

Perancangan Proteksi Galian Dalam Dengan *Soldier Pile*. Studi Kasus: *Underpass* Pada Pusat Perbelanjaan Di Kawasan Jakarta Selatan

R. Siska¹ dan A.L. Ryan²

¹Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, Indonesia

²Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, Indonesia

E-mail: ¹siska@unpar.ac.id, ²alexanderlyman95@gmail.com

ABSTRAK: Pekerjaan galian tanah merupakan pekerjaan dalam ilmu geoteknik yang memerlukan perhatian dan penanganan yang cukup matang dalam perencanaan maupun pelaksanaannya. Pada makalah ini, peneliti ingin mengetahui kondisi kritis dari suatu sistem galian dalam sebelum terjadi keruntuhan. Galian dalam pada penelitian ini diperkuat dengan struktur penahan tanah berupa *soldier pile*. Analisis dilakukan menggunakan metode elemen hingga yaitu program komputer PLAXIS 2D. Gaya dalam dan deformasi merupakan komponen yang dianalisis dalam makalah ini. Dari hasil analisis, pada kedalaman pemancangan 7,5 m untuk kondisi *short term stability* dan *long term stability* memberikan momen lentur maksimum masing-masing 397.37 kNm dan 662.34 kNm.

Keywords: *soldier pile*, metode elemen hingga, metode konvensional, *underpass*, galian dalam.

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan lahan parkir yang cukup pada gedung bertingkat tinggi (*high rise building*) menjadi hal yang harus diperhatikan dengan baik oleh pihak *developer*. Semakin kompleks struktur bangunan yang akan dikonstruksi, maka semakin besar juga lahan parkir yang diperlukan untuk menampung kendaraan yang ada. Secara umum, lahan parkir dapat berada diatas permukaan tanah dan dibawah permukaan tanah (*basement*). Pada makalah ini, pekerjaan galian yang akan dibahas yaitu galian konstruksi *underpass* pada akses menuju lahan parkir di salah satu pusat perbelanjaan di Jakarta Selatan.

Konstruksi *underpass* tersebut dimaksudkan untuk mempermudah akses menuju fasilitas lahan parkir pada *basement* serta memperlancar arus lalu lintas di sekitar pusat perbelanjaan di Jakarta Selatan. Sistem perkuatan dan proteksi galian tanah sedalam kurang lebih 15 meter menggunakan struktur penahan tanah yang dalam perancangannya turut memperhatikan jenis tanah, sifat tanah, lokasi sekitar proyek, kedalaman penggalian tanah yang cukup, metode pelaksanaan penggalian, metode analisis serta pemodelan yang sesuai dan menyerupai kondisi pada lapangan.

Struktur penahan tanah yang digunakan pada konstruksi *underpass* adalah dengan *soldier pile*. Pemilihan jenis *soldier pile* dengan sistem pengeboran menjadi pilihan yang baik sebagai sistem proteksi galian pada tanah dasar yang relative padat. Disamping itu, pelaksanaan konstruksi *soldier pile* akan lebih praktis, cepat, dan pengontrolan terhadap mutu beton pada tiang akan lebih mudah (GEC, 2013).

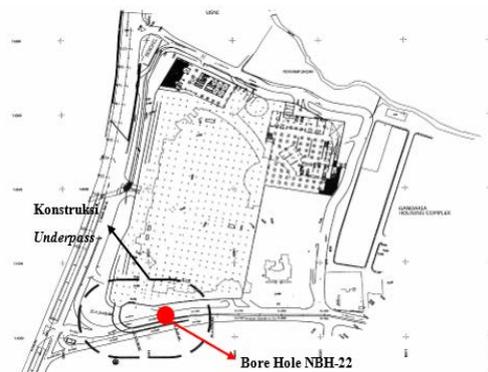
Adapun tujuan dari penulisan makalah ini yaitu:

1. Memperoleh besaran gaya – gaya dalam pada *soldier pile* yang muncul akibat beban kerja arah lateral;
2. Memperoleh dan mengontrol defleksi pada *soldier pile* akibat beban kerja arah lateral;
3. Memperoleh penurunan muka tanah akibat penggalian.

2. LOKASI PROYEK

Data yang dipergunakan dalam penulisan makalah ini berasal dari pembangunan konstruksi *underpass* pada pusat sentra bisnis di kawasan Jakarta Selatan. Pembangunan konstruksi *underpass* ini dilakukan setelah bangunan utama yang terdiri atas pusat perbelanjaan, hotel dan *office tower* telah selesai dikonstruksi.

