

Perencanaan *Bored Pile* dengan dan Tanpa Perbaikan Tanah dengan Memperhatikan Potensi Likuifaksi (Studi Kasus: Apartemen Grand Sagara)

Savira Amelia Ramadhan, Yudhi Lastiasih, dan Noor Endah Mochtar
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: yudhi.lastiasih@gmail.com

Abstrak—Apartemen Grand Sagara terletak di Jalan Tambak Wedi, Surabaya. Apartemen ini direncanakan terdiri atas 50 lantai tanpa basement. Nilai SPT rata-rata pada tanah kedalaman 0 – 15 meter di lokasi proyek adalah sebesar 9 sehingga dapat dikategorikan sebagai tanah pasir lepas. Kondisi ini menyebabkan tanah pada lokasi proyek berpotensi mengalami likuifaksi apabila terjadi gempa, dimana pada lokasi tersebut diketahui nilai PGA adalah sebesar 0,322 g (puskim.pu.go.id). Untuk itu diperlukan perencanaan pondasi dengan memperhatikan potensi likuifaksi dan perencanaan perbaikan tanah yang dapat mengurangi potensi likuifaksi. Dari analisis yang dilakukan, diketahui bahwa tanah pada kedalaman 0.0–15.0 meter berpotensi mengalami likuifaksi. Perbaikan tanah sedalam 15 (lima belas) meter dengan menggunakan metode vibrokompaksi jenis alat BJV130 dengan spacing sebesar 2,5 meter dapat menghasilkan peningkatan nilai SPT rata-rata dari 9 (sembilan) dengan konsistensi tanah pasir lepas menjadi 20 (dua puluh) dengan konsistensi tanah pasir medium. Jenis pondasi bored pile yang dikombinasi dengan pondasi rakit direncanakan untuk masing-masing bagian gedung. Hasil perencanaan menunjukkan bahwa terdapat perbedaan kedalaman dari bored pile yaitu lebih dalam 1.0 meter untuk kondisi tanah yang tanpa perbaikan. Hanya saja, biaya perbaikan tanah yang mahal menyebabkan pondasi bored pile tanpa perbaikan tanah tetap lebih murah dari pada pondasi bored pile dengan perbaikan tanah. Total biaya pekerjaan pondasi tanpa perbaikan tanah adalah Rp 23.502.896.918,00, sedangkan biaya pekerjaan pondasi dengan perbaikan tanah adalah sebesar Rp 28.991.248.358,00.

Kata Kunci—*Bored Pile*, Likuifaksi, Perbaikan Tanah, *Raft Foundation*, Vibro-Kompaksi.

I. PENDAHULUAN

PERTUMBUHAN penduduk di Indonesia dapat dibbilang cukup signifikan. Kota Surabaya misalnya, mengalami pertumbuhan penduduk sebesar 0,43% pada tahun 2016 hingga 2017 (BPS Jawa Timur). Hal ini tentunya berpengaruh pada meningkatnya jumlah kebutuhan rumah tinggal bagi masyarakat. Namun, dengan terbatasnya jumlah lahan di Kota Surabaya, maka hunian vertikal dapat menjadi salah satu solusinya. Apartemen Grand Sagara adalah salah satu contoh hunian vertikal yang saat ini tengah dibangun di Kota Surabaya. Apartemen yang dikembangkan oleh PT. PP Properti (Persero), Tbk. ini terletak di Jalan Tambak Wedi Surabaya. Tower Adriatic, tower perdana apartemen ini, direncanakan terdiri dari 50 (lima puluh) lantai dan akan dibangun tanpa adanya basement. Pembangunan tanpa adanya basement salah satunya mempertimbangkan kondisi tanah di lokasi proyek.

