sub-structures*) seperti lantai parkir, tanki air bersih (*ground water tank*), atau tanki pengolah limbah air kotor (*sewage water tank*), dll. Kedalaman galian bervariasi tergantung keperluan. Di Kota Surabaya, galian terdalam untuk struktur *basement* sampai tahun 2014 adalah 16.5m dari permukaan tanah *existing*, untuk mengakomodasi 5 lantai *basement*.

Secara umum, dalam pekerjaan galian yang relatif dalam diperlukan struktur penahan galian seperti *sheetpile*, *sodier pile*, *secant pile*, *diaphragm wall*, *contiguous bored pile*, dan lain-lain, untuk mempertahankan kestabilan tanah dan bangunan di sekitar (sekeliling) galian.

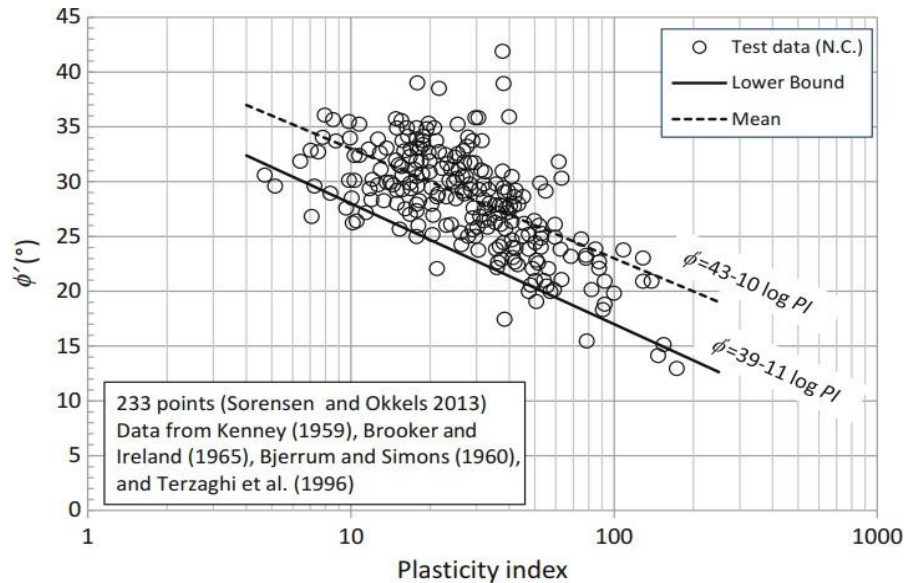
Data atau informasi beban bangunan di sekeliling galian (*surchage load*), jenis dan parameter lapisan tanah (data tanah), kedalaman muka air tanah (m.a.t.), merupakan tiga (3) faktor utama yang harus diperhatikan dalam perencanaan, karena ke tiga faktor tersebut berpengaruh pada kekuatan dan deformasi struktur penahan galian. Selain itu, parameter lain yang diperlukan untuk perencanaan, khususnya yang menggunakan bantuan aplikasi komputer seperti Plaxis, adalah berat volume atau densiti tanah, modulus elastisitas (*Elastic modulus*) dan angka Poisson (*Poisson's ratio*) tanah. Parameter kekuatan geser tanah yang diperlukan untuk perencanaan struktur penahan tanah seperti kohesi (*c*), sudut geser-dalam (ϕ), modulus elastisitas (*E*), dapat diperoleh dari pengujian tanah di laboratorium, dari korelasi dari hasil pengujian di lapangan (*Cone penetration Test-CPT*, *Standard Penetration Test-Nspt*, *Pressure meter test*, *Dilatometer test*, *Vane shear test*, dll), atau dari referensi untuk jenis tanah yang relatif sama.

Menurut Sorensen and Okkhels (2013), sudut geser-dalam tanah efektif (*effective friction angle*, ϕ') dapat diperoleh berdasarkan Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*, I_p) seperti dipresentasikan pada Gambar 1. Sedangkan Gambar 2 menunjukkan korelasi antara kohesi efektif (*effective cohesion*, c') dengan Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*, I_p) untuk lempung dalam kondisi terkonsolidasi (*over consolidated*, OC). Sorensen dan Okkhels (2013) juga menyatakan bahwa besarnya kohesi efektif tanah terkonsolidasi (c'_{oc}) dapat diprediksi sebagai berikut:

