

Perencanaan Konstruksi Penahan Tanah dan Pondasi yang Efisien pada Apartemen X dengan Memperhatikan Penjadwalan Mobilisasi Material

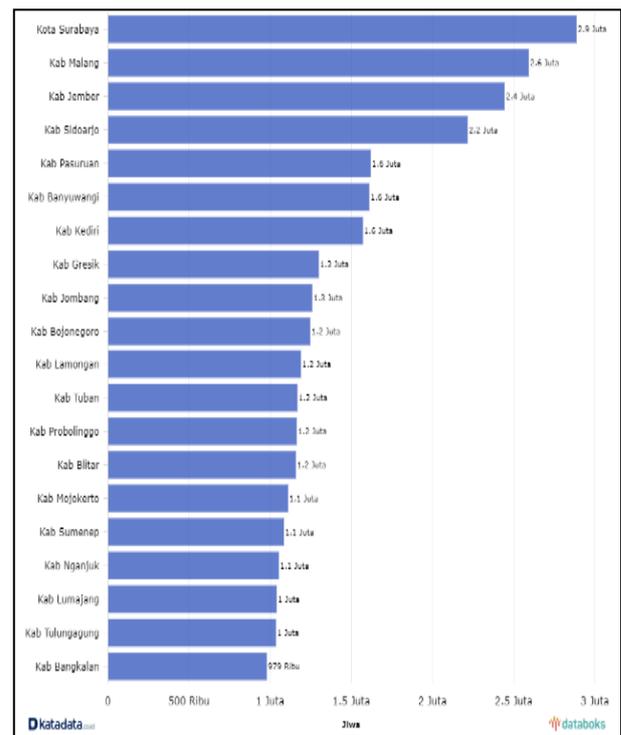
Dikky Prasetyo, Suwarno, dan Retno Indryani
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: suwarno.surabaya@gmail.com

Abstrak—Apartemen X merupakan salah satu hunian vertikal tingkat tinggi dengan ketinggian mencapai 53 lantai yang dibangun di pusat kota Surabaya yang padat lalu lintas. Oleh karenanya, mengingat lokasi apartemen yang berada di lahan terbatas, diperlukan kebutuhan lahan parkir bagi para pengunjung dan pemilih dengan perencanaan 3 lantai *basement*, dengan elevasi -12.50 meter di bawah tanah. Dalam perencanaannya, lantai *basement* membutuhkan konstruksi penahan tanah. Apartemen X dibangun diatas tanah lempung lunak mencapai kedalaman 18 m, dan memiliki kondisi muka air tanah yang cukup tinggi, yaitu pada kedalaman -1 m s/d 2 m. Pada perencanaan eksisting, menggunakan pondasi *bored pile* yang dipergunakan untuk podium, dan pondasi *raft on pile* untuk hunian towernya, sedangkan perencanaan eksisting konstruksi penahan tanah, menggunakan jenis *secant pile* dengan diameter 1,2 m dengan memiliki kedalaman 25 m dan 27 m. Pada penelitian ini dilakukan evaluasi terhadap perencanaan pondasi *bored pile* dan evaluasi konstruksi penahan tanah *secant pile* dan dengan *soldier pile*. Konstruksi penahan yang terpilih adalah yang biayanya lebih efisien. Setelah itu dilakukan penjadwalan mobilisasi material untuk alternatif terpilih. Dalam penelitian ini dilakukan evaluasi pondasi menggunakan *bored pile* dengan diameter 1200 mm, serta didapatkan konstruksi penahan tanah yang memiliki biaya lebih efisien menggunakan *secant pile* dengan diameter 1200 mm. Dari hasil penjadwalan diperoleh durasi pengangkutan material beton adalah 38 hari, dan durasi pengangkutan tanah pekerjaan penggalian tanah penahan tanah adalah 62 hari.

Kata Kunci—*Basement*, *Pondasi Raft On Pile*, *Secant Pile*, *Soldier Pile*, Penjadwalan.

