

PERENCANAAN ULANG FONDASI TIANG BOR PADA PROYEK PEMBANGUNAN RUSUNAWA SURABAYA TIMUR

Sufi'an Akbar M.^{*}, Moch. Sholeh², Dandung Novianto³

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang², Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang³

Email: sufianakbarm1999@gmail.com¹, moch.sholeh@polinema.ac.id², dandung.novianto@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Kota Surabaya menjadi kota terpadat di Jawa Timur dan tingkat populasi semakin meningkat sehingga memerlukan tempat tinggal yang dapat memuat banyak orang dan lahan yang digunakan seminimal mungkin. Permasalahan yang akan penulis bahas adalah pembebanan struktur bangunan, daya dukung tiang, penurunan kelompok tiang, metode pelaksanaan dan rencana anggaran biaya untuk membandingkan dengan kondisi awal. Perhitungan pembebanan struktur atas bangunan mengacu pada SNI 2847-2019 dan analisis menggunakan bantuan RSAP 2019. Perhitungan beban angin mengacu pada SNI 1727-2020. Perhitungan beban gempa mengacu pada SNI 1726-2019. Desain fondasi menggunakan fondasi tiang bor dengan mutu beton. Perhitungan daya dukung fondasi menggunakan data hasil uji penetrasi di lapangan (*Standard Penetration Test*). Perhitungan dimensi pilecap mengacu pada SNI 2847-2019. Perhitungan Rencana Anggaran Biaya menggunakan Analisa Harga Satuan Pekerjaan Kota Surabaya. Hasil analisis didapatkan daya dukung kelompok tiang total sebesar 957,303 ton, dengan jumlah tiang 498 tiang, menggunakan alat *Drilling Pucket*, diameter bor menggunakan 50 cm, kedalaman 27 meter, dan biaya pekerjaan fondasi dan *pile cap* sebesar Rp. 4.568.435.498,00.

Kata Kunci : N-SPT, Daya Dukung, Tiang Bor, Metode Pelaksanaan, RAB

ABSTRACT

The city of Surabaya is the most populous city in East Java and the population level is increasing so that it requires a place to live that can accommodate many people and land that is used to a minimum. The problems that the author will discuss are the loading of the building structure, the bearing capacity of the piles, the settlement of pile groups, the method of implementation and the budget plan to compare with the initial conditions. The calculation of the loading of the superstructure of the building refers to SNI 2847-2019 and the analysis uses the help of RSAP 2019. The calculation of wind load refers to SNI 1727-2020. Earthquake load calculation refers to SNI 1726-2019. Foundation design using drilled pile foundation with concrete quality. Calculation of the bearing capacity of the foundation using data from the results of penetration tests in the field (Standard Penetration Test). The calculation of pilecap dimensions refers to SNI 2847-2019. Calculation of the Budget Plan using the Surabaya City Work Unit Price Analysis. The results of the analysis obtained the carrying capacity of the total pile group of 957,303 tons, with a total of 498 piles, using a Drilling Pucket tool, using a drill diameter of 50 cm, a depth of 27 meters, and the cost of foundation work and pile cap of Rp. 4,568,435,498.00.

Keyword :N-SPT,Bearing Capacity, Bore Pile, Implementation Method, Cost Estimate

1. PENDAHULUAN

Pekerjaan fondasi merupakan salah satu pekerjaan yang penting dalam suatu pembangunan, karena fondasi memiliki fungsi memikul dan menahan semua beban yang bekerja di atasnya, yaitu beban struktur atas, kemudian gangguan yang terjadi akibat beban struktur atas tersebut akan disalurkan kedalam lapisan tanah. Penggunaan fondasi dalam sebagai fondasi bangunan apabila tanah yang memiliki daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan seluruh beban yang bekerja pada lapisan yang sangat dalam dari permukaan tanah dengan kedalaman > 8 meter (Bowles, 1997). Pada keadaan asli bangunan ini fondasi Rusun di Surabaya Timur ini menggunakan fondasi tiang pancang, pada kondisi lokasi yang terletak pada tanah lempung dan lokasi pembangunan padat dengan penduduk. Pemilihan Bored Pile sendiri dikarenakan disekitar Rusun terdapat banyak rumah warga, dan rusun yang sudah jadi.