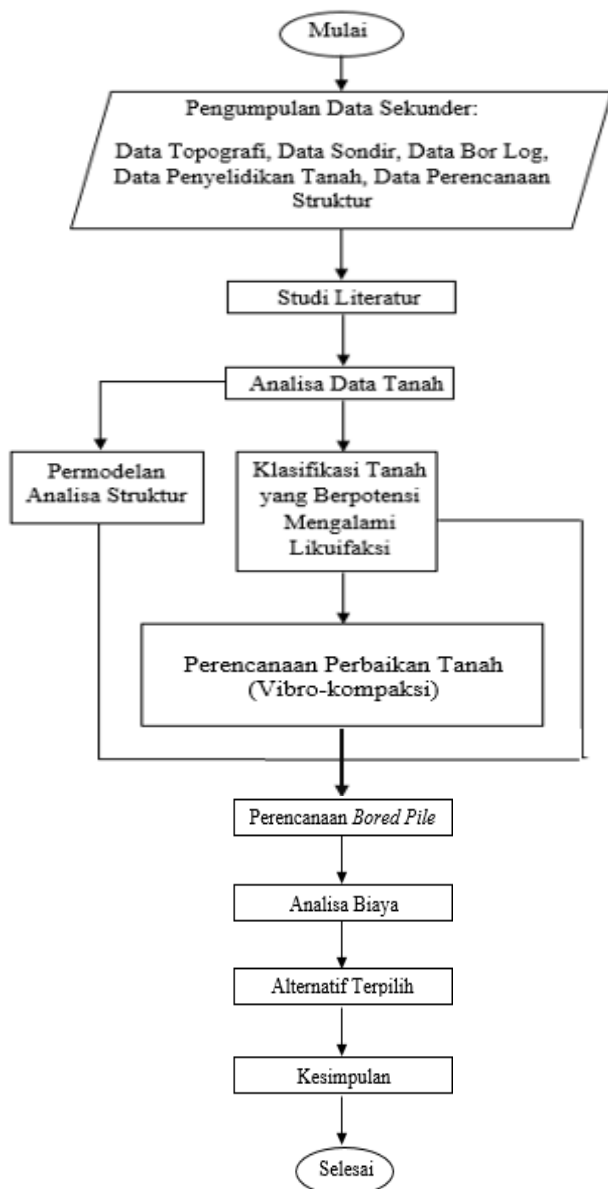
Diketahui bahwa nilai SPT rata-rata pada tanah kedalaman 0 – 15 meter di lokasi proyek adalah sebesar 9 (sembilan)

Tabel 1.
Rekapitulasi Hasil Analisa Potensi Likuifaksi Sebelum Dilakukan Perbaikan Tanah

Kedalaman (m)	DB-1	DB-2	DB-3	Kesimpulan
0	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
0.5	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
1	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
1.5	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
2	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
2.5	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
3	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
3.5	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
4	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
4.5	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
5	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
5.5	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
6	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
6.5	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
7	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
7.5	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
8	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
8.5	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
9	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
9.5	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
10	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
10.5	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
11	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
11.5	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
12	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
12.5	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
13	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
13.5	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
14	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
14.5	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
15	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi

sehingga dapat dikategorikan sebagai tanah pasir lepas. Selain itu, diketahui bahwa besarnya PGA pada lokasi proyek adalah sebesar 0,322g (puskim.pu.go.id). Kondisi ini menyebabkan tanah memiliki kemungkinan terkena dampak likuifaksi.

Potensi Likuifaksi harus diperhitungkan agar tidak menimbulkan kerusakan pada tanah dan bangunan di atas tanah tersebut. Beberapa cara untuk mengatasi likuifaksi antara lain dengan perbaikan tanah untuk jenis tanah pasir, perencanaan pondasi dengan memperhatikan potensi likuifaksi, atau kombinasi antara keduanya. Untuk itu, diperlukan perencanaan pondasi yang memperhatikan potensi likuifaksi, dimana perencanaan tersebut dapat dikombinasikan dengan perbaikan tanah ataupun tidak. Perencanaan pun dapat dilakukan dengan beberapa alternatif kombinasi yang berbeda hingga dihasilkan beberapa variasi hasil yang nantinya dapat dipilih salah satu alternatif yang paling efisien.



Gambar 1. Bagan Alir Perencanaan Makalah.

