

STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN PONDASI TIANG BOR FAKULTAS FARMASI UNIVERSITAS AIRLANGGA SURABAYA

Edina Disa¹, Moch. Sholeh², Gerard Aponno³

¹Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang, ²Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang, ³Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang

¹edinaadisaa@gmail.com, ²moch.sholeh@gmail.com, ³gaponno@gmail.com

ABSTRAK

Poyek fakultas farmasi Universitas Airlangga Surabaya merupakan proyek gedung perkuliahan. Gedung fakultas farmasi ini dibangun dengan perencanaan konstruksi bawahnya menggunakan pondasi tiang pancang. Dikarenakan letaknya berdekatan dengan fakultas yang lain, perencanaan pondasi tiang bor bisa dijadikan alternatif karena tidak menimbulkan suara bising dan getaran. Perhitungan pembebanan struktur atas mengacu pada PPIUG 1983 dan dihitung dengan menggunakan software RSAP 2016. Beban-beban yang bekerja pada kaki kolom digunakan sebagai dasar perencanaan daya dukung tiang tunggal dan daya dukung tiang kelompok untuk satu portal yang ditinjau. Metode pelaksanaan pekerjaan menyesuaikan lokasi gedung dan menggunakan alat berat. Sementara itu anggaran biaya pondasi menggunakan HSPK 2018 kota Surabaya. Perhitungan pondasi tiang bor dengan panjang tiang 18 m dan penampang lingkaran 50 cm didapatkan daya dukung tiang tunggal sebesar 589.457,684 kg, daya dukung kelompok pada kolom tengah sebesar 1.886.264,589 kg, penurunan total pondasi 0,445 mm dengan jumlah tiang sebanyak 4 tiang. Pada kolom tepi didapatkan daya dukung kelompok tiang yaitu 1.356.342,131 kg, penurunan total pondasi 0,228 mm dengan jumlah tiang sebanyak 3 tiang. Metode pelaksanaan pondasi tiang bor menggunakan metode casing dengan alat *bore pile machine*. Total anggaran biaya pondasi tiang bor sebesar Rp. 8.800.100.653.

Kata kunci : Perencanaan, Pondasi, Tiang Bor

ABSTRACT

The faculty of pharmacy project of Airlangga University Surabaya is a lecture building project. The pharmacy faculty building was built with under construction planning using a pile foundation. Due to its proximity to other faculties, planning of the bored pile foundation can be an alternative because it does not cause noise and vibration. The calculation of loading the upper structure refers to PPIUG 1983 and is calculated using the 2016 RSAP software. Loads that work at the foot of the column are used as the basis for planning the carrying capacity of a single pole and carrying capacity of a group of poles for one portal being reviewed. The method of implementing the work is based on location of the building and using heavy equipment. Meanwhile the foundation cost budget uses the HSPK 2018 Surabaya. Calculation of bored pile foundation with a pole length of 18 m and a cross section of 50 cm obtained a carrying capacity of a single pole of 589,457,684 kg, carrying capacity of the group in the middle column of 1,886,264,589 kg, a decrease in the total foundation of 0,445 mm with a total number of poles of 4 poles. In the edge column, the carrying capacity of the pile group is 1,356,342,131 kg, decreasing the total foundation of 0,228 mm with a total of 3 poles. The method of implementing the bored pile foundation uses the casing method with a bore pile machine. The total budget for the cost of the bored pile foundation is Rp. 8.800.100.653.

Keywords: Design, Foundation, Borepile

1. PENDAHULUAN

Pondasi memiliki fungsi untuk meneruskan beban dari bangunan di atasnya ke tanah. Pondasi pada pembangunan sebuah gedung merupakan bagian yang perlu diperhatikan

baik dari desain, metode pelaksanaan, maupun biayanya. Terdapat beberapa jenis pondasi dan tiap jenisnya memiliki cara pemasangan, bentuk, dan ukuran yang berbeda. Sehingga, nantinya juga akan berpengaruh pada biaya yang

harus dikeluarkan untuk membangun pondasi tersebut. Gedung yang membutuhkan kekuatan pondasi yang besar dengan kondisi tanah yang kurang baik maka dibutuhkan pondasi dalam. Jenis pondasi dalam yaitu pondasi tiang bor, tiang pancang, dan Strauss. Dibutuhkan juga penyelidikan tanah untuk mengetahui jenis tanah dengan menggunakan metode SPT (*Standard Penetration Test*).