Pembangunan konsturksi *underpass* ini dimaksudkan untuk mengurangi kemacetan lalu lintas pada Jl. Kyai Moh. Syafii Hadzami (Jl. Terusan Gandaria – Jakarta Selatan) yang disebabkan oleh antrian kendaraan yang hendak masuk menuju fasilitas lahan parkir *basement*. Pada penelitian ini, penulis menggunakan data hasil uji bor dengan kode titik yaitu NBH-22 yang memiliki kedalaman bor hingga 29,5 m dengan lokasi muka air tanah pada kedalaman 8 m.



Gambar 1 Konstruksi *Underpass* dan Titik Bor NBH-22 Pada Lokasi Pembangunan Proyek

3. METODE ELEMEN HINGGA

3.1 Model Material Tanah

Dalam analisis dengan metode elemen hingga, analisis kondisi parameter tanah secara umum terbagi atas dua, yaitu kondisi *total stress analysis* dan kondisi *effective stress analysis* yang masing-masing kondisi berdasarkan tipe material dapat dibagi atas *Drained* dan *Undrained*.

Pada *total stress analysis* (TSA), efek dari tekanan air pori atau muka air tanah dapat diabaikan dalam analisis. Hal tersebut disebabkan oleh efek dari air telah tercakup kedalam parameter *total stress* dimana parameter air dan tanah ditinjau sebagai suatu material tunggal. Sedangkan pada *effective stress analysis* (ESA), analisis dilakukan dengan memperhitungkan efek dari tekanan air pori atau muka air tanah. Hal tersebut disebabkan oleh efek dari air belum tercakup kedalam parameter *effective stress* dimana parameter air dan tanah ditinjau sebagai dua buah material yang berbeda.

Secara umum, terdapat beberapa kondisi parameter tanah yang dapat digunakan dalam analisis yaitu: *Undrained A*, *Undrained B*, *Undrained C* dan *Drained*.

Tabel 1 Penentuan Parameter Tanah Berdasarkan Tipe Material (Tjie Liong, 2011)

Parameter Tanah	Tipe Material			
	Undrained A	Undrained B	Undrained C	Drained
Kondisi Analisis	ESUA	ESUA	TSUA	ESDA
Jangka Waktu	Short Term	Short Term	Short Term	Long Term
Jenis Tanah	Lempung	Lempung	Lempung	Lempung dan Pasir
Berat Isi Tanah, (γ)	γ_{sat}	γ_{sat}	γ_{sat}	γ_{sat}
Modulus Elastisitas Tanah, (E)	E'	E'	E_u	E'
Angka Poisson's, (ν)	< 0,35	< 0,35	< 0,495	< 0,35
Kuat Geser Tanah, (c)	c'	c_u	c_u	c'
Sudut Geser Dalam Tanah, (ϕ)	ϕ'	0	0	ϕ'

3.2 Penentuan Parameter Tanah Kondisi Total Stress Analysis dan Effective Stress Analysis

Berdasarkan tabel 1 desain pada kondisi *long term stability*, parameter tanah pada umumnya akan ditentukan dengan menggunakan kondisi *effective stress analysis*.

Pada kondisi desain *short term stability*, parameter tanah pada umumnya akan ditentukan dengan menggunakan kondisi *total stress analysis*. Namun pada penelitian ini, parameter tanah lempung ditentukan dengan menggunakan kondisi *effective stress undrained analysis (ESUA)* dengan pertimbangan bahwa terdapat pengaruh muka air tanah dan tekanan air pori.

Lempung 1, undrained A ESUA
Lempung 2, undrained A ESUA
Lempung 3, undrained A ESUA
Pasir, drained ESDA

Gambar 2 Kondisi Tipe Material Dalam Analisis Galian Dalam

Besar parameter tanah yang dipergunakan dalam input pada program komputer PLAXIS 2D adalah sebagai berikut.

