



ANALISIS DEFORMASI GALIAN DALAM PADA TITIK TEPI DINDING DIAFRAGMA DENGAN METODE ELEMEN HINGGA MELALUI STUDI EVALUASI MODEL TANAH

Hadianti Muhdinar Pasaribu

Dosen Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UMSU, Medan

Surel : *hadiantimp@gmail.com*

Diterima : 16 April 2018; Disetujui : 28 Mei 2018

ABSTRAK

Banyaknya pembangunan infrastruktur yang merupakan salah satu tolak ukur kemajuan suatu daerah menyebabkan terjadinya penyempitan lahan di daerah tersebut. Sehingga pemanfaatan ruang dan lahan sangat dibutuhkan untuk menunjang kemajuan pesat pembangunan infrastruktur. Salah satu inovasi terbaik dalam mengatasi masalah keterbatasan lahan adalah membuat bangunan bawah tanah sehingga memberi ruang yang lebih untuk pembangunan. Pembangunan yang cukup terbaru di Indonesia saat ini adalah pembangunan MRT (*Mass Rapid Transit*) yang dilakukan di Jakarta. Pembangunan ini dalam pelaksanaannya membutuhkan proses konstruksi terowongan (*tunneling*) dan galian dalam untuk tiap stasiunnya. Pada penelitian ini, penulis terpusat terhadap masalah galian dalam pada stasiun Senayan dari proyek konstruksi MRT Jakarta. Permasalahan terbesar dalam suatu pekerjaan galian dalam adalah adanya deformasi lateral pada dinding bangunan bawah tanah dalam hal ini yang digunakan adalah dinding diafragma (D-Wall) dan juga adanya penurunan tanah disekitar galian. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengecekan agar tidak terjadi keruntuhan. Metode konstruksi yang digunakan pada stasiun Senayan adalah metode konstruksi *Top-Down*. Pada penelitian ini dilakukan analisis deformasi horizontal dan penurunan tanah menggunakan *software* Plaxis 3D dengan dua pemodelan tanah, yaitu model tanah Mohr Coulomb dan *Hardening Soil*. Hasil deformasi horizontal yang diperoleh menggunakan model tanah *Hardening Soil* lebih mendekati monitoring dilapangan dibandingkan dengan model tanah *Mohr-Coulomb*. Penelitian ini berfokus pada bagian-bagian tepi pada dinding diafragma melengkapi jurnal sebelumnya yang berfokus pada titik tengah dari dinding diafragma. Besarnya deformasi horizontal pada tahap akhir galian (penimbunan kembali tanah hingga dasar muka tanah) di titik P#80 (di tepi dinding diafragma) tercatat pada monitoring inclinometer sebesar 4.15 mm, dan deformasi yang dihasilkan menggunakan model *Hardening Soil* sebesar 9.57 mm sedangkan menggunakan model *Mohr-Coulomb* sebesar 16.05 mm. Hasil deformasi horizontal yang diperoleh menggunakan model tanah *Hardening Soil* lebih mendekati monitoring dilapangan dibandingkan dengan model tanah *Mohr-Coulomb* meskipun hasil yang diperoleh cukup jauh dari monitoring dilapangan.

Kata Kunci : Galian Dalam, Deformasi Horizontal, Model *Mohr Coulomb*, Model *Hardening Soil*, Plaxis 3D

ABSTRACT

The number of infrastructure development which is one of the benchmarks of the progress of a region causes the narrowing of land in the area. So that the utilization of space and land is needed to support the rapid progress of infrastructure development. One of the best innovations in overcoming the problem of land limitations is to make the underground building giving more space for development. The most recent development in Indonesia today is the construction of MRT (Mass Rapid Transit) conducted in Jakarta. This development in its implementation requires tunneling and deep trenching process for each station. In this study, the authors centered on the deep trenching problems at the Senayan station from the Jakarta MRT construction project. The biggest problem in a deep trenching work is the lateral deformation of underground building walls in this case which is used diaphragm wall (D-Wall) and also the decrease of soil around the excavation. Therefore, it is

necessary to check to avoid collapse. The construction method used in Senayan station is a Top-Down construction method. In this research, horizontal deformation and soil degradation analysis using Plaxis 3D software with two soil modeling, Mohr Coulomb and Hardening Soil soil model. The result of the horizontal deformation obtained using Soil Hardening Soil model is closer to monitoring the field compared to the Mohr-Coulomb soil model. This study focuses on the edges of the diaphragm wall complementing the previous journal focusing on the midpoint of the diaphragm wall. The magnitude of the horizontal deformation at the final stages of excavation (backfill) to P # 80 (on the edge of the diaphragm wall) was recorded in inclinometer monitoring of 4.15 mm, and the resulting deformation using the Hardening Soil model of 9.57 mm while using the Mohr model -Coulomb of 16.05 mm. The horizontal deformation results obtained using the Soil Hardening Soil model is closer to the field monitoring than the Mohr-Coulomb soil model although the results obtained are quite far from the field monitoring.

