

ANALISIS FONDASI *BORED PILE* PADA GEDUNG 23 LANTAI DI TANAH LEMPUNG DAERAH CIBUBUR

ANALYSIS OF BORED PILE FOUNDATION IN BUILDINGS 23 FLOORS IN THE CLAY SOIL AT CIBUBUR

¹Febry Mandasari, ²Annisa Fauziyah

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Gunadarma

¹febry_mandasari@staff.gunadarma.ac.id ²annisafauziyah@gmail.com

Abstrak

Indonesia terletak pada pertemuan antara lempeng tektonik yang akibat pertemuan tersebut membentuk gugusan kepulauan di Indonesia. Konsep bangunan tahan gempa wajib dipahami dan dapat dilakukan inovasi berupa bangunan tahan gempa agar dapat meminimalisir terjadinya kerusakan struktur dan adanya korban jiwa akibat gempa bumi yang terjadi. Bangunan tahan gempa yang dimaksud adalah sebuah bangunan yang tidak mengalami kegagalan atau tidak mengalami keruntuhan pada saat gempa besar terjadi dapat memberikan waktu untuk melakukan evakuasi lebih lama. Penelitian ini dilakukan pada lokasi perancangan pembangunan struktur gedung beton bertulang 23 lantai yang akan dibangun di Jl. Raya Alternatif Cibubur (Trans Yogie), Cibubur Depok (16945). Perencanaan fondasi ini menggunakan metode Meyerhoff dengan memakai data N_{SPT} pada boring hole 2. Diameter tiang fondasi yang digunakan adalah 80 cm dengan kedalaman 20 m. Daya dukung ultimit tiang yang didapatkan adalah 906,708 ton dengan faktor keamanan 2,5 sehingga didapat daya dukung ijin tiang sebesar 362,431 ton. Penurunan fondasi tiang terjadi sebesar 0,0323 m atau setara dengan 32 mm dimana penurunan ini termasuk ke dalam batas aman penurunan yakni kurang dari 65 mm.

Kata kunci: Daya Dukung, N_{SPT} , Penurunan, Tiang Bor

Abstract

Indonesia is located at a meeting between tectonic plates which as a result of this meeting formed a group of islands in Indonesia. The concept of earthquake resistant buildings must be understood and innovations can be made in the form of earthquake resistant buildings in order to minimize structural damage and the loss of life due to earthquakes. The earthquake resistant building in question is a building that did not fail or did not experience a major earthquake during the earthquake can provide time to evacuate longer. The foundation is defined as part of a building structure that is directly related to the soil and serves to channel the burden received from the upper structure to the soil layer. This research was conducted at the design location of 23-story reinforced concrete building structures to be built on Jl. Raya Alternatif Cibubur (Trans Yogie), Cibubur Depok (16945). This foundation planning uses the Meyerhoff method using N_{SPT} data on boring hole 2. The diameter of the foundation pile used is 80 cm with a depth of 20 m. The ultimate carrying capacity of the mast obtained is 906,708 tons with a safety factor of 2.5 so that the carrying capacity of the mast permit is 362,431 tons. Decrease in pile foundation occurs by 0.0323 m or equivalent to 32 mm where this decrease is included in the safe limit of less than 65 mm.

