

ANALISIS DEFORMASI LATERAL DIAPHRAGM WALL DAN DEWATERING PADA KONSTRUKSI BASEMENT

(Studi kasus: Proyek The Ayoma Apartment, Serpong, Tangerang Selatan)

Rama Indera Kusuma¹, Enden Mina², Weby Rizka Amala³
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jenderal Sudirman Km.3 Kota Cilegon – Banten Indonesia
webyrizkaamala@yahoo.com

INTISARI

Pekerjaan galian tanah akan menimbulkan deformasi lateral, proses *dewatering* akan menimbulkan perbedaan elevasi muka air tanah antara area galian dan area luar galian sehingga perlu dilakukan analisis deformasi lateral dan *dewatering* pada pekerjaan *basement*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui deformasi lateral *diaphragm wall* dan nilai *safety factor* akibat pekerjaan galian dengan menggunakan program Plaxis 2D dengan model *mohr coulomb* dan hasilnya dibandingkan dengan pembacaan *inclinometer*, mengetahui debit air pada area galian, jumlah sumur *dewatering* dan sumpit, besar gaya *uplift* pada dasar area galian, dan nilai rembesan pada dasar dinding penahan tanah menggunakan program SEEP/W.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa deformasi lateral *diaphragm wall* akibat pekerjaan galian dengan menggunakan program Plaxis 2D yaitu 16,44 mm dan hasil pembacaan *inclinometer* yaitu 16,34 mm, dari dua hasil tersebut didapat persentase *error* sebesar 0,7%. Nilai *safety factor* pekerjaan galian dengan Plaxis 2D dan perhitungan manual berturut-turut sebesar 2,89; 2,9 untuk tahap pertama, 2,08; 2,23 untuk tahap kedua, dan 1,69; 1,9 untuk tahap ketiga. Pada analisis *dewatering* didapatkan debit total pada area galian yang harus dipompa yaitu 720 lt/menit dengan jumlah sumur *dewatering* 5 buah, dan debit sumpit yaitu 456 lt/menit dengan jumlah sumur sumpit 5 buah. Gaya *uplift* yang terjadi pada bangunan sebesar 35167,9 ton. Hasil analisis *seepage* dengan menggunakan program SEEP/W didapatkan debit rembesan sebesar 0,00034 m³/sec dan hasil analisis dengan perhitungan manual didapatkan debit rembesan sebesar 0,00035 m³/sec, dari dua hasil tersebut didapatkan persentase *error* sebesar 2,8% debit rembesan dari program SEEP/W.

Kata kunci : deformasi lateral, *diaphragm wall*, *dewatering*, gaya *uplift*, *seepage*

ABSTRACT

Land excavation work will cause lateral deformation, the dewatering process will cause a difference in ground water level between the excavation area and the outside area of the excavation so that a lateral deformation and dewatering analysis on the basement work is necessary.

This study aims to determine the lateral diaphragm wall deformation and safety factor value due to excavation work using Plaxis 2D program with Mohr Coulomb model and the results are compared with inclinometer reading, knowing the water flow in the excavation area, the number of dewatering wells and the number of sumpit, the size of the uplift at the base of the excavation area, and seepage values at the base of the retaining wall using the SEEP / W program.

The results of this study indicate that the lateral diaphragm wall deformation due to excavation work using the Plaxis 2D program is 16.44 mm and the inclinometer reading results are 16.34 mm, from the two results obtained an error percentage of 0.7%. The safety factor value of excavation work with Plaxis 2D and manual calculation are 2.89; 2.9 for the first stage, 2.08; 2.23 for the second stage, and 1.69; 1.9 for the third stage. In dewatering analysis, the total discharge in the excavation area that must be pumped is 784.36 lt / minute, the number of dewatering wells is 5, and the number of sumpit well is 5. The uplift style that occurs in buildings is 35167.9 tons. Seepage analysis results using SEEP / W program obtained seepage discharge of 0.00034 m³ / sec and the results of the analysis with manual calculations obtained seepage discharge of 0.00035 m³ / sec, from the two results obtained a percentage error of 2.8%.