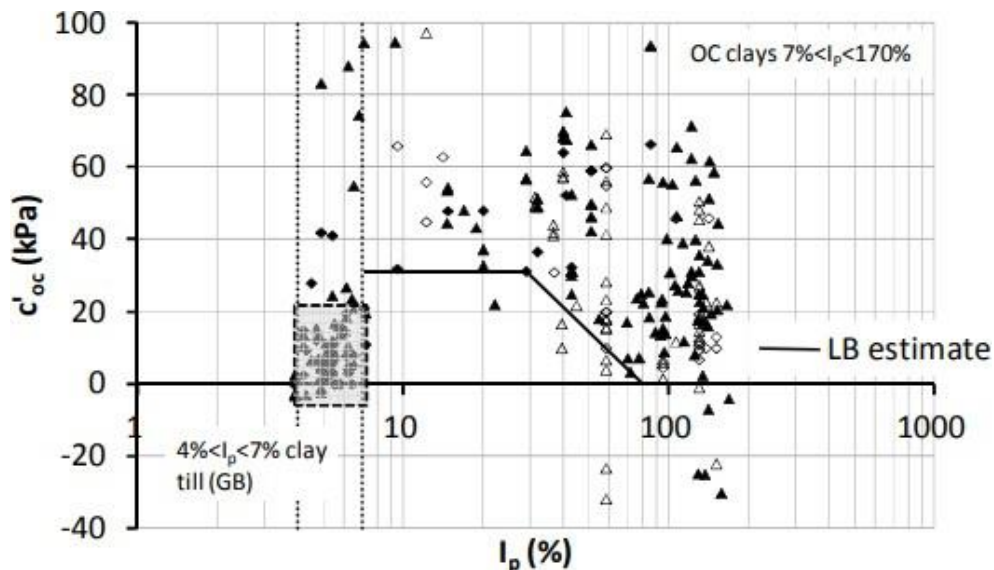
$$- \quad c'_{oc} = 30 \quad (\text{kPa}) \quad \text{untuk} \quad 7\% < PI < 30\% \quad (1)$$

$$- \quad c'_{oc} = 48 - 0.6(PI) \quad (\text{kPa}) \quad \text{untuk} \quad 30\% < PI < 80\% \quad (2)$$

$$- \quad c'_{oc} = 0 \quad (\text{kPa}) \quad \text{untuk} \quad PI > 80\% \quad (3)$$



Gambar 1. Hubungan antara Indeks Plastisitas (I_p) dengan Sudut geser-dalam efektif (ϕ')



Gambar 2. Hubungan antara Indeks Plastisitas (I_p) dengan kohesi-efektif tanah terkonsolidasi (Over Consolidated, OC)

Look, B. G (2007) mengusulkan bahwa besarnya kohesi efektif (c') tanah non-organik dengan konsistensi lunak berkisar antara 10 kPa – 20 kPa, dan besarnya sudut geser-dalam efektif berkisar antara 15° – 25° .

Jay Ameratunga dan Nagaratnam Sivakugan (2016) merangkum sebaran kohesi-efektif (c') dan sudut geser-dalam efektif (C) tanah, yang didasarkan pada data *Australian Standard 4678-2002* tentang *Earth retaining structure*,

dipresentasikan pada Tabel 1.

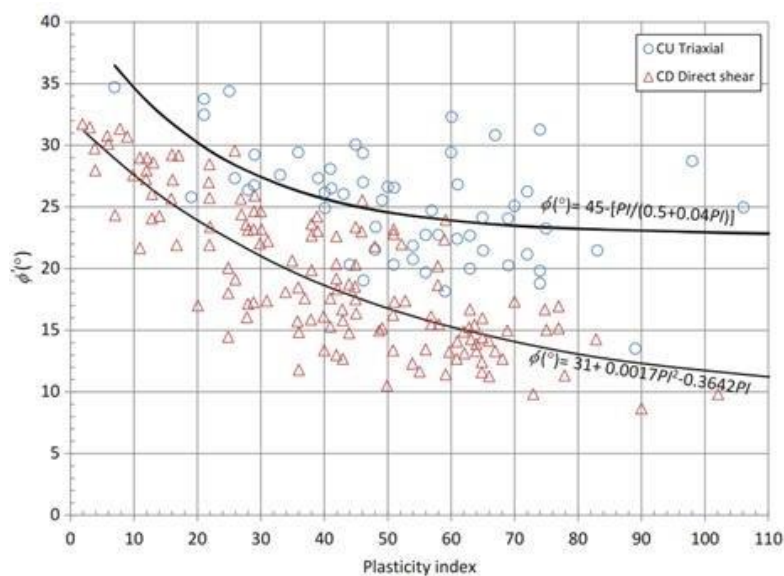
Tabel 1. Sebaran kohesi efektif (*Effective Cohesion, c'*) dan Sudut geser-dalam (*effective internal friction angle, ϕ'*).

