

## ANALISIS PERBANDINGAN PENGGUNAAN *GROUND ANCHOR* DENGAN TIANG BOR PADA FONDASI *RAFT* DALAM MENAHAN BEBAN TARIK

Victor Richard Lee<sup>1</sup> dan Alfred Jonathan Susilo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia  
*vrichardlee@gmail.com*

<sup>2</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia  
*alfred@ft.untar.ac.id*

Masuk: 30-12-2023, revisi: 12-01-2024, diterima untuk diterbitkan: 06-02-2024

### ABSTRACT

*Tensile loads can occur due to various factors, one of which is due to earthquakes and wind. The tensile load acting on the building will be resisted by foundations such as ground anchors and bored pile. In this study, an analysis was carried out to design the tensile bearing capacity of ground anchors and bored pile as a barrier to tensile forces on buildings. The load used in designing ground anchors and bored pile is the reaction of a 33-story building. The analysis is carried out on the bearing capacity of the ground anchor with bored pile that will be installed on the raft foundation according to the position of the column point. The result of the analysis is a design comparison between ground anchor and bored pile in terms of dimension and bearing capacity. The analysis found that bored piles require a shallower soil depth than ground anchors to achieve bearing capacity according to the building's tensile reaction. However, in terms of the components in the ground anchor that contribute to the tensile bearing capacity, the ground anchor is superior in terms of tensile capacity per depth to bored pile.*

*Keywords: Ground anchor; bored pile foundation; tensile bearing capacity; dimension; tensile load*

### ABSTRAK

Beban tarik dapat terjadi akibat berbagai faktor, salah satunya akibat gempa dan angin. Beban tarik yang bekerja pada bangunan akan ditahan oleh fondasi seperti *ground anchor* dan tiang bor. Pada penelitian ini, dilakukan analisis untuk mendesain daya dukung tarik *ground anchor* maupun tiang bor sebagai penahan gaya tarik pada bangunan. Beban yang digunakan dalam mendesain *ground anchor* dan tiang bor adalah reaksi dari bangunan 33 lantai. Kondisi muka air tanah pada lokasi bangunan berada pada permukaan tanah karena terletak di pinggir pantai. Analisis dilakukan terhadap daya dukung *ground anchor* dengan tiang bor yang akan dipasangkan pada fondasi *raft* sesuai dengan posisi titik kolom. Hasil analisis merupakan perbandingan desain antara *ground anchor* dengan tiang bor secara dimensi dan daya dukung. Dari hasil analisis, didapatkan bahwa *tiang bor* membutuhkan kedalaman tanah yang lebih dangkal daripada *ground anchor* untuk mencapai daya dukung sesuai reaksi tarik bangunan. Namun secara komponen pada *ground anchor* yang berkontribusi kepada daya dukung tarik, *ground anchor* lebih unggul secara kapasitas tarik per kedalaman daripada tiang bor.

Kata kunci: *Ground anchor*; fondasi tiang bor; daya dukung; dimensi; beban tarik