I. PENDAHULUAN

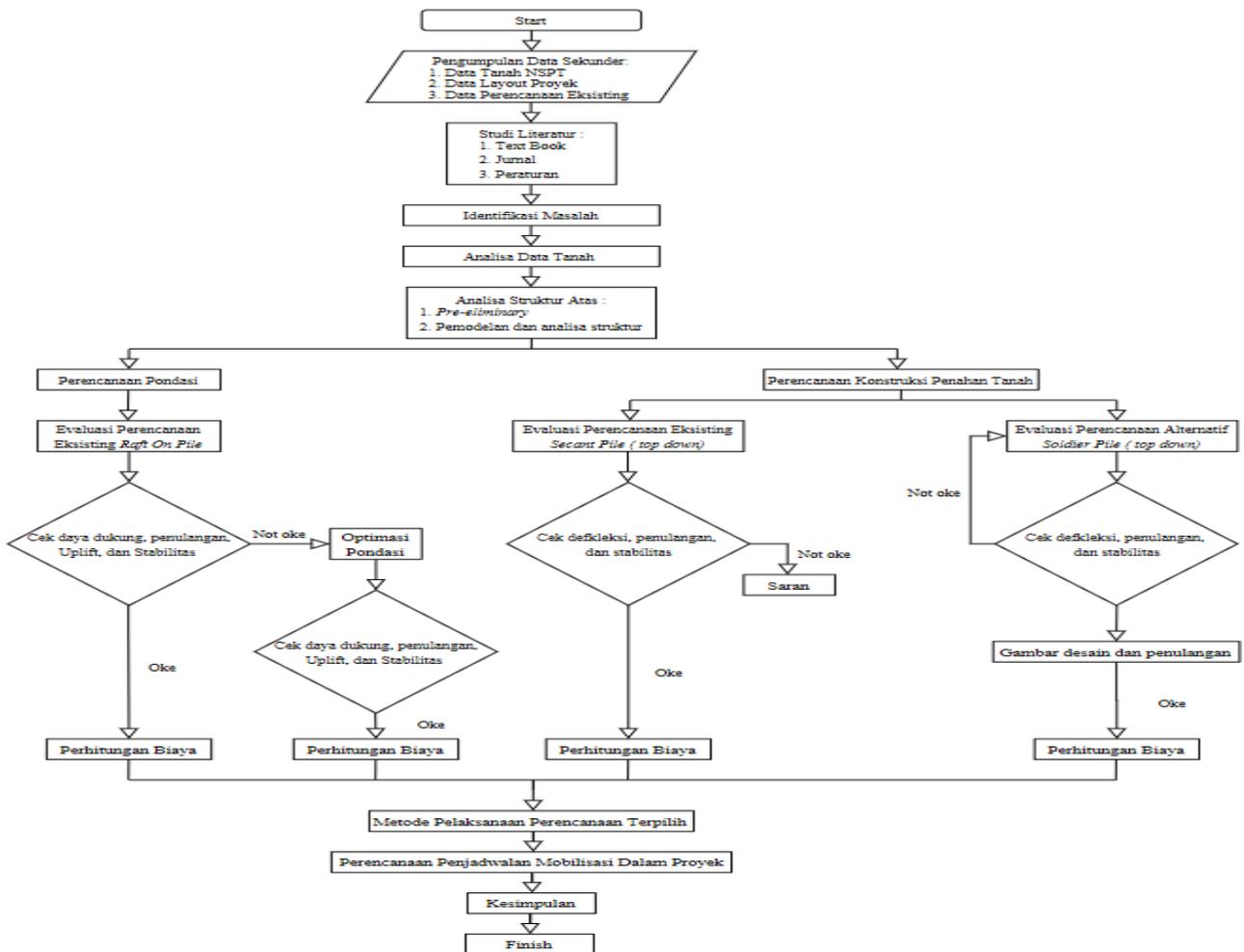
PEMBANGUNAN infrastruktur merupakan salah satu aspek penting dan vital untuk mempercepat proses pembangunan nasional. Hal ini dikarenakan kemajuan dan pertumbuhan ekonomi suatu negara tidak dapat dipisahkan dengan ketersediaan infrastruktur diantaranya adalah pembangunan gedung-gedung untuk perkantoran dan tempat tinggal khususnya di kota-kota metropolitan. Surabaya merupakan Ibu Kota Provinsi Jawa Timur, Indonesia, sekaligus kota metropolitan dengan jumlah penduduk terbesar di provinsi tersebut dan juga memiliki jumlah penduduk terbesar kedua di Indonesia setelah Daerah Khusus Ibukota (DKI) Jakarta, yakni dengan jumlah penduduk 2,9 juta jiwa dan luas wilayah 350,54 km² (BPS Jawa Timur, 2018) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Oleh sebab itu, kepadatan penduduk kota Surabaya cukup tinggi, yaitu 8273,89 jiwa/km². Oleh sebab itu, keadaan ini menyebabkan



Gambar 1. Kota Surabaya memiliki penduduk terbanyak di Jawa Timur.

fenomena menjamurnya hunian vertikal seperti Apartemen di kota Surabaya, guna mengatasi laju kepadatan penduduk dan dinamika urbanisasi yang sedang terjadi, sebab tingkat kepadatan penduduk berbanding lurus dengan kebutuhan lahan hunian yang kian terbatas dan semakin mahal harganya.

Melihat kondisi kota Surabaya seperti yang diuraikan diatas, maka PT. PP Property (Persero) Tbk. membangun proyek apartemen X (*Phase 1*), yang berlokasi di Jl. Embong Gayam 3-Jl. Embong Sawo. Surabaya. Pada *Phase 1* ini, terdapat 3 tower gedung Apartemen X dimana tower 1 mempunyai ketinggian 52 lantai, tower 2 mempunyai ketinggian bangunan 49 lantai, tower 3 mempunyai ketinggian bangunan 53 lantai, dimana keseluruhan ketinggian dari tower tersebut mempunyai ketinggian mencapai ± 200 m, yang dibangun di pusat kota Surabaya yang padat lalu lintas. Akan tetapi, mengingat lokasi dari apartemen tersebut diperlukan ruang yang cukup luas untuk parkir bagi pemilik dan pengunjungnya dan selain itu berada di lahan yang terbatas, maka direncanakan *basement* untuk lahan parkir bagi para penghuni. *Basement* dari Apartemen X ini terdiri dari 3 lantai yang memiliki kedalaman mencapai ± 12.50 m. Pembangunan *basement* ini direncanakan



Gambar 2. Diagram alir perencanaan.

Tabel 1.
Rekapitulasi Data Tanah

Parameter Tanah	0-18	18-21	21-23	Depth (m) 23-28	28-34	34-47	47-80
NSPT	1	12	23	23	30	25	34
γ_{sat} (t/m^3)	1,60	1,75	1,87	1,98	1,98	2	2
Cc	0,45	0,28	-	0,17	-	0,17	0,17
Cs	0,06	0,04	-	0,02	-	0,02	0,02
Cu	1,25	6	-	14,17	-	15	20
ϕ' ($^\circ$)	1	5	33,90	13	36,25	15	20
Eu (kN/m^2)	2000	5000	50000	5000	100000	10000	20000

Tabel 2.
Rekapitulasi Jumlah dan Biaya Pondasi

Type Pile	Diameter	Panjang Tiang (m)	Jumlah Tiang dalam 1 grup	Volume (m^3)	Harga Satuan (Rp)	Total Harga (Rp)
Tower 1	1,2	75	90	49536,6	950000	47.059.801.313,71
		70	84			
Tower 2	1,2	75	90	49536,6	950000	47.059.801.313,71
		70	84			
Tower 3	1,2	75	90	49536,6	950000	47.059.801.313,71
		70	84			
P1	1,2	60	72	5157,24	950000	4.889.376.575,13
P2	1,2	60	72	6514,41	950000	6.188.686.200,16
P3	1,2	60	72	3257,2	950000	3.094.343.100,08
P6	1,2	60	72	1628,6	950000	1.547.171.550,04
P12	1,2	60	72	3257,2	950000	3.094.343.100,08
Jumlah Total						18.823.920.525,49
						163.613.391.416,72

menggunakan metode pelaksanaan *top-down* dan konstruksi penahan tanah menggunakan jenis *secant pile*. Perencanaan ekisting pondasi gedung ini menggunakan tipe pondasi *raft on pile*.

II. METODOLOGI

Metodologi perencanaan ini dituangkan dalam diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 3.