A. Rumusan Masalah

Rumusan masalah berdasarkan latar belakang pada makalah ini adalah sebagai berikut:

- Bagaimana potensi likuefaksi pada lokasi proyek Apartemen Grand Sagara?
- Berapa jumlah, dimensi, dan kedalaman pondasi dalam yang aman terhadap likuefaksi apabila tanah tidak diperbaiki sehingga potensi likuefaksi dapat timbul?
- Bagaimana efektifitas perbaikan tanah untuk mengurangi potensi likuefaksi?
- Berapa dimensi dan kedalaman pondasi dalam yang aman terhadap likuefaksi apabila telah dilakukan perbaikan tanah untuk mengantisipasi dampak likuefaksi?
- Alternatif perencanaan pondasi mana yang paling efisien?

B. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam makalah ini adalah sebagai berikut:

- Data yang digunakan merupakan data sekunder

- Perencanaan perbaikan tanah dan pondasi tidak mempertimbangkan pengaruh fluktuasi muka air laut
- Perencanaan pondasi dan perbaikan tanah memperhitungkan adanya potensi likuefaksi
- Hanya memperhitungkan biaya untuk material
- Tidak mempertimbangkan metode pelaksanaan
- Pondasi yang digunakan adalah jenis pondasi *bored pile* dan *raft foundation*
- Perhitungan daya dukung pondasi dengan memperhatikan potensi likuefaksi tidak mempertimbangkan pengaruh gaya horizontal akibat beban gempa
- Analisa struktur menggunakan data struktur apartemen yang telah disederhanakan

II. METODOLOGI

Tahapan perencanaan pada makalah ini dapat dilihat pada bagan alir seperti pada Gambar 1.

III. ANALISA POTENSI LIKUIFAKSI PADA TANAH SEBELUM DAN SESUDAH PERBAIKAN TANAH

A. Analisa Data Tanah

Data tanah yang digunakan untuk analisa dan perencanaan berupa data tanah dari 3 (tiga) titik borlog. Analisa data tanah berupa korelasi data tanah dilakukan untuk memperoleh harga parameter-parameter tanah yang belum diketahui. Korelasi dilakukan dengan menggunakan Tabel 1 dengan korelasi data tanah.

B. Analisa Potensi Likuefaksi Sebelum Perbaikan Tanah

Analisa potensi likuefaksi dilakukan dengan dua tahap, yaitu analisa awal dan analisa lanjutan. Analisa lanjutan potensi likuefaksi dilakukan dengan menghitung *Liquefaction Potential Index* (LPI) yang direpresentasikan oleh nilai *safety factor* (SF). Nilai SF merupakan perbandingan antara nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) dengan *Cyclic Stress Ratio* (CSR). Nilai CRR dan CSR dihitung berdasarkan Metode Idriss-Boulanger [1].

Dari hasil pembahasan, diperoleh hasil analisa seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

C. Perencanaan Perbaikan Tanah

Perbaikan tanah dilakukan untuk memperoleh nilai SPT baru guna menghilangkan potensi likuefaksi berdasarkan aspek tegangan. Metode perbaikan tanah yang digunakan adalah vibro-kompaksi. Untuk mengetahui besarnya peningkatan nilai SPT tanah setelah dilakukan perbaikan tanah dengan metode ini diperlukan adanya test yang dilakukan di lapangan. Karena keterbatasan waktu dan biaya dalam pengerjaan makalah ini, maka untuk mengetahui besarnya peningkatan nilai SPT tidak dilakukan test ulang di lapangan, melainkan dengan asumsi yang didasarkan pada salah satu proyek terdahulu yang telah melakukan perbaikan tanah dengan metode yang sama. Proyek yang dijadikan acuan adalah proyek pulau buatan di Jakarta Utara dimana kondisi tanah pada proyek tersebut pada kedalaman 0 – 15 meter dianggap sedikit banyak memiliki kondisi yang sama dengan tanah pada lokasi Proyek Grand Sagara [2]. Pada proyek acuan, diketahui telah dilakukan vibro-kompaksi pada 5 (lima) zona di area proyek. Diketahui bahwa rata-rata

Tabel 2.

Kenaikan harga qc pada lokasi proyek acuan	
Keterangan	Kenaikan qc Rata-Rata (%)
Zona 1	152.3
Zona 2	160.7
Zona 3	196.1
Zona 4	235.9
Zona 5	235.4

kenaikan nilai qc pada setiap zona adalah seperti terlihat pada Tabel 2.