Tabel 2 Rekapitulasi Input Parameter Tanah Berdasarkan Hasil Uji NBH-22 (Rahardjo, 2016)

Jenis Tanah	Lempung 1	Lempung 2	Lempung 3	Pasir
Kedalaman	0 m - 5 m	5 m - 7 m	7 m - 10 m	10 m - 29.5 m
N _{SPT}	8	4	13	44
Material Type	Undrained	Undrained	Undrained	Drained
γ_{sat} [kN/m ³]	16.7	16.5	17	18.9
γ_{unsat} [kN/m ³]	17	17.5	20	22.5
K_x [m/day]	8.64×10^{-5}	8.64×10^{-4}	8.64×10^{-5}	8.64×10^{-2}
K_y [m/day]	8.64×10^{-5}	8.64×10^{-4}	8.64×10^{-5}	8.64×10^{-2}
v'	0.2	0.2	0.2	0.2
E' [kN/m ²]	7245	3626	8400	24500
S_u [kN/m ²]	48	32	78	-
ϕ [°]	0	0	0	-
c' [kN/m ²]	-	-	-	0
ϕ' [°]	-	-	-	46.03

3.3 Penentuan Parameter Soldier Pile

Soldier pile yang digunakan pada analisis dengan program komputer PLAXIS 2D dibedakan menjadi 4 jenis, yaitu berdasarkan variasi terhadap kedalaman pemancangan yang masing – masing parameter ditentukan sebagai berikut:

Tabel 3 Rekapitulasi Input Parameter Desain *Soldier Pile*

Parameter Desain <i>Soldier Pile</i>	Variasi D _{pemancangan} [meter]			
	13,125	15	16,875	18,75
<i>Set Type</i>	<i>Plates</i>			
<i>Material Type</i>	<i>Elastic</i>			
EA, [$\times 10^7$ kN/m]	1,17			
EI, [$\times 10^5$ kN/m]	4,71			
Angka <i>Poisson's, v</i>	0,15			
$W = A [\gamma_c - \gamma_s]$, [(kN/m)/m]	3,38	3,28	3,20	3,13

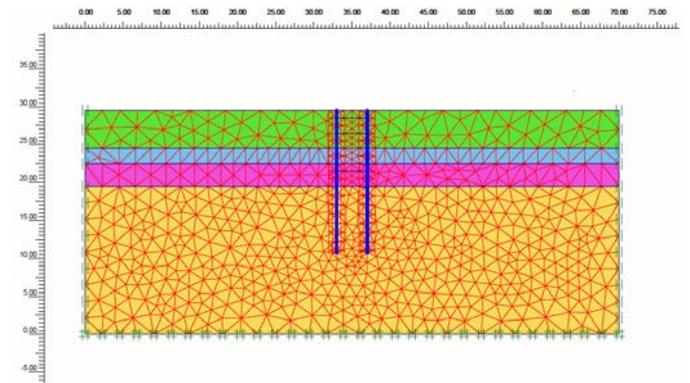
3.4 Model Elemen Hingga dan Tahapan Penggalian

Proses analisis sistem proteksi galian dalam dilakukan dengan memodelkan sistem galian pada program komputer PLAXIS 2D sedemikian rupa mendekati proses konstruksi secara nyata dilapangan yakni dengan membagi pekerjaan konstruksi menjadi beberapa tahapan yang dirangkum dalam tabel berikut, yaitu:

Tabel 4 Pemodelan Tahapan Konstruksi

Tahapan Konstruksi	Deskripsi Tahapan Konstruksi
Tahap 1	konstruksi <i>soldier pile</i> dan aplikasi beban kerja
Tahap 2	penggalian pertama hingga kedalaman 1 m
Tahap 3	penggalian kedua hingga kedalaman 3 m
Tahap 4	penggalian ketiga hingga kedalaman 5 m
Tahap 5	penggalian keempat hingga kedalaman 7 m
Tahap 6	penggalian kelima hingga kedalaman 7.5 m
Tahap 7	disipasi tekanan air pori eksese (<i>long term stability</i>)

Adapun model akhir dari tahapan penggalian dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3 Meshing Pada Model Galian Dalam

4 HASIL DAN DISKUSI

Hasil analisis dari program PLAXIS 2D akan ditinjau pada kondisi maksimum yaitu pada tahapan galian ke-5 (*5th Excavation*) untuk analisis *short term stability* dan tahap disipasi tekanan air pori eksese untuk analisis *long term stability*.