Keyword: Bearing Capacity, N_{SPT} , Settlement, Bored pile

PENDAHULUAN

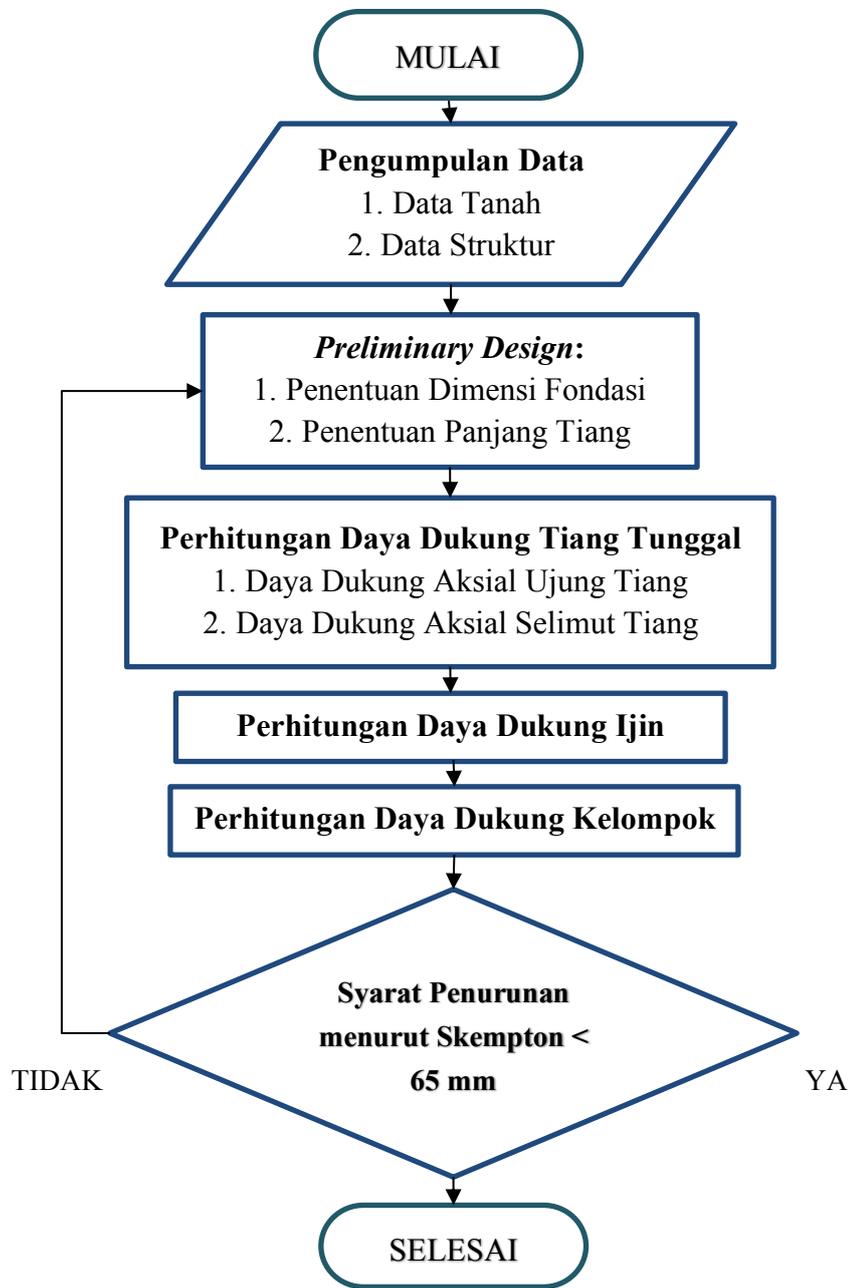
Fondasi didefinisikan sebagai bagian dari struktur bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah dan berfungsi untuk menyalurkan beban yang diterima dari struktur atas ke lapisan tanah. Fondasi dari suatu struktur umumnya terdiri dari satu atau lebih elemen-elemen fondasi. Elemen fondasi adalah elemen transisi antara tanah atau batuan dengan struktur atas. Proses desain struktur fondasi adalah meliputi proses pengambilan keputusan mengenai pemilihan jenis fondasi, letaknya pada tanah, penentuan dimensi fondasi tersebut hingga penentuan bagaimana pelaksanaan konstruksinya (Agus Setiawan, 2016). Penyelidikan tanah dilakukan guna menentukan jenis pondasi apa yang akan digunakan. Tahapan yang dilakukan selanjutnya adalah penentuan dimensi pondasi yang meliputi kedalaman dasar pondasi, daya dukung pondasi hingga ukuran penampang. Fondasi diklasifikasikan menjadi dua yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam. Fondasi dalam dibedakan menjadi tiga jenis yaitu fondasi dalam dengan didesakkan ke dalam tanah atau disebut tiang pancang, tiang bor (*bored pile*), dan fondasi *caisson*. Fondasi tiang digunakan untuk mendukung bangunan bila lapisan tanah kuat terletak sangat dalam (Hary Christady, 2015). Fondasi tiang bor merupakan fondasi yang pemasangannya dilakukan dengan mengebor tanah terlebih dahulu, pipa besi dibutuhkan untuk menahan dinding lubang jika tanah mengandung air dan pipa ini ditarik ke atas pada waktu pengecoran beton. Terdapat beberapa keuntungan penggunaan tiang bor dengan tiang pancang diantaranya, pelaksanaan pengeboran tidak menimbulkan gangguan suara dan getaran yang

membahayakan, tiang bor dapat menembus batuan sedangkan tiang pancang cenderung akan kesulitan bila pemancangan menembus lapisan batuan, diameter tiang memungkinkan dibuat besar guna mempertinggi kapasitas dukungnya.