Diasumsikan bahwa kenaikan qc pada lokasi proyek apartemen adalah sebesar 235,9%. Maka, dari hasil pembahasan diketahui bahwa kenaikan nilai SPT pada tanah di lokasi proyek adalah seperti terlihat pada Tabel 3.

D. Analisa Potensi Likuifaksi Sesudah Perbaikan Tanah

Analisa potensi likuifaksi sesudah perbaikan tanah dilakukan dengan metode yang sama seperti analisa potensi likuifaksi sebelum perbaikan tanah, namun nilai SPT yang digunakan adalah nilai SPT baru yang diperoleh setelah dilakukan perbaikan tanah. Tabel 4 berikut ini menunjukkan hasil analisa potensi likuifaksi setelah perbaikan tanah.

Dari Tabel 4 tersebut, diketahui bahwa potensi likuifaksi terjadi pada kedalaman tanah 0 – 11.5 meter. Hal ini dikarenakan peningkatan nilai SPT dari metode vibro-kompaksi tidak mencapai nilai SPT minimum yang diperlukan untuk kedalaman 0 – 11.5 meter. Maka, dapat disimpulkan bahwa setelah perbaikan tanah, potensi likuifaksi hilang untuk kedalaman 11.5 – 15 meter.

IV. PERENCANAAN BORED PILE

A. Preliminary Desain Struktur

Preliminary desain struktur diperlukan untuk menentukan dimensi-dimensi dari struktur gedung yang belum diketahui, seperti dimensi kolom, balok, dan pelat. Perencanaan balok dilakukan berdasarkan SNI 03-1726-2012 [3], sedangkan perencanaan pelat dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 [4].

1) Perencanaan Balok

Diketahui bahwa nilai fy yang digunakan adalah 420 Mpa. Contoh perhitungan perencanaan balok seperti yang terlihat berikut:

$$h(min) = \frac{L}{16} \left(0,4 + \frac{fy}{700} \right)$$

$$h(min) = \frac{716,5}{16} \left(0,4 + \frac{400}{700} \right) \tag{1}$$

$$h(min) = 44 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h$$

$$b = \frac{2}{3} 44 \tag{2}$$

$$b = 29,3 \text{ cm}$$

Maka, dimensi balok yang digunakan adalah 45/30 cm untuk balok melintang dan 55/40 untuk balok memanjang.

2) Perencanaan Pelat

Mutu beton (f'c) dan mutu baja (fy) yang digunakan secara berturut-turut adalah 35 Mpa dan 240 Mpa. Berdasarkan perhitungan menurut SNI 03-2847-2013, diperoleh dimensi pelat setebal 20 cm untuk setiap lantai.

3) Perencanaan Kolom

Dimensi kolom terdiri atas dua jenis yaitu dimensi kolom

Tabel 3.

Peningkatan harga SPT pada tanah setelah dilakukan vibro-kompaksi						
Kedalaman	DB-1	DB-1	DB-2	DB-2	DB-3	DB-3
	SPT Lama	SPT Baru	SPT Lama	SPT Baru	SPT Lama	SPT Baru
0	1	2.4	1	2.4	0	0
0.5	1	2.4	1	2.4	0	0
1	1	2.4	1	2.4	0	0
1.5	1	2.4	1	2.4	0	0
2	1	2.4	1	2.4	0	0
2.5	1	2.4	2.5	5.9	0.25	0.6
3	1	2.4	4	9.4	0.5	1.2
3.5	1	2.4	5.5	13	0.75	1.8
4	1	2.4	7	16.5	1	2.4
4.5	0.75	1.8	5.75	13.6	2	4.7
5	0.5	1.2	4.5	10.6	3	7.1
5.5	0.25	0.6	3.25	7.7	4	9.4
6	0	0	2	4.7	5	11.8
6.5	0.5	1.2	1.75	4.1	4	9.4
7	1	2.4	1.5	3.5	3	7.1
7.5	1.5	3.5	1.25	2.9	2	4.7
8	2	4.7	1	2.4	1	2.4
8.5	2	4.7	4.75	11.2	3.75	8.8
9	2	4.7	8.5	20	6.5	15.3
9.5	2	2.3	12.25	14.1	9.25	10.6
10	2	2.3	16	18.4	12	13.8
10.5	4	4.6	18	20.7	16	18.4
11	6	6.9	20	23	20	23
11.5	8	9.2	22	25.3	24	27.6
12	10	11.5	24	27.6	28	32.2
12.5	14.25	16.39	21.5	24.7	29.75	34.2
13	18.5	43.6	19	33.8	31.5	74.3
13.5	22.75	53.7	16.5	38.9	33.25	78.4
14	27	63.7	14	33	35	82.6
14.5	25	59	15	35.4	37.5	88.4
15	23	54.2	16	37.7	40	94.3