Keywords: Deep Excavation, Horizontal Deformation, Mohr Coulomb Model, Hardening Soil Model, Plaxis 3D.

1. Pendahuluan

Pembangunan konstruksi bawah tanah dengan pekerjaan galian dalam pada proyek MRT Jakarta di Stasiun Senayan yang menjadi lokasi penelitian ini menggunakan perkuatan dinding diafragma. Metode konstruksi yang digunakan dalam pelaksanaannya adalah metode top down, dengan 3 tahapan penggalian dan pemasangan slab permanen saat pengerjaan konstruksi dilakukan. Kedalaman desain galian berada di level -17.208 m dengan panjang stasiun 200 m dan lebar 21.3 m untuk bagian tepi dan 19.3 m untuk bagian tengah.

2. Kajian Pustaka

2.1 Prilaku Galian Dalam

Penggunaan konstruksi galian semakin banyak diminati dengan meningkatnya tingkat kebutuhan manusia saat ini. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu konsep kestabilan galian untuk mengatasi masalah keruntuhan galian. Untuk mencapai tujuan tersebut, diperlukan suatu pemahaman terhadap faktor-faktor yang berhubungan dengan keruntuhan galian dan metode perkuatan galian yang efektif.

Dalam menjaga kestabilan galian, maka dapat dilakukan galian tanpa perkuatan dinding penahan tanah dan galian dengan perkuatan dinding penahan tanah. Galian tanpa perkuatan dinding penahan tanah merupakan suatu galian dengan membuat kemiringan tertentu terhadap bidang horizontal. Namun, metode ini sulit diterapkan pada daerah perkotaan akibat keterbatasan lahan yang ada. Sehingga digunakan metoda galian dengan perkuatan dinding penahan tanah untuk menjaga kestabilan galian. Galian akan menjadi stabil jika kuat geser tanah lebih besar dibandingkan dengan kuat geser yang diperlukan. Hal yang penting dilakukan dalam menganalisis galian adalah melakukan

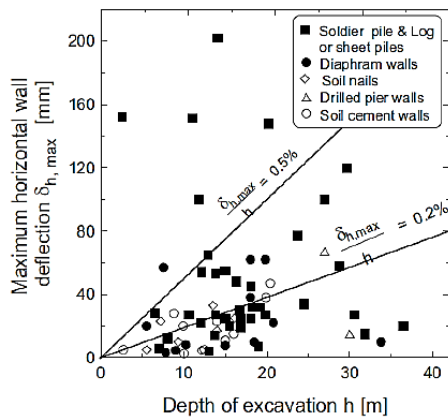
penyelidikan kondisi tanah yang akan digali dan juga perlu diketahui bagaimana perilaku galian dalam tersebut.

Dalam mekanika tanah terdapat dua hal penting yang perlu dianalisis yaitu keruntuhan geser tanah yang dapat menyebabkan gangguan pada struktur dan deformasi yang dapat mendorong tekanan yang sangat besar pada struktur. Secara umum desain struktur penahan seharusnya mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut : keseimbangan momen pada sistem (*overturning*), keseimbangan gaya horisontal (*sliding*), keseimbangan arah vertikal (*bearing capacity*), *overstress* dari struktur (*bending* atau *shearing*) dan stabilitas tanah disekitar struktur (*slope failure, overall stability, basal stability*).

2.2 Pergerakan Horizontal

Kekakuan sistem *support* yang terdiri dari sistem dukungan arah lateral (*strut, anchor*), sistem dukungan arah vertikal (*wall system, anchor*) dan sistem dukungan untuk menahan lentur (*wall system*). Setiap sistem *support* tersebut memiliki komponen yang menentukan bentuk dan besarnya lendutan yang terjadi. Menurut Clough dan O'Rourke (1990), rata-rata defleksi horisontal maksimum dinding di lempung kaku (*stiff clay*), tanah residual dan pasir adalah sekitar 0,2% kedalaman galian, tetapi ada kasus dimana besarnya adalah sekitar 0,5% atau lebih. Tidak ada perbedaan yang signifikan diantara tipe dinding yang ditunjukkan pada Gambar 1 dibawah ini.

