

Perbandingan Pondasi Bangunan Bertingkat Untuk Pondasi Dangkal dengan Variasi Perbaikan Tanah dan Pondasi Dalam Studi Kasus Pertokoan di Pakuwon City Surabaya

Adrian Hartanto, Indrasurya B. Mochtar, dan Yudhi Lastiasih

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: yudhi.lastiasih@gmail.com

Abstrak—Proyek yang diambil dalam Studi ini adalah kompleks pertokoan Pakuwon Town Square (PATOS) yang berada di kompleks perumahan Pakuwon City Surabaya. Kompleks pertokoan ini telah didirikan setinggi 2 hingga 3 lantai dengan menggunakan pondasi dalam micropile sedalam 21 meter. Penulis merencanakan ulang pondasi kompleks pertokoan ini dengan variasi ketinggian 3 lantai, 4 lantai, 5 lantai dan 6 lantai dengan menggunakan pondasi dangkal dan dua metode perbaikan tanah. Kawasan proyek Pakuwon Town Square ini memiliki jenis tanah lunak dengan tebal lapisan compressible sedalam 15 meter dengan jenis tanah lempung lunak. Dengan kondisi tanah seperti itu, pemampatan tanah yang terjadi cukup besar. Untuk mempercepat proses konsolidasi tanah, dilakukan perbaikan tanah menggunakan metode preloading dengan PVD (Prefabricated Vertical Drain) dan metode vacuum preloading yang kemudian akan dibandingkan dan diambil alternatif yang termurah. PVD akan dipasang sedalam lapisan compressible yaitu sedalam 15 meter. Dengan adanya perbaikan tanah menggunakan PVD, waktu pemampatan primer terjadi sangat cepat sehingga terjadinya pemampatan sekunder menjadi lebih awal. Oleh karena itu pemampatan sekunder diperhitungkan dalam Studi ini. Pemampatan sekunder yang terjadi dalam perencanaan di Studi ini cukup besar sehingga dilakukan penambahan beban timbunan dalam perbaikan tanah menggunakan PVD untuk menghilangkan pemampatan sekunder yang diasumsikan terjadi 5 tahun setelah pemampatan primer selesai. Sehingga setelah perbaikan tanah selesai, proses pemampatan primer dan sekunder juga telah selesai. Pada Studi ini direncanakan struktur pondasi 3 lantai, 4 lantai, 5 lantai dan 6 lantai dengan menggunakan 3 alternatif, yaitu pondasi tiang pancang, pondasi rakit dengan perbaikan tanah menggunakan PVD serta pondasi rakit dengan perbaikan tanah menggunakan vacuum preloading. Perencanaan pondasi rakit dilakukan dengan menggunakan metode pendekatan geoteknik dengan permodelan struktur 3 dimensi untuk mendapatkan struktur pondasi yang kaku sehingga tidak menyebabkan differential settlement. Dari hasil perhitungan dalam Studi ini maka didapatkan alternatif yang termurah untuk gedung 3, 4 dan 5 lantai adalah penggunaan pondasi dangkal dengan metode perbaikan tanah vacuum preloading dengan biaya Rp.2,963,207,662 untuk gedung 3 lantai,

Rp.4,160,933,839 untuk gedung 4 lantai, Rp.6,039,707,940 untuk gedung 5 lantai, sedangkan untuk gedung 6 lantai adalah penggunaan pondasi tiang pancang dengan biaya Rp.7,884,668,852 untuk gedung 6 lantai.

Kata Kunci—Pondasi Dangkal, Pondasi Dalam, Tanah Lunak, Preloading, PVD, Vacuum Preloading

