

Perencanaan Pondasi *Bored Pile* dan *Secant Pile* pada *Basement* Sebagai Alternatif Perencanaan Eksisting di Apartemen Tamansari Emerald Citraland Surabaya

Diaz Rachma Isnaeni, Herman Wahyudi, dan Putu Tantri Kumala Sari
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: herman_its@yahoo.com

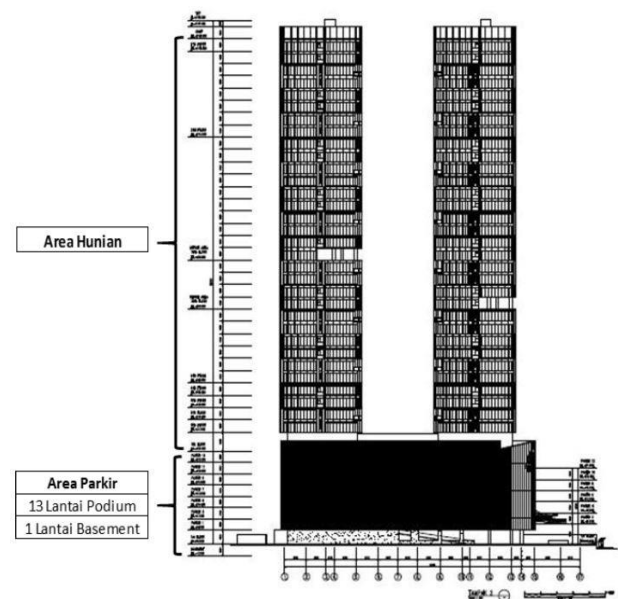
Abstrak—Apartemen Tamansari Emerald berada di jalan Emerald Mansion TX 3 Citraland, Surabaya dan terdiri atas 41 lantai dan 1 lantai *basement*. Pondasinya menggunakan *raft foundation* dengan pondasi tiang tipe *spun pile* berdiameter 60 cm. Adapula dinding penahan tanah pada *basement* ditanam sedalam 3,55 meter dengan tebal 25 cm. Jenis tanah pada apartemen ini dominan lempung yang memiliki potensi kembang susut dan muka air tanahnya berada pada -0,5 meter dari muka tanah. Demi mendapatkan perencanaan terbaik, dilakukan evaluasi eksisting dan perencanaan alternatif untuk pondasi dan dinding penahan tanah. Berdasarkan hasil evaluasi eksisting diketahui bahwa pondasi eksisting memiliki hasil yang kurang memuaskan dari segi aksial. Sedangkan pada dinding penahan tanah, semua aspek sudah memuaskan. Perencanaan alternatif pondasi dengan tipe *bored pile* berdiameter 80 cm direncanakan panjang penanaman tiang -60 m dari permukaan tanah untuk area tower dengan tebal dasar *basement* 3,95 meter. Pada area podium panjang penanaman tiang -46,5 m (*pilecap* tipe C-K) dan -40 m (*pilecap* tipe L) dari permukaan tanah dengan tebal *pilecap* 1,2 meter. Lalu, hasil perencanaan alternatif konstruksi penahan tanah dengan *secant pile* digunakan diameter *primary pile* 0,8 m dan *secondary pile* 1 m dengan panjang total 12,65 m. Berdasarkan analisis volume material, didapatkan kebutuhan volume alternatif pondasi *bored pile* sebesar 317,179 m³ untuk besi tulangan dan 27581,860 m³ volume beton, serta struktur dinding penahan tanah eksisting dengan volume material besi tulangan 9,895 m³ dan volume beton 280,260 m³. Hal tersebut menjadikan perencanaan alternatif *bored pile* dan dinding penahan tanah eksisting merupakan perencanaan terbaik.

Kata Kunci—Tanah Kembang Susut, Pondasi, Dinding Penahan Tanah, *Bored Pile*, *Secant Pile*.

I. PENDAHULUAN

JUMLAH penduduk di Surabaya mengalami peningkatan tiap tahunnya seperti pada data Badan Pusat Statistika Jawa Timur tahun 2018 bahwa laju pertumbuhan penduduk dari tahun 2016 ke tahun 2017 sebesar 0,43%. Hal ini menyebabkan kebutuhan lahan semakin meningkat namun tidak diimbangi dengan jumlah ketersediaan lahan. Adapun alternatif solusi pengoptimalan lahan yaitu pembangunan gedung arah vertikal ke atas dan ke bawah dengan salah satu contohnya adalah gedung Apartemen Tamansari Emerald dengan pembangunan vertikal arah bawah yaitu *basement*.

Apartemen Tamansari Emerald dibangun oleh kontraktor PT Wijaya Karya Bangunan Gedung (Persero) Tbk yang berlokasi di jalan Emerald Mansion TX3 Citraland, Surabaya. Proyek apartemen ini akan dibangun sebanyak 41 lantai yang berfungsi sebagai area hunian dan lahan parkir