untuk lantai 1 – 8 sebesar 180/100 cm dan dimensi kolom untuk lantai tipikal (lantai 9 – 50) sebesar 170/90 cm.

B. Analisa Struktur

Data analisa struktur dibutuhkan untuk mengetahui reaksi-reaksi dari bangunan yang digunakan untuk perencanaan pondasi. Untuk mendapatkan reaksi-reaksi dan gaya-gaya dari bangunan, digunakan program bantu SAP2000, dengan kombinasi beban adalah 1D (beban mati) + 1L (beban hidup) + 1E (beban gempa).

Dalam permodelan analisa struktur, perlu ditentukan okasi titik jepit pondasi. Contoh perhitungan penentuan titik jepit pondasi untuk tiang dengan diameter 100 cm dapat dilihat berikut:

Diketahui:

Dr rata-rata = 58%

f = 28 ton/ft³ = 988812 kg/m³

f'c = 40 Mpa = 4078864.85 kg/m³

E = 4700(f'c)^{0.5} = 9492214 kg/m³

I = (1/64)πd⁴ = 0.0491 m⁴

$$T = \sqrt[5]{\frac{EI}{f}}$$

$$T = \sqrt[5]{\frac{9492214(0,0491)}{988812}} \tag{3}$$

T = 0,86 m

Maka, lokasi titik jepit adalah Zf = 1.8T = 1.6 meter.

C. Perencanaan Bored Pile

Perencanaan *bored pile* terdiri atas beberapa bagian, yaitu koreksi nilai SPT, perhitungan daya dukung tiang tunggal, perhitungan daya dukung tiang kelompok, dan kontrol pada

Tabel 4.
Rekapitulasi Hasil Analisa Potensi Likuifaksi Sesudah Dilakukan Perbaikan Tanah

Kedalaman (m)	DB-1	DB-2	DB-3	Kesimpulan
0	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
0.5	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
1	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
1.5	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
2	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
2.5	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
3	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
3.5	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
4	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
4.5	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
5	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
5.5	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
6	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
6.5	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
7	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
7.5	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
8	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
8.5	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
9	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
9.5	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
10	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
10.5	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
11	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
11.5	Aman	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
12	Aman	Aman	Likuifaksi	Aman
12.5	Aman	Aman	Aman	Aman
13	Aman	Aman	Aman	Aman
13.5	Aman	Likuifaksi	Aman	Aman
14	Aman	Likuifaksi	Aman	Aman
14.5	Aman	Likuifaksi	Aman	Aman
15	Aman	Likuifaksi	Aman	Aman

Tabel 5.

Rekapitulasi perencanaan pondasi sebelum perbaikan tanah

Keterangan	Section I		Section II
	D100	D80	D100
Diameter tiang bor (m)	1	0.8	1
Kedalaman tiang bor (m)	32	49	34
Diameter tulangan tiang (mm)	18	18	18
Jumlah tiang per grup (buah)	299	6	6

tiang kelompok.

1) Koreksi Nilai SPT

Nilai SPT yang diketahui tidak dapat langsung digunakan dalam perencanaan sehingga harus dilakukan koreksi terhadap nilai tersebut. Koreksi terhadap nilai SPT terdiri atas koreksi terhadap muka air tanah dan koreksi terhadap *overburden pressure* dari tanah.