Output Plaxis Pemodelan Konstruksi Penahan Tanah Eksisting (*Secant Pile*) Basement Tipe 1 (-6,50 m)

Tahap	Penggalian	SF	Momen (kN.m)	Defleksi (mm)
1	Dinding + Beban + Strut	2,275	104,06	4,96
2	Galian 1	1,968	114,90	5,00
3	Strut	1,566	114,88	5,00
4	Galian 2	2,040	113,82	5,02
5	Strut	2,181	113,80	5,02

Tabel 4.

Output Plaxis Pemodelan Konstruksi Penahan Tanah Eksisting (*Secant Pile*) Basement Tipe 2 (-12,50 m)

Tahap	Penggalian	SF	Momen (kN.m)	Defleksi (mm)
1	Dinding + Beban + Strut	2,662	125,49	4,57
2	Galian 1	2,117	125,45	4,59
3	Strut	2,111	125,42	4,59
4	Galian 2	1,743	125,45	4,61
5	Strut	1,488	124,41	4,61
6	Galian 3	1,350	124,82	4,66
7	Strut	1,394	124,81	4,66

Tabel 5.

Output Plaxis Pemodelan Konstruksi Penahan Tanah Alternatif (*Soldier Pile*) Basement Tipe 1 (-6,50 m)

Tahap	Penggalian	SF	Momen (kN.m)	Defleksi (mm)
1	Dinding + Beban + Strut	1,449	116,58	4,90
2	Galian 1	1,410	116,53	4,84
3	Strut	1,397	116,49	4,84
4	Galian 2	1,679	116,08	4,86
5	Strut	1,561	116,03	4,86

Tabel 6.

Output Plaxis Pemodelan Konstruksi Penahan Tanah Alternatif (*Soldier Pile*) Basement Tipe 2 (-12,50 m)

Tahap	Penggalian	SF	Momen (kN.m)	Defleksi (mm)
1	Dinding + Beban + Strut	1,153	123,70	4,28
2	Galian 1	1,898	124,20	4,30
3	Strut	2,058	124,18	4,30
4	Galian 2	1,856	123,59	4,31
5	Strut	1,980	123,55	4,31
6	Galian 3	1,518	124,15	4,34
7	Strut	1,112	124,12	4,34

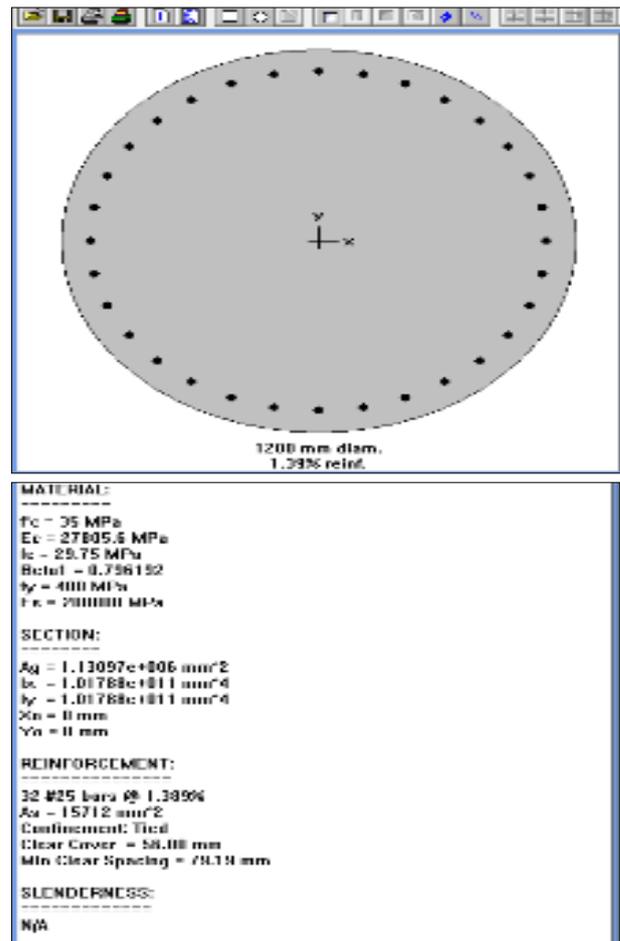
III. ANALISA DATA

A. Analisa Data Tanah

Data tanah yang digunakan dalam perencanaan ini didapatkan dari hasil analisis data tanah 14 titik bor yang sudah dilakukan analisis terhadap koefisien variasi (CV), distribusi statistik serta korelasi data tanah dengan menggunakan tabel *Bowless* serta tabel *Das* [1], [2]. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada Tabel 1.

B. Analisa Struktur Atas

Analisa data struktur atas dilakukan *pre-eliminary* struktur dan pemodelan dari bangunan atas sesuai dengan SNI 2847-2013 dengan berbagai kombinasi pembebanan [3]. Pemodelan tersebut menggunakan alat bantu program ETABS. Dari data tersebut digolongkan menjadi 2 area struktur yaitu area tower dan area podium.



Gambar 3. Perencanaan tulangan *soldier pile*.

IV. PERENCANAAN PONDASI

A. Analisis Eksisting Pondasi

Pondasi eksisting pada Apartemen X digunakan *raft on pile* dengan menggunakan *bored pile* dengan diameter pile 120 cm yang ditanam sedalam - 75 meter dari muka tanah untuk jenis pondasi untuk tower tipe 1, - 70 meter dari muka tanah untuk jenis pondasi untuk tower tipe 2, - 60 meter dari muka tanah untuk jenis pondasi untuk podium tipe 3. Tahapan analisisnya adalah sebagai berikut:

1) Daya Dukung Tanah Pondasi Dalam

Perhitungan daya dukung hanya pada pondasi dalam saja dengan SF = 3, yakni dengan menggunakan metode Meyerhof dan Bazara. Perumusannya sebagai berikut:

$$Q_{ult} = C_n \times A + \sum C l_i \times A s_i \tag{1}$$

$$Q_{ijin} = Q_{ult} / SF \tag{2}$$

2) Kontrol Kapasitas 1 Tiang Pondasi

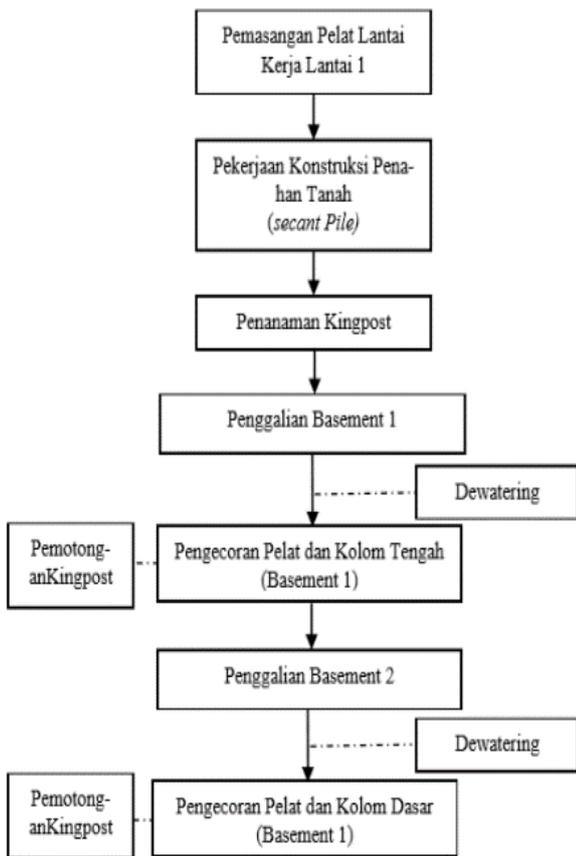
Kontrol terhadap kapasitas 1 tiang baik P_{maks} perlu dilakukan dimana merupakan kontrol terhadap ketahanan aksial. Perumusannya sebagai berikut:

$$P_{maks} = \frac{F_z}{n} + \frac{M_x \cdot Y_{maks}}{\sum Y^2} + \frac{M_y \cdot X_{maks}}{\sum X^2} \tag{3}$$

$$P_{maks} < Q s_{ijin} \tag{4}$$

3) Kontrol Pondasi Tiang Kelompok

Pada kontrol ini perlu dilakukan koreksi terhadap nilai efisiensi tiang. Perumusannya sebagai berikut:



Gambar 4. Penggalian basement dengan metode top-down.

Efisiensi *Converse Labarre*:

$$Ef = 1 - \frac{\arctan\left(\frac{D}{S}\right)}{90^\circ} \cdot \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right) \quad (5)$$

$$P_{maks,ijin\ group} < Q_{ijin} * Ef\ Converse\ Labarre \quad (6)$$

Hasil dari kontrol pondasi tiang kelompok menggunakan perumusan efisiensi *Converse Labarre* didapatkan bahwa pada area tower dan area podium sudah memenuhi syarat pengujian beban aksial maksimum (P_{maks}) dengan menggunakan metode metode *Meyerhof* dan *Bazara*.

4) *Kontrol Pondasi Tiang Terhadap Gaya Lateral*

Pondasi juga perlu didesain untuk mampu menahan gaya lateral baik defleksi maupun momen. Perumusannya sebagai berikut:

$$Fr\ 1\ Tiang > H_{ult} \quad (7)$$

Hasil dari kontrol pondasi tiang terhadap gaya lateral didapatkan bahwa pada area tower dan area sudah memenuhi.

5) *Kontrol Momen*

Momen yang bekerja pada pondasi harus lebih kecil dari Momen *Crack* bahan pondasi. Perumusannya sebagai berikut:

$$MomenX < Momen\ crack \quad (8)$$

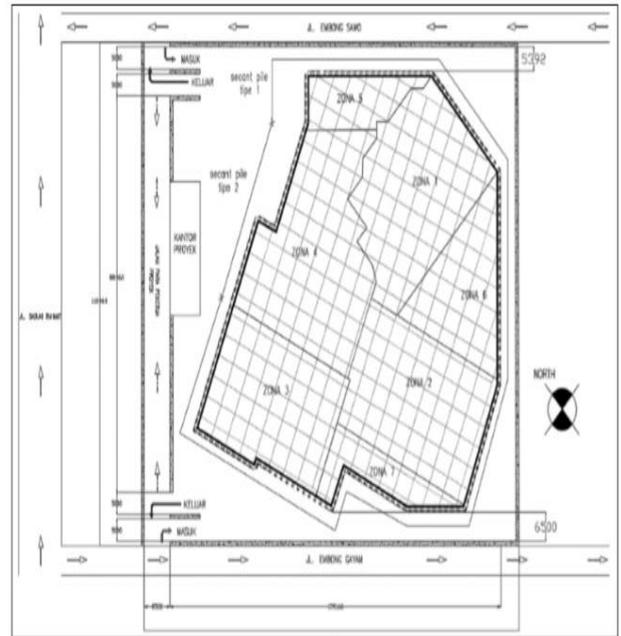
$$Fm\left(\frac{P_x}{y.T}\right) < Momen\ crack \quad (9)$$

Hasil dari kontrol momen pondasi didapatkan bahwa pada area tower dan podium sudah aman dan memenuhi.

6) *Kontrol Defleksi*

Pondasi tiang harus mampu menahan beban geser sebesar 12 mm (SNI 8640-2017) [4]. Perumusannya sebagai berikut:

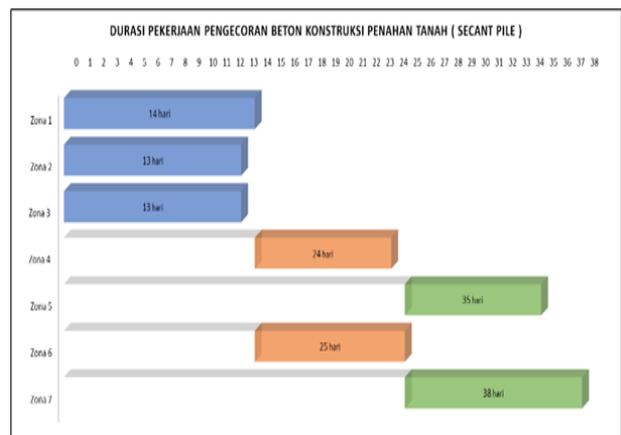
$$DefleksiX < Defleksi\ ijin \quad (10)$$



Gambar 5. Layout Pembagian Zona.

Keterangan:

- Zona 1, 2, dan 3: Zona hunian tower yang memiliki kedalaman galian -10 m.
- Zona 4: Zona STP yang memiliki kedalaman galian 12,50 m.
- Zona 5, 6, dan 7: Zona podium yang memiliki kedalaman -6,50 m.