Key words: lateral deformation, *diaphragm wall*, *dewatering*, uplift force, *seepage*

1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pertambahan penduduk di Indonesia tidak berbanding lurus dengan ketersediaan lahan yang ada. Sempitnya lahan membuat pembangunan secara vertikal dijadikan alternatif efektifitas penggunaan lahan yang tersedia contohnya seperti gedung-gedung tinggi yang berfungsi sebagai kantor atau tempat tinggal, dalam pembangunan secara vertikal ruang bawah tanah atau *basement* sering dimanfaatkan sebagai salah solusi untuk dijadikan area parkir. Pada konstruksi *basement* terdapat pekerjaan galian yang sering mengalami masalah dalam pelaksanaannya, seperti tekanan tanah dan tekanan air, untuk mengatasi masalah tersebut maka digunakan dinding penahan tanah (*diaphragm wall*) dan dilakukan *groundwater control* (*dewatering*). Pekerjaan galian tanah akan menimbulkan deformasi lateral pada *diaphragm wall*, sehingga perlu dilakukan analisis untuk memastikan keamanannya. Pada *dewatering* perlu dilakukan analisis untuk mengetahui debit air yang harus dibuang, jumlah pompa dan berapa lama proses *dewatering* dijalankan.

Salah satu pembangunan gedung tinggi yang memiliki *basement* yaitu pada proyek pembangunan The Ayoma Apartment, Serpong, Tangerang Selatan yang memiliki 2 Tower yaitu East Tower dengan 25 lantai dan West Tower 28 lantai, 1 *lower ground* dan 3 *basement*,

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui deformasi lateral *diaphragm wall* akibat pekerjaan galian menggunakan program Plaxis 2D dengan model *mohr coulomb* dan hasilnya dibandingkan dengan pembacaan *inclinometer*, mengetahui nilai *safety factor* pada setiap tahap galian dengan menggunakan program Plaxis 2D dan perhitungan manual, mengetahui debit air pada area galian, jumlah sumur *dewatering* dan sumpit, besar gaya *uplift* pada dasar area galian, dan nilai rembesan pada dasar dinding penahan tanah menggunakan program SEEP/W.

Sebelumnya telah dilakukan penelitian mengenai deformasi lateral *diaphragm wall* oleh M Raffi Ramadhan (2016) dengan judul Perancangan Pondasi Tiang dan Dinding

Penahan Tanah Jenis *Diaphragm Wall* pada Bangunan Tinggi dengan *Basement* (Proyek Pembangunan Gedung Bertingkat di Jakarta) yang bertujuan untuk mengetahui nilai deformasi lateral *diaphragm wall* akibat pekerjaan galian dan nilai *safety factor* pekerjaan galian, dengan hasil analisa yaitu didapatkan deformasi lateral beserta faktor keamanannya untuk setiap tahapan, yaitu pada galian tahap 1 didapat deformasi lateral 6,84 mm dan SF 4,36. Pada galian tahap 2 didapat deformasi lateral 31,45 mm dan SF 3,11. Pada galian tahap 3 didapat deformasi lateral 30,73 mm dan SF 2,13.

B. Lokasi Penelitian



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian
(Sumber: Google Maps)



Gambar 2. Kondisi Lapangan
(Sumber: Dokumentasi pribadi, 2018)

C. Tinjauan Pustaka

Penelitian mengenai analisa deformasi dinding penahan tanah dan sistem *dewatering* sudah pernah dilakukan sebelumnya. Penelitian ini menggunakan tinjauan dari beberapa penelitian sebelumnya, diantaranya:

Penelitian pertama mengenai Perancangan *Dewatering* pada Konstruksi *Basement* (Studi Kasus: Proyek Landmark Residence – Bandung) oleh Ida Farida, (2014). Dengan hasil perencanaan yaitu didapatkan kebutuhan pompa *dewatering* berjumlah 3 titik dan 3 buah pompa

berkapasitas 250 lt/mnt dengan sumur *dewatering* yang berjumlah lima belas sumur, dua sumur *piezometer* dan dua sumur *recharging*. Masing-masing sumur tersebut di bor sampai pada kedalaman minus 20 meter dengan diameter sumur 80 cm dan diameter casing PVC 12” untuk sumur *dewatering*, diameter sumur 60 cm dan diameter casing 2” untuk sumur *piezometer*, diameter sumur 80 cm dan diameter casing 12” untuk sumur *recharging*.

Penelitian kedua mengenai Perancangan Pondasi Tiang dan Dinding Penahan Tanah Jenis *Diaphragm Wall* pada Bangunan Tinggi dengan *Basement* (Proyek Pembangunan Gedung Bertingkat di Jakarta) oleh M. Raffi Ramdhan, (2016). Dengan hasil analisa yaitu didapatkan deformasi lateral beserta faktor keamanannya untuk setiap tahapan, yaitu pada galian tahap 1 didapat deformasi lateral 6,84 mm dan SF 4,36. Pada galian tahap 2 didapat deformasi lateral 31,45 mm dan SF 3,11. Pada galian tahap 3 didapat deformasi lateral 30,73 mm dan SF 2,13.