2) Daya Dukung Pondasi Tunggal

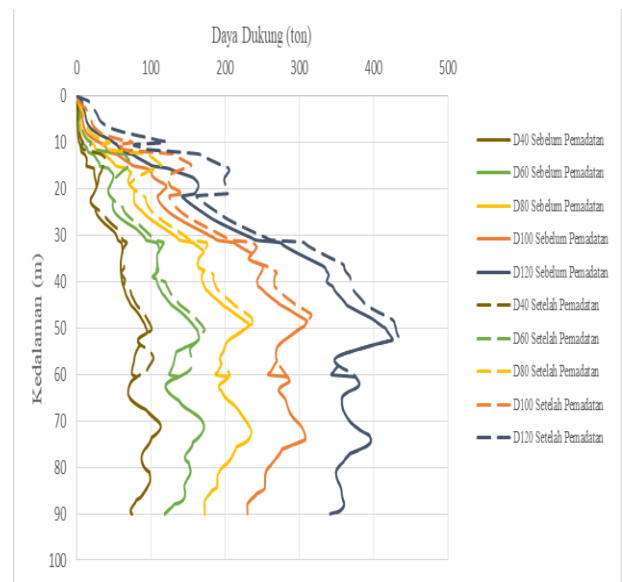
Daya dukung pondasi dihitung dengan tiga metode berbeda, yaitu Metode SPT, Metode Meyerhoff [5], dan Metode Luciano Dacourt [6]. Kemudian, dipilih nilai daya dukung pondasi tunggal yang terkecil dari ketiga metode tersebut untuk setiap kedalaman sehingga diperoleh nilai daya dukung pondasi tunggal seperti yang terlihat pada Gambar 2.

3) Daya Dukung Pondasi Kelompok

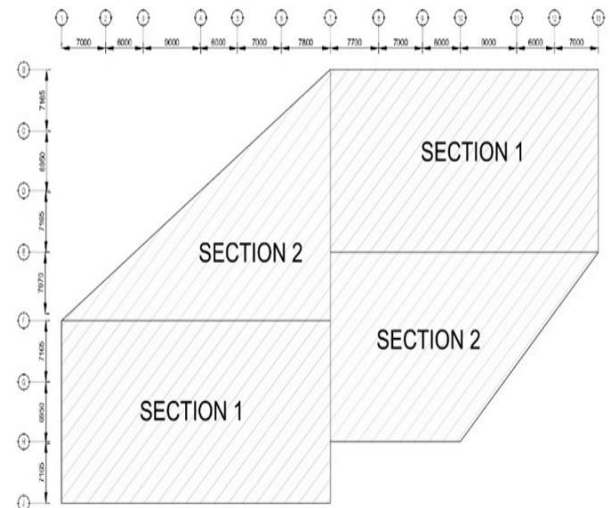
Pada perencanaan pondasi kelompok, area pada gedung dibagi menjadi 2 (dua), yaitu *Section 1* dan *Section 2* seperti yang terlihat pada Gambar 3.

a. *Section 1*

Pada area ini, pondasi direncanakan dengan menggunakan kombinasi antara pondasi rakit dan pondasi *bored pile*. Pondasi rakit direncanakan dengan dimensi panjang 43



Gambar 2. Hubungan Daya Dukung vs Kedalaman.



Gambar 3. Denah Pembagian Area *Section* Gedung.

meter, lebar 26 meter, dan kedalaman pondasi 3 meter, serta hanya menerima 10% dari beban struktur total. Dimensi pondasi yang direncanakan dikontrol terhadap daya dukung pondasi dengan persamaan seperti yang terlihat berikut: [7]

$$q = \frac{\Sigma Qi}{A} \pm \frac{My}{Iy} X \pm \frac{Mx}{Ix} Y \tag{4}$$

$$qult = 1.3cNc + qNq + 0.4\gamma BN\gamma \tag{5}$$

Penulangan pondasi rakit dihitung dengan cara yang sama dengan penulangan pada pelat.