## 1. PENDAHULUAN

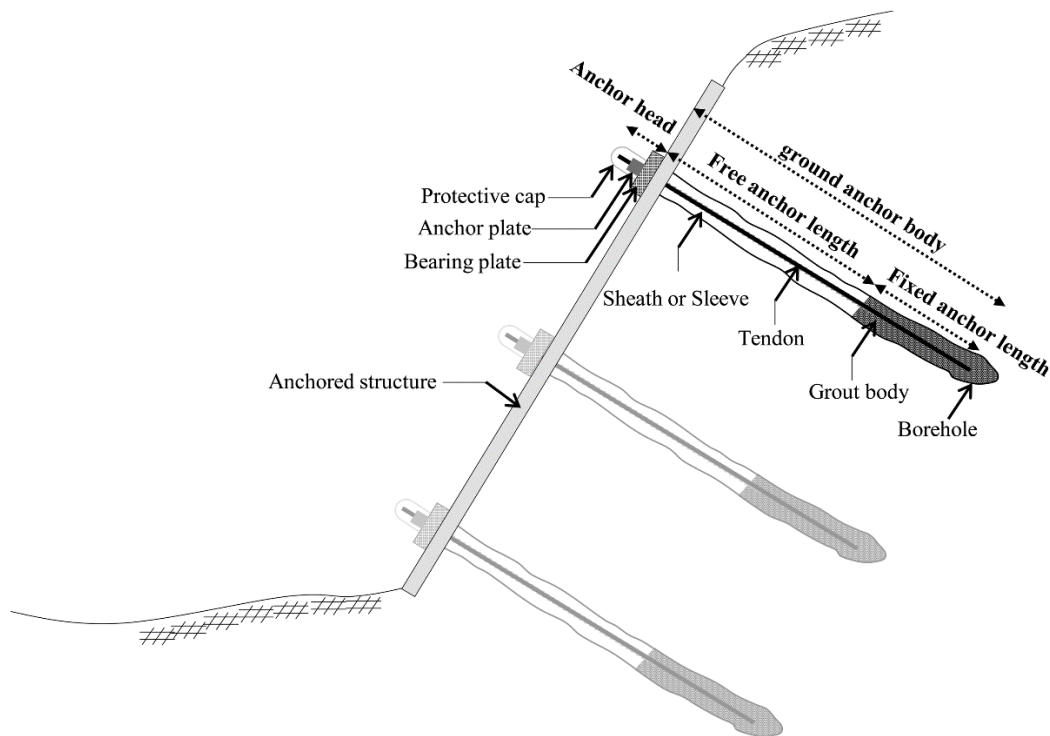
Beban angin dan beban gempa merupakan beban yang tidak dapat diabaikan dalam merancang struktur bangunan bertingkat tinggi. Kedua beban tersebut memiliki kesamaan yaitu dapat membuat fondasi bangunan mengalami gaya tarik (Hutabarat, 2001). Gaya tarik yang terjadi pada fondasi bangunan merupakan salah satu aspek yang harus diperhatikan karena dapat membuat bangunan menjadi terangkat.

Dalam penelitian ini akan digunakan studi kasus dimana bangunan terletak pada suatu lahan dimana posisi tanah kerasnya terletak di kedalaman yang relatif dangkal sehingga digunakan sistem fondasi *raft*. Sistem fondasi *raft* dapat meratakan beban bangunan ke area yang lebih luas di permukaan tanah sehingga mengurangi risiko penurunan bangunan yang berlebih dan kerusakan bangunan ketika penurunan tidak merata (Terenggana, 2014). Namun kekurangan sistem *raft* adalah minimnya daya dukung tarik. Oleh karena itu, biasanya digunakan tiang sebagai penahan gaya tarik pada sistem fondasi *raft*. Tetapi penggunaan tiang yang hanya sebatas sebagai penahan gaya tarik tidak begitu efisien secara biaya dan waktu. Selain itu, ada masalah tertentu dimana kedalaman tanah keras berada sangat dangkal sehingga penggunaan fondasi tiang terutama tiang pancang akan sangat terbatas dan sulit. Salah satu alternatif yaitu menggunakan *ground anchor* sebagai penahan gaya tarik pada bangunan.

Penelitian ini bertujuan untuk mencari perbandingan kapasitas tarik antara fondasi tiang bor dengan *ground anchor* sebagai penahan gaya tarik pada fondasi *raft*. Selain secara kapasitas tarik, perbandingan dilakukan terhadap kedalaman dan dimensi antara *ground anchor* dengan tiang bor. Penelitian akan dilakukan dengan pengolahan data tanah untuk mendapat parameter-parameter tanah yang digunakan untuk perancangan fondasi. Kemudian, dilakukan pengolahan data reaksi bangunan sehingga didapatkan gaya tarik yang terjadi pada bangunan. Lalu akan dilakukan perhitungan kapasitas tarik dari fondasi tiang bor dan *ground anchor* dan kemudian dilakukan pendesainan terhadap dimensi dan kedalaman sesuai dengan gaya tarik yang terjadi.