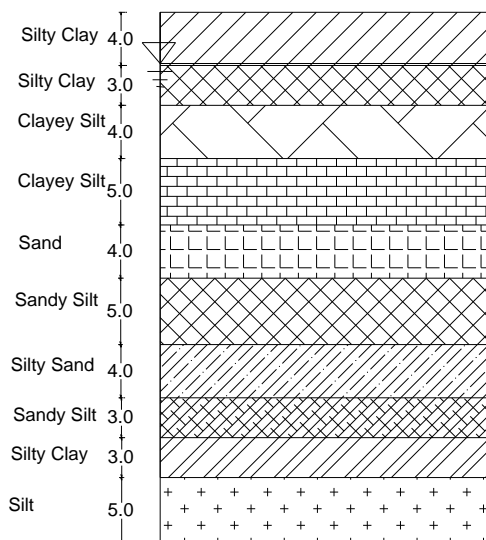
Analisis Deformasi Galian Dalam Pada Titik Tepi Dinding Diafragma Dengan Metode Elemen Hingga Melalui Studi Evaluasi Model Tanah



Gambar 1. Pengamatan Defleksi Horizontal Maksimum Dinding Untuk Tipe-Tipe Dinding Pada Tanah Lempung Kaku (Stiff Clay), Tanah Residual, Dan Pasir (Clough Et Al, 1990)

3. Studi Kasus

Studi kasus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pembangunan Stasiun Senayan MRT Jakarta. Pada penelitian ini dilakukan simulasi numerik dengan *software* Plaxis 3D. Model konstitutif tanah yang digunakan adalah model Mohr Coulomb dan *Hardening Soil*. Dalam melakukan pemodelan tanah dan analisis maka diperlukan data tanah. Data tanah didapatkan dari hasil pengeboran uji SPT pada titik BH E-480. Setelah dilakukan stratigrafi dan *soil profiling* maka didapatkan profil tanah. Kemudian dilakukan interpretasi data untuk mendapatkan parameter tanah yang dibutuhkan untuk pemodelan dan *input* pada *software* Plaxis 3D.



Gambar 2. Profil Tanah Yang Mewakili

3.1 Analisa Pengujian Propertis Batu Bata

Metode analisis yang digunakan dalam studi kasus ini dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini:

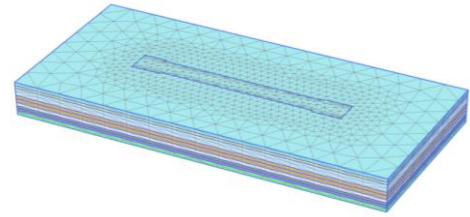
Tabel 1. Metode Analisis *Drained* Dan *Undrained*

Material Model	Metode	Parameter	
		Strength	Stiffness
Mohr-Coulomb	Undrained A	c' dan ϕ'	E' dan ν'
	Drained	c' dan ϕ'	E' dan ν'
Hardening Soil	Undrained A	c' dan ϕ'	E' dan ν'
	Drained	c' dan ϕ'	E' dan ν'

Kedalaman galian stasiun Senayan ini adalah 17.208 m, dengan panjang 200 m dan lebar 23.3 m untuk sisi pinggir dan lebar 19.3 m pada sisi tengah. Kedalaman instalasi *Diaphragm wall* (DWall) yang dilakukan adalah 22.927 m. Tahapan konstruksi yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) Pemasangan konstruksi D-Wall dan pembebanan pada permukaan tanah sebelum dilakukan galian yang merepresentasikan pembebanan dari alat-alat berat yang bekerja disekitar lokasi galian dalam, beban yang diberikan sebesar 10 kN/m² dalam jangkauan 20 m pada tiap sisi kiri dan sisi kanan daerah galian.
- 2) Pemasangan *pressure relief well* (PRW) yang difungsikan untuk mengurangi tekanan air pori yang terjadi pada lapisan tanah yang berlapis-lapis. Pada Plaxis, PRW dimodelkan sebagai tanah granuler *linear elastic* dengan diameter ukuran 20 cm.
- 3) Galian tahap 1, galian dilakukan hingga level *roof slab* pada elevasi -2.898 m.
- 4) Pengecoran *roof slab* setebal 0.8 m dan pemberian beban sebesar 13 kN/m² yang merepresentasikan beban dari kegiatan pekerjaan alat berat diatas *roof slab*, beserta penimbunan *backfill* setebal 0.75 m di atas *roof slab*.
- 5) Pemasangan *kingpost* dengan jarak 5 m hingga level *concourse slab*.
- 6) Galian tahap 2, galian dilakukan hingga level *concourse slab* pada elevasi -8.598 m. Sebelum dilakukan penggalian, muka air pada daerah penggalian diturunkan terlebih dahulu.
- 7) Pengecoran *concourse slab* dengan tebal 0.4 m dan pemberian beban sebesar 5 kN/m² pada *slab*.
- 8) Pemasangan *kingpost* dengan jarak 5 m hingga level akhir penggalian.