Gambar 6. Durasi pekerjaan pengecoran *secant pile*.

$$F\delta \cdot \frac{F \times T^3}{EI} < Defleksi\ ijin \quad (11)$$

Hasil dari kontrol defleksi pondasi didapatkan bahwa pada area tower dan podium sudah aman dan memenuhi.

7) *Kontrol Uplift*

Uplift Resistance perlu dihitung untuk menahan tiang agar tidak terangkat ke atas. Perumusannya sebagai berikut:

$$Q_u = (2LH + 2BH) \cdot C_u + w > P_{min\ pondasi\ group} \quad (12)$$

Hasil dari kontrol *uplift* pondasi didapatkan bahwa pada area sampel pondasi tower 1 sudah aman dan memenuhi.

8) *Biaya Eksisting Material Pondasi Bored Pile*

Biaya yang diperhitungkan dalam perencanaan ini ialah menggunakan biaya eksisting pondasi, dimana pada pengecekan sampel kontrol pondasi sebelumnya pondasi eksisting dinyatakan aman, maka didapatkan Rp 163.613.391.416,72. Hasil rekapitulasi jumlah dan biaya pondasi ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 7.

Output Plaxis Pemodelan Konstruksi Penahan Tanah Alternatif (*Soldier Pile*) Basement Tipe 2 (-12,50 m)

Jenis Konstruksi Penahan Tanah	Volume Tulangan (Kg)	Volume Beton K-450 (Kg)	Harga Tulangan (Rp/Kg)	Harga Beton (Rp/m ³)	Jumlah Harga (Rp)
Secant Pile	56,544	8.085,002	8.767	980.00	7.923.342.876
Soldier Pile	85,324	11.490,416	8.767	980.00	11.260.670.439

Tabel 8.
Dimensi *Secant Pile*

Dimensi	Beton (<i>Secondary Pile</i>)		Satuan
	Tipe 1	Tipe 2	
Panjang <i>Secant Pile</i>	25	27	m
Diameter <i>Secant Pile</i>	1.2	1.2	m
Luas <i>Secant Pile</i>	1.131	1.131	m ²
Volume <i>Secant Pile</i>	28.274	30.536	m ³

Dimensi	Beton (<i>Primary Pile</i>)		Satuan
	Tipe 1	Tipe 2	
Panjang <i>Secant Pile</i>	25	27	m
Diameter <i>Secant Pile</i>	1.2	1.2	m
Luas <i>Secant Pile</i>	1.131	1.131	m ²
Volume <i>Secant Pile</i>	28.274	30.536	m ³

Tabel 9.
Jumlah *Secant Pile*

Zona	Jumlah <i>secant pile</i>	jumlah
Zona 1	15	buah
Zona 2	15	buah
Zona 3	37	buah
Zona 4	26	buah
Zona 5	27	buah
Zona 6	23	buah
Zona 7	29	buah

Zona	Jumlah <i>secant pile</i>	jumlah
Zona 1	15	buah
Zona 2	15	buah
Zona 3	37	buah
Zona 4	26	buah
Zona 5	27	buah
Zona 6	23	buah
Zona 7	29	buah

V. PERENCANAAN KONSTRUKSI PENAHAN TANAH

A. Evaluasi Konstruksi Penahan Tanah Eksisting (*Secant Pile*)

Konstruksi penahan tanah eksisting (*secant pile*) dalam penelitian menggunakan *primary* dan *secondary pile* dengan diameter = 1,2 m dan terdapat 2 tipe perencanaan *secant pile*, yakni konstruksi penahan tanah dengan panjang kedalaman penetrasi *secant pile* 25 m untuk *basement* 1 dengan kedalaman -6,50 m (tipe 1), dan konstruksi penahan tanah dengan panjang kedalaman penetrasi *secant pile* 27 m untuk *basement* 2 dengan kedalaman -12,50 m (tipe 2). Dalam analisis ini, metode yang digunakan untuk input data tanah lempung dan pasir pada aplikasi plaxis yakni dengan *undrained condition* dengan menggunakan nilai parameter C' dan Ø'. Gaya yang terjadi dalam Output Plaxis ditunjukkan dalam Tabel 3 dan Tabel 4.

Setelah didapatkan output hasil pemodelan plaxis, maka dilakukan kontrol sebagai berikut :

1) Kontrol Defleksi

Kontrol defleksi dilakukan untuk mengontrol nilai defleksi maksimum kurang dari nilai defleksi ijin yakni sebesar 32,5 mm untuk *basement* tipe 1, dan 62,5 mm untuk *basement* tipe

Tabel 10.

Volume *Secant Pile*

Zona	Volume <i>secant pile</i>	Satuan (m ³)
Zona 1	857.939	m ³
Zona 2	845.531	m ³
Zona 3	2094.140	m ³
Zona 4	1567.937	m ³
Zona 5	1522.921	m ³
Zona 6	1317.309	m ³
Zona 7	1638.616	m ³

Tabel 11.
Koefisien Alat *Truck Mixer*

Jenis Alat	Koefisien	Satuan
Kapasitas	5	m ³
Produktivitas	0,2437	Jam

2. Perumusan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Defleksi_{maks} < Defleksi_{ijin} \rightarrow OK \tag{13}$$

Dari hasil Tabel 3 dan Tabel 4, didapatkan bahwa nilai defleksi yang terjadi pada setiap tahap penggalian sudah memenuhi syarat.

2) Kontrol Momen

Kontrol momen dilakukan untuk mengontrol nilai momen yang terjadi terhadap momen crack bahan sebesar maksimum kurang dari nilai defleksi ijin pada *basement* 1 dan *basement* 2 yakni sebesar 6531,371 kN.m. Perumusan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Momen_{maks} < Momen_{crack} \rightarrow OK \tag{14}$$

Dari hasil Tabel 3 dan Tabel 4, didapatkan bahwa nilai momen yang terjadi pada setiap tahap penggalian sudah memenuhi syarat.