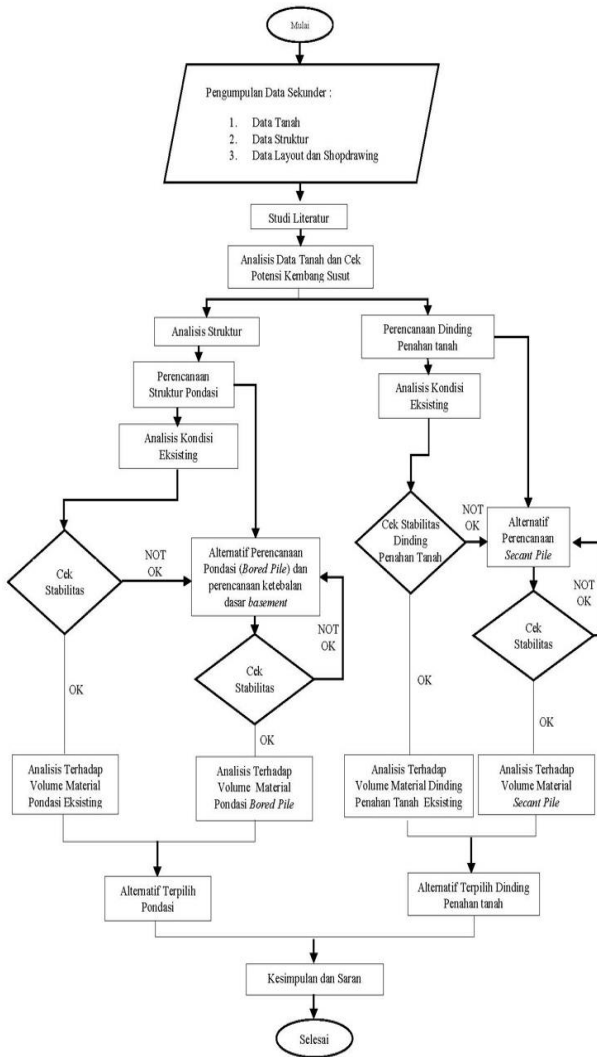


Gambar 1. Struktur Bangunan Apartemen Tamansari Emerald.

ditambah 1 lantai ke bawah untuk *basement* (Gambar 1). Metode galian tanah yang digunakan adalah *bottom up* dengan kedalaman lantai *basement* 3,55 meter. Dinding penahan tanah dibangun sedalam lantai *basement* dengan ketebalan 25 cm tanpa angkur. Pondasi yang dipakai yaitu *raft foundation* dengan pondasi tiang tipe *spun pile* diameter 60 cm dan ditanam hingga kedalaman -48 meter dari muka tanah.

Terdapat 2 titik bor penyelidikan tanah yaitu pada BH-1 hingga kedalaman -60 meter dan BH-2 hingga kedalaman -40 meter yang keduanya menunjukkan jenis tanah pada lokasi studi dominan lempung. Muka air tanah berada pada -0,5 meter dari muka tanah. Berdasarkan hasil uji laboratorium mengenai batas Atterberg yang meliputi nilai indeks plastisitas (IP) dan nilai batas cair (LL), hasil plotting klasifikasi tanah menggunakan klasifikasi Cassagrande menunjukkan bahwa jenis tanah di lokasi studi adalah tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi dimana akan berpengaruh pada volume dan kekuatan tanah [1].

Melihat kondisi eksisting di atas, maka perlu dilakukan analisis potensi kembang susut tanah pada proyek juga kondisi eksisting pondasi dan konstruksi penahan tanah. Demi mendapatkan perencanaan terbaik, juga dilakukan analisis perencanaan alternatif pondasi menggunakan *bored pile* dan konstruksi penahan tanah menggunakan *secant pile* yang akan dibandingkan dari segi kebutuhan volume material



Gambar 2. Diagram Alir Perencanaan.

dengan perencanaan eksisting pada Apartemen Tamansari Emerald.

II. METODOLOGI

Tahapan perencanaan tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 2.

III. ANALISIS DATA TANAH DAN STRUKTUR ATAS

A. Data Tanah

Data tanah yang digunakan dalam perencanaan ini didapatkan dari hasil analisis data tanah dua titik bor yang sudah dilakukan analisis koefisien variasi (CV), distribusi statistik serta korelasi data tanah dengan menggunakan tabel Bowless [2], tabel Biarez, serta tabel Das [3]. Hasil analisis tersebut tercantum pada Tabel 1.

B. Analisis Potensi Kembang Susut

Berdasarkan data tanah pada Tabel 1, dilakukan analisis potensi kembang susut menggunakan grafik klasifikasi tanah Cassagrande yang telah dimodifikasi, grafik sistem Merwe, Variasi indeks plastisitas menurut Skempton, aktivitas tanah [4], hubungan persen IP dengan LL [5], serta persen mengembang dengan potensi pengembangan didapatkan bahwa tanah pada lokasi studi berpotensi kembang susut yang

Tabel 1. Rekapitulasi Data Tanah

Parameter Tanah	Kedalaman (m)					
	0-4	4-7	7-11	11-19	19-44	44-60
NSPT	3	5	9	14	21	30
γ_{sat} (t/m^3)	1,676	1,678	1,698	1,726	1,742	1,806
C_c	0,640	0,823	0,895	0,634	0,150	0,141
ϕ' (°)	1,8	3,03	5,73	9,12	13,78	19,74
C' (kg/cm^2)	0,102	0,167	0,327	0,433	0,595	1,020
LL (%)	74,18	74,18	73,33	75,01	74,47	70,71
PL (%)	32,77	32,77	33,72	32,07	32,96	34,56
IP (%)	41,42	41,42	39,61	42,93	41,43	36,16

cukup tinggi dengan nilai *swelling presure*nya (P_s) sebesar $0,569 t/m^2$ [6].

C. Struktur Atas

Data struktur atas digunakan data sekunder dari perencana struktur menggunakan program bantu ETABS. Dari data tersebut digolongkan menjadi 2 area struktur yaitu area tower dan area podium.