Perencanaan pondasi dipilih berdasarkan kondisi tanah di daerah Surabaya yang lunak maka dipilihlah pondasi dalam yakni pondasi tiang bor. Dipilihnya gedung Kuliah Fakultas Farmasi Universitas Airlangga di kota Surabaya ini didasari

karena penulis mendapatkan data tanah untuk gedung tersebut dari sumber proyek gedung tersebut.

Gedung Kuliah Fakultas Farmasi Universitas Airlangga ini memiliki perencanaan pondasi menggunakan tiang pancang dengan dimensi tiang 500x500 mm dengan kedalaman tiang 22 meter dan dalam satu pile cap terdiri dari 3 sampai 6 tiang.

Menurut penulis, untuk bangunan gedung kuliah dengan menggunakan pondasi tiang pancang adalah hal yang kurang efisien dikarenakan pada pekerjaan pondasi tiang pancang dengan menggunakan alat drop hammer menimbulkan suara dan getaran yang mana dapat mengganggu aktifitas perkuliahan disekitarnya. Penulis merencanakan pondasi tiang bor karena pelaksanaannya tidak menimbulkan kebisingan akibat alat yang dipakai seperti *bore pile machine* dan tidak menimbulkan polusi udara disekitar lokasi proyek.

Pondasi Tiang Bor

Tiang bor adalah tiang yang dibor dibuat dengan cara membor lubang silindris hingga kedalaman tertentu kemudian diisi dengan beton berupa lubang lurus atau dasarnya diperbesar. Tiang ini biasanya, dipakai pada tanah yang stabil dan kaku, sehingga memungkinkan untuk membentuk lubang yang stabil dengan alat bor. Jika tanah mengandung air, pipa besi dibutuhkan untuk menahan dinding lubang dan pipa ini ditarik ke atas pada waktu pengecoran beton. Pada tanah yang keras atau batuan lunak, dasar tiang dapat dibesarkan untuk menambah tahanan dukung ujung tiang (Angi, 2013).

Penyelidikan Tanah Menggunakan SPT (*Standard Penetration Test*)

Uji Penetrasi standar yang dikembangkan pada tahun 1927, dewasa ini merupakan sarana paling ekonomis untuk mendapatkan informasi dari lapisan bawah permukaan (tanah). Menurut Bowles (1984) Pengujian SPT yang berasal dari Amerika Serikat ini adalah pengujian yang sering digunakan untuk mengestimasi nilai kerapatan relatif dari lapisan tanah yang diuji.

Perhitungan dilakukan dengan melihat banyaknya pukulan untuk memasukkan tabung, catat jumlah pukulan N pada setiap penetrasi 15 cm:

- 15 cm pertama dicatat N1
- 15 cm ke-dua dicatat N2
- 15 cm ke-tiga dicatat N3

Jumlah pukulan yang dihitung adalah $N_2 + N_3$. Nilai N1 tidak diperhitungkan karena masih kotor bekas pengeboran. Bila nilai N lebih besar daripada 50 pukulan, hentikan pengujian dan tambah pengujian sampai minimum 6 meter. Catat jumlah pukulan pada setiap penetrasi 5 cm untuk jenis tanah batuan.