Pemilihan fondasi tiang bor pada perencanaan gedung di daerah Cibubur ini tidak terlepas karena lokasi di sekitar merupakan lokasi padat penduduk sehingga meminimalisir terjadinya gangguan bagi warga sekitar. Selain itu, agar bangunan yang direncanakan sesuai dengan fungsi bangunan yaitu bangunan tinggi 23 lantai maka diperlukan perencanaan fondasi tiang bor pada lokasi ini.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada lokasi perancangan pembangunan struktur gedung beton bertulang 23 lantai yang akan dibangun di Jl. Raya Alternatif Cibubur (Trans Yogie), Cibubur Depok (16945). Lokasi pembangunan menyesuaikan kondisi tanah pada daerah tersebut sesuai dengan data tanah yang diambil pada suatu proyek yang berada di kawasan daerah tersebut. Tahapan-tahapan perancangan struktur fondasi dilakukan dengan perhitungan manual menggunakan metode-metode tertentu. Secara umum, tahapan perancangan tersebut dapat dilihat pada diagram alir berikut. Perencanaan fondasi *bored pile* dimulai dari perhitungan daya dukung aksial tiang tunggal dengan tahapan *Preliminary Design* ialah dengan menentukan dimensi tiang fondasi yang akan digunakan serta panjang tiang yang merupakan kedalaman tanah keras rencana dengan melihat kepada data tanah (*boring log*).



Gambar 1. Diagram Alir Perancangan Fondasi Bored Pile

Perhitungan mengenai daya dukung ujung tiang mengacu kepada ketentuan dengan tanah berjenis tanah lempung yang disesuaikan dengan data tanah yang didapat pada perancangan gedung. Perhitungan daya

dukung selimut tiang dimaksudkan untuk menghitung daya dukung selimut tiang pada tiap kedalaman tanah sepanjang kedalaman tiang rencana. Perhitungan daya dukung aksial kelompok tiang memperhitungkan daya

dukung aksial pada setiap tiang dalam satu kelompok untuk menahan beban yang ada. Rangkuman tahapan perhitungan tersebut adalah menghitung kebutuhan jumlah tiang yang digunakan sebagai kelompok tiang dalam mendukung kolom atau *shear wall* yang ada di atasnya, penentuan jarak antar tiang yang direncanakan dengan mengacu pada aturan tertentu, penentuan susunan tiang yang mengikuti saran Teng, memperhitungkan efisiensi dari kelompok tiang yang sudah direncanakan dengan maksud untuk mengetahui efisiensi dari kelompok tiang rencana.

Perhitungan penurunan fondasi rencana memperhitungkan nilai penurunan pada setiap kelompok tiang sebagai reaksi dalam menahan beban yang ada. Penurunan fondasi tiang tunggal ini merupakan total penjumlahan dari tiga tahapan perhitungan tiang tunggal seperti penurunan akibat deformasi aksial tiang tunggal, penurunan ujung tiang, penurunan akibat pengalihan beban sepanjang tiang. Penurunan fondasi kelompok tiang digunakan untuk mengetahui nilai dari penurunan kelompok tiang rencana.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahapan dalam perhitungan daya dukung fondasi tiang tunggal yaitu dimulai dengan perhitungan daya dukung ujung tiang (Q_p), perhitungan daya dukung selimut tiang (Q_s), dan perhitungan daya dukung ultimit tiang (Q_{ult}). Perhitungan daya dukung tiang direncanakan menggunakan pondasi dengan dimensi tiang berbentuk lingkaran berdiameter 0,8 m. Kedalaman fondasi berdasarkan *bore hole* BH-2 didapat 20 m, diambil berdasarkan nilai *N-SPT* pada data *boring log* yang menunjukkan pada kedalaman tersebut sudah mencapai tanah keras ($NSPT = 50$). Berdasarkan data *NSPT*, dapat disimpulkan bahwa jenis tanah pada BH-2 adalah lempung yang termasuk dalam jenis tanah kohesif. Perhitungan daya dukung ujung tiang fondasi menggunakan rumus

Meyerhoff (1956) untuk tanah lempung atau berbutir halus. Berikut ini contoh perhitungan daya dukung ujung tiang berdasarkan BH-2 dengan rumus seperti berikut:

$$Q_p = 40 \times N_b \times A_p \quad (1)$$

Maka perhitungan daya dukung ujung tiang untuk fondasi berbentuk lingkaran dengan diameter 0,8 m pada BH-2 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_p &= 0,25 \times \pi \times D^2 \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (0,8)^2 \\ &= 0,5024 \text{ m}^2 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} Q_p &= 40 \times N_b \times A_p \\ &= 40 \times 40 \times 0,5024 \text{ m}^2 \\ &= \mathbf{803,84 \text{ ton}} \end{aligned} \quad (3)$$