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

PROYEK kompleks pertokoan Pakuwon Town Square yang saat ini sudah berdiri di kompleks perumahan Pakuwon City Surabaya merupakan kompleks pertokoan bertingkat 2 hingga 3 lantai yang telah direncanakan menggunakan pondasi tiang pancang (micropile). Kawasan ini memiliki lapisan *compressible* dengan jenis tanah lunak *soft clay* sedalam 15 meter dengan 3 meter awal berupa tanah bekas reklamasi. Penggunaan pondasi tiang pancang pada umumnya membutuhkan biaya yang cukup tinggi karena harga *pile* yang mahal. Hal inilah yang mendasari perencanaan dengan alternatif menggunakan pondasi dangkal khususnya pondasi *raft*. Namun karena di lokasi ini memiliki jenis tanah lunak, maka pemampatan yang terjadi ketika gedung berdiri akan cukup besar sehingga diperlukan perbaikan tanah untuk menyelesaikan pemampatan tanah serta sekaligus menaikkan daya dukung tanah asli. Metode perbaikan tanah yang digunakan dalam Studi ini adalah metode Preloading dengan penggunaan PVD dan metode Vacuum Preloading. Dari ketiga alternatif ini, yaitu penggunaan pondasi dalam, penggunaan pondasi *raft* dengan *preloading* PVD, serta penggunaan pondasi *raft* dengan *vacuum preloading* akan didapatkan estimasi biaya material yang paling murah.

B. Rumusan Masalah

Secara umum, dari latar belakang di atas terdapat beberapa masalah yang harus dibahas:

1. Berapa dimensi pondasi dangkal untuk masing-masing ketinggian kompleks pertokoan bertingkat tiga hingga enam lantai?
2. Berapa kedalaman pondasi dangkal yang efisien untuk masing-masing ketinggian kompleks pertokoan bertingkat tiga hingga enam lantai?

3. Bagaimana merencanakan perbaikan tanah yang efisien untuk menyelesaikan pemampatan pada masing-masing ketinggian kompleks pertokoan bertingkat tiga hingga enam lantai?
4. Bagaimana merencanakan pondasi dalam untuk masing-masing ketinggian kompleks pertokoan bertingkat tiga hingga enam lantai?
5. Bagaimanakah perbandingan biaya antara penggunaan pondasi dangkal dan perbaikan tanah dengan penggunaan pondasi dalam?

C. Batasan Masalah

Pada studi ini, permasalahan dibatasi pada pokok-pokok pembahasan sebagai berikut:

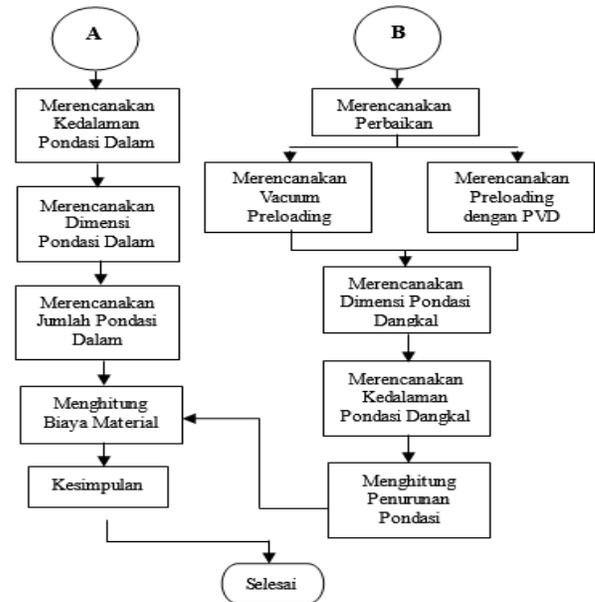
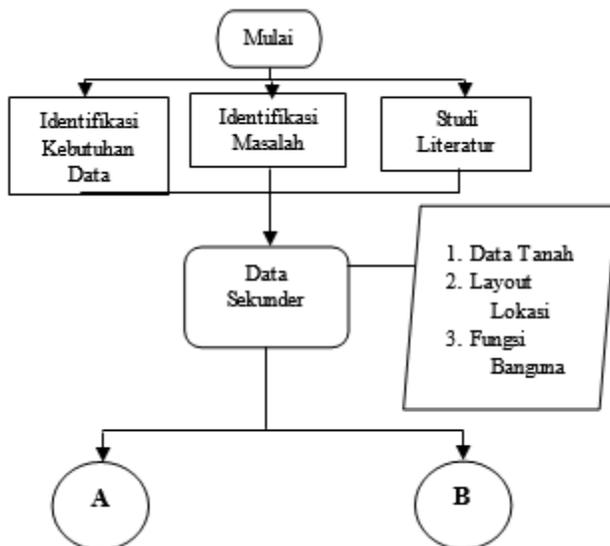
1. Tidak membahas metode pelaksanaan.
2. Data yang digunakan merupakan data sekunder.
3. Perbaikan tanah hanya dilakukan dengan 2 metode, yaitu timbunan *surcharge* dengan menggunakan *Prefabricated Vertical Drain (PVD)* dan timbunan *surcharge* dengan menggunakan *Vacuum Preloading*.
4. Tidak menghitung biaya pelaksanaan.
5. Hanya menggunakan *pile* diameter 50cm.
6. Tidak menggunakan *friction pile*.