Kelompok Tanah	Tipikal tanah	Parameter Tanah	
		c' (kPa)	ϕ' (°)
Buruk	Tanah lempung lunak dan teguh dengan plastisitas sedang ke tinggi, Lempung berlanau, isian lempung bervariasi lepas, Lanau berpasir lepas	0 – 5	17 – 25
Sedang	Lempung berpasir kaku, Lempung berkerikil, Pasir berlempung padat, Lanau berpasir, isian lempung padat	0 – 10	26 – 32
Bagus	Pasir berkerikil, Pasir yang dipadatkan, Isian kerikil dan batu pasir pecah, Pasir padat bergradasi baik	0 – 5	32 – 37
Sangat Bagus	Batuan lapuk yang lemah, Isian lapis dasar jalan terkontrol, Beton daur ulang	0 – 25	36 – 43

Castellanos and Brandon (2013) memformulasikan besarnya sudut geser-dalam efektif tanah (ϕ') berdasarkan pengujian *Triaxial Consolidated Undrained*, CU seperti ditunjukkan pada perumusan (4) dan berdasarkan pengujian *Direct shear* pada persamaan (5) sebagai berikut (Gambar 3):

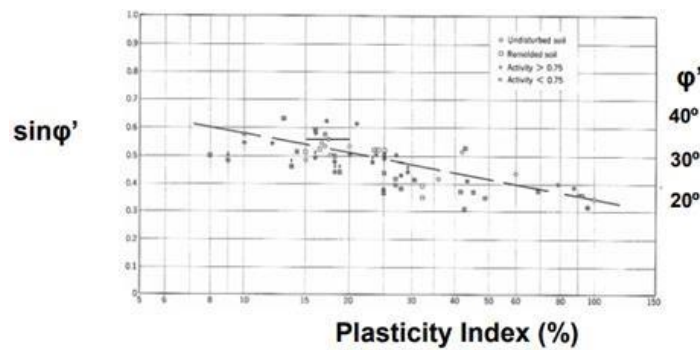
$$\phi' = 45 - \left[\frac{Ip}{(0.5 + 0.04Ip)} \right] \quad (4)$$

$$\phi' = 31 + 0.0017(Ip^2) - 0.3642(Ip) \quad (5)$$



Gambar 3. Hubungan antara Indeks Plastisitas (I_p) dan Sudut geser-dalam efektif (ϕ') berdasarkan pengujian *Triaxial* dan *Direct shear*

Lambe and Whitman (1979) menyatakan bahwa besarnya sudut geser-dalam efektif (ϕ') atau $\sin(\phi')$ dapat diperoleh berdasarkan korelasi dengan Indeks Plastisitas (I_p) seperti ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan antara Indeks Plastisitas (I_p) dan $\sin \phi'$

Modulus elastisitas tanah (E), menurut Schmertmann (1970) dapat ditentukan berdasarkan nilai *Standard Penetration Test* (N_{spt}) dan hambatan ujung (q_c) dari uji *Cone Penetration Test* (CPT) sebagai berikut:

Korelasi pada tanah pasir

$$E_s \text{ (KN/m}^2\text{)} = 766 \cdot N_{spt} \quad (6)$$

$$E_s = 2 \cdot q_c \quad (7)$$

Pada tanah lempung, nilai modulus elastisitas tanah dalam keadaan *undrained* (E_u) pada tanah *normally consolidated* dan *over consolidated* dapat dikorelasikan dengan kohesi (C_u) sebagai berikut:

Tanah lempung *normally consolidated* (NC)