### Ground anchor (GA)

Ground anchor adalah suatu elemen yang berisi tendon baja yang di *grouting* pada tanah. Elemen tersebut dipasang pada tanah atau batuan untuk mentransfer gaya tarik (*tensile force*) yang diterima oleh *ground anchor* ke tanah. Tiga bagian umum dari *ground anchor* yaitu kepala angkur (*anchor head*), panjang bebas tendon baja (*free length*) dan panjang *grouting* untuk mengikat tendon baja dengan tanah (*fixed length*). Bagian-bagian *ground anchor* yang lebih rinci ditunjukkan pada Gambar 1. Biasanya pada bagian *free length* dibungkus dengan pipa plastik supaya mencegah terkontaminasi dengan material *grouting* atau tanah (Susanto & Susilo, 2022). Ada 2 penerapan/jenis *ground anchor* yang bergantung pada tujuan pemakaian yaitu angkur sementara (*temporary anchor*) dengan umur layanan  $\leq 2$  tahun dan angkur permanen (*permanent anchor*) dengan umur layanan  $> 2$  tahun (Badan Standardisasi Nasional, 2017).



Gambar 1. Bagian-bagian dari *ground anchor* (Choi et al., 2013)

Perhitungan kapasitas tarik yang dimiliki oleh *ground anchor* bergantung pada jenis tanah yang berada di daerah *fixed length*. Untuk perhitungan kapasitas tarik *ground anchor* dihitung dengan metode SNI 8460:2017. Untuk kondisi *fixed length* terletak pada tanah kohesif dapat menggunakan Persamaan 1. Untuk kondisi *fixed length* terletak pada tanah non-kohesif dapat menggunakan Persamaan 2.

$$R_{ult} = \alpha \cdot A_s \cdot L_s \cdot S_{u(ave)} \quad (1)$$

$$R_{ult} = \sigma'_v \cdot A_s \cdot L_s \cdot K_s \quad (2)$$

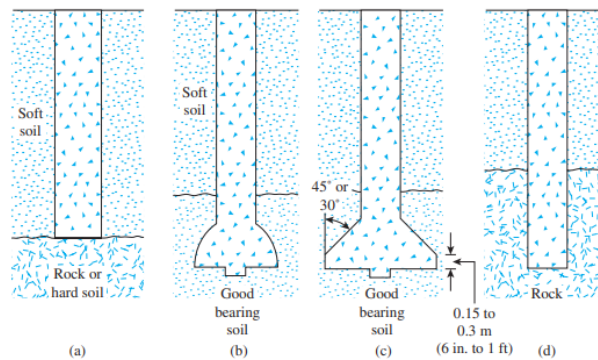
dengan  $R_{ult}$  = kapasitas tarik *ground anchor* (kN),  $\alpha$  = faktor adhesi tergantung kuat geser tak terdrainase tanah,  $A_s$  = luas selimut *fixed length* (m<sup>2</sup>),  $L_s$  = panjang *fixed length*,  $S_{u(ave)}$  = kuat geser tak terdrainase tanah rata-rata,  $\sigma'_v$  = tegangan efektif vertikal tanah (kN/m<sup>2</sup>), dan  $K_s$  = koefisien angkur yang dapat dilihat dari Tabel 1.

Tabel 1. Koefisien angkur ( $K_s$ ) (SNI 8460:2017)

Tipe Tanah	Kepadatan Tanah		
	Lepas (Loose)	Kompak (Compact)	Padat (Dense)
Lanau Nonplastis	0,1	0,4	1
Pasir halus <i>Medium Sand</i>	0,2	0,6	1,5
Pasir kasar, kerikil	0,5	1,2	2
	1	2	3