Setelah menghitung daya dukung ujung tiang, dilanjutkan dengan perhitungan kapasitas dukung selimut tiang. Perhitungan daya dukung selimut tiang (Q_s) menggunakan rumus dengan metode Meyerhoff (1956) sebagai berikut:

$$Q_s = 0,1 \times N \times A_s \quad (4)$$

Karena terdapat 7 lapisan tanah yang berbeda jenis, maka perhitungan tersebut menghasilkan 7 daya dukung selimut tiang, sehingga total untuk daya dukung selimut tiang totalnya adalah

$$\begin{aligned} Q_{s \text{ tot}} &= Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3} + Q_{s4} + \\ &Q_{s5} + Q_{s6} + Q_{s7} \\ &= 3,768 + 4,522 + 8,289 + \\ &8,289 + 11,304 + 30,144 + 37,68 \\ &= \mathbf{102,238 \text{ ton}} \end{aligned} \quad (5)$$

Perhitungan daya dukung ultimit tiang didapat setelah nilai Q_p dan Q_s sudah dihitung. Adapun perhitungan daya dukung ultimit tiang fondasi (Q_{ult}) pada *Boring Hole* 2 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q_{ult} &= Q_b + Q_s \\
 &= 803,84 + 102,238 \\
 &= \mathbf{906,078 \text{ ton}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_a &= \frac{Q_{ult}}{SF} \\
 &= \frac{906,078}{2,5} \\
 &= \mathbf{362,431 \text{ ton}}
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Perhitungan daya dukung izin tiang fondasi tunggal didapat dengan membagi daya dukung ultimit tiang dengan faktor keamanan. Faktor keamanan yang digunakan adalah sebesar 2,5 (Hary Christady, 2011). Kapasitas dukung izin tiang dinyatakan dengan persamaan berikut:

Berdasarkan hasil analisa kapasitas daya dukung tiang diatas, maka didapat jumlah tiang sebagai fondasi dengan diameter 0,8 m adalah seperti yang tercantum pada tabel berikut:

Tabel 1. Jumlah Kebutuhan Tiang Fondasi pada Kolom

Story	Joint Label	Load Case/Combo	FZ	Jumlah Tiang	
			tonf	Perlu	Terpasang
Base	1	Comb Pondasi	425.9015	1.175	2
Base	2	Comb Pondasi	439.337	1.212	2
Base	3	Comb Pondasi	398.6812	1.100	2
Base	5	Comb Pondasi	502.6878	1.387	2
Base	6	Comb Pondasi	509.7265	1.406	2
Base	7	Comb Pondasi	442.2764	1.220	2
Base	9	Comb Pondasi	519.5478	1.434	2
Base	10	Comb Pondasi	538.1066	1.485	2
Base	11	Comb Pondasi	511.3443	1.411	2
Base	12	Comb Pondasi	429.5889	1.185	2
Base	13	Comb Pondasi	568.1249	1.568	2
Base	14	Comb Pondasi	650.6681	1.795	2
Base	15	Comb Pondasi	638.2134	1.761	2
Base	16	Comb Pondasi	558.4381	1.541	2
Base	17	Comb Pondasi	491.0036	1.355	2
Base	18	Comb Pondasi	627.7785	1.732	2
Base	19	Comb Pondasi	624.2718	1.722	2
Base	20	Comb Pondasi	554.1967	1.529	2
Base	21	Comb Pondasi	574.8735	1.586	2
Base	22	Comb Pondasi	528.7309	1.459	2
Base	23	Comb Pondasi	515.2505	1.422	2
Base	24	Comb Pondasi	466.7587	1.288	2
Base	25	Comb Pondasi	527.3515	1.455	2
Base	26	Comb Pondasi	472.46	1.304	2
Base	27	Comb Pondasi	476.5332	1.315	2