IV. PERENCANAAN PONDASI

A. Analisis Pondasi Eksisting

Pondasi eksisting pada Apartemen Tamansari Emerald digunakan *raft on pile* dengan diameter pile 60 cm produk dari PT WIKA Beton yang ditanam sedalam -48 meter dari muka tanah. Tahapan analisisnya adalah sebagai berikut.

1) Daya Dukung Tanah Pondasi Dalam

Dilakukan perhitungan daya dukung hanya pada pondasi dalam saja dengan $SF = 3$ dan menggunakan 2 metode yaitu Metode Meyerhof dan Bazara:

$$Q_{ult} = C_n \times A + \sum C_{l1} \times A_{s_i} \tag{1}$$

Didapatkan nilai daya dukungnya sebesar 278,7 ton pada area podium dan 286,71 ton pada area tower.

Metode Luciano Decourt :

$$Q_{ult} = a(N_p \times K) \times A_p + \beta \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) \times A_s \tag{2}$$

Didapatkan nilai daya dukungnya sebesar 166,845 ton pada area podium dan 170,168 ton pada area tower. Dengan nilai daya dukung yang digunakan pada perencanaan adalah daya dukung yang telah dibagi SF.

$$Q_{ijin} = Q_{ult} / SF \tag{3}$$

2) Kontrol Kapasitas 1 Tiang

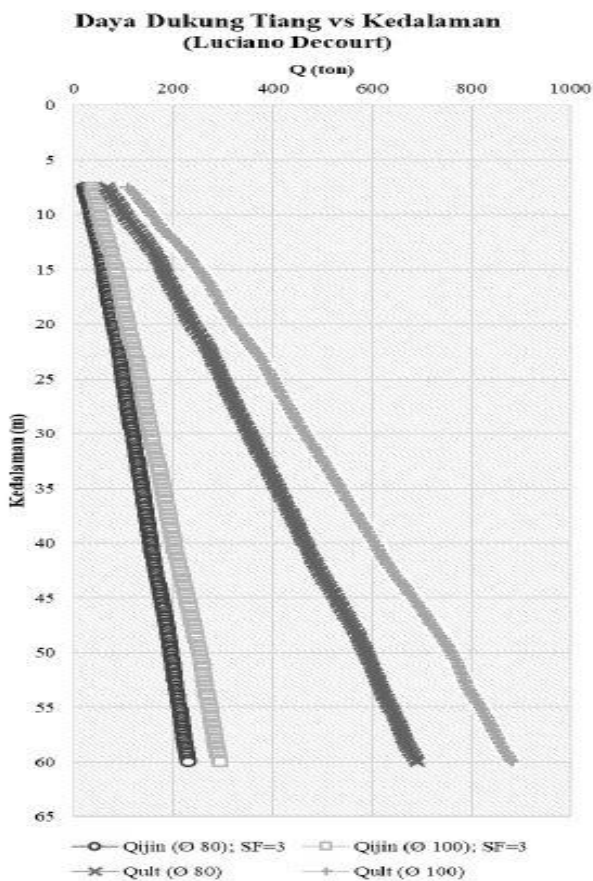
Perlu dilakukan kontrol terhadap kapasitas 1 tiang baik P_{maks} dimana merupakan kontrol terhadap ketahanan aksial dan P_{min} yang merupakan kontrol kuat tarik 1 tiang. Perumusannya adalah sebagai berikut:

$$P_{maks,min} = \frac{P}{n} \pm \frac{M_y \cdot X}{\sum X^2} \pm \frac{M_x \cdot Y}{\sum X^2} \tag{4}$$

Dimana kontrol yang dilakukan pada P_{maks} dan P_{min} yaitu:

$$P_{maks} \{ Q_{ijin} \tag{5}$$

$$P_{min} \{ Q_{sijin} \tag{6}$$



Gambar 3. Daya Dukung Bored Pile vs Kedalaman pada Area Tower.

Hasil dari kontrol kapasitas 1 tiang didapatkan bahwa pada area tower semua titik sudah memenuhi sedangkan pada area podium masih terdapat 16 titik yang belum memenuhi pada pengujian beban aksial maksimum (Pmaks) serta 5 titik yang belum memenuhi pengujian kontrol kuat tarik maksimum (Pmin) jika menggunakan daya dukung ijin metode Luciano decourt dengan SF=3 [7].

3) Kontrol Pondasi Tiang Dalam Kelompok

Pada kontrol ini perlu dilakukan koreksi terhadap nilai efisiensi tiang. Berikut merupakan perumusannya. Efisiensi Converse Labarre:

$$Ef = 1 - archan \frac{D}{s} x \frac{(n - 1)m + (m - 1)n}{90xmxn} \quad (7)$$

Efisiensi Los Angeles:

$$Ef = 1 - \frac{D}{\pi s x n x m} x (n(m - 1) + m(n - 1) + \sqrt{2}(n - 1)(m - 1)) \quad (8)$$

Efisiensi Seiler Keeney:

$$Ef = \left(1 - \frac{36s}{75s^2 - 7} x \frac{(m + n - 2)}{(m + n - 1)}\right) + \frac{0,3}{m + n} \quad (9)$$

Dari ketiga rumusan diatas didapatkan nilai efisiensi Seiler Keeney paling kritis sehingga perumusan tersebut yang digunakan dalam kontrol pondasi tiang dalam kelompok. Hasilnya didapatkan 28 titik pada area podium serta pada tower A dan B belum memenuhi kontrol jika digunakan daya dukung ijin metode Luciano Decourt dengan SF = 3 [7].