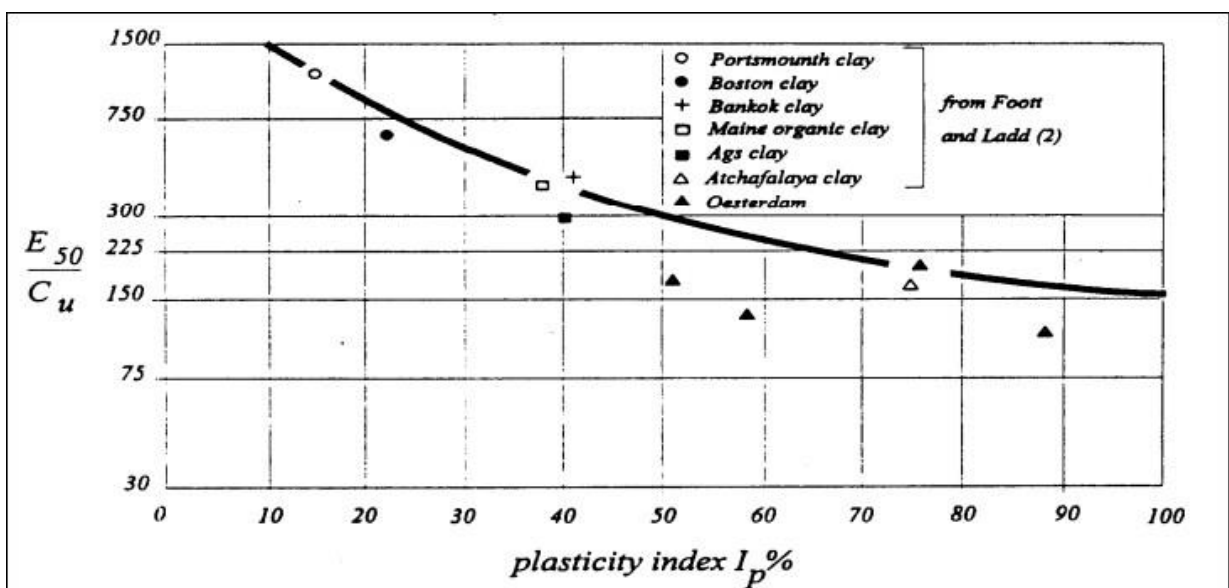
$$E_u = 250 C_u - 500 C_u \quad (8)$$

Tanah lempung *over consolidated* (OC)

$$E_u = 750 C_u - 1000 C_u \quad (9)$$

Termaat, Vermeer dan Vergeer (1985) menyatakan bahwa Modulus elastisitas (E_{u50}) tanah *normally consolidated* (NC) dapat diprediksi berdasarkan parameter kuat geser tanah dalam kondisi *undrained* (C_u), yang besarnya bervariasi antara $1500 C_u - 150 C_u$ atau dapat dinyatakan dengan perumusan:

$$E_{u50} \approx \frac{15000 C_u}{I_p(\%)} \quad (10)$$

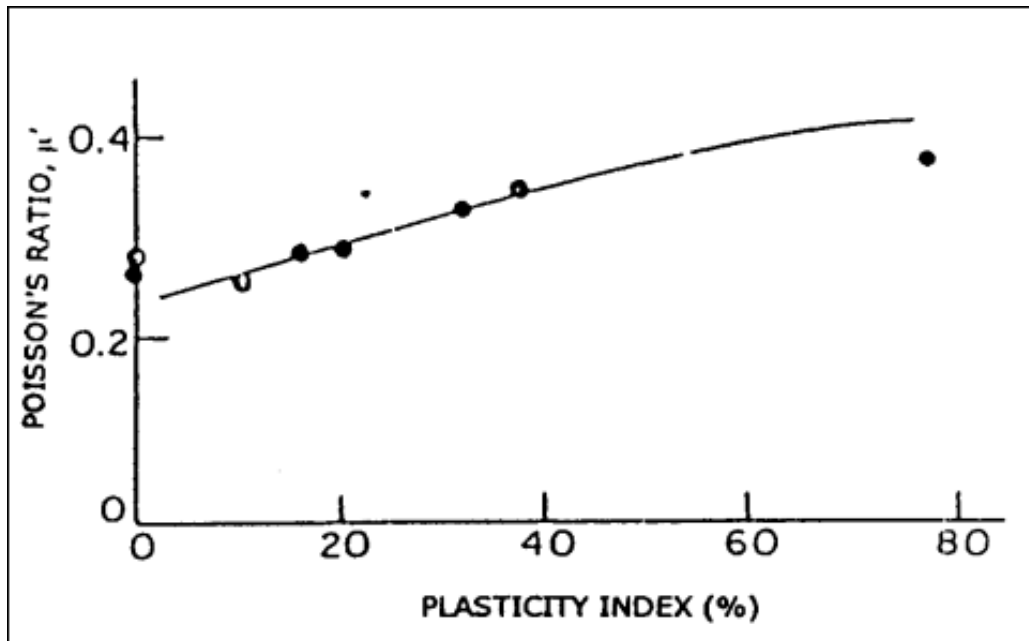


Gambar 5. Hubungan antara Modulus elastisitas E_{50} , kohesi (C_u), dan Indeks Plastisitas (I_p) Menurut Duncan dan Buchignani (1976), hubungan antara E_u dan c_u tergantung dari nilai indeks plastisitas tanah,

seperti ditunjukkan pada Gambar 5; Untuk nilai *Over Consolidated Ratio* (OCR) lebih kecil dari dua ($OCR < 2$) berlaku:

- $E_u/c_u = 600$ untuk nilai $I_p = 30$
- $E_u/c_u = 300$ untuk nilai $I_p = 50\%$

Menurut Wroth (1975), angka Poisson (Poisson's ratio) untuk tanah *normally consolidated* atau sedikit terkonsolidasi (*lightly consolidated*) dapat diprediksi berdasarkan nilai Indeks plastisitas tanah (I_p) seperti dipresentasikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hubungan antara angka Poisson dan Indeks Plastisitas