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Menghitung struktur dengan *RSAP* pada pembangunan Rusunawa Surabaya Timur.
- 2) Menghitung besar penurunan elastis dan penurunan konsolidasi yang terjadi pada fondasi.
- 3) Menghitung daya dukung dari perhitungan fondasi tiang bor pada Rusunawa Surabaya Timur.
- 4) Menghitung kapasitas daya dukung kelompok tiang fondasi *eksisting* dan tiang bor menggunakan perhitungan manual untuk mendesain fondasi tiang bor dari beberapa diameter dengan teori *Mayerhoff*.
- 5) Menghitung perbandingan anggaran biaya pelaksanaan fondasi tiang bor Pada Rusunawa Surabaya Timur.

2. METODE

Metode yang digunakan adalah metode kering, dikarenakan kondisi tanah yang lempung homogen pada saat pengeboran kotoran tidak masuk ke dalam lubang bor dan setelah pengecoran material akan mendorong kotoran kotoran hasil pengeboran keluar dari lubang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembebanan

Dalam perhitungan fondasi tiang bore pile pada Proyek Pembangunan Rusunawa Gununganyar Surabaya memerlukan perhitungan pembebanan yaitu beban struktur atas, struktur beton bertulang, beban air hujan, beban gempa, beban angin dan beban kombinasi ASD dan LRFD.
Analisa Perhitungan Dimensi Tiang Bor

Dalam menganalisis perhitungan dimensi tiang bor perlu dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

Perhitungan Daya Dukung Tiang Bor

Pada perhitungan daya dukung tiang bor, di dapatkan hasil diameter dan kedalaman tiang pada **Tabel 1** berikut :

Tabel 1 Pendimensian Fondasi Tiang Bor

No	Tipe	Diameter			
		Tiang (m)	Ap (m ²)	Keliling (m)	Kedalaman (m)
1	Pondasi 1	0,500	0,196	1,571	27,000
2	Pondasi 2	0,500	0,196	1,571	27,000
3	Pondasi 3	0,500	0,196	1,571	27,000
4	Pondasi 4	0,500	0,196	1,571	27,000

Setelah dilakukan perhitungan, di bawah ini merupakan **Tabel 2** yang merupakan rekapitulasi dari perhitungan daya fondasi tiang bor.

Tabel 2 Perhitungan Qp,Qs,Qu,Qall

No	Tipe	Qp	Qs	Qu	Q all
		(ton)	(ton)	(ton)	(ton)
1	Pondasi 1	13,547	92,800	106,347	35,449
2	Pondasi 2	13,554	92,800	106,354	35,451
3	Pondasi 3	13,554	92,800	106,354	35,451
4	Pondasi 4	13,554	92,800	106,354	35,451

Penentuan Jumlah Tiang Bor

Untuk dapat menentukan jumlah tiang yang dibutuhkan dalam setiap kolom, maka dihitung beban yang bekerja pada pondasi dibagi dengan kapasitas beban dukung ijin. Jumlah tiang yang dihitung akan dibulatkan ke atas, berikut **Tabel 3** yang berisi rekap perhitungan penentuan jumlah tiang bor.

Tabel 3 Penentuan Jumlah Tiang Bor Pada *Pile Cap*

No	Tipe	Qv	Q all	n	Pembulatan
		(ton)	(ton)		dari n
1	Pondasi 1	163,068	35,449	4,600	5
2	Pondasi 2	152,020	35,451	4,288	5
3	Pondasi 3	81,655	35,451	2,303	3
4	Pondasi 4	156,491	35,451	4,414	5

Perhitungan Daya Dukung Kelompok Tiang

Pada daya dukung ultimit kelompok tiang menggunakan contoh fondasi P1 dan didapatkan hasil dari perhitungan pada **Tabel 4** berikut.