### Tiang bor

Fondasi tiang bor (*bored pile*) adalah salah satu tipe fondasi dalam yang dibuat langsung di tanah dari hasil pengeboran tanah, pemasangan tulangan dan pengecoran beton. Ada beberapa jenis tiang bor yang diklasifikasikan menurut bentuknya yaitu tiang bor yang berporos lurus (*straight shaft*), tiang bor yang ujungnya membesar menyerupai seperti bel (*belled shaft*), tiang bor yang ujungnya membesar menyerupai seperti trapesium (*enlarged base*), dan tiang bor yang berporos lurus (*straight shaft*) ditanam dalam lapisan batuan (Das, 2011). Jenis-jenis tiang bor menurut bentuknya ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Jenis tiang bor menurut bentuk (Das, 2011)

Perhitungan daya dukung tarik tiang bor terdiri dari daya dukung selimut tiang bor ( $Q_s$ ) dan berat sendiri tiang bor ( $W_p$ ). Berat sendiri tiang bor dapat dihitung dengan Persamaan 3.

$$W_p = BJ_{Beton} \times V_{tiang} \quad (3)$$

dengan  $W_p$  = berat sendiri tiang bor (kN),  $BJ_{Beton}$  = berat jenis beton (24 kN/m<sup>3</sup>), dan  $V_{tiang}$  = volume tiang bor (m<sup>3</sup>).

Untuk perhitungan daya dukung selimut tiang bor dihitung dengan metode O'Neill & Reese (1999). Daya dukung selimut tiang bor dengan metode O'Neill & Reese dapat diperoleh dari Persamaan 4-8.

$$Q_s = \Sigma (p \Delta L f_s) \quad (4)$$

$$f_s = \beta \sigma'_v \leq 200 \text{ kPa} \quad (5)$$

$$\beta = (1 - \sin \phi) \left( \frac{\sigma'_p}{\sigma'_v} \right)^{\sin \phi} \tan \phi \leq K_p \tan \phi \quad (6)$$

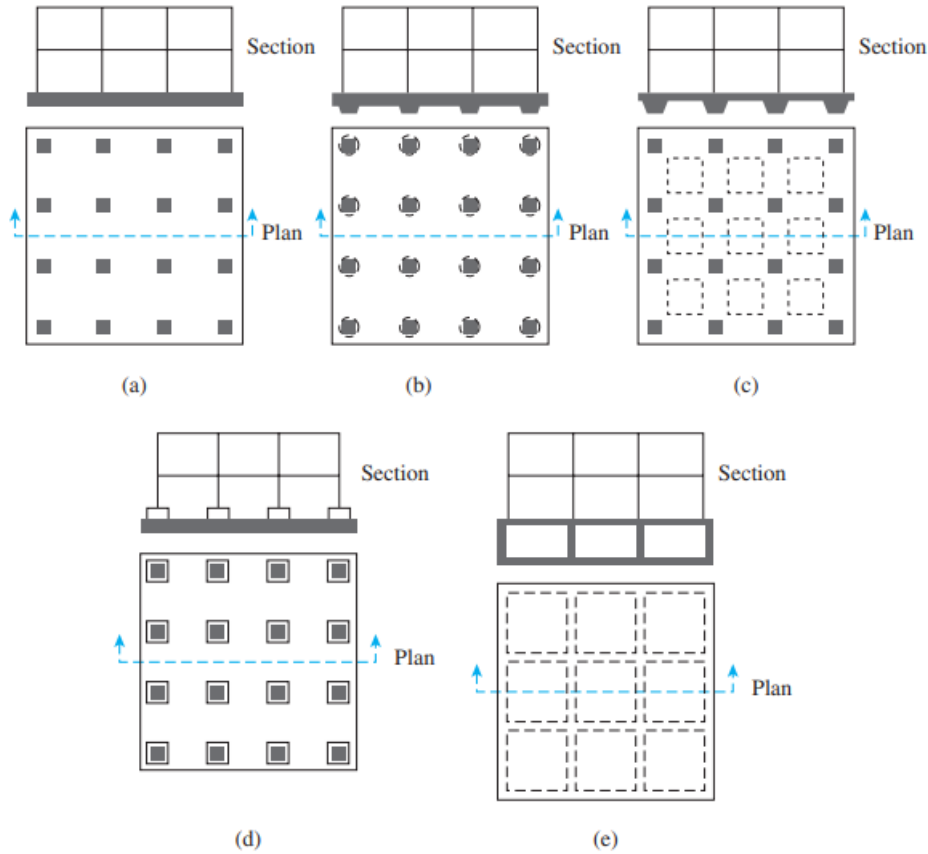
$$\sigma'_p = 0,47 (N_{60})^m P_a \quad (7)$$