Story	Joint Label	Load Case/Combo	FZ	Jumlah Tiang	
			tonf	Perlu	Terpasang
Base	28	Comb Pondasi	427.4315	1.179	2
Base	29	Comb Pondasi	510.5353	1.409	2
Base	30	Comb Pondasi	532.4497	1.469	2
Base	31	Comb Pondasi	479.9853	1.324	2
Base	32	Comb Pondasi	572.6581	1.580	2
Base	33	Comb Pondasi	605.7467	1.671	2
Base	34	Comb Pondasi	546.3572	1.507	2
Base	35	Comb Pondasi	509.7509	1.406	2
Base	36	Comb Pondasi	537.2575	1.482	2
Base	37	Comb Pondasi	553.743	1.528	2
Base	38	Comb Pondasi	505.7524	1.395	2
Base	39	Comb Pondasi	372.2185	1.027	2
Base	40	Comb Pondasi	405.8048	1.120	2
Base	46	Comb Pondasi	604.8264	1.669	2
Base	47	Comb Pondasi	669.411	1.847	2
Base	48	Comb Pondasi	558.624	1.541	2
Base	49	Comb Pondasi	650.3842	1.795	2

Tabel 2. Jarak Minimum Antar Tiang

Fungsi Tiang	Jarak As ke As Minimum
Tiang dukung ujung dalam lapisan tanah keras	2 - 2,5d atau 75 cm
Tiang dukung ujung pada batuan keras	2d atau 60 cm
Tiang gesek	3 - 5d atau 105 cm

Penentuan jumlah tiang fondasi didapatkan dari hasil pembagian antara beban tiap kolom dengan kapasitas dukung ijin. Adapun contoh perhitungan jumlah tiang pada *joint label* 49 dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$n = \frac{P}{Q_{ijin}} = \frac{650,3842}{362,431}$$

= 1,795 ≈ 2 tiang terpasang.

Perhitungan minimum jarak tiang (*S*) mengikuti yang disarankan oleh Teng (1962) untuk fungsi tiang sebagai tiang dukung ujung

dalam lapisan tanah keras. Perhitungan minimum jarak antar tiang fondasi menggunakan rumus seperti pada tabel di bawah ini. Maka, perhitungan jarak minimum antar tiang fondasi yaitu menggunakan persamaan berikut:

$$S = 2,5D = 2,5 \times 0,8 \text{ m} = \mathbf{2 \text{ meter}} \quad (9)$$

(8) Berdasarkan hasil perhitungan dan penyesuaian kondisi lapangan terhadap susunan fondasi tiang kelompok, digunakan *S* = 2,5d untuk fondasi tiang kelompok dengan jumlah 2 tiang, dan *S* = 3d untuk fondasi tiang

kelompok dengan jumlah tiang lebih dari 2. Maka didapat hasil akhir berupa denah fondasi seperti pada Gambar 2 di bawah dengan *Lg* dan *Bg* tercantum pada tabel rekapitulasi penurunan. Perhitungan penurunan fondasi tiang tunggal menggunakan metode semi empiris dengan menjumlahkan hasil dari penurunan akibat deformasi aksial tiang tunggal, penurunan dari ujung tiang, dan penurunan tiang akibat beban yang dialihkan sepanjang tiang.

Adapun uraiannya adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan Penurunan Akibat Deformasi Aksial Tiang Tunggal

$$S_s = \frac{(Q_s + \alpha Q_s)L}{A_b E_p}$$

$$= \frac{(803,84 + (0,5 \times 102,238)) \times 20}{0,5024 \times 2761507,48}$$

$$= 0,01 \text{ m} \quad (10)$$

2. Perhitungan Penurunan Ujung Tiang

$$S_p = \frac{C_p \times Q_p}{D \times q_p}$$

$$= \frac{0,03 \times 803,84}{0,8 \times 1600}$$

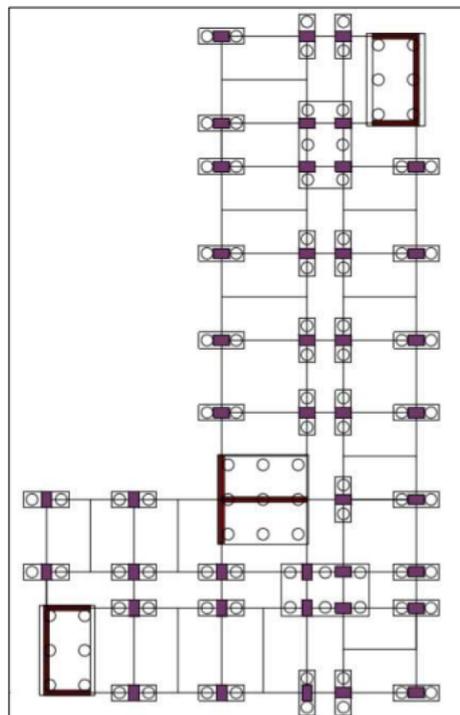
$$= 0,01884 \text{ m} \quad (11)$$

3. Perhitungan Penurunan Akibat Pengalihan Beban Sepanjang Tiang

$$S_{ps} = \left(\frac{Q_{sw}}{p \times L} \right) \times \frac{D}{E_s} \times (1 - \nu_s^2) \times I_{us}$$