Monitoring deformasi struktur penahan galian

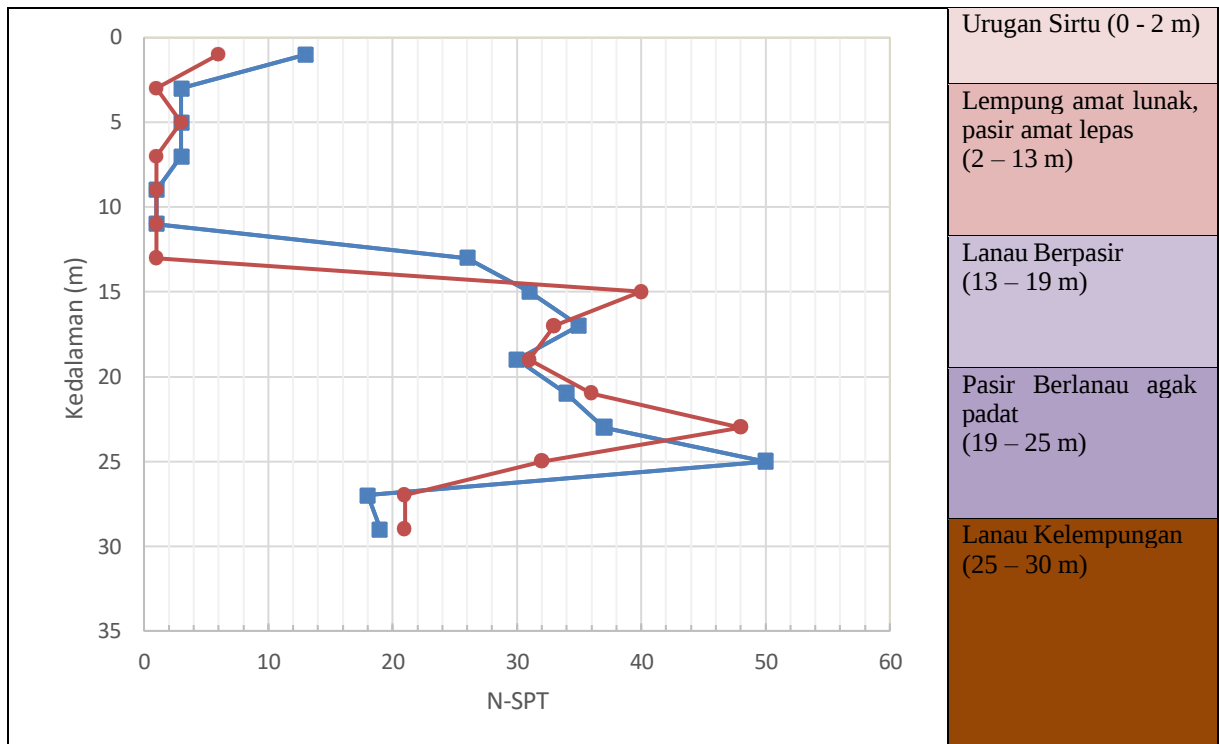
Kegiatan *monitoring* pergerakan/deformasi struktur penahan tanah yang banyak digunakan adalah *inclinometer* yang dapat dipasang (di *install*) di dalam (*embedded*) atau di luar struktur penahan galian. Hasil monitoring instrumen *inclinometer* berupa informasi pergerakan/deformasi struktur penahan tanah ke arah galian dan searah dinding galian. Dalam makalah ini disajikan penggunaan *Iclinometer* yang ditanam di dalam *secant pile* yang direncanakan untuk menahan galian pada lapisan tanah lempung sangat lunak/lunak dengan kealaman galian 3m.