$$K_p = \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \quad (8)$$

dengan  $Q_s$  = daya dukung selimut tiang bor (kN),  $p$  = keliling penampang tiang (m),  $\Delta L$  = panjang tiang (m),  $f_s$  = gesekan selimut tiang (kN/m<sup>2</sup>),  $\beta$  = faktor tegangan efektif menjadi tegangan selimut,  $\sigma'_v$  = tegangan vertikal efektif tanah (kN/m<sup>3</sup>),  $\phi$  = sudut geser tanah (°),  $\sigma'_p$  = tegangan pasif tanah (kN/m<sup>2</sup>),  $K_p$  = koefisien tekanan pasif Rankine,  $N_{60}$  = nilai NSPT terkoreksi 60%,  $m$  = 0,6 untuk pasir bersih dan 0,8 untuk pasir kelanauan dan  $P_a$  = tekanan atmosfer (100 kN/m<sup>2</sup>).

### Fondasi raft

Fondasi *Raft* adalah fondasi yang berbentuk seperti pelat lantai yang menahan lebih dari satu kolom. Fondasi *raft* dapat meliputi semua luas bangunan. Fondasi *raft* digunakan ketika tanah dasarnya memiliki daya dukung yang rendah atau beban dari kolom lebih besar dari 50% dari luas bangunan ditutupi oleh fondasi tapak konvensional (Bowles, 1997). Jenis-jenis fondasi *raft* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Jenis fondasi *raft* (Das, 2011)

Daya dukung tekan fondasi *raft* dihitung dengan metode Meyerhoff (1936) yang sama seperti untuk fondasi dangkal yang hanya diubah luasan penampang fondasi dangkal menjadi *raft* (Das, 2011). Daya dukung tekan fondasi *raft* dengan metode Meyerhoff (1936) dapat diperoleh dari Persamaan 9-20.

$$q_u = c'N_cF_{cs}F_{cd}F_{ci} + qN_qF_{qs}F_{qd}F_{qi} + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma F_{\gamma s}F_{\gamma d}F_{\gamma i} \quad (9)$$

$$N_q = \tan^2\left(45 + \frac{\phi'}{2}\right)e^{\pi \tan \phi'} \quad (10)$$

$$N_c = (N_q - 1)\cot \phi' \quad (11)$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan \phi' \quad (12)$$

$$F_{cs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right)\left(\frac{N_q}{N_c}\right) \quad (13)$$

$$F_{qs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right)\tan \phi' \quad (14)$$

$$F_{\gamma s} = 1 - 0,4\left(\frac{B}{L}\right) \quad (15)$$

$$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan \phi'} \quad (16)$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi' (1 - \sin \phi')^2 \left(\frac{D_f}{B}\right) \quad (17)$$

$$F_{\gamma d} = 1 \quad (18)$$

$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\beta^\circ}{90^\circ}\right)^2 \quad (19)$$