Jumlah pondasi tiang pada pondasi rakit direncanakan sebanyak 23 x 13 tiang, dengan diameter pondasi 1 (satu) meter dan jarak antar pondasi 2 (dua) meter. Efisiensi dari tiang kelompok dihitung dengan persamaan seperti yang terlihat berikut:

$$Ce = 1 - \frac{\arctan\left(\frac{D}{S}\right)}{90} \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right) \tag{6}$$

b. *Section 2*

Pada area ini, pondasi direncanakan sebagai pondasi kelompok dengan *pile cap*. Perencanaan dimensi *pile cap*

Tabel 6.
Rekapitulasi perencanaan pondasi sesudah perbaikan tanah

Keterangan	Section I		Section II
	D100	D80	D100
Diameter tiang bor (m)	1	0.8	1
Kedalaman tiang bor (m)	32	49	33
Diameter tulangan tiang (mm)	18	18	18
Jumlah tiang per grup (buah)	299	6	6

Tabel 7.
Rekapitulasi rencana anggaran biaya

Kombinasi Pondasi	Biaya (Rp)
Sebelum Perbaikan Tanah	
Section 1 (D100) + Section 2 (D80)	23.502.896.918
Section 1 (D100) + Section 2 (D100)	23.733.648.970
Sesudah Perbaikan Tanah	
Section 1 (D100) + Section 2 (D80) + Pematatan	28.991.248.358
Section 1 (D100) + Section 2 (D100) + Pematatan	29.562.132.588

dilakukan berdasarkan tinjauan geser 2 (dua) arah terhadap kolom dan tiang sedangkan penulangan *pile cap* dihitung dengan cara yang sama dengan penulangan pada pelat [8].

4) Kontrol pada Pondasi Kelompok

Kontrol pada pondasi kelompok terdiri atas kontrol Pmaksimum, kontrol *uplift* [9] kontrol penurunan [10], kontrol defleksi [11], kontrol gaya lateral [12], dan kontrol bahan pada pondasi [7].

Setelah seluruh perhitungan kontrol untuk setiap kombinasi pondasi telah memenuhi, maka pondasi dapat digunakan. Rekapitulasi kombinasi pondasi sebelum dan sesudah perbaikan tanah secara berturut-turut dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

D. Perhitungan Volume dan Biaya

Pada pekerjaan pondasi, beberapa aspek pekerjaan yang diperhitungkan adalah, yaitu:

- Pengeboran lubang pondasi
- Pembuatan lantai kerja
- Pekerjaan bekisting pondasi *raft* dan *pile cap*
- Pemesian pondasi *raft* dan *pile cap*
- Pengecoran pondasi *raft* dan *pile cap*
- Pengecoran pondasi *bored pile*
- Pematatan tanah

Analisa harga satuan untuk perhitungan biaya pada makalah ini mengacu pada HSPK Kota Surabaya Tahun 2018 [12]. Dari hasil pembahasan dan perhitungan, diperoleh rencana anggaran biaya untuk setiap kombinasi pondasi sebelum dan sesudah perbaikan tanah seperti yang terlihat pada Tabel 7.

V. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Dari pembahasan yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan yaitu: (1) Lapisan tanah yang berpotensi mengalami likuifaksi adalah 0.0 meter hingga -15.0 meter; (2) Beberapa konfigurasi pondasi yang dapat digunakan sebelum dilakukan perbaikan tanah adalah sebagai berikut: (a) Untuk *Section I*, digunakan pondasi tipe *raft-pile* dengan ketebalan pondasi *raft* sebesar 3,5 meter dan kedalaman pondasi *bored pile* sebesar 32 meter dengan diameter 1 (satu) meter; jumlah *bored pile* sebanyak 299 buah; (b) Untuk *Section II*, digunakan pondasi grup dengan kedalaman