D. Manfaat

Adapun manfaat dari studi ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat menjadi usulan bagi pihak Pakuwon City Surabaya dalam merencanakan penggunaan pondasi dangkal untuk kompleks pertokoan tiga hingga enam lantai.
2. Masyarakat dapat mengetahui proses perencanaan dan perhitungan pondasi dangkal dan pondasi dalam untuk kompleks pertokoan dengan masing-masing ketinggian tiga hingga enam lantai.

II. METODOLOGI



Gambar 1. Diagram Alir Metodologi Penyelesaian Studi

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Data Tanah

Dari hasil uji SPT diketahui bahwa tanah dasar memiliki lapisan *compressible* sedalam 15 meter. Parameter tanah dasar dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Tanah Dasar

Kedalaman (m)	Deskripsi	γ (t/m ³)	Gs	Wc (%)	e ₀
0 - 3	Tanah Urug	1,8	-	53	1,4
3 - 6,5	Lempung dan lanau	1,49	2,56	85	2,18
6,5 - 11	Lempung dan lanau	1,5	2,55	82	2,09
11 - 15,5	Lempung dan lanau	1,53	2,59	77	2
15,5 - 19,5	Lanau dan lempung	1,7	2,53	47	1,19
19,5 - 23,5	Lanau dan lempung	1,71	2,51	45	1,13

Tabel 1. Parameter Tanah Asli (Lanjutan)

Kedalaman (m)	LL	PL	Cc	Cs	PI	Cu (t/m ²)	Cv (cm ² /s)
0 - 3	23	-	-	-	-	-	-
3 - 6,5	75	35	0,98	0,21	40	1	0.0015
6,5 - 11	71	27	-	-	44	2	-
11 - 15,5	74	34	1,16	0,16	40	3	0.002
15,5 - 19,5	38	37	-	-	1	-	-
19,5 - 23,5	56	30	0,77	0,11	26	-	-

3.2 Analisa Layout dan Pembebanan Bangunan Pertokoan Pakuwon Town Square

Data perencanaan yang akan digunakan untuk permodelan struktur gedung sebagai berikut:

- Lokasi : Pakuwon City Surabaya
- Fungsi : Perkantoran
- Lebar Bangunan : 30 m
- Panjang Bangunan : 110 m

- Jumlah Lantai : 3, 4, 5, dan 6 lantai
- Tinggi Lantai Pertama : 3,9 m
- Tinggi Tiap Lantai : 3,6 m
- Mutu Beton (f'c) : 30 MPa
- Mutu Baja (fy) : 420 Mpa

Bangunan dalam Studi ini diperhitungkan untuk memikul beban-beban sebagai berikut:

a) Beban Mati (PPIUG 1983 Tabel 1)

- Berat sendiri struktur : 2400 kg/m³
- Tegel : 24 kg/m²
- Tembok setengah bata : 250kg/m²
- Spesi 2cm : 42 kg/m²
- Plafond : 11 kg/m²
- Ducting & Plumbing : 30 kg/m²

b) Beban Hidup (PPIUG 1983 Tabel 1)

- Lantai Perkantoran : 250kg/m²
- Lantai Atap : 100kg/m²

3.3 Perencanaan Pondasi Dalam

Nilai N-SPT yang didapatkan dari data bor dikoreksi terhadap tekanan overburden dan terhadap muka air. Setelah mendapatkan nilai N-koreksi pada setiap kedalaman, daya dukung pondasi tiang pancang dihitung dengan menggunakan rumus Meyerhof & Bazaara seperti berikut:

$$Q_{ujung} = 40 \times N_{rata-rata} \times 0,25 \times \pi \times (\text{diameter tiang})^2$$