- 9) Galian tahap 3, galian dilakukan hingga level akhir penggalian (FEL) pada elevasi -17.208 m. Sebelum dilakukan penggalian, muka air pada daerah penggalian diturunkan terlebih dahulu.
- 10) Pengecoran *base slab* dengan tebal 1 m.
- 11) Penimbunan kembali *backfill* hingga level muka tanah.



Gambar 3. Generate Mesh Plaxis 3D

Berikut Tabel Resume parameter tanah dan struktur yang digunakan dari Tabel 2 hingga Tabel 5 dibawah ini:

Tabel 2. Resume Parameter Model Tanah *Mohr-Coulomb*

Layer	Kedalaman (m)	Type Tanah	N _{class}	Konsistensi	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{air} (kN/m ³)	c_u (kPa)	ϕ (°)	c' (kN/m ²)	ϕ' (°)	PI (%)	k_x (m/s)	k_y (m/s)	β (-)	ν_u (-)	E_u (kN/m ²)	E' (kN/m ²)	
1	0	4	Silty Clay	8	Soft to Medium	15.2	16.2	48.0	0	9.6	20	48	1.00E-07	1.00E-07	180	0.35	8640	7776
2	4	7	Silty Clay	9	Medium	15.5	16.5	54.0	0	10.8	21	47	1.00E-07	1.00E-07	200	0.35	10800	9720
3	7	11	Clayey Silt	11	Medium to Stiff	16.5	17.5	66.0	0	13.2	21	45	1.00E-07	1.00E-07	300	0.35	19800	17820
4	11	16	Clayey Silt	19	Stiff	17.0	18.0	114.0	0	22.8	22	39	1.00E-07	1.00E-07	250	0.35	28500	25650
5	16	20	Sand	35	Dense	18.0	19.0	-	-	0	37	0	1.00E-05	1.00E-05	0.3	0.3	-	70000
6	20	25	Sandy Silt	50	Very Hard	17.9	18.9	300.0	0	60	23	34	1.00E-07	1.00E-07	400	0.35	120000	108000
7	25	29	Silty Sand	40	Very Dense	18.0	19.0	-	-	5	37	0	1.00E-06	1.00E-06	0.3	0.3	-	80000
8	29	32	Sandy Silt	48	Hard	17.3	18.3	288.0	0	57.6	24	28	1.00E-07	1.00E-07	400	0.35	115200	103680
9	32	35	Silty Clay	31	Very Stiff	17.0	18.0	186.0	0	37.2	23	30	1.00E-07	1.00E-07	330	0.35	61380	55242
10	35	40	Silt	33	Very Stiff	17.5	18.5	198.0	0	39.6	23	30	1.00E-07	1.00E-07	350	0.35	69300	62370