Penelitian ketiga mengenai Analisis Keamanan terhadap Bahaya Rembesan pada Tubuh Bendung di Bawah Urugan oleh IGN Phutu Dharmayasa, (2016). Dengan hasil penelitian yaitu didapatkan debit rembesan dibawah bendungan dengan *cut-off* yaitu sebesar $2,077 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{detik}$ dan debit rembesan dibawah bendungan tanpa *cut-off* sebesar $3,162 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{detik}$.

2. LANDASAN TEORI

A. Diaphragm Wall

Diaphragm wall (D-Wall) ialah selaput beton bertulang yang *relative* tipis yang dicor ke dalam suatu parit, dimana sisi-sisi parit tersebut sebelum dicor didukung oleh tekanan hidrostatis dari air yang dicampur dengan *bentonite*. Pengerjaan D-Wall dilakukan sebelum melakukan pekerjaan galian tanah dengan cara melakukan pengeboran, pemasangan besi dan kemudian pengecoran. *Diaphragm wall* berfungsi sebagai dinding penahan tanah yang menahan tekanan tanah lateral, selain berfungsi sebagai dinding penahan tanah, *diaphragm wall* juga berfungsi dalam proses *dewatering* yaitu dengan memotong aliran air (*flow net*) pada tanah (*Cut Off*).

Diaphragm wall dapat dikombinasikan dengan *ground anchor*.

B. Ground Anchor

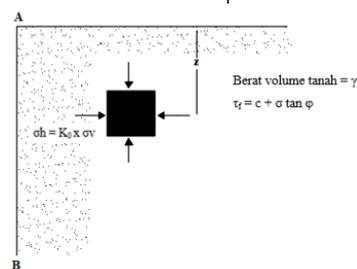
Ground anchor berfungsi menahan beban lateral dari tanah di belakang dinding penahan tanah. Kekuatan geser dari tanah digunakan untuk melawan gaya tarik ankur dan untuk mengikat ankur. Ada 4 tahap dalam pelaksanaan *ground anchor* yaitu, *drilling*, *installation*, *grouting* dan *stressing*.

C. Tekanan Tanah Lateral

Tekanan tanah lateral adalah tekanan tanah horizontal yang ditimbulkan oleh akibat dorongan tanah di belakang struktur dinding penahan tanah. Analisa dan penentuan tekanan tanah lateral sangat penting dalam mendesain dinding penahan tanah. Tekanan tanah lateral yang terjadi memiliki 3 keadaan, yaitu:

- 1) Tekanan tanah pada keadaan diam
Keadaan ini terjadi ketika dinding penahan tanah dalam keadaan diam, tidak bergerak mendekat ataupun menjauhi dinding penahan tanah, sehingga massa tanah akan berada dalam keadaan *static equilibrium*. Koefisien tekanan tanah dalam keadaan diam untuk tanah berbutir, menurut Jaky (1994) adalah:

$$K_0 = 1 - \sin \phi$$

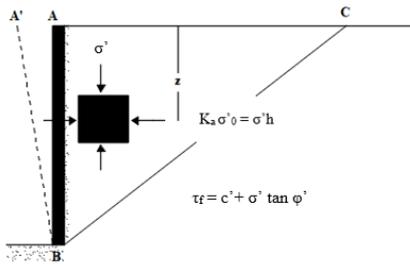


Gambar 3. Tekanan Tanah dalam Keadaan Diam

Sumber: Mekanika Tanah Jilid 2, Braja M Das

- 2) Tekanan tanah aktif
Keadaan ini terjadi ketika tanah memberikan gaya lateral yang mendorong dinding penahan tanah. Koefisien tekanan aktif:

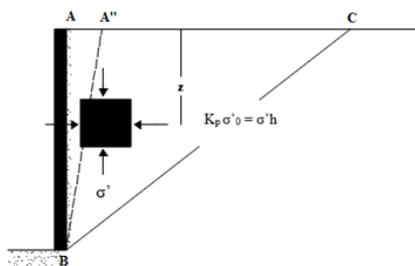
$$K_a = \frac{\sigma_a}{\sigma_v} = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$



Gambar 4. Tekanan Tanah Aktif
 Sumber: Mekanika Tanah Jilid 2 , Braja M Das

- 3) Tekanan tanah pasif
 Keadaan ini terjadi ketika dinding penahan tanah bergerak menuju tanah yang ditahannya.
 Koefisien tekanan tanah pasif (K_p):

$$K_p = \frac{\sigma_a}{\sigma_v} = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$



Gambar 5. Tekanan Tanah Pasif
 Sumber: Mekanika Tanah Jilid 2 , Braja M Das

D. Deformasi Lateral

Deformasi lateral merupakan deformasi yang terjadi pada dinding penahan tanah akibat dari tekanan lateral tanah dan pekerjaan galian. Deformasi yang terjadi pada dinding penahan tanah tidak boleh melebihi deformasi izin yang telah ditentukan. Ketentuan deformasi izin untuk dinding penahan tanah ada pada tabel berikut:

Tabel 9. Deformasi Dinding Maksimum yang Diizinkan

Batas Defleksi Dinding /Zonasi	Lokasi Gedung, Struktur dan Bangunan kritis			
	Zone 1 (x/H < 1)	Zone 2 (1 ≤ x/H ≤ 2)	Zone 3 (x/H > 2)	
			Type A	Type B
Defleksi dinding maksimum yang diizinkan	0.5 % H	0.7% H	0.70 %	1 % H

Sumber: *BS 8002-Code of Practice for Earth Retaining Structure*

E. Faktor Keamanan

Faktor keamanan keamanan (*safety factor*) adalah suatu nilai yang menentukan tingkat keamanan suatu bangunan, yaitu perbandingan gaya atau momen yang menahan dengan gaya atau momen total yang meruntuhkan. Faktor keamanan pada pekerjaan galian harus diperhitungkan dalam perencanaan. Faktor keamanan galian dapat ditentukan dengan tabel berikut:

Tabel 10. Nilai Minimum Faktor Keamanan Lereng Galian

Kondisi Lingkungan dan Risiko	Keandalan Parameter Tanah			
	Kurang		Cukup	
	Sementara	Tetap	Sementara	Tetap
Tidak ada hunian manusia atau bangunan disekitar	1.3	1.5	1.25	1.3
Banyak bangunan disekitar	1.5	2	1.3	1.5

Sumber: Pedoman Perencanaan Geoteknik dan Struktur Bangunan DKI Jakarta

F. Inclinometer

Deformasi atau pergerakan horizontal struktur dinding penahan tanah dapat diketahui dengan pembacaan alat inclinometer yang dipasang pada bangunan.. *Instrument Inclinometer* untuk mengukur dan menganalisa pergerakan tanah pada setiap kedalaman 50 cm. *Inclinometer* dilapisi dengan pipa pvc atau pipa paralon untuk menjaga sensor tetap bekerja dan menghindari kelembapan suhu pada tanah ke sensor tersebut.

G. Dewatering

Proses *dewatering* diperlukan untuk mengendalikan muka air, baik air tanah maupun permukaan agar tidak mengganggu atau menghambat proses pelaksanaan suatu pekerjaan konstruksi, untuk mencapai tujuan tersebut biasanya air tanah diturunkan elevasinya sampai 1 m dibawah dasar galian.

Analisa sistem *dewatering* dilakukan untuk menentukan debit air total yang harus dipompa dari area galian, jumlah sumur dan jumlah sumpit yang diperlukan untuk menurunkan muka air tanah, berikut langkah-langkah perhitungan yang diperlukan yaitu:

Debit air total yang harus dipompa dari area galian:

$$Q = 0,85 k(H-h_w) \left[1(0,2)^{\frac{s}{0,5b}} \right] \left[\frac{d}{0,5b} \right]^{-0,5} \left[\frac{d1}{0,5b} \right]^{-0,125}$$

Jumlah sumur:

$$n = \frac{Q_{total}}{Q_{pompa}}$$

Jumlah Sumpit:

$$n = \frac{Q_{air\ hujan}}{Q_{pompa}}$$

H. Gaya Uplift

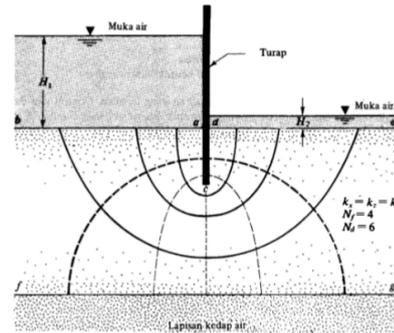
Gaya *uplift* adalah tekanan dari air tanah yang menyebabkan terangkatnya bangunan yang berada di atasnya, gaya *uplift* terjadi apabila tekanan air tanah lebih besar dari massa bangunan di atasnya, keadaan ini sangat berbahaya terutama pada saat pembangunan pelat *basement* telah selesai. Untuk menghitung gaya *uplift* yang terjadi dapat menggunakan persamaan berikut:

$$Gaya\ uplift = l \times h \times \gamma_w$$

I. Seepage (Rembesan)

Perbedaan muka air tanah yang terjadi akibat adanya proses *dewatering* akan menimbulkan terjadinya rembesan. Kita dapat memperoleh persamaan umum yang mengatur rembesan di dalam tanah dengan meninjau aliran yang masuk dan keluar dari elemen tanah tapi dalam keadaan sebenarnya, air mengalir di dalam tanah tidak hanya dalam satu arah dan juga tidak seragam untuk seluruh luasan yang tegak lurus dengan aliran.

$$q = k \frac{H N_f}{N_d}$$



Gambar 6. Jaringan Aliran

Sumber: Mekanika Tanah Jilid 2, Braja M Das

J. Plaxis

Plaxis adalah program berbasis elemen hingga yang digunakan untuk melakukan analisis deformasi, stabilitas dan aliran air tanah dalam rekayasa geoteknik. Program ini memiliki empat tahap yaitu: *input*, perhitungan, *output* dan kurva.