4) Kontrol Kekuatan Tiang Terhadap Gaya Lateral

Pondasi juga perlu didesain untuk mampu menahan gaya ateral baik defleksi maupun momen. Berikut merupakan perumusannya:

Menentukan faktor kekakuan relatif (T)

Tabel 2. Jumlah Kebutuhan Tiang dan Konfigurasinya

Tipe Pilecap	Jumlah Tiang	Konfigurasi Tiang		Dimensi Pilecap	
		Kolom	Baris	P (m)	L (m)
Tipe A	272	16	17	31,6	33,6
Tipe B	270	15	18	29,6	35,6
Tipe C	35	7	5	13,6	9,6
Tipe D	48	6	8	13,6	18,4
Tipe E	12	6	2	13,6	4
Tipe F	9	9	1	17,6	1,6
Tipe G	27	9	3	20,8	6,4
Tipe H	24	8	3	18,4	6,4
Tipe I	4	4	1	8,8	6,4
Tipe J	10	10	1	23,2	1,6
Tipe K	3	3	1	5,6	1,6
Tipe L	1	1	1	1,6	1,6

Tabel 3. Rekapitulasi Kontrol Tiang Terhadap Gaya Lateral

Area	Tipe	Kontrol Defleksi		Kontrol Momen	
		Defleksi (mm)	Ket.	Momen (m)	Ket.
Tower	A	2,611	OK	4,809	OK
Tower	B	2,822	OK	5,197	OK
Podium	C	0,810	OK	1,204	OK
Podium	D	0,152	OK	0,226	OK
Podium	E	0,421	OK	0,626	OK
Podium	F	4,103	OK	6,101	OK
Podium	G	0,508	OK	0,755	OK
Podium	H	0,592	OK	0,880	OK
Podium	I	1,814	OK	2,696	OK
Podium	J	2,974	OK	4,422	OK
Podium	K	10,445	OK	15,528	OK
Podium	L	10,663	OK	15,853	OK

$$T = \left(\frac{El}{f}\right)^{0,2} \quad (10)$$

Menentukan nilai defleksi tiang

$$\delta p = F\delta \frac{PT^3}{El} < 12 \text{ mm} \quad (11)$$

Menentukan nilai momen tiang

$$Mp = Fm.P.T < 17 \text{ tm} \quad (12)$$

Hasil kontrol lateral ini semua titik pada area tower maupun podium sudah memenuhi.

5) Kontrol Penurunan Tiang Dalam Kelompok

Kontrol penurunan ini perlu dilakukan utamanya pada tanah jenis lempung. Penurunan mulai terjadi pada kedalaman 2/3L tiang pondasi. Berikut merupakan perumusannya:

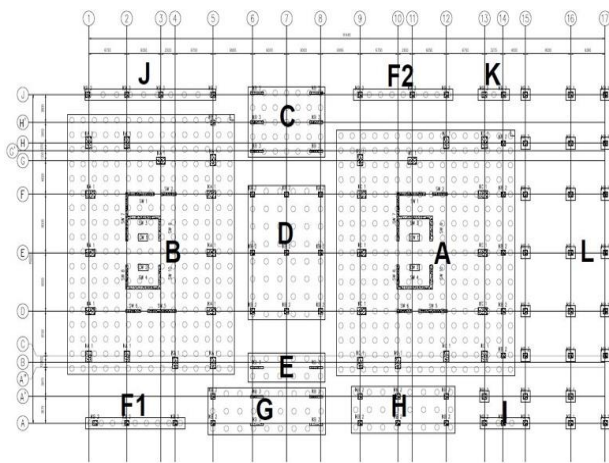
$$Sc = \frac{Cc x H}{1 + e_0} \log \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_0}\right) \quad (13)$$

Nilai penurunan ini nantinya akan dibandingkan dengan nilai penurunan ijin. Namun dikarenakan pondasi tiang dalam kelompok sudah mencapai lapisan tanah keras, maka penurunan yang terjadi sangat kecil atau bahkan tidak ada.

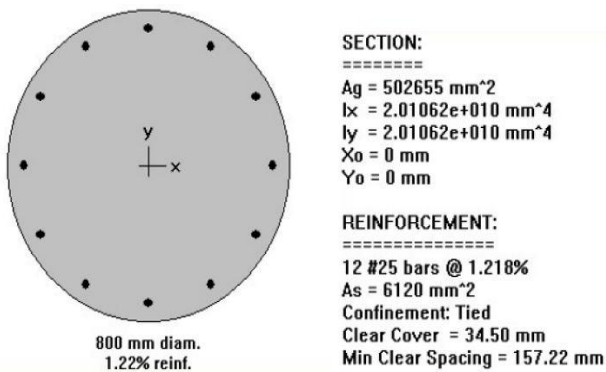
6) Kontrol Uplift Pada Raft/Pilecap

Perlu juga dianalisis pada bagian dasar basement yaitu raft dan pilecap untuk meninjau kestabilannya terhadap gaya angkat tanah baik karena air maupun potensi kembang susut. Perumusannya adalah sebagai berikut:

$$FS = \frac{W_{struktur} + \frac{Qs}{3}}{(H_w x \gamma_w x A) + Ps} \quad (14)$$



Gambar 4. Perencanaan Konfigurasi Tiang Alternatif.



Gambar 5. Perencanaan Tulangan Bored Pile.

Hasil dari kontrol *uplift* didapatkan bahwa semua titik baik pada area tower maupun podium sudah memenuhi [7].

B. Perencanaan Alternatif Pondasi (Bored Pile)

Alternatif pondasi direncanakan menggunakan *bored pile* dengan f_c 40 Mpa, yang juga akan dibagi menjadi 2 area yaitu area tower dengan ketebalan *raft* 3,95 meter dan area podium dengan ketebalan *pilecap* 1,2 m. Tahapan analisis perencanaan alternatif pondasi adalah sebagai berikut.