Tabel 3. Resume Parameter Model Tanah *Hardening Soil*

Layer	Kedalaman (m)	Type Tanah	N _{class}	Konsistensi	c_u (kN/m ²)	ϕ (°)	c' (kN/m ²)	ϕ' (°)	ν_u	ν	E_{u0}^{ref} (kN/m ²)	E_{u1}^{ref} (kN/m ²)	E_{u2}^{ref} (kN/m ²)	m	n_{inter}		
1	0	4	Silty Clay	8	Soft to Medium	48.0	0	9.6	20	0.45	0.35	180	7776	6221	23328	0.85	0.85
2	4	7	Silty Clay	9	Medium	54.0	0	10.8	21	0.45	0.35	200	9720	7776	29160	0.85	0.85
3	7	11	Clayey Silt	11	Medium to Stiff	66.0	0	13.2	21	0.45	0.35	300	17820	14256	53460	0.84	0.84
4	11	16	Clayey Silt	19	Stiff	114.0	0	22.8	22	0.45	0.35	250	25650	20520	76950	0.83	0.83
5	16	20	Sand	35	Dense	-	-	0	37	0.3	0.3	-	70000	56000	210000	0.5	0.5
6	20	25	Sandy Silt	50	Very Hard	300.0	0	60	23	0.45	0.35	400	108000	86400	324000	0.82	0.82
7	25	29	Silty Sand	40	Very Dense	-	-	5	37	0.3	0.3	-	80000	64000	240000	0.55	0.55
8	29	32	Sandy Silt	48	Hard	288.0	0	57.6	24	0.45	0.35	400	103680	82944	311040	0.79	0.79
9	32	35	Silty Clay	31	Very Stiff	186.0	0	37.2	23	0.45	0.35	330	55242	44194	165726	0.8	0.8
10	35	40	Silty Clay	33	Very Stiff	198.0	0	39.6	23	0.45	0.35	350	62370	49896	187110	0.8	0.8

Tabel 4. Parameter Struktur Yang Digunakan Pada Plaxis 3D

Nama Plate	Type	d	γ	E_1	ν_{12}	G_{12}
		(m)	(kN/m ³)	(kN/m ²)		
D-Wall	Elastic	1	24	2.80E+07	0.2	1.17E+07
Roof Slab	Elastic	0.8	24	2.80E+07	0.2	1.17E+07
Concourse Slab	Elastic	0.4	24	2.80E+07	0.2	1.17E+07
Base Slab	Elastic	1	24	2.80E+07	0.2	1.17E+07

Tabel 5. Parameter *Kingpost*

Nama Fixed End Anchor	Type	EA	$L_{spacing}$
		(kN)	(m)
King Post	Elastic	1.80E+07	5

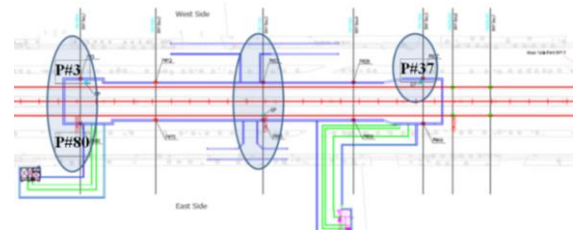
Dari parameter tanah dan struktur yang digunakan diperoleh Generate Mesh menggunakan Program Plaxis 3D seperti pada Gambar 3 dibawah ini.

4 Hasil dan Pembahasan

4.1 Deformasi Horizontal

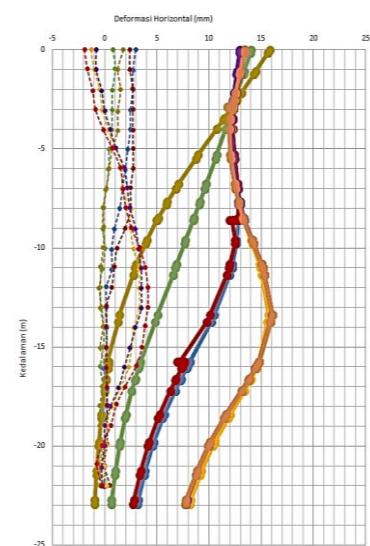
Deformasi horizontal yang diperoleh berdasarkan permodelan tanah Mohr Coulomb dan *Hardening Soil* pada Plaxis 3D, hasilnya kemudian dibandingkan dengan titik monitoring dilapangan, titik yang dipilih adalah titik pada bagian tepi dinding yaitu titik P#3, P#80 dan P#37.

Titik-titik monitoring dapat dilihat pada Gambar 4 dibawah ini:



Gambar 4. Monitoring Plan Stasiun Senayan Jakarta (Data monitoring MRT, 2015)