Data tanah

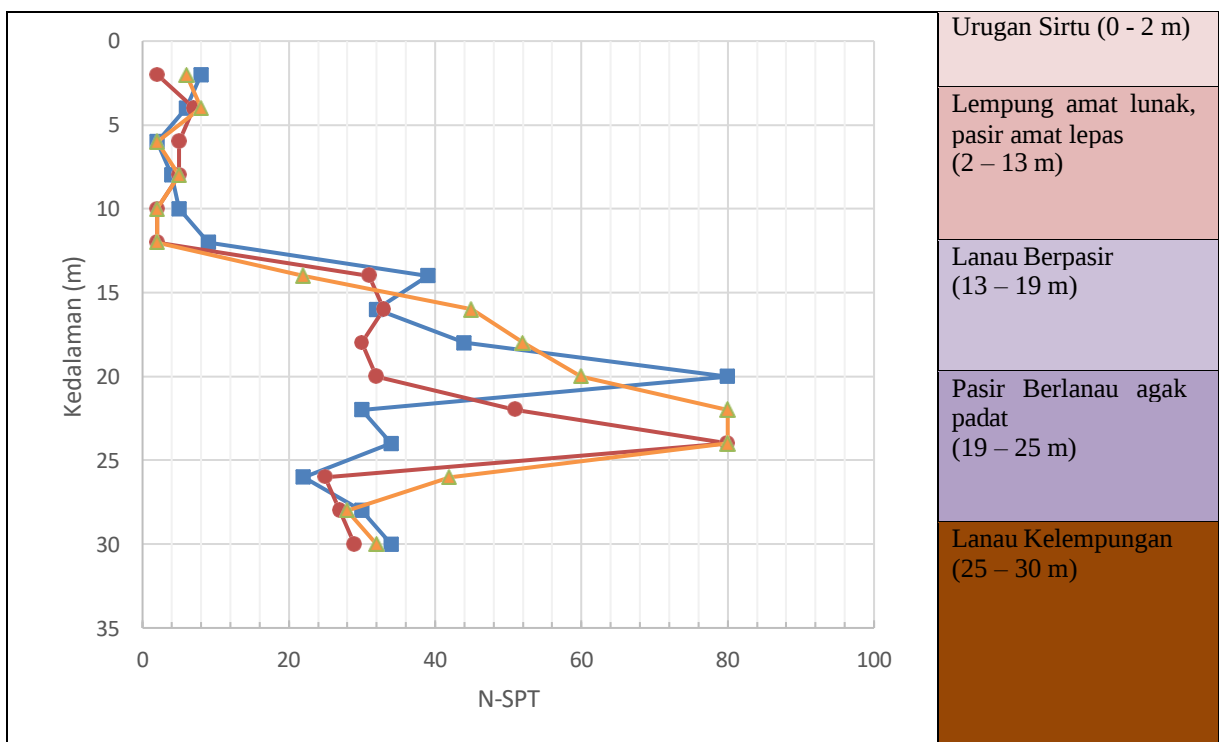
Penggalian *basement* yang dilaksanakan berlokasi di area yang didominasi oleh lapisan tanah lempung sangat lunak/lunak. Penyelidikan tanah yang pertama (Data tanah I) dilaksanakan sebelum proses perencanaan pertama (Perencanaan I). Dalam Perencanaan I disebutkan bahwa struktur penahan galian sedalam 3m adalah *secant pile* berdiameter 80cm, jarak as-ke-as 90cm, dan panjang *secant pile* 9m. Prediksi pergerakan/defleksi *secant pile* pada elevasi permukaan tanah yang dianalisa menggunakan bantuan aplikasi Plaxis dan Geo5 masing-masing adalah 8.56mm dan 8.9mm.

Hasil analisa tersebut diperoleh dengan menggunakan parameter tanah berdasarkan hasil penyelidikan tanah pertama (Data tanah I). Dibandingkan dengan referensi yang dipublikasikan oleh Departemen Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR, 2019), parameter tanah yang dipergunakan dalam perencanaan I (Tabel 3) sangat optimis, sehingga untuk mem-verifikasi perencanaan struktur penahan galian dilakukan pengujian tanah kedua (Data tanah II). Komparasi Data tanah I dan Data Tanah II dirangkum dalam Tabel 2.

Hasil penyelidikan tanah II (Data tanah II) menunjukkan bahwa lapisan tanah di lokasi galian mirip (relatif sama) dibandingkan dengan hasil penyelidikan tanah I (Data tanah I), seperti ditunjukkan masing-masing pada Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7. Pengujian tanah II



Gambar 8. Data tanah I

Penentuan parameter tanah untuk analisa menggunakan aplikasi komputer Plaxis

Berdasarkan referensi dan beberapa korelasi parameter kekuatan geser tanah efektif (c' dan ϕ') seperti telah diuraikan di atas, struktur penahan galian direncanakan (Perencanaan II) dengan menggunakan parameter kekuatan geser tanah yang jauh lebih kecil, yaitu:

- Kohesi (efektif) c' = 3-5 KN/m^2

- Sudut geser dalam ϕ' = 19°
- Modulus elastisitas E = 2000 KN/m²

Sedangkan dimensi *secant pile* yang diusulkan berdiameter 50cm, jarak as-ke-as 70cm, dan panjang 12m. Model sistem penahan galian dipresentasikan pada Gambar 9.