Tabel 4 Keruntuhan Kelompok

No	Tipe	Qp	Qs	Qu	Qtot
1	P1	28,802	1242,144	1355,735	2626,681
2	P2	28,802	1242,144	1355,735	2626,681
3	P3	22,204	957,600	1045,170	2024,974
4	P4	29,056	1253,088	1367,680	2649,824

Distribusi Beban Pada Tiang

Distribusi beban pada masing-masing tiang harus dihitung karena terdapat gaya momen yang bekerja sebagai contohnya pendistribusian pada P1, distribusi tiang harus dikontrol diantara jumlah gaya yang diterima oleh tiap tiang, sehingga harus sama dengan gaya yang di dapat dari RSAP.

Perhitungan Penurunan Kelompok Tiang

Penurunan kelompok tiang menggunakan *Mayerhoff(1976)* untuk menghitung pada tanah lempung dan hasil perhitungan dapat dilihat pada **Tabel 5** berikut.

Tabel 5 Jumlah Tiang Lg dan Bg

No	Tipe	n	Lg (m)	Bg (m)
1	P1	5	2,270	2,270
2	P2	5	2,270	2,270
3	P3	3	3,000	0,500
4	P4	5	3,000	1,580

Penurunan Konsolidasi

Pada penurunan menggunakan data gambar dan data perencanaan menggunakan Qg. Pada data gambar di dapatkan hasil perhitungan pada **Tabel 6** berikut.

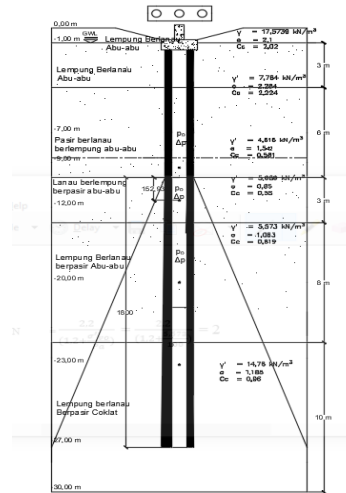
Tabel 6 Data Konsolidasi dan Kolerasi

Γb	E	Cc	γ'	Gs	Pi
17,51	2,10	2,021		2,637	153,260
17,51	1,263	1,051	7,763	2,726	77,12
14,26	0,65	5,77	4,616	2,630	43,890
15,79	1,063	0,819	5,989	2,524	64,880
15,15	1,165	0,960	5,53	2,773	69,270

Sedangkan pada data perencanaan menggunakan Qg di dapatkan hasil Nilai S_g izin didapatkan dari SNI 8460-2017 tentang Persyaratan Perencanaan Geotek berdasarkan jenis bangunan, maka untuk bangunan tinggi dan dibuktikan struktur atas masih aman rumusnya yaitu 15 cm +b/600.

Dengan bukti Data perencanaan menggunakan Qg yang terbesar yaitu :

- Lg = 2,27 m
- Bg = 2,27 m
- Qg = 163,06 kN
- Penyebaran tegangan = 2/3 . L = 2/3 . 27 = 18 m
- h1 = 3 m
- h2 = 6 m
- h3 = 3 m
- h4 = 8 m
- h5 = 10 m



Gambar 1. Penyebaran Tegangan Kelompok Tiang

Berikut perhitungan penurunan konsolidasi :