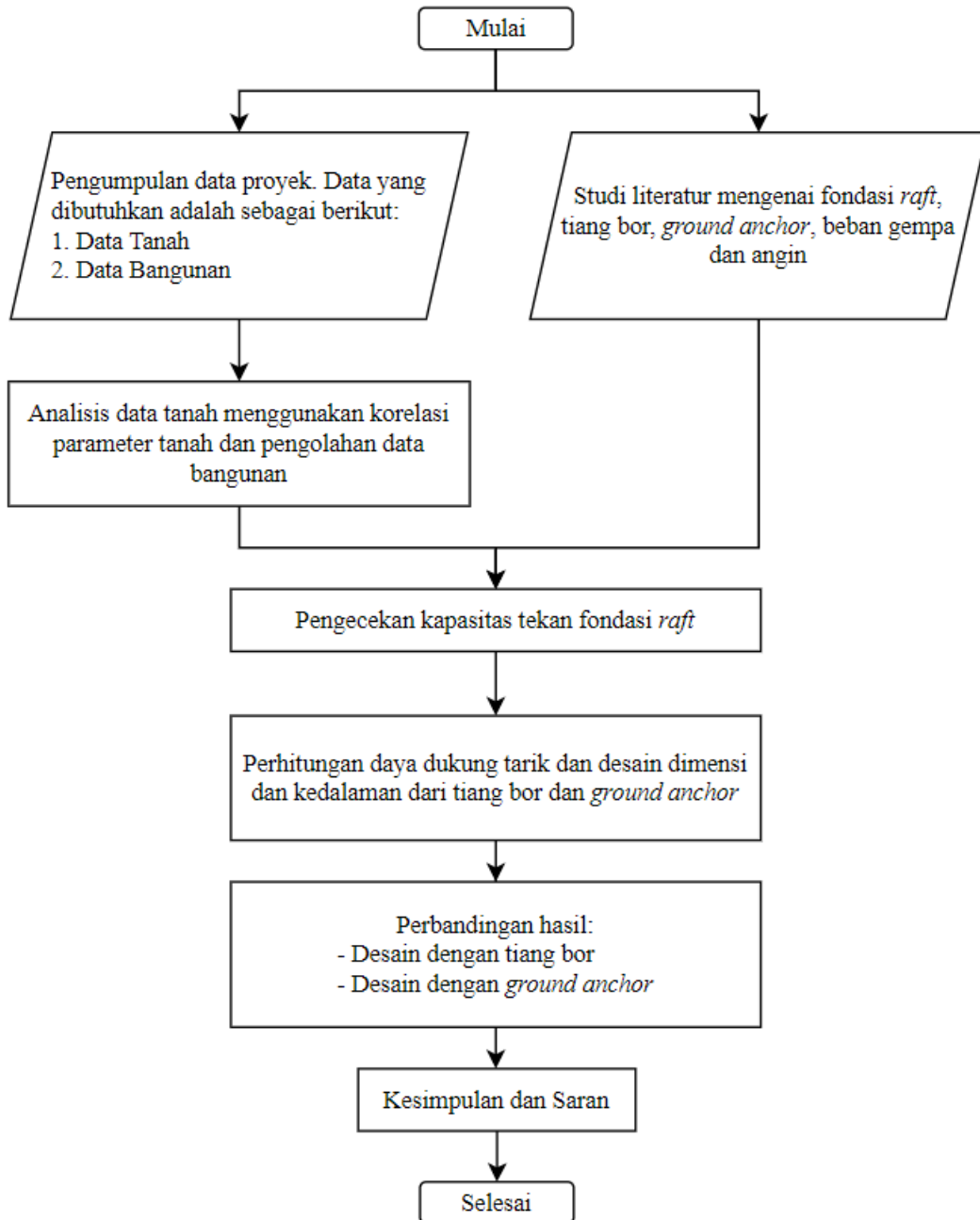
$$F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\beta^\circ}{\phi'}\right)^2 \quad (20)$$

dengan  $q_u$  = daya dukung tekan fondasi *raft* (kN/m<sup>2</sup>),  $c'$  = kohesi tanah (kN/m<sup>2</sup>),  $N_c, N_q, N_\gamma$  = faktor daya dukung,  $F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$  = faktor bentuk fondasi,  $F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$  = faktor kedalaman fondasi (m),  $F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$  = faktor kemiringan beban,  $q$  = tegangan efektif tanah di dasar fondasi (kN/m<sup>2</sup>),  $\gamma$  = berat jenis tanah (kN/m<sup>3</sup>),  $B$  = lebar fondasi (m),  $\phi'$  = sudut geser efektif tanah ( $^\circ$ ),  $L$  = panjang fondasi (m),  $D_f$  = kedalaman dasar fondasi *raft* (m) dan  $\beta$  = sudut kemiringan beban terhadap sumbu vertikal ( $^\circ$ ).