3) Kontrol Safety Factor (SF)

Kontrol SF dilakukan untuk mengontrol nilai SF pada setiap tahap penggalian. Nilai SF_{ijin} yang digunakan ialah sebesar 1. Perumusan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$SF_{tahap\ penggalian} > SF_{ijin} \rightarrow OK \tag{15}$$

Dari hasil Tabel 3 dan Tabel 4, didapatkan bahwa nilai SF yang terjadi pada setiap tahap penggalian sudah memenuhi syarat.

4) Kontrol Heave

Perumusannya adalah sebagai berikut :

- *Basement* tipe 1 (-6,50 m)

$$1 \times SF(1,2) > I_w \rightarrow OK \tag{15}$$

$$18,50\ m > 14,48\ m \rightarrow OK$$

- *Basement* tipe 2 (-12,50 m)

$$1 \times SF(1,2) > I_w \rightarrow OK \tag{16}$$

$$14,50\ m > 14,48\ m \rightarrow OK$$

Dari hasil analisis kontrol *heave* tersebut didapatkan bahwa panjang penanaman kondisi eksisting *secant pile* pada *basement* tipe 1 dengan kedalaman 25 m, dan panjang penanaman *secant pile* pada *basement* tipe 2 dengan kedalaman 27 m sudah memenuhi syarat.

Tabel 12.
Durasi Pekerjaan Pengecoran *Secant Pile*

Zona	Volume m ³	Koefisien/ <i>Concrete Mixer</i> m ³	Produktivitas/Jam m ³	Jumlah <i>Truck Mixer</i> Unit	Produktivitas :truck/hari (8 jam kerja) m ³ /hari	Durasi (hari)
Zona 1	863.939	0.2437	4.103	2	65.654	14
Zona 2	851.444	0.2437	4.103	2	65.654	13
Zona 3	2108.784	0.2437	4.103	5	164.136	13
Zona 4	1578.901	0.2437	4.103	5	164.136	10
Zona 5	1533.571	0.2437	4.103	5	164.136	10
Zona 6	1326.521	0.2437	4.103	4	131.309	11
Zona 7	1650.075	0.2437	4.103	4	131.309	13

Tabel 13.
Volume Setiap Zona Pekerjaan Galian Tanah

Jumlah Galian	Volume Zona 1 m ³	Volume Zona 2 m ³	Volume Zona 3 m ³	Volume Zona 4 m ³
Galian 1	4605.405	4530.162	4011.697	5208.823
Galian 2	4465.847	4392.884	3890.131	5050.980
Galian 3	4884.520	4804.717	4254.831	5524.510
Galian 4				3946.078
Jumlah Galian	Volume Zona 5 m ³	Volume Zona 6 m ³	Volume Zona 7 m ³	Total Galian m ³
Galian 1	1225.042	2487.131	1139.897	23208.158
Galian 2	1187.920	2411.763	1105.355	22504.880
Galian 3				19468.578
Galian 4				3946.078
Total Galian Seluruh Zona				69127.694

B. Perencanaan Konstruksi Penahan Tanah Alternatif (Soldier Pile)

Konstruksi penahan tanah alternatif direncanakan menggunakan *soldier pile* yang diameter sekunder dan diameter primernya sama seperti *secant pile* yakni 1,2 m. Perencanaan alternatif ini menggunakan analisis *long term* dengan menggunakan nilai C' dan Ø' dalam perhitungannya. Adapun tahapan perencanaannya sebagai berikut:

1) *Perencanaan Panjang Kedalaman Soldier Pile*

Pada perencanaan panjang ini digunakan analisis perhitungan tekanan lateral dan analisis kesetimbangan gaya dengan metode *free standing* dimana kondisi tersebut adalah kondisi terkritis saat dinding penahan tanah belum tersambung dengan struktur lain. Analisis tekanan tanah juga perlu ditambah nilai beban tambahan (*surchage*) sebesar 1 t/m². Perumusan yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Koefisien tekanan tanah aktif dan pasif :

$$Ka = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \tag{17}$$

$$Kp = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \tag{18}$$

- Nilai tegangan vertikal efektif:

$$\sigma_v = \gamma' \times h \tag{19}$$

- Tekanan tanah aktif dan pasif :

$$\sigma_{h_{aktif}} = \sigma_v A_1 \times Ka_1 - 2C' \times \sqrt{Ka_1} \tag{20}$$

$$\sigma_{h_{aktif}} = \sigma_v A_1 \times Ka_1 + 2C' \times \sqrt{Ka_1}$$

Setelah itu dilakukan perhitungan nilai gaya horizontal dengan cara menghitung luasan diagram tegangan dan dilakukan analisis kesetimbangan gaya momen terhadap titik O dengan persamaan $\sum M_o = 0$. Berdasarkan hasil analisis kesetimbangan gaya, didapatkan nilai d = 33,24 meter untuk *basement* tipe 1, dan nilai d = 43,92 meter untuk *basement* tipe 2. Kedalaman penanaman tiang (d) perlu dikalikan SF = 1,2, maka total panjang penanaman untuk *basement* 1 sebesar = 40 m, dan untuk *basement* 2 sebesar = 55 m.

2) *Permodelan Aplikasi Plaxis*

Dalam analisis ini, metode yang digunakan untuk input data tanah lempung dan pasir pada aplikasi plaxis yakni dengan *undrained condition* dengan menggunakan nilai parameter C' dan Ø'. Gaya yang terjadi dalam Output Plaxis ditunjukkan dalam Tabel 5 dan Tabel 6.

Setelah didapatkan output hasil pemodelan plaxis, maka dilakukan kontrol sebagai berikut :

3) *Kontrol Defleksi*

Kontrol defleksi dilakukan untuk mengontrol nilai defleksi maksimum kurang dari nilai defleksi ijin yakni sebesar 32,5 mm untuk *basement* tipe 1, dan 62,5 mm untuk *basement* tipe 2. Perumusan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Defleksi_{maks} < Defleksi_{ijin} \rightarrow OK \tag{15}$$

Dari hasil Tabel 5 dan Tabel 6, didapatkan bahwa nilai defleksi yang terjadi pada setiap tahap penggalian sudah memenuhi syarat.

4) *Kontrol Momen*

Kontrol momen dilakukan untuk mengontrol nilai momen yang terjadi terhadap momen *crack* bahan sebesar maksimum kurang dari nilai defleksi ijin yakni sebesar 5030,818 kN.m. Perumusan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Momen_{maks} < Momen_{crack} \rightarrow OK \tag{15}$$

Dari hasil Tabel 5 dan Tabel 6, didapatkan bahwa nilai momen yang terjadi pada setiap tahap penggalian sudah memenuhi syarat.