Kedalaman 12,0 meter

$$P_{o1} = (\gamma_b \cdot h_1) + (\gamma' \cdot h_2) + (\gamma' \cdot h_3) + (\gamma' \cdot h_4 / 2) = (17,57 \times 1) + (7,7639 \times 3) + (4,616 \times 6) + (5,989 \times 3/2) = 77,54 \text{ ton/m}^2$$

$$\Delta p_1 = \frac{Q_g}{(B_g + z) \cdot (L_g + z)} = \frac{163,06}{(2,27 + (1 + \frac{3}{2})) \cdot (2,27 + (1 + \frac{3}{2}))} = 11,48 \text{ ton/m}^2$$

$$\Delta s_1 = \left(\frac{C_c \cdot x \cdot H}{1 + e_{o(i)}} \right) \cdot \log \frac{P_{o(i)} + \Delta p_1}{P_{o(i)}} = \left(\frac{0,557 \times (1 + \frac{3}{2})}{1 + 0,850} \right) \cdot \log \left(\frac{77,54 + 11,48}{77,54} \right) = 0,046 \text{ m}$$

Kedalaman 20,0 meter

$$P_{o2} = (\gamma_b \cdot h_1) + (\gamma' \cdot h_2) + (\gamma' \cdot h_3) + (\gamma' \cdot h_4) + (\gamma' \cdot h_5 / 2) = (17,57 \times 1) + (7,7639 \times 3) + (4,616 \times 6) + (5,989 \times 3) + (5,57 \times 8/2) = 118,26 \text{ ton/m}^2$$

$$\Delta p_2 = \frac{Q_g}{(B_g + z) \cdot (L_g + z)} = \frac{163,06}{(2,27 + (1 + \frac{8}{2})) \cdot (2,27 + (1 + \frac{8}{2}))} = 3,085 \text{ ton/m}^2$$

$$\Delta s_2 = \left(\frac{C_c \cdot x \cdot H}{1 + e_{o(i)}} \right) \cdot \log \frac{P_{o(i)} + \Delta p_1}{P_{o(i)}} = \left(\frac{0,819 \times (1 + \frac{3}{2})}{1 + 1,063} \right) \cdot \log \left(\frac{118,26 + 3,08}{118,26} \right) = 0,022 \text{ m}$$

Kedalaman 27,0 meter

$$\begin{aligned}
 - P_{o3} &= (\gamma_b \cdot h_1) + (\gamma' \cdot h_2) + (\gamma' \cdot h_3) + (\gamma' \cdot h_4) + (\gamma' \cdot h_5) \\
 &\quad + (\gamma' \cdot h_6/2) \\
 &= (17,57 \times 1) + \\
 &\quad (7,7639 \times 3) + (4,616 \times 6) + (5,989 \times 3) + (5,57 \times 8) + \\
 &\quad (5,57 \times 7/2) \\
 &= 160,06 \text{ ton/m}^2 \\
 - \Delta p_3 &= \frac{Qg}{(Bg+z) \cdot (Lg+z)} = \frac{163,06}{(2,27+(1+\frac{7}{2})) \cdot (2,27+(1+\frac{7}{2}))} \\
 &= 3,55 \text{ ton/m}^2 \\
 - \Delta s_3 &= \left(\frac{Cc \times H}{1+e_{o(i)}} \right) \cdot \log \frac{P_{o(i)} + \Delta p_1}{P_{o(i)}} \\
 &= \left(\frac{0,960 \times (1+\frac{3}{2})}{1+1,185} \right) \cdot \log \left(\frac{160,06+3,55}{160,06} \right) = 0,018 \text{ m} \\
 - \Sigma \Delta s_1 &= 0,046+0,022+0,018 \\
 &= 0,087 \text{ m} \rightarrow \text{dikonversikan menjadi cm } 8,7 \text{ cm} \\
 \text{Stotal} &= S_{ge} + S_c = 8,7 + 0,27 = 8,970 \text{ cm} < S_{g-ijin} = 15,378 \text{ cm} \text{ "OK"}
 \end{aligned}$$

Merencanakan Penulangan Pile Cap

Pada perencanaan penulangan *pile cap* di butuhkan data sebagai berikut :