1) Daya Dukung Pondasi Dalam

Daya dukung pondasi yang digunakan dalam perencanaan alternatif adalah berdasarkan perumusan metode Luciano Decourt dengan diameter 80 cm karena merupakan perhitungan paling kritis jika dibanding metode Meyerhof dan Bazaraa. Dilakukan perhitungan daya dukung terhadap 2 area yaitu area tower dan podium. Hasil perhitungan pada area tower disajikan dalam Gambar 3.

2) Kontrol Pondasi Tiang Dalam Kelompok

Pada perencanaan pondasi tiang dalam kelompok dilakukan penanaman pondasi sesuai dengan area pada lokasi studi. Pada area tower direncanakan penanaman tiang hingga -60 meter dari muka tanah dengan daya dukung sebesar 230,58 ton. Pada area podium direncanakan penanaman tiang hingga -46,5 meter dari muka tanah dengan daya dukung 177,88 ton pada *pilecap* tipe C-K, serta penanaman hingga -40 meter dari muka tanah dengan daya dukung 151,63 ton pada *pilecap* tipe L. Direncanakan pula jarak antar tiang pada *raft* dan *pilecap* yaitu 2 meter dan 2,4 meter. Rekapitulasi jumlah kebutuhan tiang dan dimensi *pilecap*nya tersaji pada Tabel 2.

Perencanaan alternatif untuk konfigurasi pondasi tiang yang baru, dibagi menjadi beberapa tipe *raft/pilecap* pada

Tabel 4. Rekapitulasi Penurunan Tiang Dalam Kelompok

Area	Tipe	Sc (cm)	Sc _{ijin} (cm)	Keterangan
Tower	A	4,313	20,267	OK
Tower	B	4,300	19,933	OK
Podium	C	10,721	16,600	OK
Podium	D	12,907	17,267	OK
Podium	E	8,262	15,667	OK
Podium	F	8,302	15,267	OK
Podium	G	8,648	16,067	OK
Podium	H	5,994	16,067	OK
Podium	I	6,184	15,267	OK
Podium	J	8,055	15,267	OK
Podium	K	6,139	15,267	OK
Podium	L	1,832	15,267	OK

Tabel 5. Rekapitulasi Kontrol *Uplift*

Area	Tipe	SF	SF _{ijin}	Keterangan
Tower	A	2,193	1,5	OK
Tower	B	2,194	1,5	OK
Podium	C	1,816	1,5	OK
Podium	D	1,763	1,5	OK
Podium	E	1,969	1,5	OK
Podium	F	2,348	1,5	OK
Podium	G	1,844	1,5	OK
Podium	H	1,850	1,5	OK
Podium	I	2,407	1,5	OK
Podium	J	2,333	1,5	OK
Podium	K	2,476	1,5	OK
Podium	L	2,947	1,5	OK

area tower dan podium seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.

Berdasarkan perencanaan pondasi tiang dalam kelompok, dilakukan kontrol dengan menggunakan rumusan efisiensi Seiler Keeney karena didapatkan nilainya paling kritis. Dengan kontrol sebagai berikut.

$$Q_{ijin(grup)} = P_{ijin} \times Ef \times n \tag{15}$$

$$Q_{ijin(grup)} > P \tag{16}$$

Hasil kontrol tersebut didapatkan semua titik pada masing-masing tipe *raft/pilecap* sudah memenuhi [7].

3) Kontrol Kapasitas 1 Tiang

Seperti kontrol kapasitas 1 tiang pada analisis pondasi eksisting, dilakukan kontrol terhadap beban aksial maksimum (Pmaks) serta kuat tarik maksimum (Pmin). Hasil analisis yang didapatkan, untuk semua titik perencanaan pondasi alternatif sudah aman terhadap beban yang bekerja [7].

4) Kontrol Kekuatan Tiang Terhadap Gaya Lateral

Perumusan kuat tiang terhadap gaya lateral sama seperti pada kontrol pondasi eksisting. Hasil analisis didapatkan pada perencanaan alternatif pondasi semua nilai defleksi dan momen sudah memenuhi batas yang diijinkan dimana nilai defleksi ijin sebesar 12 mm dan momen *crack* sebesar 20,099 tm [7]. Hasil rekapitulasi tersebut tercantum pada Tabel 3.

5) Kontrol Penurunan Tiang Dalam Kelompok

Didapatkan hasil analisis terhadap penurunan tiang dalam kelompok tercantum dalam Tabel 4.

6) Kontrol Uplift Pada Raft/Pilecap

Rumusan yang digunakan sama seperti kontrol *uplift* pada pondasi eksisting dengan hasil kontrolnya tersaji pada Tabel 5.

7) Perencanaan Tulangan

Pada perencanaan ini, dilakukan pada pondasi tiang (*bored*

Tabel 6.
Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Raft/Pilecap

Area	Tipe	Kebutuhan tulangan (m)	
		Arah X	Arah Y
Tower	A	D32-100	D32-100
Tower	B	D32-100	D32-100
Podium	C	D29-100	D29-100
Podium	D	D29-100	D29-100
Podium	E	D29-100	D29-100
Podium	F	D29-100	D29-100
Podium	G	D29-100	D29-100
Podium	H	D29-100	D29-100
Podium	I	D29-100	D29-100
Podium	J	D29-100	D29-100
Podium	K	D29-100	D29-100
Podium	L	D29-100	D29-100

Tabel 7.
Output Permodelan Dinding Penahan Tanah Eksisting Pada Plaxis

Tahap	SF	Posisi DPT	Output			
			Defleksi (mm)	Momen (kNm)	Geser (kN)	Aksial (kN)
Galian	2,319	-	-	-	-	-
Akhir	6,669	Kanan	14,95	47,67	51,7	-66,83
	6,669	Kiri	14,4	47,58	-51,56	-66,87

pile) dan raft/pilecap. Berikut ulasannya.