H. Seep/W

Program SEEP/W adalah salah satu fitur yang terdapat pada program GEO-STUDIO. SEEP/W digunakan untuk menganalisis rembesan (*seepage*) yang terjadi akibat adanya perbedaan tinggi energi total. Pada SEEP/W dapat dilakukan untuk berbagai jenis kondisi tanah.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada pembangunan *basement* yang terdapat di Proyek The Ayoma Apartment, Tangerang Selatan. Pada penelitian ini menggunakan parameter tanah yang didapat dari hasil uji laboratorium dan hasil korelasi dengan N-SPT, parameter tanah yang dibutuhkan yaitu kohesi, sudut geser, berat volume, koefisien permeabilitas, modulus elastisitas tanah, dan *poisson ratio*. Data struktural dari dinding penahan tanah dan *ground anchor* didapatkan dari data proyek The Ayoma Apartment. Tinjauan penelitian ini yaitu terhadap *diaphragm wall* dan *dewatering*. Pada *diaphragm wall* analisis yang dilakukan yaitu terhadap deformasi lateral yang terjadi akibat pekerjaan galian, serta nilai *safety factor*. Pada *dewatering*, analisis yang dilakukan yaitu terhadap jumlah debit yang harus dibuang, jumlah sumur, serta gaya uplift yang timbul untuk mengetahui lamanya proses *dewatering*

dijalankan, dan debit rembesan yang timbul pada dasar dinding penahan tanah akibat proses *dewatering*. Tahapan pada penelitian ini yaitu:

1. Identifikasi masalah
 2. Pengumpulan data
 3. Studi Pusaka
 4. Perhitungan
- Pada tahap ini dilakukan analisa terhadap hal-hal yang ditinjau pada tugas akhir ini, yaitu:
- a. Analisis deformasi lateral *diaphragm wall* menggunakan program PLAXIS 2D
 - b. Perbandingan hasil deformasi lateral *diaphragm wall* menggunakan Plaxis

2D dengan hasil pembacaan *inclinometer*

- c. Analisis nilai *safety factor* pekerjaan galian pada konstruksi *basement* proyek The Ayoma Apartment dengan menggunakan program PLAXIS 2D dan perhitungan manual
- d. Perhitungan analisis *dewatering*
- e. Perhitungan gaya *uplift* air tanah pada *basement*
- f. Analisis rembesan (*seepage*) menggunakan program SEEP/W

4. HASIL DAN ANALISIS

A. Deformasi Lateral *Diaphragm Wall*

Parameter tanah yang dibutuhkan yaitu:

Tabel 1. Parameter Tanah

Layer	1	2	3	4	5	6
Kedalaman (m)	0 - 14	14 - 25	25 - 28	28 - 42	42 - 48.5	48.5 - 60
Jenis Tanah	Clay	Clay	Sand	Clay	Sand	Clay
N-SPT	5	20	50	25	50	35
Konsistensi	Medium	Stiff	Dense	Stiff	Dense	Stiff
Y (kN/m ³)	15.4	15.5	17.8	16	16.2	15.6
Ysat (kN/m ³)	17	17	19	17	19	17
c' (kN/m ²)	20	30	10	35	10	30
φ'	16	20	32	25	40	20
v	0.35	0.3	0.25	0.3	0.25	0.3
k (m/day)	0.0000864	0.000086 4	0.864	0.000086 4	0.864	0.000086 4
E' (kN/m ²)	28000	45000	72000	65000	72000	80000

Sumber: Analisis Penulis 2018

Data struktural *Diaphragm wall* sebagai berikut:

Tabel 2. Data Struktural *Diaphragm Wall*

Tebal D-wall (m)	0,8
Luas D-wall (m ²)	0,8
Inersia D-wall (m ⁴)	0,04267
Mutu Beton	25
Elastisitas D-wall (kN/m ²)	23500000
Berat D-wall (kN)	19,2
EA (kN/m)	18800000