- Kuat tekan beton (fc') = 30 mpa
- Tegangan leleh baja (fy) = 240 mpa
- Modulus elastisitas (Es) = 200000 mpa
- Faktor reduksi kekuatan lentur (φ) = 0,8
- Panjang pile cap (L) = 2768 mm
- Lebar pile cap (b) = 2768 mm
- Tinggi pile cap (h) = 1000 mm
- Tebal selimut beton (ts) = 75 mm
- Diameter tulangan (D.tul) tarik = 19 mm
- Diameter tulangan (D.tul) tekan = 19 mm
- Jarak tulangan ke sisi luar beton (d')
- = ts + D.tul + ½ D.tul
- = 75 + 19 + ½ 19 = 103, mm
- Tinggi efektif (d)
- = h - d' = 1000-103,5 = 896,5 mm

Kemudian dihitung perhitungan geser dua arah di sekitar kolom, sebagai contoh perhitungan menggunakan P1 dan kolom K1 berukuran 400 mm . 500 mm dan hasil rekap dari perhitungan penulangan *pile cap* dapat di lihat pada **Tabel 7** berikut .

Tabel 7 Perhitungan Tinggi Efektif *Pile Cap* Dan Keliling Penampang Kritis

	Dimensi					
Type	Dimensi	tulangan (h)	ts	d'	d	B' l
K1	400 X 500	19	1000	75	103,5	896,5 1296,5
K2	350 X 350	19	1000	75	103,5	896,5 1246,5

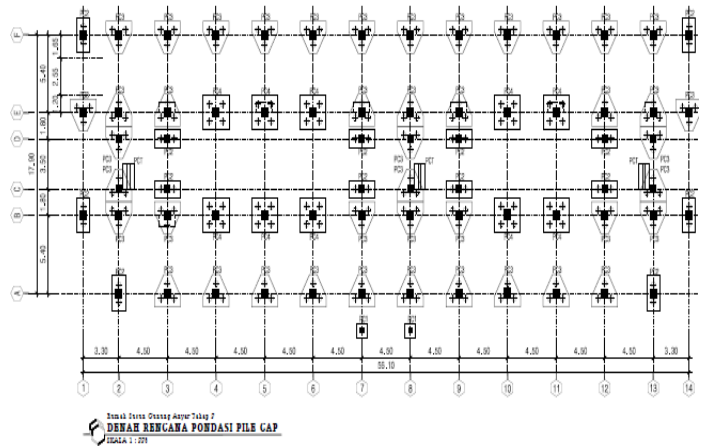
Setelah dilakukan perhitungan penulangan *pile cap* , lalu di lakukan perhitungan beban yang di terima. Berikut ini merupakan **Tabel 8** rekap data kontrol dari perhitungan beban yang diterima oleh *pile cap*.

Tabel 8 Kontrol Beban pada *Pile Cap*

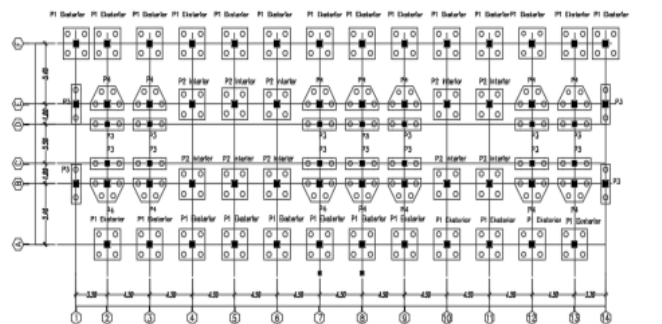
No	Type	Vn	φ.Vn	Vu	Kontrol
1	P1	865,810	649,35713	227,51304	OK
2	P2	865,810	649,35713	278,7915	OK
3	P3	832,419	624,31443	147,96834	OK
4	P4	832,419	624,31443	168,23268	OK

Gambar Detail dan Penulangan Fondasi Tiang Bor

Dari hasil perhitungan didapatkan hasil perhitungan dimensi tiang bor dan penulangan yang digunakan untuk tiang bor, dibawah ini adalah gambar detail dan penulangan untuk fondasi tiang bor.