Bored pile:

- Diameter = 80 cm
- f'c = 40 Mpa
- fy = 390 Mpa
- Pmaks 1 tiang = 1744,55 kN
- Mmaks 1 tiang = 132,6 kNm

Digunakan program bantu SpColumn dalam merencanakan tulangan pondasi tiang. Hasilnya didapatkan bahwa tulangan yang digunakan adalah 12D25 pada Gambar 5.

Raft/Pilecap :

Dilakukan perencanaan tulangan arah x dan y pada semua tipe raft dan pilecap pondasi alternatif. Hasil rekapitulasinya tersaji pada Tabel 6.

Hasil perencanaan pondasi alternatif bored pile pada pilecap tipe L dengan jumlah tiang sebanyak 1 buah dapat dilihat pada Gambar 6.

V. PERENCANAAN DINDING PENAHAN TANAH

A. Analisis Dinding Penahan Tanah Eksisting

Dalam analisis ini, digunakan input data tanah dengan undrained condition metode A dengan menggunakan parameter effective strength yaitu C' dan ϕ'. Output Plaxis mengenai gaya-gaya yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 7.

Setelah didapatkan output permodelan, kemudian dilakukan beberapa kontrol sebagai berikut.

1) Kontrol Defleksi

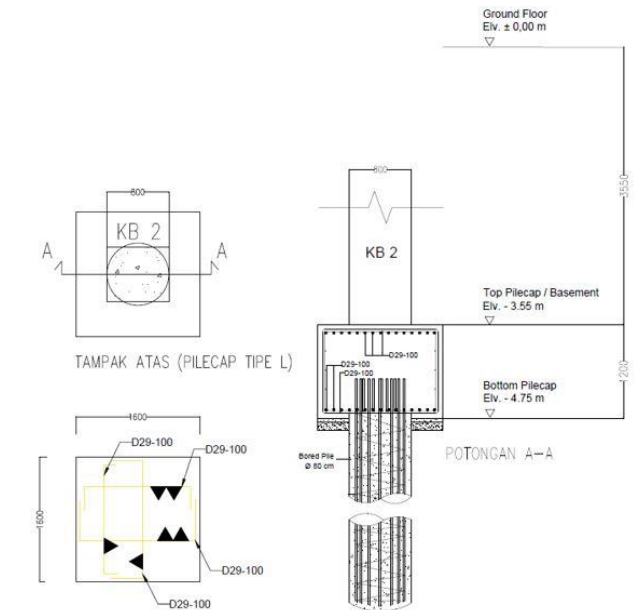
Hasil kontrol didapatkan bahwa nilai defleksi maksimum masih memenuhi defleksi ijin.

$$Defleksi_{maks} < Defleksi_{ijin} \tag{17}$$

$$3,09 \text{ mm} < 35,55 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

2) Kontrol Momen

Kontrol momen dilakukan untuk mengontrol nilai momen yang terjadi terhadap momen crack bahan sebesar 3,537 tm. Perumusan yang digunakan adalah sebagai berikut.



Gambar 6. Detail Perencanaan Alternatif Pondasi pada Pilecap Tipe L.

$$Momen_{maks} < Momen_{crack} \tag{18}$$

$$7,041 \text{ tm} < 3,537 \text{ tm (NOT OK)}$$

Dari hasil tersebut didapatkan nilai momen masih melebihi momen crack bahan, namun jika ditinjau secara keseluruhan struktur, sudah didapatkan nilai SF sebesar 6,669.

3) Kontrol Safety Factor (SF)

Output permodelan Plaxis pada dinding penahan tanah eksisting berdasarkan Tabel 7, adalah sebagai berikut :

- SF tahap galian = 2,319 > 1 (OK)
- SF tahap akhir = 6,669 > 1 (OK)

Hasil di atas menunjukkan bahwa stabilitas keseluruhan struktur basement dengan dinding penahan tanah eksisting sudah aman karena nilai SF > 1.

4) Kontrol Heave

Perumusannya adalah sebagai berikut.

$$(ixSF)(i_w) \tag{19}$$

$$5,463 < 0,676 \text{ (NOT OK)}$$

Dari hasil analisis tersebut didapatkan panjang penanaman dinding penahan tanah masih belum memenuhi. Namun pada kondisi eksisting dinding penahan tertanam dalam pilecap yang dibawahnya terdapat pondasi tiang, maka kontrol heave dianggap aman karena gaya rembesan air tertahan oleh pilecap dan pondasi tiang.

B. Perencanaan Dinding Penahan Tanah Alternatif

Dinding penahan tanah alternatif direncanakan menggunakan secant pile yang diameter sekundernya sebesar 1 meter dan diameter primernya sebesar 0,8 meter dengan analisis perhitungan tekanan lateral menggunakan data tanah kondisi long term yaitu dengan nilai C' dan ϕ'. Berikut merupakan tahapan perencanaannya.