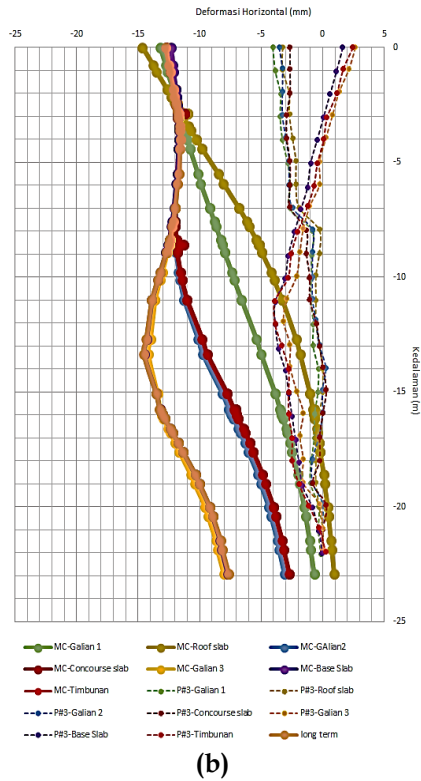
Model Mohr Coulomb di Titik P#80



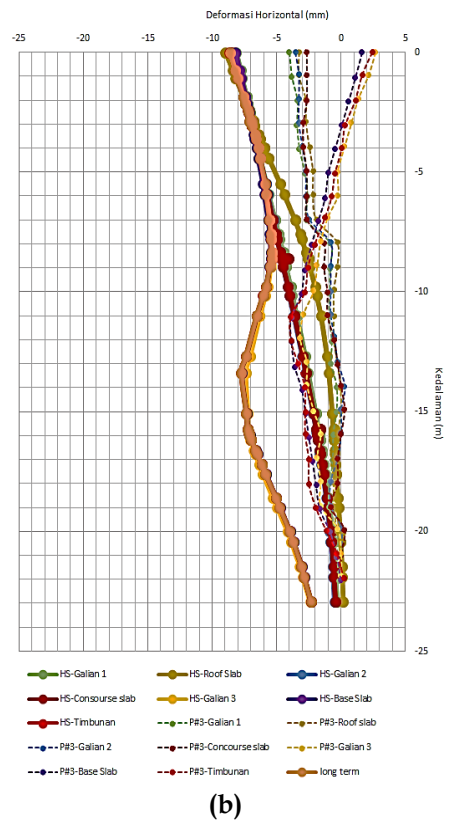
(a)

Analisis Deformasi Galian Dalam Pada Titik Tepi Dinding Diafragma Dengan Metode Elemen Hingga Melalui Studi Evaluasi Model Tanah

Model Mohr Coulomb di Titik P#3



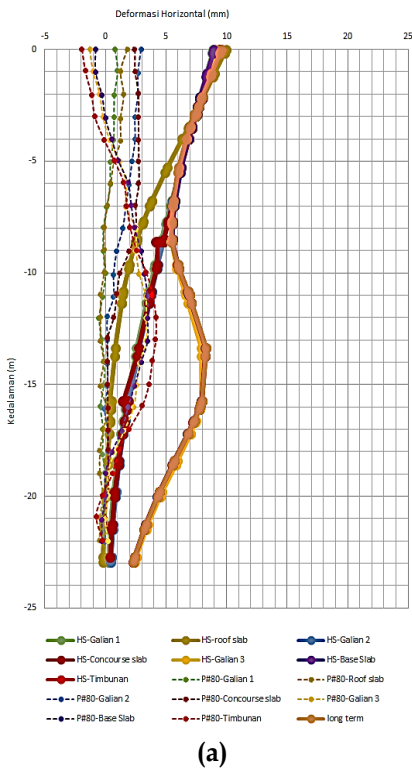
Model Hardening Soil di Titik P#3



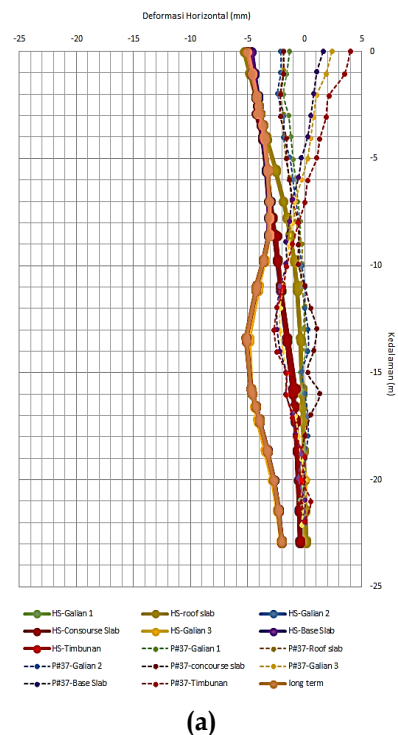
Gambar 5. (A) Deformasi Horizontal Model Mohr-Coulomb Di P#3 Dan (B) Deformasi Horizontal Model Mohr-Coulomb Di P#80