Gambar 1 Denah Rencana Fondasi Tiang Pancang Dan *Pile Cap*



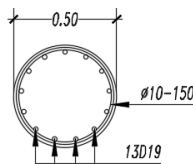
LAYOUT PENEMPATAN TITIK FONDASI TIANG BOR dan PILE CAP

Merencanakan Penulangan Tiang Bor (Bored Pile)

Data yang di butuhkan dalam penulangan tiang bor adalah sebagai berikut :

- Kuat tekan beton (f_c') = 30 mpa
- Tenganan leleh baja (f_y) = 240 mpa
- Modulus elastisitas (E_s) = 200000 mpa
- μ_u = 465659,631 Nmm
- μ_u = 53654,303 N
- Diameter tiang bor = 500 mm
- Selimut beton = 50 mm

Lalu di lakukan perhitungan dan di dapatkan penulangan menggunakan 13D19 untuk tulangan utama, sedangkan untuk tulangan spiral menggunakan $\varnothing 10 - 100$

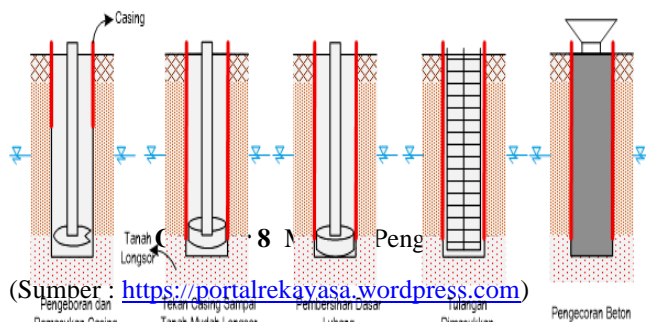


DETAIL TIANG BOR
1:25

Gambar 7 Detail Tiang Bor

Metode Pelaksanaan Fondasi Tiang Bor

Fondasi tiang bor dipakai apabila kondisi tanah dasar tidak memiliki daya dukung yang cukup untuk memikul beban bangunan di atasnya. Pada Proyek Rusunawa Gununganyar Surabaya Timur, fondasi tiang bor dipilih dikarenakan adanya banyak sisa-sisa fondasi yang tidak bersih, maka fondasi tiang bor menjadi alternatif yang baik. Proses pelaksanaan pengeboran fondasi tiang bor menggunakan metode kering dikarenakan kondisi tanah yang lempung agar air disekitar pelaksanaan tiang bor tidak masuk kedalam tiang bor dan kotoran yang masuk dibersihkan sebelum proses pengecoran.



(Sumber : <https://portalrekayasa.wordpress.com>)

Rencana Anggaran Biaya

Tahapan Pelaksanaan Pondasi Tiang Bor Metode Casing
(Fleming, Weltman, Randolph, dan Elson, 2009)

Panjang dan lebar bangunan adalah 56,10 . 17,90 meter serta luas tanah 1300 m² dan berdasarkan Analisa Harga Satuan Pekerjaan dan Volume Pekerjaan, maka dapat di dapatkan hasil perhitungan rencana anggaran biaya untuk perencanaan ulang fondasi tiang bor dan *pile cap* pada proyek pembangunan rusunawa di Surabaya Timur adalah sebesar Rp.4.568.435.498,00 (*Empat Milyar Lima Ratus Enam Puluh Delapan Juta Empat Ratus Tiga Puluh Lima Ribu Empat Ratus Sembilan Puluh Delapan Rupiah*). Harga ini merupakan hasil dari perencanaan ulang fondasi pada proyek tersebut.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan mengenai perhitungan pada bab sebelumnya, maka dapat di simpulkan :