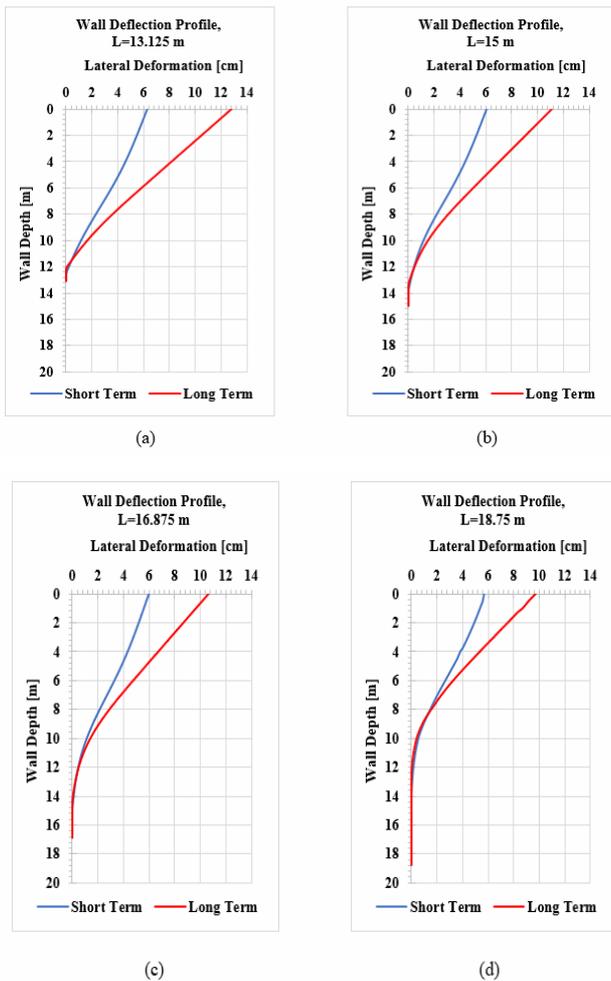
4.1 Deformasi Lateral Soldier Pile

Dari hasil analisis yang dilakukan, dapat diperoleh besaran deformasi arah horizontal pada *soldier pile*. Rekapitulasi hasil analisis deformasi maksimum lateral *soldier pile* dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5 Rekapitulasi Hasil Analisis Defromasi Lateral Maksimum *Soldier Pile*

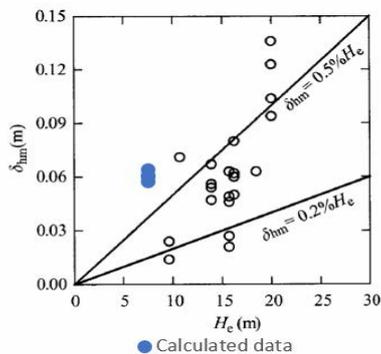
Panjang <i>Soldier Pile</i> [m]	Deformasi Lateral Maksimum [cm]	
	<i>Short Term</i>	<i>Long Term</i>
13,125	6.34	12.81
15	6.04	11.15
16,875	5.97	10.63
18,75	5.71	9.73

Adapun profil deformasi lateral sepanjang *soldier pile* pada kondisi *long term stability* dan *short term stability* yang bervariasi untuk berbagai panjang *soldier pile* dapat dilihat pada gambar berikut ini



Gambar 4 Profil Deformasi Lateral *Soldier Pile* dengan Panjang Bervariasi Saat: (a) L = 13.125 m; (b) L = 15 m; (c) L = 16.875 m; dan (d) L = 18.75 m

Dari hasil analisis yang telah diperoleh, akan dilakukan evaluasi menggunakan hubungan kedalaman galian (H_e) dengan deformasi maksimum lateral pada dinding (δ_{hm}) berdasarkan kondisi *short term analysis*.



Gambar 5 Hubungan Kedalaman Galian dan Deformasi Maksimum Dinding (Ou *et al.*, 1993)

Menurut Ou *et al.*, (1993), besarnya deformasi lateral maksimum pada dinding penahan dapat diestimasi berdasarkan persamaan

$$\delta_{hm} = (0.2\% - 0.5\%)H_e \quad (1)$$

dimana H_e merupakan kedalaman penggalian yang dilakukan. Nilai batas atas pada persamaan (1) pada umumnya diperuntukkan pada jenis tanah lempung dengan konsistensi yang lunak, sedangkan batas bawah pada persamaan (1) diperuntukkan pada jenis tanah pasir.

Dengan melakukan plotting pada grafik hubungan diatas diperoleh bahwa hasil analisis tidak berada pada *range* dari syarat deformasi maksimum menurut Ou *et al.*, 1993.

Hal tersebut mungkin terjadi karena adanya keterbatasan data hasil pengujian yang diperoleh dan mengakibatkan penentuan parameter tanah yang relatif lebih konservatif sehingga menghasilkan deformasi lateral dinding yang relatif besar.