EI (kN/m)	1002745
-----------	---------

Sumber: Analisis Penulis 2018

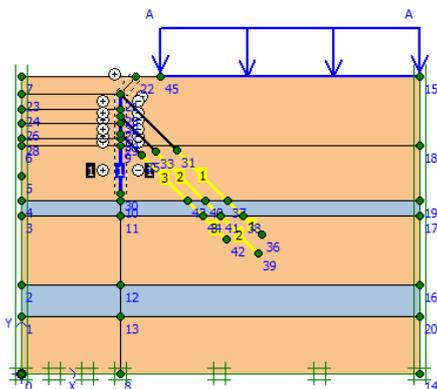
Parameter yang digunakan pada *ground anchor*:

Tabel 3. Parameter *Ground Anchor*

Jenis	Free Length		
	1	2	3
No	1	2	3
Panjang (m)	16	10	6
Jumlah Strand	6	7	6
∅ Strand (m)	0.0127	0.0127	0.0127

E (kN/m ²)	200000 000	200000 000	200000 000
A (m ²)	0.00075 968	0.00088 629	0.00075 968
EA (kN)	151935. 18	177257. 71	151935. 18
Inklinasi Anchor (°)	45	45	45
Lspacing	2	3	3
Jenis	Bond Length		
Panjang (m)	24	29	24
Fc' (Mpa)	25	25	25
E (kN/m ²)	235000 00	235000 00	235000 00
∅ (m)	0.2	0.2	0.2
A (m ²)	0.0314	0.0314	0.0314
EA (kN)	737900	737900	737900
Gaya Prestress (kN)	460	550	500

Sumber : Analisis Penulis, 2018



Gambar 7. Pemodelan pada Plaxis
Sumber: Analisis Penulis, 2018

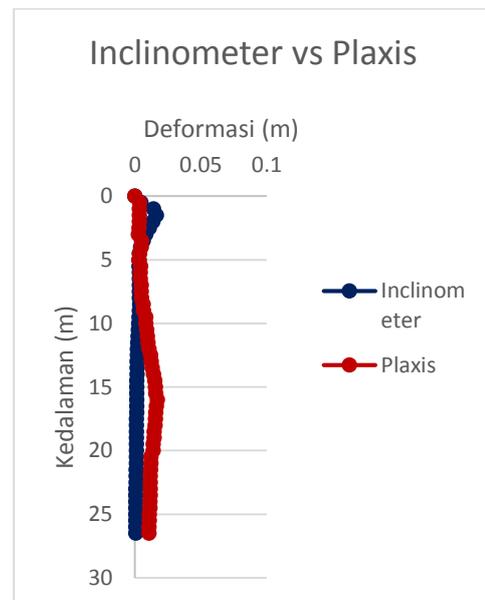
Hasil analisis deformasi lateral menggunakan program Plaxis 2D:

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Analisis Deformasi Lateral Diaphragm Wall

Galian Tahap	1	2	3
Deformasi Total (m)	27,69 $\times 10^{-3}$	50,37 $\times 10^{-3}$	58,09 $\times 10^{-3}$
Deformasi Horizontal (m)	12,46 $\times 10^{-3}$	13,11 $\times 10^{-3}$	16,44 $\times 10^{-3}$
Deformasi Izin (m)	45,5 x 10^{-3}	66,5 x 10^{-3}	87,5 x 10^{-3}

Sumber: Analisis Penulis, 2018

Dari hasil analisis deformasi lateral menggunakan program plaxis dengan tipe analisis *drained* didapatkan nilai deformasi yang tidak melapui batas maksimal deformasi yang telah disyaratkan oleh *BS 8002-Code of Practice for Earth Retaining Structure*. Hasil analisa dari program plaxis kemudian dibandingkan dengan hasil pembacaan di lapangan menggunakan *inclinometer*, berikut merupakan hasil perbandingan antara keduanya:



Gambar 8. Grafik perbandingan deformasi lateral tanah dengan plaxis dan inclinometer
Sumber: Analisis Penulis, 2018

Tabel 6. Perbandingan Hasil Deformasi Lateral *Inclinometer* dan Plaxis

Deformasi Lateral	Plaxis (mm)	<i>Inclinometer</i> (mm)
	16,44	16,34
Presentase Error	0,7%.	

Sumber: Analisis Penulis, 2018

Hasil bacaan *inclinometer* menunjukkan deformasi lateral maksimum yang terjadi yaitu 16,34 mm, sedangkan hasil analisis program Plaxis 2D menunjukkan nilai deformasi lateral maksimum yaitu 16,44 mm, dari hasil ini diketahui presentasi errornya yaitu 0,7%.