1. Perhitungan beban struktur atas dilakukan dengan *Software Robot Structural Analysis Profesional 2019* dengan meninjau beban portal 5 lantai dan dipilih beban terbesar pada beban kombinasinya yaitu :
 - a) Dari kombinasi ASD (*Allowable Stress Design*) sebesar 163,06 ton untuk merencanakan fondasi tiang boor.
 - b) Dari kombinasi LRFD (*Load and Resistance Factor Design*) sebesar 277,51 ton.
2. Perhitungan daya dukung fondasi tiang bor dihitung berdasarkan data tanah yaitu SPT dengan menggunakan rumus *Mayerhoff* (1967), nilai yang didapatkan:
 - a) Daya dukung tiang tunggal (Q_u) sebesar 106,347 ton.
 - b) Daya dukung tiang kelompok (Q_g) didapat sebesar 531,736 ton di fondasi eksterior.
 - c) Daya dukung ijin tiang (Q_{all}) sebesar 35,449 ton.
 Perhitungan penurunan fondasi tiang bor dihitung berdasarkan penurunan elastik (S_{g-e}) ditambah dengan penurunan Konsolidasi (ΔS_1) sebesar 8,8 cm + 1,8 cm = 10,6 cm < S_{g-ijin} = 15,37 cm.
3. Perhitungan dimensi tiang dan jumlah fondasi berdasarkan *Trial and Error* dengan memperhitungkan daya dukung fondasi tersebut didapat:
 - a) Dimensi fondasi tiang bor berdiameter 50 cm dengan panjang tiang 27 meter untuk semua fondasi. Didapat jumlah tiang untuk lantai 1 di fondasi P1 Eksterior, P2 Interior, dan P4 Trapesium sebanyak 5 buah sedangkan untuk fondasi tangga terdapat 3 buah.
4. Perhitungan dimensi dan penulangan *pile cap* dengan menggunakan beban terbesar pada kombinasi LRFD, dan hasil yang didapat:
 - a) Ukuran *pile cap* menggunakan 2,77 m . 2,77m untuk kolom interior dan eksterior, 3 m . 1 m

untuk kolom tangga, dan $\frac{1}{2} \cdot 2,08 \text{ m} \cdot (1,83 \text{ m} + 3 \text{ m})$ untuk kolom sebelah tangga, untuk semua kolom menggunakan tulangan dengan diameter D19.

- b) Tulangan untuk fondasi tiang bor adalah 13 D 19.
5. Metode pelaksanaan fondasi tiang bor dimulai dari pekerjaan persiapan dibantu oleh alat berat untuk pekerjaan tiang bor menggunakan alat berat yaitu *bore pile machine*.
6. Berdasarkan hasil perhitungan anggaran biaya yang direncanakan senilai Rp. 4.568.435.498,00.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Novianto, Dandung. 2019. *Buku Ajar Rekayasa Fondasi*. Malang. Politeknik Negeri Malang
- [2] Randyanto, Eko Seftian., Sumampouw, Josef. E.R., & Balamba, Sjachrul. 2015. Analisis Daya Dukung Tiang Pancang Dengan Menggunakan Metode Statik dan Calendring Studi Kasus : Proyek Pembangunan Manado Town Square 3. *Jurnal Sipil Statik*, 3, 631-643.
- [3] Setiawan, Agus. 2016. *Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847 : 2013*. Erlangga
- [4] Ratnaningsih, Dwi 2012. *Modul Ajar Mekanika Tanah 1*. Malang. Politeknik Negeri Malang
- [5] Hardiyatmo, Hary Christady. *Teknik Fondasi 2 Edisi ke - 4*
- [6] Hardiyatmo, H.C. 2002. *Teknik Pondasi 2*. Bagian II. Yogyakarta.
- [7] Direktorat Jenderal Bina Marga, 2016, *Standar Pembebanan untuk Jembatan SNI 1725:2016*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.