5) *Kontrol Safety Factor (SF)*

Kontrol SF dilakukan untuk mengontrol nilai SF pada setiap tahap penggalian. Nilai SF_{ijin} yang digunakan ialah sebesar 1. Perumusan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$SF_{tahap\ penggalian} > SF_{ijin} \rightarrow OK \tag{15}$$

Dari hasil Tabel 5 dan Tabel 6, didapatkan bahwa nilai SF yang terjadi pada setiap tahap penggalian sudah memenuhi syarat.

Tabel 14.

Rekapitulasi Durasi dan <i>Idle Time</i> Pekerjaan Penggalian Tanah		
Galian	Durasi Hari	<i>Idle Time</i> Jam
Galian 1	21	1,067
Galian 2	20	0,941
Galian 3	17	0,816
Galian 4	4	1,811

Tabel 15.

Rekapitulasi Durasi dan <i>Idle Time</i> Pekerjaan Penggalian Tanah		
Galian	Durasi Hari	<i>Idle Time</i> Jam
Galian 1	16	1,416
Galian 2	16	1,616
Galian 3	13	1,203
Galian 4	3	2,030

6) *Kontrol Heave*

Perumusannya adalah sebagai berikut:

- *Basement* tipe 1 (-6,50 m)
 $1 \times SF(1,2) > I_w \rightarrow OK$ (15)

$34,24 \text{ m} > 6,21 \text{ m} \rightarrow OK$

- *Basement* tipe 2 (-12,50 m)
 $1 \times SF(1,2) > I_w \rightarrow OK$ (15)

$41,82 \text{ m} > 14,27 \text{ m} \rightarrow OK$

Dari hasil analisis kontrol *heave* tersebut didapatkan bahwa panjang penanaman kondisi eksisting *soldier pile* pada *basement* tipe 1 dengan kedalaman 40 m, dan panjang penanaman *soldier pile* pada *basement* tipe 2 dengan kedalaman 55 m sudah memenuhi syarat.

7) *Perencanaan Tulangan Soldier Pile*

Berikut merupakan data-data yang digunakan dalam perencanaan tulangan *secant pile*:

- Diameter primer = 120 cm
- Diameter sekunder = 120 cm
- Panjang *soldier pile* = 40 m (tipe 1) dan 55 m (tipe 2)
- $f'c$ = 35 Mpa
- f_y = 400 Mpa

Digunakan program bantu SpColumn dalam merencanakan tulangan pondasi tiang. Hasilnya didapatkan bahwa tulangan yang digunakan adalah 32D25 yang ditunjukkan dalam Gambar 3.

8) *Estimasi Biaya Material Konstruksi Penahan Tanah*

Pada penelitian ini direncanakan anggaran biaya akibat material konstruksi penahan tanahnya saja. Hasil rekapitulasi perbandingan harga konstruksi penahan tanah eksisting dengan alternatif seperti yang ditunjukkan pada Tabel 7.

Maka Dipilih konstruksi *secant pile* untuk pembangunannya karena dari segi biaya lebih efisien yakni seharga Rp 7.923.342.876

C. *Metode Pelaksanaan Secant Pile*

Metode Pelaksanaan konstruksi penahan tanah jenis *secant pile* ini dilaksanakan dengan menggunakan penggalian sistem *top-down* seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4 [5].

VI. PENJADWALAN MOBILISASI MATERIAL

Proyek konstruksi merupakan salah satu bentuk kegiatan yang berlangsung dalam jangka waktu terbatas, dengan sumber daya tertentu, untuk mencapai hasil dalam bentuk bangunan atau infrastruktur. Dalam pelaksanaan proyek

konstruksi sering terjadi keterlambatan, salah satu faktornya ialah permasalahan terhadap mobilisasi material. Mobilisasi material adalah suatu kegiatan pekerjaan konstruksi yang mengakibatkan aktivitas keluar masuknya alat berat pada proyek.

Oleh karena itu, proyek apartemen X yang berada di pusat kota Surabaya, yakni terletak pada Jl. Embong Gayam – Jl. Embong Sawo, Surabaya, perlu perencanaan penjadwalan mobilisasi material agar tidak menimbulkan keterlambatan proyek akibat kemacetan dalam pelaksanaan pekerjaan proyek tersebut. Pekerjaan mobilisasi yang dimaksud meliputi pekerjaan pengangkutan material beton untuk konstruksi penahan tanah yang terpilih, serta pekerjaan pengangkutan material tanah dari hasil pekerjaan penggalian tanah.

A. *Perencanaan Zona Pekerjaan*

Dalam pelaksanaan pekerjaan mobilisasi material pada proyek ini digunakan metode zoning untuk mengefektifkan proses mobilisasi masuk dan keluarnya material. Terdapat 7 zona pekerjaan dikarenakan lahan yang cukup luas guna memudahkan penggunaan alat pada lapangan. Tahap pekerjaan dibagi menjadi 7 zona seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

B. *Penjadwalan Pengangkutan Material Beton*

1) *Perhitungan Volume Material Beton*

Penjadwalan mobilisasi material beton dilakukan untuk memenuhi lingkup pekerjaan pengecoran dari konstruksi penahan tanah yang terpilih (*secant pile*). Dimensi dari masing-masing tipe *secant pile* yang ditunjukkan pada Tabel 8.

Secant pile yang dicor menggunakan beton keliling luasan proyek memiliki dimensi sama, namun memiliki kedalaman yang berbeda-beda. Jumlah *Secant Pile* pada setiap zona berbeda seperti yang ditunjukkan pada Tabel 9.

Volume beton yang dibutuhkan untuk setiap zona adalah volume 1 *secant pile* dikalikan dengan jumlah *secant pile* pada setiap zona seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 10.

2) *Analisis Produktivitas Truck Mixer*

Koefisien *truck mixer* menurut AHSP Kementerian Pekerjaan Umum tahun 2012 ditunjukkan dalam Tabel 11 [6].