B. Safety Factor

Analisis *safety factor* dilakukan dengan batasan yang diizinkan yaitu sebesar 1,5. Analisis dilakukan menggunakan program PLAXIS 2D dan perhitungan manual, berikut hasil analisis yang telah dilakukan:

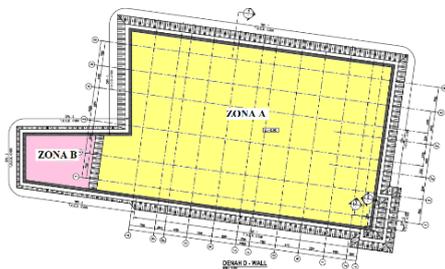
Tabel 5. Rekapitulasi SF dari hasil

SF	1	2	3
Manual	2.9	2.2	1.9
Plaxis	2.89	2.08	1.7
% error	1%	7%	11%

perhitungan manual dan plaxis
 Sumber: Analisis Penulis, 2018

Nilai *safety factor* menjadi lebih kecil pada setiap tahap pekerjaan galian, hal ini disebabkan karena berkurangnya momen tahanan (momen pasif) tanah disetiap tahap galian. Nilai *safety factor* yang didapatkan masih dalam batas aman, sehingga pekerjaan galian dinyatakan aman.

C. Dewatering



Gambar 9. Zona dewatering
 Sumber: Analisis Penulis, 2018

Dewatering dilakukan untuk menurunkan elevasi muka air tanah dari -10 m menjadi -19 m.

Hasil analisis dewatering yaitu:
 Debit total:

$$\begin{aligned}
 Q &= q_{total1} + q_{total2} \\
 &= 562,5 + 157,5 \\
 &= 720 \text{ lt/menit}
 \end{aligned}$$

Jumlah Sumur *Dewatering*:

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{720}{150} \\
 &= 4,8 = 5 \text{ sumur}
 \end{aligned}$$

Jumlah Sumpit:

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{456}{100} \\
 &= 4,56 = 5 \text{ sumur}
 \end{aligned}$$

D. Gaya Uplift

Perhitungan gaya *uplift* bertujuan untuk mengetahui apakah gaya *uplift* yang terjadi aman terhadap bangunan diatasnya, serta untuk mengetahui waktu yang tepat untuk menghentikan *dewatering*. Berikut hasil analisis gaya *uplift* yang terjadi pada dasar *basement*:

Total bobot bangunan hingga lantai 3 yaitu :
 36933,144 ton

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya uplift} &= A \times h \times \gamma_w \\
 &= 3832 \times 9 \times 10 \\
 &= 344880 \text{ kN} \\
 &= 35167,97 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

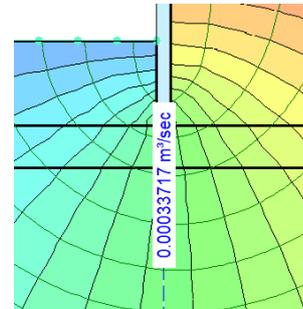
Perbandingan berat bangunan dan gaya *uplift* air tanah:

$$36933,144 \text{ ton} > 35167,97 \text{ ton}$$

Pada kontruksi *basement* The Ayoma Apartment gaya *uplift* yang timbul yaitu sebesar 35167,97 ton, ketika tahap konstruksi mencapai lantai 3, berat bangunan lebih besar dari gaya *uplift* yang terjadi, sehingga proses *dewatering* dapat dihentikan pada tahap ini.

E. Seepage (Rembesan)

Rembesan yang terjadi didasar dinding penahan tanah disebabkan oleh bedanya elevasi muka air tanah. Hasil analisis seepage dengan menggunakan program SEEP/W yaitu:



Gambar 8. Debit rembesan
 Sumber: Analisis Penulis, 2018

Debit rembesan yang terjadi pada dasar galian yang didapatkan dari aplikasi SEEP/W adalah 0,00034 m³/s. Selain menggunakan aplikasi, dilakukan juga perhitungan manual debit rembesan, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q &= k \times \Delta h \times \frac{Nf}{Nd} \\
 &= 5.10^{-5} \times 9 \times \frac{14}{18} \\
 &= 0,00035 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

Tabel 7. Perbandingan Hasil Analisis
Seepage

Debit Rembesan (m ³ /s)	Program SEEP/W	Perhitungan Manual
	0.000034	0.000035
Presentase Error	2.8%	

Sumber: Analisis Penulis, 2018

5. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, maka berikut adalah kesimpulan dari skripsi ini:

- 1) Hasil analisis deformasi lateral *diaphragm wall* pada program Plaxis 2D dengan menggunakan model *mohr coulomb* yang terjadi akibat pekerjaan galian yaitu 16,44 mm untuk tahap galian terakhir yaitu tahap galian ke-3.
- 2) Perbandingan hasil analisis deformasi lateral pada program Plaxis 2D menggunakan model *mohr coulomb* dengan hasil pembacaan *inclinometer*, didapatkan persentase *error* sebesar 0,7%.
- 3) Nilai *safety factor* pada setiap tahap pekerjaan galian dan pemasangan angkur yang didapat dari hasil analisis pada program Plaxis 2D dengan menggunakan model *mohr coulomb* dan perhitungan manual berturut-turut sebesar 2,89; 2,9 untuk tahap pertama, 2,08; 2,23 untuk tahap kedua, dan 1,69; 1,9 untuk tahap ketiga.
- 4) Pada analisis *dewatering* didapatkan debit total pada area galian yang harus dipompa yaitu 720 lt/menit, jumlah sumur *dewatering* yaitu 5 buah, dan jumlah sumur sumpit yaitu 5 buah.
- 5) Gaya *uplift* yang terjadi pada bangunan sebesar 35167,9 ton dan total berat bangunan yang nilainya lebih besar dari gaya *uplift* tersebut yaitu 36933,144 ton saat bangunan mencapai lantai 3, sehingga proses *dewatering* akan dihentikan saat tahap konstruksi mencapai lantai 3.
- 6) Pada analisis *seepage* dengan menggunakan program SEEP/W didapatkan debit rembesan sebesar 0,00034 m³/sec dan hasil analisis dengan perhitungan manual didapatkan debit

rembesan sebesar 0,00035 m³/sec, dari dua hasil tersebut didapatkan presentase *error* sebesar 2,8% dengan nilai debit rembesan dari perhitungan manual lebih besar dibandingkan nilai debit rembesan dari program SEEP/W.

B. Saran

Penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis memberikan saran sebagai berikut.

- 1) Pemilihan parameter yang digunakan dalam analisis harus dilakukan dengan tepat, lebih baik jika ada data langsung yang didapat dari uji laboratorium.
- 2) Untuk mendapatkan hasil analisis yang lebih akurat dapat dilakukan analisis dengan menggunakan berbagai metode selain *mohr coulomb*, seperti *hardening soil*.
- 3) Pada analisis selanjutnya dapat melakukan analisis mengenai pengaruh gaya yang diberikan angkur terhadap deformasi lateral dan nilai *safety factor*
- 4) Penelitian selanjutnya dapat melakukan analisis *seepage* dengan menggunakan program lain seperti SEEP2D
- 5)

DAFTAR PUSTAKA

- Asiyanto (2010). Metode Kontruksi Dewatering, Jakarta : Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press).
- Bowles, Joseph E (1992). *Foundation Analysis and Design*, Illinois : The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Bowles, Joseph E (1997). *Foundation Analysis and Design*, Illinois : The McGraw-Hill Companies, Inc.
- British Standrads Institution (1994). *BS8002: Code of Practice for Earth Retaining Structures*, London : BSI.
- Cashman, M. Pat., and Preene, Martin (2012). *Groundwater Lowering in Construction*, New York : CRC Press.
- Das, Braja M. 1994. *Mekanika Tanah Jilid 1*, Jakarta : Penerbit Erlangga
- Das, Braja M. 1994. *Mekanika Tanah Jilid 2*, Jakarta : Penerbit Erlangga
- Das, Braja M. 2011. *Principle of Foundation Engineering 7th Edition*, Stamford : Cengage Learning.
- Farida, Ida (2014). *Perancangan Dewatering pada Konstruksi Basement (SStudi*

- Kasus : Proyek Landmark Residence – Bandung)
- Ginting, Agi Hagata (2016). Desain Pondasi Tiang Bor dan *Diaphragm Wall* dengan Penguatan *Ground Anchor*.
- Hardiyatmo, Hary C. (1994). Mekanika Tanah 2, Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, Hary C. (2011). Analisis Perancangan Fondasi Bagian 1, Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Mina, Enden (2017). Analisis Kelongsoran Galian *Basement* Menggunakan Dinding Penahan *Soldier Pile*
- Nugroho, Agung Dwi (2011). Analisis Pemakaian *Diaphragm Walls* pada Galian *Basement* dengan Program Plaxis (Studi Kasus: Proyek Hotel Santika Medan)
- Priyanto, Nur (2013). Analisis Pergerakan Lateral Tanah Akibat Penggalian Menggunakan Program Plaxis 2D (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Basement Bill Plaza)
- Ramadhan, Mochamd Raffi (2016). Perancangan Pondasi Tiang dan Dinding Penahan Tanah Jenis *Diaphragm Wall* pada Bangunan Tinggi dengan *Basement*
- Wesley, Laurence D. (2010). Mekanika Tanah untuk Tanah Endapan dan Residu, Yogyakarta: Penerbit ANDI Yogyakarta