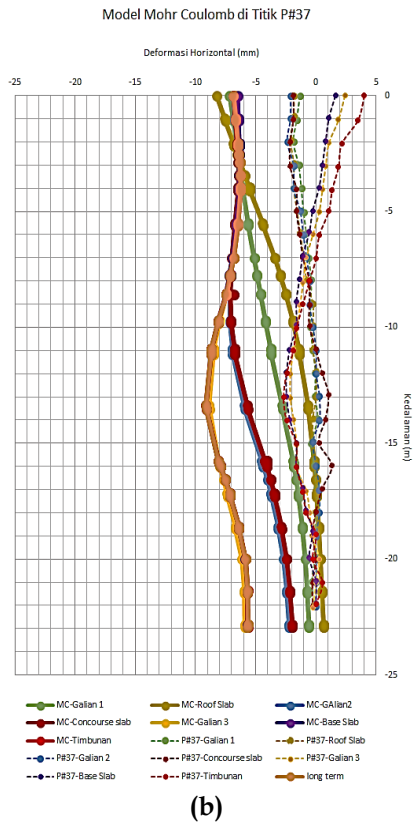
Gambar 6. (a) Deformasi Horizontal Model Hardening Soil Di P#3 Dan (B) Deformasi Horizontal Model Hardening Soil Di P#80

Model Hardening Soil di Titik P#80



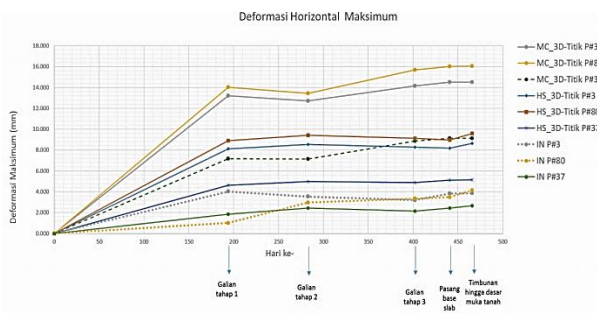
Model Hardening Soil di Titik P#37





Gambar 7. (a) Deformasi Horizontal Model Mohr Coulomb Di P#37 Dan (B) Deformasi Horizontal Model Hardening Soil Di P#37

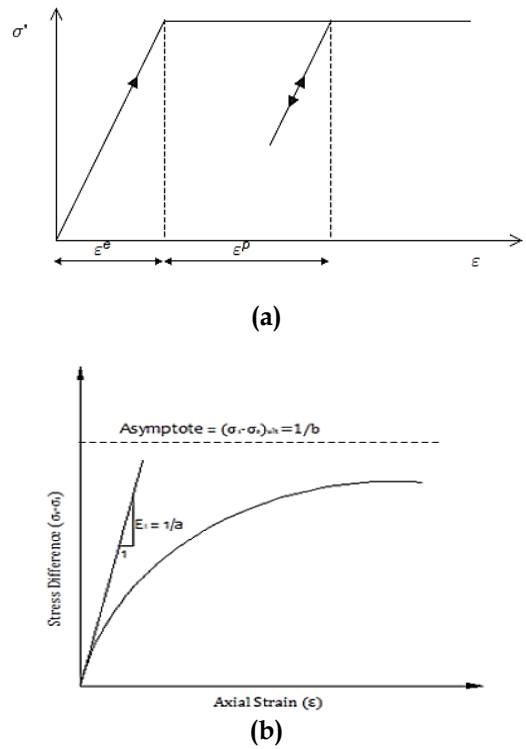
Besarnya deformasi horizontal maksimum yang terjadi pada tahapan konstruksi galian dalam pada permodelan tanah Mohr-Coulomb dan Hardening Soil dapat dilihat pada gambar 8 berikut.



Gambar 8. Deformasi Horizontal Maksimum

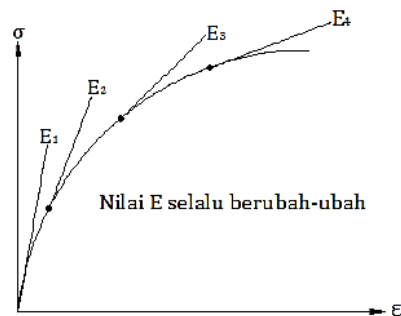
4.2 Pembahasan

Nilai deformasi horizontal yang dihasilkan menggunakan permodelan tanah Hardening Soil lebih kecil dan mendekati hasil monitoring di lapangan daripada menggunakan model tanah Mohr-Coulomb.