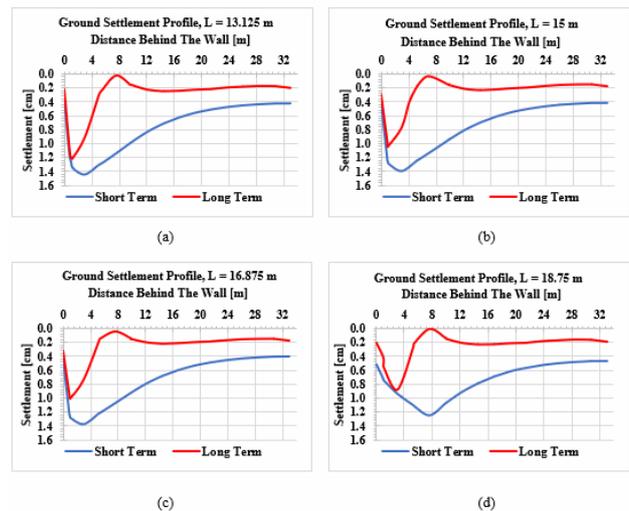
4.2 Penurunan Tanah

Dari hasil analisis yang dilakukan, dapat diperoleh besaran penurunan permukaan tanah di sekitar galian dalam. Rekapitulasi hasil analisis penurunan permukaan tanah dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 6 Rekapitulasi Hasil Analisis Penurunan Permukaan Tanah

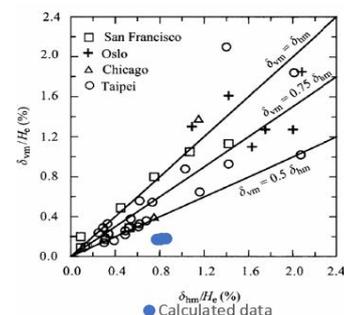
Panjang <i>Soldier Pile</i> [m]	Penurunan Permukaan Tanah [cm]	
	Short Term	Long Term
13.125	1.48	1.21
15	1.42	1.04
16.875	1.40	1.00
18.75	1.35	0.87

Adapun profil penurunan permukaan tanah disekitar galian dalam pada kondisi *long term stability* dan *short term stability* yang bervariasi untuk berbagai panjang *soldier pile* dapat dilihat pada gambar berikut ini



Gambar 6 Profil Penurunan Muka Tanah di Sekitar Galian Dalam dengan Panjang Bervariasi Saat: (a) L = 13.125 m; (b) L = 15 m; (c) L = 16.875 m; dan (d) L = 18.75 m

Dari hasil analisis yang telah diperoleh, akan dilakukan evaluasi menggunakan hubungan perbandingan kedalaman galian (H_e) dengan deformasi maksimum lateral pada dinding (δ_{hm}) dan perbandingan kedalaman galian dengan penurunan maksimum permukaan tanah (δ_{vm}) berdasarkan kondisi *short term analysis*.



Gambar 7 Hubungan Penurunan Permukaan Tanah dengan Deformasi Lateral Dinding (Ou *et al.*, 1993)

Pada umumnya, hubungan antara δ_{hm} dengan δ_{vm} didasarkan pada persamaan

$$\delta_{vm} = (0.5 - 0.7) \delta_{hm} \quad (2)$$

dimana batas bawah diperuntukkan tanah pasiran dan batas atas untuk tanah lempung. Namun terkadang dijumpai juga bahwa pada kasus galian pada tanah sangat lunak, besarnya penurunan muka tanah maksimum (δ_{vm}) akan sama dengan besarnya deformasi lateral dinding maksimum (δ_{hm}).

Sama halnya dengan penurunan muka tanah, dilakukan juga plotting pada grafik hubungan diatas dan diperoleh bahwa hasil analisis tidak berada pada *range* dari syarat menurut Ou *et al.*, 1993.

Karena pada grafik hubungan ini melibatkan deformasi lateral maksimum pada dinding yang hasil perhitungannya tidak tepat, maka hasil perhitungan penurunan tanah memungkinkan menghasilkan nilai yang tidak tepat juga akibat dari penentuan parameter tanah yang terlalu konservatif.