Dari hasil perhitungan didapatkan hasil sebagai berikut:

Untuk beban bangunan pertokoan 3 lantai:

- Tipe tiang : SPUN *Pile*
- Kelas : A1
- Ukuran : 500 mm
- Kedalaman pasang : 22 m
- Daya dukung/pile : 61,83 ton
- Jumlah tiang : 322 titik

Untuk beban bangunan pertokoan 4 lantai:

- Tipe tiang : SPUN *Pile*
- Kelas : A1
- Ukuran : 500 mm
- Kedalaman pasang : 22 m
- Daya dukung/pile : 61,83 ton
- Jumlah tiang : 381 titik

Untuk beban bangunan pertokoan 5 lantai:

- Tipe tiang : SPUN *Pile*
- Kelas : A1
- Ukuran : 500 mm
- Kedalaman pasang : 22 m
- Daya dukung/pile : 61,83 ton
- Jumlah tiang : 483 titik

Untuk beban bangunan pertokoan 6 lantai:

- Tipe tiang : SPUN *Pile*
- Kelas : A1
- Ukuran : 500 mm
- Kedalaman pasang : 22 m
- Daya dukung/pile : 61,83 ton
- Jumlah tiang : 526 titik

3.4 Perencanaan Perbaikan Tanah Dasar Menggunakan

Metode *Preloading* Dengan Percepatan PVD

Beban Ekuivalen Bangunan (q_{ekiv})

Beban ekuivalen bangunan (q_{ekiv}) adalah beban timbunan sementara yang digunakan dalam perbaikan tanah sebagai pengganti beban bangunan nyata. Rekapitulasi nilai beban ekuivalen dan nilai tinggi ekuivalen bangunan terhadap timbunan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2.

Ketinggian	q _{gedung} (ton/m ²)	H _{ekuivalen} (m)
3 lantai	4,53	2,7
4 lantai	5,94	3,5
5 lantai	7,35	4,4
6 lantai	8,75	5,2

Perencanaan PVD untuk Mempercepat Pemampatan Tanah Dasar

Pada perencanaan dalam Studi ini, PVD dipasang sedalam lapisan tanah *compressible* yaitu sedalam 15 meter. Digunakan PVD dengan tipe CeTeau-Drain CT-D822. Dalam Studi ini diasumsikan pemilik proyek memberikan batas waktu yang cukup singkat dalam menyelesaikan proyek sehingga ditentukan waktu tunggu konsolidasi selama 8 minggu. Hasil perencanaan PVD dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3.

	Gedung 3 lt	Gedung 4 lt	Gedung 5 lt	Gedung 6 lt
Waktu Tunggu	12 minggu	12 minggu	12 minggu	12 minggu
Pola	Persegi	Segitiga	Persegi	Persegi
Jarak (m)	1,25	1,25	1	1

Perhitungan H_{initial} dan H_{final} Akibat Konsolidasi Primer (S_c) dan Konsolidasi Sekunder (S_s)

Setelah didapatkan nilai pemampatan primer dan sekunder, kemudian dilakukan perhitungan untuk mencari H_{initial} dan H_{final} timbunan. Dalam Studi ini pemampatan sekunder dihilangkan dengan melakukan penambahan beban sehingga ketika perbaikan tanah selesai, pemampatan primer maupun sekunder juga telah selesai. Besarnya nilai pemampatan primer akibat variasi beban menggunakan rumus penurunan primer [1] dapat dilihat pada Tabel 4. Sedangkan besarnya nilai pemampatan sekunder akibat variasi beban menggunakan rumus empiris [4] dapat dilihat pada Tabel 5. Sedangkan rekapitulasi perhitungan H_{initial} dan H_{final} dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 4.