## 2. METODE PENELITIAN

Secara garis besar prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini digambarkan pada Gambar 4. Uraian dari diagram alir tersebut adalah sebagai berikut:

1. Tahap awal dari penelitian dimulai dengan mengumpulkan data tanah dan data bangunan yang akan digunakan dalam penelitian.
1. Tahap berikutnya adalah melakukan studi literatur mengenai struktur fondasi *raft*, *ground anchor*, tiang bor serta karakteristik dari parameter tanah dan struktur.
2. Lalu dilakukan pengolahan data tanah yang telah didapat, jika tidak ada nilai parameter yang diperlukan akan digunakan nilai tipikal dan korelasi parameter tanah dari berbagai sumber.
3. Langkah berikutnya adalah mengolah data reaksi tarik bangunan yang telah didapat.
4. Kemudian dilakukan pengecekan kapasitas tekan fondasi *raft*.
5. Selanjutnya dilakukan perhitungan daya dukung tarik tiang bor dan kapasitas tarik *ground anchor*.
6. Analisis yang dilakukan ialah membandingkan kapasitas tarik dan dimensi *ground anchor* dengan tiang bor, sehingga dapat diketahui perbandingan daya dukung dan dimensi antara *ground anchor* dengan tiang bor pada fondasi *raft*.
7. Tahapan terakhir adalah membuat kesimpulan dari hasil penelitian ini dan saran untuk penelitian yang akan datang.



Gambar 4. Diagram alir penelitian

### Parameter tanah desain

Parameter tanah desain diperoleh dari grafik komposit hasil plot parameter tanah yang diperoleh dari data penyelidikan tanah di lapangan, data uji laboratorium dan juga korelasi parameter tanah. Dari grafik tersebut kemudian dicari rata-ratanya sehingga diperoleh parameter tanah desain. Parameter tanah desain diberikan pada Tabel 2-3.

Tabel 2. Parameter tanah desain bagian I

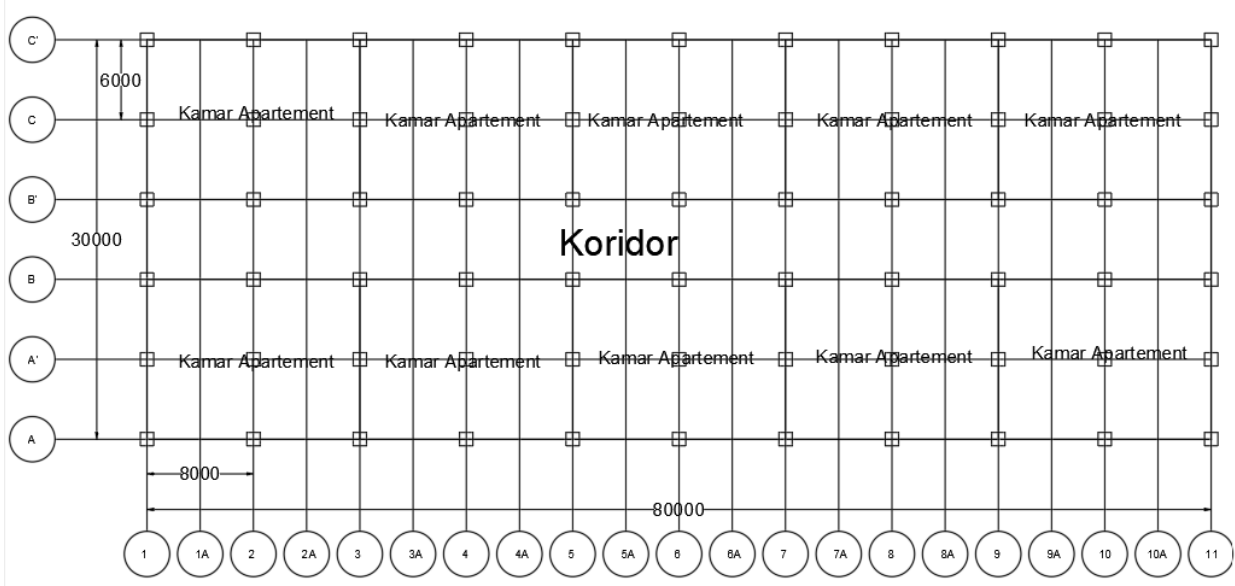
Kedalaman (m)	Jenis Tanah	Konsistensi	NSPT	Dr	$\gamma_{sat}$ (kPa)
0 - 5	Pasir Berbatu	<i>Very Dense</i>	40	0,76	21
5 - 10	Pasir Berbatu	<i>Dense</i>	36	0,72	20
10 - 16	Pasir Berbatu	<i>Very Dense</i>	52	0,8	22
16 - 20	Batu	<i>Hard</i>	60	0,8	24