3) *Perencanaan Penjadwalan Pengecoran Beton Secant Pile*

Pada penelitian ini direncanakan dalam sehari dilakukan 9 buah alat kerja *truck mixer* yang bekerja dalam sehari dengan durasi 8 jam kerja yang tersebar di beberapa zona. Zona yang pertama dilakukan pekerjaan bersamaan yakni zona 1, 2, 3, zona yang kedua dilakukan bersamaan yakni 4 dan 6 untuk podium, dan zona yang ketiga dilakukan bersamaan yakni ialah zona 5 dan 7. Hasil perencanaannya dapat dilihat pada Tabel 12 dan Gambar 6.

Dari Gambar 6 didapat durasi pekerjaan beton konstruksi penahan tanah (*secant pile*) yakni 38 hari.

C. *Penjadwalan Mobilisasi Material Galian Tanah*

1) *Perhitungan Volume Material*

Luasan penggalian tanah (menggunakan aplikasi autocad), untuk setiap zona, Tahap pekerjaan penggalian tanah dilakukan sebanyak 4 kali, yaitu penggalian tanah mencapai elevasi -3,30 m, -6,50 m, -10 m, dan -12,50 m. volume galian tanah yang diperoleh ditunjukkan dalam Tabel 13.

2) Analisis Produktivitas Excavator dan Dump Truck

Produktivitas *excavator* dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$TP = \frac{KB \times BF \times 60 \times FK}{CT} m^3/jam$$

$$TP = 79,7049 m^3/jam$$

Dimana:

Tp = Taksiran produksi (m³/jam)

BF = Faktor *bucket*

KB = Kapasitas *bucket* (m³)

FK = Faktor koreksi total

CT = *Cycle time* (menit)

Produktivitas *excavator* dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$TP = q \times \frac{60}{cycle\ time} \times E m^3/jam$$

$$TP = 35,393 m^3/jam$$

Dimana:

q = Kapasitas angkut *bucket truck mixer*

E = efisiensi waktu kerja (waktu kerja efektif/60)

Ct = waktu siklus/*cycle time*

Sedangkan perhitungan kebutuhan *dump truck* adalah sebagai berikut:

$$n_d = \frac{TP\ excavator}{TP\ dump\ truck} Unit$$

$$n_d = 3 Unit$$

Maka dibutuhkan 3 *dump truck* dalam pekerjaan pengangkutan tanah.

3) Perencanaan Penjadwalan Penggalian Tanah

Pekerjaan penggalian tanah dilakukan dengan 2 *excavator* pada setiap zona. Rekapitulasi perhitungan durasi pekerjaan penggalian tanah adalah sebagai berikut dan seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 14:

$$t = \frac{Vt}{n \times TP} Jam$$

$$Idle\ time = 8\ Jam - t\ Jam$$

Keterangan:

n = jumlah *excavator* yang diperlukan

Vt = volume pekerjaan

TP = taksiran produksi

T = lama durasi penyelesaian dengan alat

4) Perencanaan Penjadwalan Pengangkutan Tanah

Pekerjaan pengangkutan tanah dilakukan dengan 6 *dump truck* pada setiap zona. Perhitungan durasi pekerjaan pengangkutan tanah adalah sebagai berikut:

$$t = \frac{Vt}{n \times TP} Jam$$

$$Idle\ time = 8\ Jam - t\ Jam$$

Keterangan:

n = jumlah *dump truck* yang diperlukan

Vt = volume pekerjaan

TP = taksiran produksi

T = lama durasi penyelesaian dengan alat

Adapun hasil rekapitulasi penjadwalan dan *idle time* pekerjaan penggalian tanah seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 15.

5) Kesimpulan Durasi Pekerjaan Pengangkutan Hasil Penggalian Tanah

Perencanaan penjadwalan pengangkutan hasil penggalian tanah didapatkan durasi keseluruhan dari pekerjaan pengangkutan dan penggalian tanah yakni selama 62 hari.

VII. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan perencanaan yang telah dilakukan, dapat dihasilkan beberapa kesimpulan sebagai berikut: (1) Berdasarkan kontrol kuat bahan evaluasi pondasi eksisting *raft on pile* yang direncanakan dengan menggunakan diameter 1200 mm pada tower, dan *bored pile* pada podium apartemen menunjukkan sudah mampu menahan beban yang ada di atasnya, dengan biaya Rp. 163.613.391.416; (2) Berdasarkan kontrol *heave* dan kontrol stabilitas, evaluasi konstruksi penahan tanah yang terpilih yakni *secant pile* yang direncanakan dengan diameter 1200 mm sudah aman, dengan memiliki estimasi biaya material yang lebih murah yakni Rp. 7.923.342.876; (3) Perencanaan durasi mobilisasi material proyek Apartemen X Surabaya adalah sebagai berikut: (a) Durasi pengangkutan material beton adalah 38 hari. (b) Durasi pengangkutan tanah pekerjaan penggalian penahan tanah adalah 62 hari.

B. Saran

Saran antara lain;(1)Penjadwalan mobilisasi material hanya dilakukan untuk perencanaan terpilih. Sebaiknya penjadwalan mobilisasi material dilakukan untuk perencanaan eksisting maupun alternatif, dan digunakan sebagai dasar pemilihan alternatif.; (2)Untuk menghindari agar tidak menyebabkan kemacetan pada lingkungan sekitar proyek, mobilisasi material dilakukan pada malam hari. Seharusnya mobilisasi material tetap dilakukan pada jam kerja (pagi–sore hari) namun perlu dilakukan analisa agar mobilisasi tidak menyebabkan kemacetan. perhitungan biaya pengadaan, selanjutnya dapat diperhitungan biaya pelaksanaan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. M. Das, "Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) jilid 1," Erlangga, Jakarta, 1995.
- [2] J. Bowles, *Physical and Geotechnical Properties of Soils*, 2nd ed. New York: Mc Graw – Hill Inc, 1984.
- [3] SNI-2847-2013, *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2013.
- [4] B. S. Nasional, "SNI 8460: 2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik," Jakarta Badan Stand. Nas., 2017.
- [5] N. M. Sari, "Metode pelaksanaan pembangunan proyek apartemen one east Surabaya dengan metode Top-Down," Institut Technology Sepuluh Nopember, 2015.
- [6] K. P. Umum, "Permen No 11-PRT-M-2013," Kementerian. Pekerj. Umum, Jakarta, 2013.