Tabel 8.
Rencana anggaran biaya untuk setiap konfigurasi pondasi

Kombinasi Pondasi	Biaya (Rp)
Section 1 (D100) + Section 2 (D80)	23.502.896.918
Section 1 (D100) + Section 2 (D100)	23.733.648.970
Section 1 (D100) + Section 2 (D80) + Pematatan	28.991.248.358
Section 1 (D100) + Section 2 (D100) + Pematatan	29.562.132.588

pondasi *bored pile* sebesar 49 meter untuk diameter tiang 0,8 meter dan kedalaman pondasi sebesar 34 meter untuk diameter tiang 1 (satu) meter, dengan jumlah *bored pile* sebanyak 6 (enam) tiang untuk setiap grup: (3) Pematatan tanah dilakukan hingga kedalaman -15.0 meter dengan metode vibro-kompaksi, dengan tipe vibrator BJV130, dengan *spacing* 2,5 meter dan waktu getaran 40 (empat puluh) detik; perubahan yang terjadi adalah peningkatan nilai SPT, berat jenis tanah, dan kepadatan relatif; (4) Beberapa konfigurasi pondasi yang dapat digunakan setelah dilakukan perbaikan tanah adalah sebagai berikut: (a) Untuk *Section I*, digunakan pondasi tipe *raft-pile* dengan ketebalan pondasi *raft* sebesar 3,5 meter dan kedalaman pondasi *bored pile* sebesar 32 meter dengan diameter 1 (satu) meter; jumlah *bored pile* yang dibutuhkan sebanyak 299 pondasi; (b) Untuk *Section II*, digunakan pondasi grup dengan kedalaman pondasi *bored pile* sebesar 49 meter untuk diameter tiang 0,8 meter dan kedalaman pondasi sebesar 33 meter untuk diameter tiang 1 (satu) meter, dengan jumlah *bored pile* sebanyak 6 (enam) tiang untuk setiap grup; (5) Perbandingan biaya untuk setiap konfigurasi pondasi sebelum dan setelah dilakukan perbaikan tanah dapat dilihat pada Tabel 8.

B. Saran

Saran terdiri dari: (a) Perlu mempertimbangkan metode perbaikan tanah lainnya yang dapat menghilangkan potensi likuifaksi pada tanah; (b) Diperlukan perhitungan biaya yang lebih teliti dan sesuai dengan harga pasaran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. W. Boulanger and I. M. Idriss, "CPT and SPT based liquefaction triggering procedures," *Rep. No. UCD/CGM-14*, vol. 1, 2014.
- [2] L. Yu and M. Djunaidy, "A poorly graded sand compaction case study," *Proc. Softsoils*, vol. 21, no. 23rd, 2014.
- [3] B. S. Nasional, "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung SNI 1726: 2012," Jakarta BSN, 2012.
- [4] B. S. Nasional, *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2019)*, no. 8. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2019.
- [5] E. Yulianawan and T. Rahayu, "Analisis daya dukung dan penurunan pondasi tiang berdasarkan pengujian SPT dan Cyclic Load Test," *Konstruksia*, vol. 9, no. 2, pp. 1-13, 2018.
- [6] J. Purba, "Analisis daya dukung pondasi tiang pancang pada proyek pembangunan perhotelan/apartemen/kondominium di Jalan Ring Road--Medan (studi kasus)," Universitas Medan Area, 2015.
- [7] D. D. Putra, "Evaluasi kekuatan tiang pancang jenis spun pile diameter 400mm dibawah pengaruh beban lentur murni dan aksial dengan bantuan program finite element," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2015.
- [8] M. Q. Y. Bidinella, "Perbandingan desain dan pelaksanaan antara pondasi tiang pancang dan pondasi tiang bor pada pembangunan Apartemen Grand Sungkono Lagoon Surabaya," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [9] S. Fadila, "Analisa desain struktur dan pondasi menara pemancar tipe 'Self Supporting Tower' di Kota Palembang," Sriwijaya University, 2014.
- [10] E. Mina and R. I. Kusuma, "Analisa kapasitas dukung pondasi cement silo dengan menggunakan program Geo5 (studi kasus proyek pembangunan prabik semen merah putih bayah Provinsi Banten)," *J.*

Fondasi, vol. 5, no. 1, 2016.

[11] D. M. Mechanics, "Foundations and earth structures NAVFAC DM-7," *March 1971, Dept. of*, vol. 1, 1982.

[12] T. Rismaharini, "Lampiran II keputusan walikota Surabaya daftar harga Satuan pokok kegiatan (HSPK)," Surabaya, 2018.