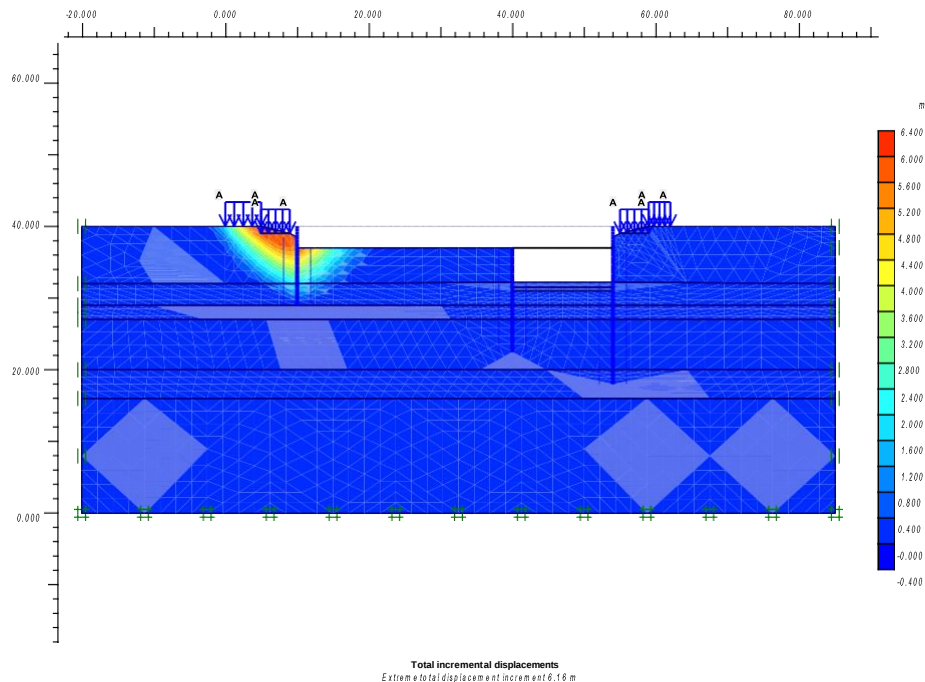
Hasil analisa menggunakan aplikasi komputer Plaxis menunjukkan bahwa *secant pile* di elevasi permukaan tanah (*top*) dan ujung tiang (*pile tip*) mengalami pergerakan/defleksi masing-masing sebesar 73mm dan 43mm, seperti ditunjukkan pada Gambar 10

Tabel 2. Perbandingan hasil penyelidikan tanah

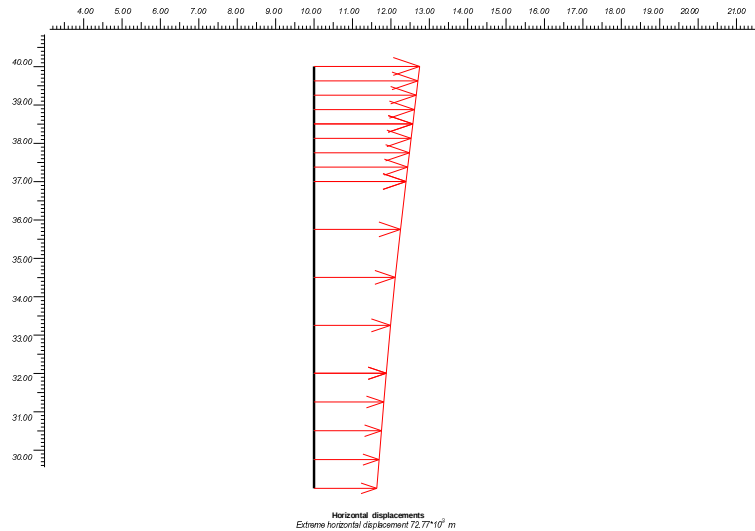
Kedalaman (m)	Penyelidikan tanah I (Data tanah I)							Penyelidikan tanah II (Data tanah II)				
	Bor 1		Bor 2		Bor 3		PI	Bor 1		Bor 2		PI
	c	ϕ°	c	ϕ°	c	ϕ°		c/c'	ϕ°/ϕ'°	c/c'	ϕ°/ϕ'°	
2	-	-	-	-	-	-	Antara 30% - 35%	0.11/0.04	- / 21	0.09/0.03	- /19	Antara 20% - 36%
3	0.35	12	0.37	8	0.36	10		-	-	-	-	
4	-	-	-	-	-	-		0.06/-	25/-	0.10/-	24/-	
6	0.36	11	0.36	9	0.30	16		-	-	-	-	
8	-	-	-	-	-	-		0.08/0.05	- / 19	0.07/0.04	- /19	
9	0.38	9	0.34	11	0.37	9		-	-	-	-	
12	0.37	10	0.38	7	0.38	8		0.10	- / -	0.10	3/-	
15	0.28	16	0.31	14	0.35	11		-	-	-	-	
18	0.30	15	0.29	16	0.33	13		-	-	-	-	

Tabel 3. Data yang digunakan untuk aplikasi Plaxis

Kedalaman, m	Perencanaan I		Perencanaan II	
	Kohesi, c' (KN/m ²)	Sudut geser dalam, ϕ°	Kohesi, c' (KN/m ²)	Sudut geser dalam, ϕ°
0.0 – 8.0	36.5	8.5	4	21
8.0 – 11.0	34.0	11.0	4	21
11.0 – 13.0	38.0	7.0	4	21
13.0 – 20.0	30.0	15.0		