Rekapitulasi Nilai Pemampatan Primer Akibat 5 Variasi Beban Asumsi

q timbunan (t/m ²)	S _c (m)
5	0.88
7	1.24
9	1.53
11	1.79
13	2.02

Tabel 5.
Rekapitulasi Nilai Pemampatan Sekunder Akibat 5 Variasi Beban Asumsi

q timbunan (t/m ²)	Ss (m)
5	0.52
7	0.62
9	0.73
11	0.83
13	0.93

Tabel 6.
Perhitungan Hinitial dan Hfinal Akibat Pemampatan Primer dan Sekunder

Gedung	H ekiv (m)	H urugan (m)	H final akhir (m)	H initial (m)	H final (m)	H bongkar Δq (m)	H bongkar total (m)
3 lantai	2.7	0	2.7	6.4	4.9	2.2	4.9
4 lantai	3.5	0	3.5	8.4	6.5	3.0	6.5
5 lantai	4.4	0	4.4	10.9	8.5	4.1	8.5
6 lantai	5.2	0	5.2	13.4	10.4	5.2	10.4

Peningkatan Nilai Cu pada Lapisan Compressible (15 m)

Karena harga Plasticity Index (PI) pada tanah kurang dari 120% maka Cu baru dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut: $Cu (kg/cm^2) = 0,0737+(0,1899-0,0016PI)\sigma'o$ [1]. Peningkatan nilai Cu setelah perbaikan tanah dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7.
Peningkatan Nilai Cu Setelah Perbaikan Tanah

Kedalaman (m)	PI (%)	Cu lama (t/m ²)	Cu baru (t/m ²)			
			Gedung 3 lt	Gedung 4 lt	Gedung 5 lt	Gedung 6 lt
3-4	40	1	2.04	2.40	2.81	3.22
4-5	40	1	2.10	2.45	2.86	3.27
5-6	40	1	2.16	2.51	2.91	3.32
6-7	40	1	2.21	2.56	2.96	3.37
7-8	44	1	2.19	2.52	2.90	3.28
8-9	44	1	2.25	2.57	2.95	3.33
9-10	44	1	2.30	2.62	2.99	3.37
10-11	44	1	2.35	2.67	3.04	3.41
11-12	40	1	2.49	2.82	3.21	3.61
12-13	40	1	2.54	2.87	3.26	3.65
13-14	40	2	2.60	2.93	3.31	3.70
14-15	40	2	2.65	2.98	3.36	3.75

3.5 Perencanaan Vacuum Preloading

Pada dasarnya perhitungan vacuum preloading hampir sama dengan perhitungan preloading dengan PVD biasa, namun dalam perhitungan vacuum preloading ada penambahan Δσ akibat vacuum. Distribusi tegangan yang dialami tanah akibat pompa vacuum sama besar sepanjang dalamnya pemasangan PVD, dalam Studi ini besarnya tegangan dari pompa vacuum yang terjadi pada tanah adalah sebesar 8 t/m². Tegangan dari pompa vacuum ini yang kemudian menggantikan beban timbunan yang akan dibongkar (H_{bongkar}) setinggi 4,7 m (dari konversi 8 t/m² menjadi timbunan dengan γ = 1,7 t/m³). Hasil perhitungan H_{initial} baru dan H_{bongkar} baru dapat dilihat pada Tabel 8.

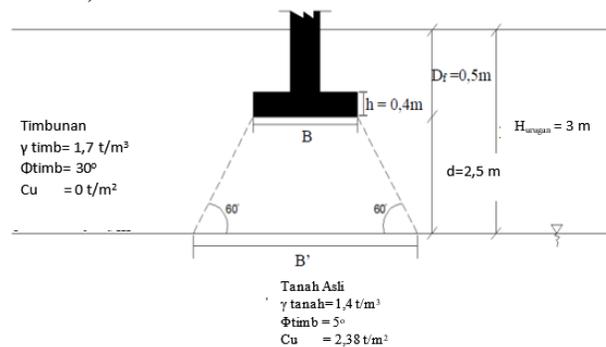
Tabel 8.
Hinitial dan Hbongkar baru Akibat Penggunaan Vacuum Preloading

Ketinggian	H initial (m)	H bongkar total (m)	H akibat vacuum (m)	Sc (m)	H bongkar akhir (m)	H initial baru (m)
3 Lantai	6.4	4.9	4.7	1.5	0.2	1.7
4 Lantai	8.4	6.5	4.7	1.9	1.8	3.7
5 Lantai	10.9	8.5	4.7	2.5	3.8	6.2
6 Lantai	13.4	10.4	4.7	3.0	5.7	8.7