Gambar 9. Hubungan Tegangan-Regangan (A) Model Mohr Coulomb (Manual Plaxis) (B) Model Hardening Soil (Duncan & Chang, 1970)

Hal ini sesuai dengan kondisi pendekatan model Hardening Soil yang lebih mendekati perilaku tanah di lapangan dibandingkan dengan model Mohr Coulomb. Kurva hubungan stress-strain pada model Hardening Soil membentuk kurva hiperbolik yang menunjukkan perubahan nilai modulus elastisitasnya yang berbeda dan cenderung mengecil seiring dengan perubahan tegangan yang diberikan pada tanah. Keadaan ini lebih mendeskripsikan kondisi sebenarnya di lapangan.



Gambar 10. Perilaku Tanah Sesungguhnya (Liong, 2013)

Analisis Deformasi Galian Dalam Pada Titik Tepi Dinding Diafragma Dengan Metode Elemen Hingga Melalui Studi Evaluasi Model Tanah

Akibat metode konstruksi yang digunakan pada pekerjaan galian dalam adalah metode *top down*, sehingga menyebabkan deformasi yang terjadi saat kondisi *drained* tidak jauh berbeda daripada saat akhir tahapan konstruksi. Hal ini terjadi karena metode *top down* menggunakan langsung *slab* permanen saat konstruksi berlangsung sehingga mengunci pergerakan dinding diafragma. Selain itu, karena jenis tanah disekitar galian cukup kuat dengan nilai N-spt yang cukup tinggi maka deformasi yang terjadi juga tidak terlalu besar.

5 Simpulan

Dari penelitian yang sudah dilakukan pada stasiun Senayan MRT Jakarta, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

- 1) Besarnya deformasi horizontal yang diperoleh menggunakan model tanah *Hardening Soil* secara umum lebih mendekati dengan hasil monitoring dilapangan dibandingkan dengan model tanah *Mohr-Coulomb*.
- 2) Besarnya deformasi maksimum yang terjadi pada tiap tahap konstruksi galian dalam dengan menggunakan model *Hardening Soil* menunjukkan hasil deformasi yang lebih kecil daripada model *Mohr-Coulomb* pada Plaxis 3D.
- 3) Deformasi yang dihasilkan pada bagian tepi dinding diafragma lebih kecil dibandingkan dengan pada bagian tengah dinding, namun deformasi yang dihasilkan cukup besar sehingga perlu untuk diperhatikan.

Daftar Pustaka

- Bishop, A.W. dan Bjerrum, L. (1960): *The Relevance of the Triaxial Test to the Solution of Stability Problems*, ASCE Conference on Strength of Cohesive soils, pp 437 - 501.
- Bowles, Joseph E. (1982): *Foundation Analysis and Design, Third Edition*, Mc. Graw-Hill Companies, Inc. New York.
- Das, Braja M. (2011): *Principles of Foundation Engineering, 7th Edition*, Thomson Learning, Inc.
- Holtz, Robert D., William D. Kovacs, Thomas C. Sheahan. (2011): *An Introduction Geotechnical Engineering Second Edition*, Pearson Education, Inc.
- Kempfert, Hans-Georg dan Gebreselassie, Berhane. (2006): *Excavations and Foundations in Soft Soils*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Lim, A., Ou, C. Y., & Hsieh, P. (2010): Evaluation of clay constitutive models for analysis of deep excavation under undrained conditions, *Journal of Geoengineering*, Vol. 5, No. 1.
- Ou, Chang-Yu. (2006): *Deep Excavation Theory and Practice*, London. Taylor & Francis Group. London.
- Ou, Chang Yu dan Ching-Her Lai. (1993): Finite-Element Analysis of Deep Excavation in Layered Sandy and Clayey Soil Deposits, *Can. Geotech. 1, 31*, 204-214. China.
- Sorensen KK, dan Okkels N. (2013): Correlation Between Drained Shear Strength and Plasticity Index of Undisturbed Overconsolidated Clays, *Journal of 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Paris.
- Y. M. Hou, J. H. Wang, dan L. L. Zhang. (2009): Finite-Element Modeling of a Complex Deep Excavation in Shanghai, *Acta Geotechnica 4:7-16*, Springer-Verlag.