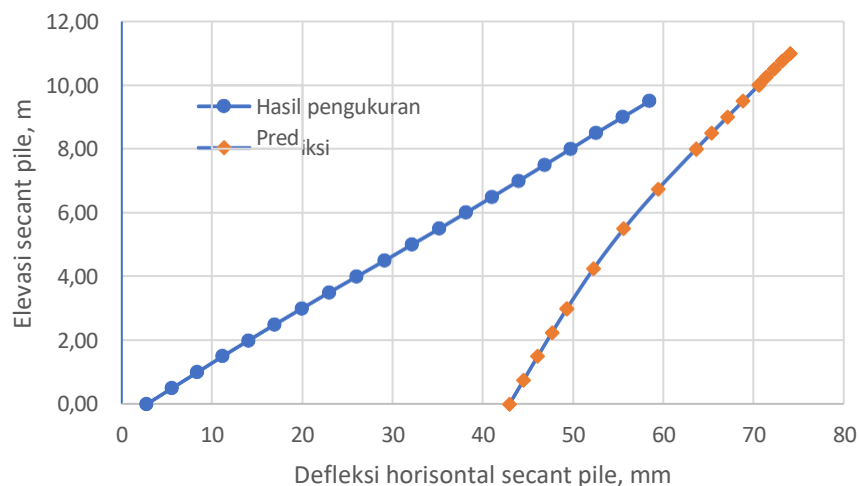


Gambar 9. Model system struktur penahan galian



Gambar 10. Deformasi/defleksi lateral struktur penahan galian ($top = 73 \text{ mm}$; $tip = 43 \text{ mm}$)

Prediksi deformasi *secant pile* pada akhir penggalian sedalam 3m (Perencanaan II) dan Hasil pengukuran pergerakan struktur penahan galian yang terpasang dipresentasikan pada Gambar 11.



Gambar 11. Deformasi secant pile pada galian 3m

Prediksi deformasi *secant pile* berdasarkan perencanaan II menunjukkan kesesuaian dibandingkan dengan hasil monitoring yang terjadi di lapangan selama proses penggalian, dimana prediksi deformasi kepala tiang pada perencanaan adalah 73 mm sedangkan yang terjadi di lapangan 58 mm. Perbedaan yang sangat signifikan terlihat pada pergerakan/defleksi pada ujung *secant pile* (*tip*) dimana pada Perencanaan II ujung *secant pile* diprediksi bergeser sebesar 43 mm, sedangkan berdasarkan hasil monitoring ujung tiang relatif tidak mengalami pergerakan. Disamping itu, dalam Perencanaan II menunjukkan bahwa *secant pile* akan mengalami deformasi *bending* dibandingkan dengan data Hasil pengukuran yang lurus. Hal tersebut menunjukkan bahwa kekakuan *secant pile* jauh lebih besar dibandingkan dengan kekakuan tanah sehingga *secant pile* terlihat tetap lurus (tidak mengalami deformasi *bending*) dari ujung bawah (*tip*) sampai atas (*top*). Dengan kata lain, terlihat bahwa *secant pile* miring seperti akan roboh. Perbedaan antara Prediksi dan Hasil pengukuran deformasi *secant pile* kemungkinan besar disebabkan oleh pemilihan Modulus elastisitas tanah yang kurang tepat.

Kesimpulan

- Penentuan parameter tanah untuk perencanaan struktur penahan galian sangat penting karena akan mempengaruhi kestabilan galian (*Garbage-in garbage-out*)
- Dalam penentuan parameter tanah sebaiknya memperhatikan beberapa referensi perumusan korelasi, agar diperoleh sebaran nilai tipikal tanah "secara umum"
- Memasang instrumentasi untuk memonitor pergerakan/deformasi struktur penahan galian

DAFTAR PUSTAKA

- Ameratunga, J. and Sivakugan, N. (2016), “Correlations of Soil and Rock Properties in Geotechnical Engineering”, Springer India 2016
- Castellanos, B., A., Brandon, T., L. (2013) A comparison between the shear strength measured with direct shear and triaxial devices on undisturbed and remolded soils, Proceedings of the 18th international conference on soil mechanics and geotechnical engineering, Paris, 1, pp 317–320
- Duncan, J. M. and Buchignani, A. L. (1976) An engineering manual for settlement studies, Geotechnical Engineering Report, Department of Civil Engineering, University of California, Berkeley, USA, 94 p.
- Look, G. B. (2007), “Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables”, Taylor & Francis.
- Lambe, T. W. and Whitman, R. V. (1979), Soil Mechanics, John Willey, New York
- Sorensen, K. K. and Okkhels, N. (2013), Correlation between drained shear strength and plasticity index of undisturbed overconsolidated clays, Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris 2013
- Schmertmann, J. H. (1970) Static cone to compute static settlement over sand. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 96(SM3):1011–1043
- Termaat, R. J., Vermeer, P. A. dan Vergeer, G. J. H. (1985), Comparison of prediction and performance of earth structures, 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering (San Francisco)
- Wroth, C. P. (1975) In situ measurement of initial stresses and deformation characteristics. Proceedings conference on in situ measurement of soil properties, vol 1, pp 181–230