3.6 Perencanaan Pondasi Rakit

Perhitungan Daya Dukung Tanah Asli Setelah Diperbaiki

Pada studi ini, perhitungan kapasitas daya dukung tanah di bawah pondasi raft direncanakan menggunakan rumus daya dukung tanah asli terhadap proyeksi 60° lebar dasar pondasi. Berikut disajikan gambaran dari data perencanaan pondasi rakit (Gambar 2)



Gambar 2. Data Perencanaan Pondasi Raft

Perhitungan daya dukung menggunakan rumus Terzaghi [2] dan faktor Nγ, Nc, dan Nq dari Caquot & Kerisel [2]. Hasil perhitungan daya dukung tanah dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9.
Kontrol q izin tanah Terhadap q ekuivalen gedung

	Gedung 3 lt	Gedung 4 lt	Gedung 5 lt	Gedung 6 lt
qizin (t/m ²)	8.1	8.7	9.5	10.9
q ekiv (t/m ²)	4.5	5.9	7.3	8.8
Kontrol	OK	OK	OK	OK

Kontrol Tegangan Tanah di Dasar Pondasi

Tegangan tanah di dasar pondasi tidak selalu merata diakibatkan adanya gaya momen yang terjadi sehingga akan ada satu sisi pondasi yang mengalami tegangan tanah lebih besar daripada sisi lainnya. Perhitungan q_{max} yang terjadi di bawah pondasi dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut [2]:

$$q_{max} = \frac{Pu}{A} + \frac{M_x \cdot X}{I_y} + \frac{M_y \cdot Y}{I_x}$$

Hasil perhitungan dan kontrol q_{max} terhadap q izin tanah dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10.
Kontrol q izin Terhadap Tegangan di Dasar Pondasi

	Gedung 3 lt	Gedung 4 lt	Gedung 5 lt	Gedung 6 lt
qizin (t/m ²)	8.1	8.7	9.5	10.9
q max (t/m ²)	4.53	5.94	7.35	8.75
Kontrol	OK	OK	OK	OK

Kebutuhan Tulangan Balok Pondasi Raft

Kebutuhan tulangan lentur dilakukan sesuai dengan SNI 03-2847-2013 [3]. Kebutuhan tulangan dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11.
Kebutuhan Tulangan Lentur pada Balok Raft

Beam	Tulangan Pakai							
	Gedung 3 lt		Gedung 4 lt		Gedung 5 lt		Gedung 6 lt	
	Ats	Bwh	Ats	Bwh	Ats	Bwh	Ats	Bwh
Melintang Eks (tumpuan)	3	3	3	3	3	3	3	4
Melintang Eks (lapangan)	3	3	3	3	3	3	3	3
Memanjang Eks (tumpuan)	3	3	3	3	3	4	3	4
Memanjang Eks (lapangan)	3	3	3	3	3	3	3	3
Melintang In (tumpuan)	3	3	3	3	3	4	3	5
Melintang In (lapangan)	3	3	3	3	4	3	5	3
Memanjang In (tumpuan)	3	4	3	5	3	7	3	8
Memanjang In (lapangan)	3	3	4	3	5	3	6	3

3.7 Estimasi Biaya

Estimasi biaya pada Studi ini memperhitungkan biaya material dan biaya pelaksanaan untuk pondasi dalam, perbaikan tanah *preloading* dengan PVD, perbaikan tanah menggunakan *vacuum preloading* dan struktur balok dan plat lantai dasar untuk gedung dengan ketinggian 3 lantai, 4 lantai, 5 lantai dan 6 lantai. Hasil perhitungan dilakukan berdasarkan HSPK 2017 [4] dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12.
Rekapitulasi Estimasi Biaya dari Tiga Alternatif

	Pondasi Dangkal + Preloading & PVD	Alternatif	
		Pondasi Dangkal + Vacuum Preloading	Pondasi Dalam
3 lantai	Rp6,095,938,155	Rp2,963,207,662	Rp4,840,687,738
4 lantai	Rp7,851,143,339	Rp4,160,933,893	Rp5,739,214,668
5 lantai	Rp10,426,566,730	Rp6,039,707,940	Rp7,261,031,607
6 lantai	Rp13,253,798,505	Rp8,178,899,555	Rp7,884,668,852