1) Perencanaan Panjang Secant Pile

Pada perencanaan panjang ini digunakan analisis perhitungan tekanan lateral dan analisis kesetimbangan gaya dengan metode free standing dimana kondisi tersebut adalah kondisi terkritik saat dinding penahan tanah belum

Tabel 8.
Output Permodelan *Secant Pile* Pada Plaxis

Kondisi	Tahapan	SF	Output			
			Defleksi (mm)	Momen (kNm)	Geser (kN)	Aksial (kN)
1	Galian	1,188	-	-	-	-
	Akhir	1,965	58,83	72,75	125,95	-318
2	Galian	1,166	-	-	-	-
	Akhir	1,823	64,33	177,63	146,15	-316

tersambung dengan struktur lain. Ilustrasi perencanaan tersaji pada Gambar 7.

Analisis tekanan tanah juga perlu ditambah nilai beban *surchage* sebesar 1 t/m² dan nilai *pressure swelling* sedalam dinding *basement* dengan panjang penanaman dinding penahan adalah sepanjang Do. Berikut merupakan perumusannya

Koefisien tekanan tanah aktif dan pasif:

$$Ka = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \tag{20}$$

$$Kp = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) \tag{21}$$

Nilai tegangan vertikal efektif :

$$\sigma_v = \gamma \times h \tag{22}$$

Tekanan tanah aktif dan pasif :

$$\sigma_{h_a} = \sigma_v \times Ka - 2C\sqrt{Ka} \tag{23}$$

$$\sigma_{h_p} = \sigma_v \times Kp + 2C\sqrt{Kp} \tag{24}$$

Setelah dilakukan analisis tekanan tanah aktif dan pasif, kemudian digambarkan diagram tegangan horizontal dinding penahan tanah seperti pada Gambar 7 di atas. Setelah itu dilakukan perhitungan nilai gaya horizontal dengan cara menghitung luasan diagram tegangan dan dilakukan analisis kesetimbangan gaya momen terhadap titik O dengan persamaan $\sum Mo = 0$. Berdasarkan hasil analisis kesetimbangan gaya, didapatkan nilai d = 4,132 meter [7].

Kedalaman penanaman tiang (Do) sebesar 7,582 meter dan perlu dikali SF sebesar 1,2 untuk perencanaan dinding penahan tanpa angkur. Maka total panjang penanaman: D=1,2(7,584) = 9,089 meter

Sehingga panjang total perencanaan *secant pile* (L) yaitu panjang kedalaman *basement* dijumlah dengan panjang penanaman dan didapatkan 12,65 meter.

2) Permodelan *Secant Pile* Pada Plaxis

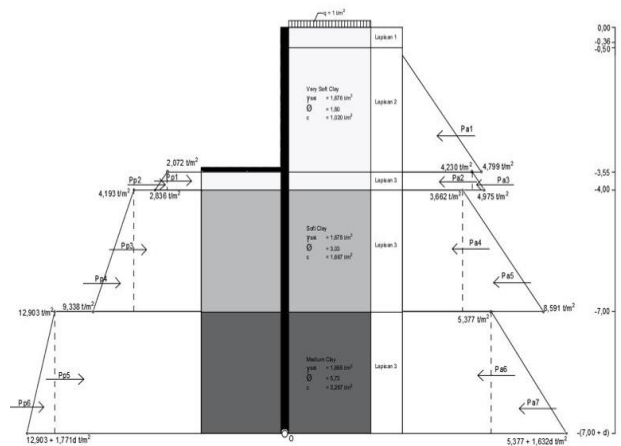
Dilakukan 2 kali permodelan pada Plaxis, yaitu saat kondisi 1 dimana posisi MAT menyesuaikan bentuk galian yang opencut, dan kondisi 2 dimana posisi MAT lurus seperti kondisi normal. Dilakukan pula pengecekan terhadap *slope stability* serta stabilitas *secant pilenya* sendiri. Input data baik tanah maupun material disesuaikan dengan ketentuan Plaxis [7]. Hasil *output* Plaxis dapat dilihat pada Tabel 8. Kemudian dilakukan beberapa kontrol seperti berikut.

• Kontrol Defleksi

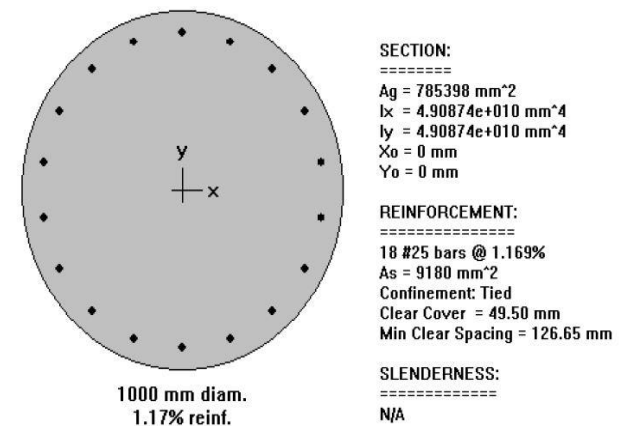
Defleksi ijin dan perumusan kontrol defleksi sama seperti kontrol defleksi dinding penahan tanah eksisting. Berikut analisisnya

Kondisi 1:
58,83 mm < 35,55 mm (NOT OK)

Kondisi kesatuan utuh struktur *basement* :



Gambar 7. Ilustrasi Perencanaan *Secant Pile* dan Diagram Tegangan Tanah Horizontal.



Gambar 8. Perencanaan Tulangan *Secant Pile*.

64,33 mm < 35,55 mm (NOT OK)

Hasil di atas didapatkan nilai yang masih melebihi batas ijin. Namun apabila ditinjau stabilitas struktur secara keseluruhan didapatkan nilai SF pada berbagai kondisi dan semua tahapan sudah aman yaitu > 1.