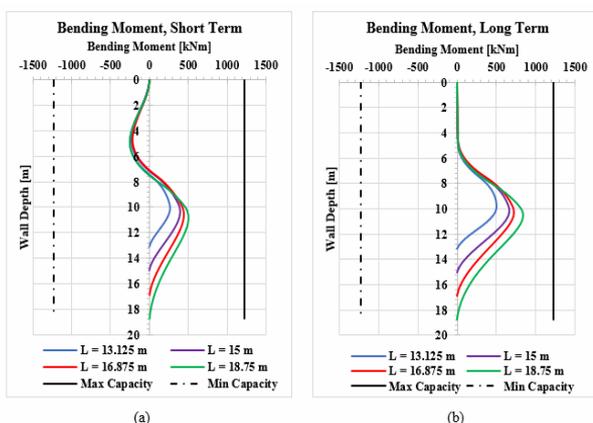
4.3 Gaya Dalam Soldier Pile

Dari hasil analisis yang dilakukan akan diperoleh output besaran gaya dalam yang terdiri atas momen lentur, gaya lintang dan gaya normal. Besaran gaya – gaya dalam maksimum untuk variasi kedalaman yang ada dapat dilihat pada tabel berikut ini

Tabel 7 Rekapitulasi Gaya – Gaya Dalam Soldier Pile Untuk Berbagai Variasi Kedalaman

Depth [m]	Bending Moment [kNm]		Shear [kN]		Axial [kN]	
	Short term	Long term	Short term	Long term	Short term	Long term
13.125	267.06	495.8	205.25	217.78	157.3	100.97
15	397.57	662.34	221.09	235.65	149.85	97.2
16.875	447.47	719.81	226	244.93	146.88	96.5
18.75	506.27	833.51	250.33	268.54	143.66	95.27

Hasil evaluasi gaya dalam khususnya bidang momen akan dilakukan dengan cara menentukan terlebih dahulu besarnya kapasitas dari *soldier pile* yang digunakan. *Soldier pile* yang digunakan memiliki dimensi sebesar 80 cm dengan konfigurasi tulangan longitudinal yaitu 14 D25. Dengan menggunakan program komputer spColumn, diperoleh bahwa kapasitas penampang *soldier pile* (ϕMn) adalah sebesar 1229 kNm. Besarnya momen maksimum *soldier pile* untuk setiap variasi kedalaman pada kondisi analisis *short term stability* dan *long term stability* apabila dibandingkan dengan kapasitas penampang dapat dilihat pada gambar berikut ini



Gambar 8 Bidang Momen Soldier Pile Berbagai Variasi Kedalaman Pada Kondisi: (a) Short Term Analysis dan (b) Long Term Analysis

5. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Analisis galian dengan metode elemen hingga menggunakan program komputer PLAXIS 2D dengan menggunakan model *Mohr-Coulumb*;
2. Analisis dilakukan pada 2 kondisi yaitu *short term stability* dan *long term stability* untuk kedalaman pemancangan yang bervariasi yaitu 13.125 m; 15 m; 16.875 m dan 18.75 m;
3. Hasil analisis menggunakan kondisi *short term stability* memberikan hasil yang pada umumnya lebih kecil dari hasil *long term stability* baik untuk analisis deformasi lateral *soldier pile* dan gaya – gaya dalam;
4. Akibat penggunaan model *Mohr-Coulumb*, terdapat hasil yang tidak konsisten pada analisis penurunan maksimum muka tanah untuk kondisi *short term stability* dan *long term stability*;
5. Model *Mohr-Coulumb* tidak dapat secara akurat memprediksi hasil perhitungan tekanan air pori eksed dengan baik sehingga untuk kasus galian dalam, disarankan untuk menggunakan model material lain yang lebih *advanced*;
6. Perlu diperhatikan ketersediaan data tanah yang lengkap serta penentuan korelasi untuk memperoleh parameter tanah yang baik dan tepat dalam melakukan analisis.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Geotechnical Engineering Center (GEC), (2013). *Manual Pondasi Tiang. 4th ed. Deep Foundation Research Institute, Parahyangan Catholic University*, Bandung, Indonesia.
- Ou, Chang Yu, (2006). *Deep Excavation: Theory and Practice. Taylor & Francis Group*, London, U.K.
- Rahardjo, Paulus P. (2016). *In Situ Testing and Soil Properties Correlation 2nd Edition*. Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, Indonesia.
- Tjie-Liong, Gouw. (2011). *Deep Excavation Failures, Can They Be Prevented ?*, International Symposium On Sustainable Geosynthetics and Green Technology for Climate Change 2011 (SGCC 2011), 7-8 December, 2011, Bangkok.