IV. KESIMPULAN

Dalam perencanaan Studi ini didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Perencanaan pondasi *raft* di atas tanah elastis (perletakan *spring*) dilakukan dengan menggunakan program bantu ETABS 2016 dan didapatkan dimensi yang cukup kaku dalam menerima momen yang terjadi, yaitu balok 40/70 dan pelat 25 cm dengan jumlah tulangan yang dapat dilihat pada Tabel 11.
2. Dasar dari pondasi *raft* dipasang pada kedalaman -70cm dari permukaan tanah eksisting.
3. Dilakukan percepatan pemampatan tanah menggunakan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*) sedalam lapisan *compressible* 15 meter. PVD yang digunakan adalah tipe CeTeau-Drain CT-D822 dengan tebal (a) = 100 mm dan lebar (b) = 4 mm, dengan jarak dan pola pemasangan persegi 1,25 m untuk gedung 3 lantai, segitiga 1,25 m untuk gedung 4 lantai, persegi 1 m untuk gedung 5 lantai dan persegi 1 m untuk gedung 6 lantai. Untuk menghilangkan pemampatan sekunder yang terjadi, dilakukan penambahan timbunan dengan percepatan konsolidasi menggunakan PVD sehingga setelah perbaikan tanah selesai, pemampatan primer dan sekunder juga selesai. Dari hasil perhitungan dengan menggunakan metode perbaikan tanah *preloading* dan PVD didapatkan tinggi pelaksanaan ($H_{initial}$) dan tinggi pembongkaran ($H_{bongkar}$) pada Tabel 3.6, yaitu $H_{initial}$ = 6,4 meter untuk gedung 3 lantai, $H_{initial}$ = 8,4 meter untuk gedung 4 lantai, $H_{initial}$ = 10,9 meter untuk gedung 5 lantai dan $H_{initial}$ = 13,4 meter untuk gedung 6 lantai. Setelah pemampatan tanah dan pembongkaran beban tambahan untuk menghilangkan beban sekunder (Δq) serta pembongkaran beban ekuivalensi gedung (q_{ekiv}) telah selesai, didapatkan tinggi akhir timbunan, $H_{final\ akhir}$ = 0 meter. Sedangkan dari hasil perhitungan dengan menggunakan metode perbaikan tanah *vacuum preloading* didapatkan tinggi pelaksanaan ($H_{initial}$) dan tinggi pembongkaran ($H_{bongkar}$) pada Tabel 8, yaitu $H_{initial}$ = 1,7 meter untuk gedung 3 lantai, $H_{initial}$ = 3,7 meter untuk gedung 4 lantai, $H_{initial}$ = 6,2 meter untuk gedung 5 lantai dan $H_{initial}$ = 8,7 meter untuk gedung 6 lantai.
4. Pada perencanaan pondasi dalam, tiang pancang direncanakan mencapai kedalaman 22 meter karena telah mencapai tanah keras dengan banyaknya titik yaitu 322 titik untuk gedung 3 lantai, 381 titik untuk gedung 4 lantai, 483 titik untuk gedung 5 lantai dan 526 titik untuk gedung 6 lantai.
5. Estimasi biaya dalam studi ini dilakukan berdasarkan biaya material dan pelaksanaan. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan alternatif yang termurah untuk gedung dengan ketinggian 3, 4 dan 5 lantai adalah menggunakan pondasi dangkal dengan perbaikan tanah *Vacuum Preloading*, sedangkan untuk ketinggian 6 lantai menggunakan pondasi tiang pancang seperti yang dapat dilihat pada Tabel 12.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Das, *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jakarta: Erlangga, 1995.
- [2] H. Wahyudi, *Daya Dukung Pondasi Dangkal*. Surabaya: ITS Press, 2012.
- [3] Badan Standar Nasional, "SNI 03-2847-2013," Jakarta, 2013.
- [4] Pemerintah Kota Surabaya, "Harga Satuan Pokok Kegiatan," Surabaya, 2017.