• Kontrol Momen

Perumusan kontrol momen yang digunakan sama seperti kontrol momen dinding penahan tanah eksisting. Nilai momen *crack* sebesar 38,497 tm [7]. Berikut analisisnya

Kondisi 1 :
7,275 tm < 38,497 tm (OK)

Kondisi 2 :
17,763 tm < 38,497 tm (OK)

• Kontrol Safety Factor (SF)

Output permodelan Plaxis pada dinding penahan tanah eksisting berdasarkan Tabel 8, adalah sebagai berikut :

Kondisi 1 :
• SF tahap galian = 1,188 > 1 (OK)
• SF tahap akhir = 1,965 > 1 (OK)

Kondisi 2 :
• SF tahap galian = 1,166 > 1 (OK)
• SF tahap akhir = 1,823 > 1 (OK)

Hasil di atas menunjukkan bahwa stabilitas keseluruhan struktur *basement* dengan *secant pile* sudah aman karena nilai SF > 1.

• Kontrol Heave

Perumusan yang digunakan sama seperti kontrol pada dinding penahan tanah eksisting. Berikut analisisnya
0,402 < 0,932 (OK)

Berdasarkan hasil analisis dan kontrol dinding penahan tanah alternatif dengan *secant pile*, dapat dilihat bahwa semua kontrol telah memenuhi. Sehingga perencanaan *secant pile* dapat digunakan.

3) Perencanaan Tulangan *Secant Pile*

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

Diameter primer = 80 cm

Diameter sekunder = 100 cm

Panjang *secant pile* = 12,65 m

f'_c = 40 Mpa

f_y = 390 Mpa

$P_{maks\ 1\ tiang}$ = 10 kN

$M_{maks\ 1\ tiang}$ = 400,76 kNm

Digunakan program bantu SpColumn dalam merencanakan tulangan pondasi tiang. Hasilnya didapatkan bahwa tulangan yang digunakan adalah 18D25 pada Gambar 8.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut: (1) Analisis potensi kembang susut tanah pada lokasi studi cukup tinggi dengan nilai *swelling pressure* (P_s) 0,569 t/m². (2) Hasil analisis perencanaan eksisting pondasi masih ada beberapa titik yang belum memenuhi syarat jika digunakan metode Luciano Decourt dengan SF =3 pada kontrol kapasitas 1 tiang dan pondasi dalam kelompok. Untuk kontrol lainnya sudah memenuhi. Hasil analisis perencanaan dinding penahan tanah eksisting sudah memenuhi semua kontrol yang ada. (3) Perencanaan alternatif bored pile digunakan diameter 80 cm dengan penanaman pondasi tiang pada area tower hingga -60 meter dari muka tanah, pada area podium (pilecap tipe C-K) penanaman tiang hingga kedalaman -46,5 meter dari muka tanah, serta pada pilecap tipe L penanaman tiang hingga kedalaman -40 meter dari muka tanah. (4) Perencanaan ketebalan dasar basement yang berupa *raft* dan *pilecap* direncanakan setebal 3,95 meter pada *raft* di area tower dan 1,2 meter pada *pilecap* di area podium. (5) Alternatif dinding

penahan tanah dengan *secant pile* direncanakan menggunakan diameter primer sebesar 0,8 meter, diameter sekunder sebesar 1 meter dan panjang total *secant pile* 12,65 meter dengan rincian 3,55 meter kedalaman *basement* dan 9,089 meter kedalaman penanaman *secant pile*. (6) Perencanaan struktur bawah pada lokasi studi yang terbaik dengan tinjauan kebutuhan volume material didapatkan pada perencanaan pondasi alternatif dengan rincian kebutuhan volume besi tulangan 317,179 m³ dan volume beton 27581,860 m³. Sedangkan pada perencanaan dinding penahan tanah, perencanaan terbaik pada dinding penahan tanah eksisting dengan rincian volume besi tulangan 9,895 m³ dan volume beton 280,260 m³.

B. Saran

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran antara lain: (1) Data tanah sebaiknya menggunakan data hasil pengujian laboratorium yang lengkap, sehingga seluruh parameter tanah yang dibutuhkan bisa mewakili kondisi asli di lapangan; (2) Perlu dilakukan pembaharuan informasi terkait persyaratan ijin setiap akan merencanakan struktur bawah, baik pada perencanaan pondasi maupun dinding penahan tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. M. Das, *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid 1*. Jakarta: Erlangga, 1988.
- [2] J. Bowles, *Sifat-sifat Fisis Tanah dan Geoteknis Tanah*. Jakarta: Erlangga, 1991.
- [3] H. Wahyudi, *Daya Dukung Pondasi Dalam*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP – ITS, 1999.
- [4] A. Sudjianto, *Tanah Ekspansif; Karakteristik dan Pengukuran Perubahan Volume*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2015.
- [5] A. S. Mantulangi, "Kajian Potensi Kembang Susut Tanah Akibat Variasi Kadar Air (Studi Kasus Lokasi Pembangunan Gedung Laboratorium Terpadu Universitas Negeri Gorontalo)," *Skripsi*, vol. 1, no. 511407045, 2014.
- [6] H. C. Hardiyatmo, *Mekanika Tanah 1 3rd edition*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press, 2002.
- [7] D. R. Isnaeni, "Perencanaan Pondasi Bored Pile dan Secant Pile pada Basement Sebagai Alternatif Perencanaan Eksisting di Apartemen Tamansari Emerald Citraland Surabaya," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2020.