$$= \left(\frac{102,238}{2,512 \times 20} \right) \times \frac{0,8}{5000} \times (1 - 0,2^2) \times 3,75$$

$$= 0,0012 \text{ m} \quad (12)$$



Gambar 2. Denah Fondasi Bored Pile

Tabel 3. Penurunan Fondasi Tiang Kelompok

Jenis	Tiang	L_g (m)	B_g (m)	D (m)	s (m)	S_g (m)
Kolom	2	3.1	1.10	0.8	0.0323	0.0379
Kolom	6	6	3.60	0.8	0.0323	0.0686
SW P1	6	6.2	3.80	0.8	0.0323	0.0705
SW P2	6	6.4	4.00	0.8	0.0323	0.0723
SW P3	9	6.2	6.2	0.8	0.0323	0.0900

4. Perhitungan Penurunan Total Fondasi Tiang Tunggal

$$\begin{aligned}
 S &= S_s + S_p + S_{ps} \\
 &= 0,01 + 0,01884 + 0,0012 \\
 &= 0,0323 \text{ m} \quad (13)
 \end{aligned}$$

Batas penurunan maksimum menurut Skempton dan MacDonald (1955): **32 mm < 65 mm (OK)**

Perhitungan penurunan fondasi tiang kelompok dihitung menggunakan metode Vesic (1977). Adapun contoh perhitungan penurunan tiang kelompok dengan jumlah 2 tiang adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 S_g &= S \sqrt{\frac{B_g}{D}} \\
 &= 0,0323 \sqrt{\frac{1,1}{0,8}} \\
 &= 0,0379 \text{ m} \quad (14)
 \end{aligned}$$

Berdasarkan batas penurunan maksimum fondasi tiang kelompok menurut Skempton dan MacDonald (1955): **37,9 mm < 65 – 100 mm (OK)**

Maka, didapat hasil rekapitulasi dari perhitungan penurunan fondasi tiang kelompok seperti pada tabel berikut ini: Batas penurunan maksimum fondasi tiang kelompok menurut Skempton dan MacDonald (1955) yaitu sebesar **65 mm – 100 mm**. Maka, dapat disimpulkan bahwa perencanaan fondasi tiang kelompok dinyatakan aman.

SIMPULAN

Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Struktur bawah yang dikenal sebagai fondasi bangunan, direncanakan menggunakan fondasi *bored pile* berdiameter 800 mm dengan kedalaman tiang 20 m. Adapun jumlah kebutuhan tiang fondasi yang digunakan berdasarkan hasil perhitungan didapat 2 dan 6 buah tiang untuk kolom.
2. Penurunan tiang tunggal sebesar 0,0323 m dan penurunan tiang kelompok berturut-turut untuk 2 tiang dan 6 tiang yaitu 0,0379 m, 0,0686 m. Penurunan tiang di bawah 0,1 m yang berarti perancangan struktur bawah fondasi *bored pile* dinyatakan aman dan dapat digunakan.

Saran-saran dari penelitian ini:

1. Pemilihan fondasi pada perencanaan bangunan tinggi dapat dilakukan dengan memperhatikan jenis tanah yang ada pada lokasi tersebut sehingga dapat meminimalisir kegagalan struktur.
2. Fondasi yang akan digunakan juga harus dipersiapkan apakah fondasi tersebut tahan terhadap gempa atau tidak karena mengingat wilayah Indonesia banyak dikelilingi gunung berapi dimana lebih sering terjadi gempa bumi.

DAFTAR PUSTAKA

Arnold, Hugh J., & Daniield C. Feldman.(1986) *Individual in Organizations*, McGraw Hill, Series in Management, New York.

- Budiono, Bambang, dkk., (2017), *Contoh Desain Bangunan Tahan Gempa*, Institut Teknologi Bandung.
- Christady, Hary.,(2015) *Analisis dan Perancangan Fondasi*, Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Direktorat Jenderal Cipta Karya. (2006). *Pedoman Teknis Rumah dan Bangunan Gedung Tahan Gempa*, Departemen Pekerjaan Umum.
- Setiawan, Agus.(2016). *Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847- 2013*, Erlangga,