2. METODE

Perencanaan Pondasi

Dalam perencanaan ini dilakukan perhitungan-perhitungan pendekatan dengan melalui tahapan yakni perhitungan beban atas, daya dukung, penurunan dan metode pelaksanaan yang akan dijabarkan pada penjelasan seperti berikut:

Pembebanan Struktur Atas

Untuk pertimbangan pemilihan pondasi dalam maka dibutuhkan perhitungan beban dari struktur atasnya. Digunakan asumsi dan pendekatan dengan beberapa jenis beban yaitu beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa, perhitungan dilanjutkan dengan kombinasi beban tersebut.

Kombinasi beban yang digunakan dalam perencanaan yaitu ASD dan LRFD berdasarkan SNI 1726-2019 tentang "Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan dan Struktur Lain".

Perhitungan Daya Dukung Tiang

Sumber Braja M. das (2016) tentang perhitungan secara dinamis dilakukan dengan menganalisa daya dukung batas (ultimit) dengan data yang diperoleh dari data pengeboran tiang. Daya dukung berdasarkan data pengujian SPT dihitung dengan metode Mayerhof (1976).

Daya dukung tiang tunggal

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

Dimana:

Q_u = daya dukung tiang ultimit (batas)

Q_p = daya dukung ujung tiang

Q_s = daya dukung gesekan selimut tiang

Daya dukung ujung tiang

$$Q_p = 40 \times N_{60} \times \frac{L}{D} < 4 \text{ Pa. } N_{60}$$

Dimana:

N_{60} = nilai N_{60} rata-rata pada Q_p

Daya dukung selimut tiang

$$Q_s = p \times L \times N_{60}$$

Dimana:

- L = kedalaman pondasi tiang
- p = keliling penampang tiang

Daya dukung ijin tiang

Daya dukung ijin tiang diperoleh dari daya dukung ultimate (Qu) dibagi dengan faktor keamanan yang direncanakan. Persamaan daya dukung ijin tiang tunggal dihitung menggunakan rumus:

$$Q_{all} = Q_u \div SF$$

Dimana :

- Qall = daya dukung tiang ijin
- Qu = daya dukung tiang ultimit (batas)
- SF = Faktor keamanan (2,5 s/d 4)

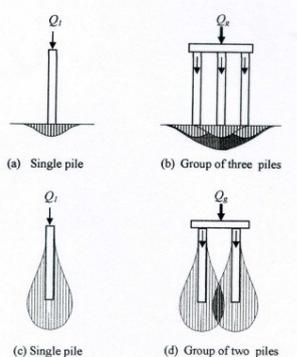
Daya dukung Kelompok Tiang

Pondasi tiang dibentuk dalam kelompok tiang untuk dapat menahan beban struktur bangunan alas dan menyalurkan ke lapisan tanah dibawahnya. Idealnya jarak antar tiang dalam kelompok tiang minimum $d = 2,5 D$ dan umumnya digunakan antara $d = 3 D$ s/d $3,5 D$ (Diameter tiang). Menentukan Jumlah Tiang

$$n = Q / Q_{all}$$

Dimana:

- n = jumlah tiang
- Q = beban aksial dari kolom
- Qall = daya dukung ijin
- Daya dukung kelompok tiang ada dua jenis yaitu pada tanah non kohesif (Sand Soil) dan tanah kohesif (Clay Soil).



Gambar 1. Tipikal Kelompok Tiang

Penurunan Pondasi

Penurunan pada tanah dan pondasi dibagi menjadi dua yaitu:

a. Penurunan Elastik Kelompok Tiang (Elastic Settlement)

$$S_{g(e)} = \frac{0,92 \cdot q \cdot \sqrt{B_g \cdot l}}{\bar{N}}$$

Dimana:

- S_{g (e)} = penurunan elastik kelompok tiang
- B_g = lebar kelompok tiang
- L_g = panjang kelompok tiang
- N = N-SPT rata-rata pada kedalaman B_g di bawah dasar pondasi
- I = faktor pengaruh

b. Penurunan Konsolidasi

Penambahan teggangan pada setiap tengah lapisan akibat

Q_g

$$\Delta p_i = \frac{Q_g}{(B_g + z_i) \cdot (L_g + z_i)}$$

Dimana:

- Δp_i = Penambahan tegangan pada tengah-tengah lapisan i
- Q_g = Beban yang bekerja pada kelompok tiang
- L_g, B_g = Panjang dan lebar kelompok tiang
- Z_i = Jarak dari z = 0 sampai dengan tengah-tengah lapisan ke-i

Penurunan tiap lapisan

$$\Delta s_i = \frac{\Delta e}{1 + e_o} \times H_i$$

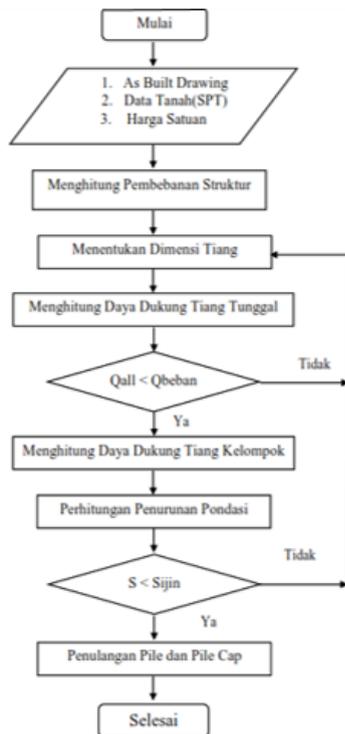
Dimana:

- Δs_i = Penurunan konsolidasi pada lapisan ke-i
- Δe = Perubahan angka pori akibat penambahan tegangan pada lapisan Ke-i
- e_o = Angka pori awal pada lapisan ke-i
- H_i = Tebal lapisan ke-i

Penurunan konsolidasi pada lempung terkondisi normal

$$S_c = \frac{C_c \cdot H_c}{1 + e_o} \cdot \log \frac{P_0 + \Delta P}{P_0}$$

Untuk memudahkan analisa perencanaan maka dibentuk dengan *flowchart* / diagram alir seperti berikut:



Gambar 2. Diagram Alir Perencanaan Pondasi

Metode Pelaksanaan dan Rencana Anggaran Biaya

Secara garis besar perencanaan pondasi tidak lepas dari metode pelaksanaannya dan biaya perencanaannya. Setelah menghitung daya dukung hingga penulangan pondasi diperlukan metode dan biaya yang harus digunakan pada proyek tersebut. Proyek ini menggunakan metode pengeboran dengan menambahkan casing dan anggaran biaya menjabarkan AHSP dan BOQ.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis pembebanan struktur atas

Perhitungan dilakukan dengan memilih portal pada denah pembalokan, dipilih portal melintang balok As 5-5. Sehingga dengan perhitungan beban mati, beban hidup, beban angin dan beban gempa didapatkan pembebanan kombinasi yang dianalisa menggunakan *software RSAP 2016*. Dengan Kombinasi ASD untu beban tiang dan LRFD untuk perhitungan pile cap. Berikut pembebanannya:

Pembebanan dengan kombinasi ASD

1. D = 479020,48
2. D+L = 612782,93
3. D+0,75L = 579342,32
4. D+0,6W = 479660,23
5. D+0,75(0,6W)+0,75L= 579982
6. 0,6D+0,6W = 288052,04

7. D+0,7E = 483432,04
8. D+0,525E+0,75L = 582650,99
9. 0,6D+0,7E = 291823,85

Pembebanan dengan kombinasi LRFD

1. 1,2D = 57482,57
2. 1,2D+1,6L = 788844,5
3. 1,2D+0,5W = 575357,7
4. 1,2D+W+L = 709653,29
5. 0,9D+W = 432184,68
6. 1,2D+E+L = 714889,26
7. 0,9D+E = 437420,66

Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Bor

Menggunakan teori dan rumus dari mayerhof (1967). Perhitungan dimensi dan kedalaman tiang menggunakan cara trial and error . Berikut adalah contoh perhitungan daya dukung tiang tunggal dengan menggunakan diameter 0,5 m dan panjang tiang 18 m:

- Luas tiang pancang (A_p) = $\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 0,196 \text{ m}^2$
- Keliling tiang (p) = $\pi \cdot D = 1,571 \text{ m}$

Menghitung nilai koreksi N_{60} dari data SPT:

$$N_{60} = \frac{1}{0,6} \times Ef \times C_b \times C_s \times C_r \times N$$

$$= \frac{1}{0,6} \times 0,5 \times 1 \times 1 \times 0,75 \times 3 = 1,875$$

Tabel 1. Nilai SPT terkorreksi pada Boring DB1

DEPTH (m)	N-SPT	Ef	Cb	Cs	Cr	N ₆₀ koreksi
1,25	0	0,5	1	1	1	0,000
3,25	3	0,5	1	1	1	1,875
5,25	0	0,5	1	1	1	0,000
7,25	0	0,5	1	1	1	0,000
9,25	0	0,5	1	1	1	0,000
11,25	0	0,5	1	1	1	0,000
13,25	0	0,5	1	1	1	0,000
15,25	16	0,5	1	1	1	13,333
17,25	12	0,5	1	1	1	10,000
19,25	43	0,5	1	1	1	35,833
21,25	47	0,5	1	1	1	39,167
23,25	50	0,5	1	1	1	41,667
25,25	28	0,5	1	1	1	23,333
27,25	33	0,5	1	1	1	27,500
29,25	38	0,5	1	1	1	31,667
31,25	12	0,5	1	1	1	10,000
33,25	50	0,5	1	1	1	41,667
35,25	30	0,5	1	1	1	25,000
37,25	23	0,5	1	1	1	19,167
39,25	25	0,5	1	1	1	20,833

Sumber : Hasil Analisis

Perhitungan daya dukung tiang tunggal berdasarkan Mayerhof (1976) seperti yang dijelaskan pada metode. Hasil perhitungan daya dukung tiang tunggal didasari dengan Q_{total} yaitu 612782,9 kg beban terbesar yang berada pada kombinasi ASD.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal

P	D	Qu	SF	Qall	Jumlah
m	m	kg		kg	bh
18	0,6	678872,927	3	226290,976	3
	0,5	589457,684	3	196485,895	4
	0,4	498709,508	3	166236,503	4

Sumber: Hasil Analisis

Daya Dukung Kelompok Tiang

Contoh perhitungan daya dukung kelompok tiang pada tiang diameter 0,5 m dengan kedalaman 18 m dan penentuan jumlah tiang.

$$n = \frac{Q_2}{Q_{all}} = \frac{612.782,9}{196485,89} = 3,119 \approx 4 \text{ buah}$$

Penurunan Elastik Kelompok Tiang

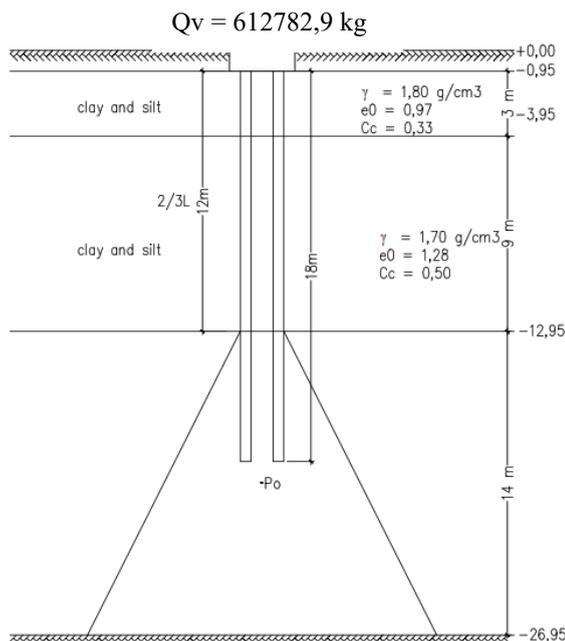
$$S_{g(e)} = \frac{0,92 \cdot q \cdot \sqrt{B_g \cdot l}}{\bar{N}}$$

$$= \frac{0,92 \cdot 0,153 \cdot \sqrt{2000 \cdot 0,875}}{38,667}$$

$$= 0,152 \text{ mm}$$

Penurunan Konsolidasi

Penurunan konsolidasi dapat digambarkan dengan skema seperti berikut:



Gambar 3. Penurunan Konsolidasi Pondasi 4 Tiang

$$S_{c(1)} = \frac{C_c \cdot z}{1 + e_0} \log \left[\frac{P_0 + \Delta P}{P_0} \right]$$

$$= \frac{(0,50) \cdot (14000)}{1 + 1,28} \log \left[\frac{34,31 + 0,00756}{34,31} \right]$$

$$= 0,293 \text{ mm}$$

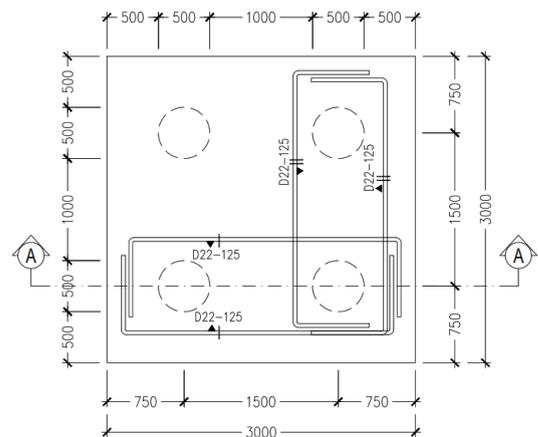
$$S_{total} = S_{g(e)} + S_c = 0,152 + 0,293 = 0,445 \text{ mm}$$

Penulangan Pile Cap untuk Tiang Bor

Perencanaan pile cap dilakukan dengan menghitung aksi dua arah dan satu arah di sekitar kolom, sehingga didapat $\phi V_c > V_u$. Perhitungan berdasar b_o (keliling) dan nilai kuat geser pons individu untuk beton ditentukan dari nilai terkecil menurut SNI 1726-2019.

$$\phi V_c = 0,75 \times 6477,890$$

$$= 4858,417 \text{ kN} > V_u = 1972,111 \text{ kN (OK)}$$



Gambar 6. Detail Tulangan Pile Cap

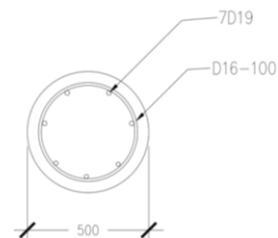
Penulangan Tiang Bor

Perhitungan penulangan tiang bor menggunakan rumus desain tulangan spiral berdasarkan SNI 03-2847-2002.

Jika digunakan spiral D16, $a_s = 199 \text{ mm}^2$ dan $d_s = 16 \text{ mm}$

$$S = \frac{4 \cdot a_s (D_c - d_s)}{D_c \cdot \rho_s} = \frac{4 \cdot 199 (350 - 16)}{350 \cdot 2,0,035} = 62,009 \text{ mm} = 100 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan spiral D16-100 mm



Gambar 7. Potongan a-a Tiang Bor

Metode Pelaksanaan Tiang Bor

Dalam menyusun metode pelaksanaan dibutuhkan penyusunan WBS yaitu dilakukan untuk memudahkan dalam menganalisa satu persatu pekerjaan yang akan dilaksanakan pada pekerjaan pondasi tiang bor. Berikut penjabarannya:

1. Pekerjaan Persiapan
 - a. Pembersihan Lahan
 - b. Pengukuran & Bouwplank

- c. Mobilisasi & Demobilisasi
- 2. Pekerjaan Pondasi Boredpile
 - a. Pengeboran
Pengeboran menggunakan borepile machine dengan mata bor spiral berdiameter 0,5 m
 - b. Pemasangan Casing
Setelah dilakukan pengeboran awal, kemudian dilakukan pemasangan temporary casing dengan bantuan crane untuk menyesuaikan posisi casing tersebut.
 - c. Pekerjaan Pembesian Boredpile (Tulangan)
 - d. Pengecoran
 - e. Pembukaan/Pembongkaran Casing
- 3. Pekerjaan Pile Cap
 - a. Galian Tanah Pile Cap
 - b. Urugan Pasir
Setelah digali sedalam 100 mm sesuai perencanaan, pada dasar galiannya diberi urugan pasir lalu dipadatkan.
 - c. Pengecoran Lantai Kerja
Pemasangan lantai kerja dilakukan dengan tebal 75 mm diatas urugan pasir.
 - d. Bekisting Pile Cap
 - e. Pekerjaan Pembesian Pile Cap (Tulangan)
 - f. Pengecoran Pile Cap
 - g. Urugan Tanah

Rencana Anggaran Biaya

Untuk rencana anggaran biaya ini perhitungan awal dengan analisa harga satuan pekerjaan yang menggunakan HSPK kota Surabaya tahun 2018 dengan koefisien mengacu pada Permen PUPR NO 28/PRT/M/2016. Sehingga RAB didapat seperti **tabel 3**.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Rencana Anggaran Biaya

No.	Uraian Pekerjaan	Harga Total
A.	Pekerjaan Persiapan	
1	Pembersihan Lahan	Rp 112.572.171,24
2	Pekerjaan Bowplank	Rp 23.379.481,37
3	Mobilisasi & Demobilisasi	Rp 34.351.000,00
B	Pekerjaan Borepile	
1	Pengeboran tanah	Rp 1.593.795.701,18
2	Pemasangan Casing	Rp 54.186.000,00
3	Pembesian borepile	Rp 3.651.498.403,24
4	Pengecoran borepile	Rp 1.086.838.253,55
5	Pembongkaran Casing	Rp 54.186.000,00
C	Pekerjaan Pilecap	
1	Pekerjaan galian 1 m	Rp 45.786.314,48
2	Pekerjaan Urugan Pasir	Rp 10.985.005,62
3	Pekerjaan lantai kerja	Rp 27.472.044,54
4	Pekerjaan bekisting	Rp 317.574.867,24
5	Pekerjaan pembesian	Rp 293.079.784,87
6	Pekerjaan pengecoran	Rp 694.386.474,93
7	Pekerjaan Urugan Tanah	Rp 61.516,95

D	Jumlah	Rp 8.000.091.502,25
E	Pajak-pajak (10%)	Rp 800.009.150,23
F	Total	Rp 8.800.100.652,48
G	Total	Rp 8.800.100.653,00

Sumber: Hasil Perhitungan

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari perhitungan beban struktur atas didapatkan beban terbesar pada As 5-5 sebesar 612782,9 kg.
2. Perhitungan daya dukung ijin tiang didapat sebesar 196485,895 kg, dengan dimensi pondasi tiang 0,5 m dan panjang 18 m.
3. Dari hasil perhitungan penurunan total didapat 0,445 mm yang artinya masih aman dan sesuai batas ijin penurunan.
4. Perencanaan tulangan pile cap didapatkan D22-125 tulangan atas dan bawah sedangkan pada tiang bornya tulangan utama didapat D16-100.
5. Dalam metode pekerjaan dilakukan dengan borepile machine dan pemasangan casing yang meliputi pekerjaan persiapan, pekerjaan pondasi tiang bor, pekerjaan pile cap.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]Badan Standardisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung, SNI 1726-2012*. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.
- [2] Bowles. Joseph E. 1984. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta. Erlangga.
- [3]Departemen Pekerjaan Umum, 1983. *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Bangunan Gedung (PPIUG 1983)*. Bandung. Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- [4] Angi, R. (2013). *Perencanaan Pondasi Tiang Pancang dan Tiang Bor*.
- [5]Das, Braja M. 2016. *Principles of Foundation Engineering, 8th. Boston*. Cengage Learning