Tabel 3. Parameter tanah desain bagian II

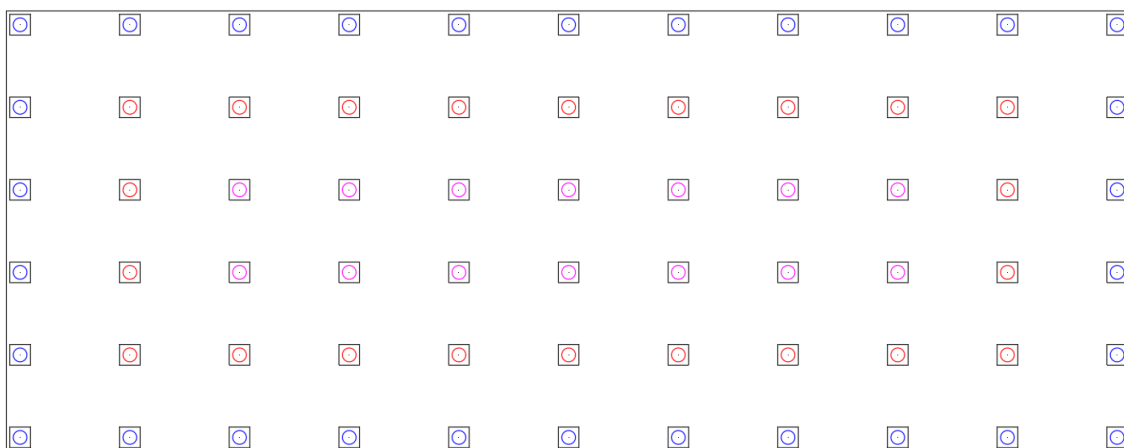
Kedalaman (m)	$\phi'$ (°)	E (MPa)	$\mu$	$\eta_h$ (kPa)	G (kPa)
0	5	40	0,2	15000	25000
5	10	38	0,15	15000	23478,26
10	16	42	0,15	17000	28695,65
16	20	44	0,15	18000	28695,65

**Data perhitungan dan pembebanan**

Bangunan yang akan dianalisis memiliki 33 lantai termasuk dak atap. Tinggi bangunan keseluruhan adalah 128 m dengan jarak antar lantai 4 m. Letak bangunan berada di Nusa Tenggara Timur. Untuk jarak antar kolom secara horizontal sebesar 8 m dan secara vertikal sebesar 6 m. Denah tipikal lantai ditunjukkan pada Gambar 5. Tiang bor dan *ground anchor* diasumsikan terletak tepat di bawah kolom seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 5. Denah tipikal lantai 2-32



Gambar 6. Denah fondasi raft dengan tiang bor atau *ground anchor*

Reaksi tarik terbesar bangunan terjadi pada saat beban gempa bekerja sedangkan reaksi tekan terbesar bangunan terjadi pada kombinasi pembebanan. Fondasi raft akan menerima seluruh reaksi tekan akibat kombinasi *envelope* sedangkan fondasi *ground anchor* dengan tiang bor akan menahan seluruh reaksi tarik akibat gempa dari bangunan. Besar reaksi bangunan yang akan dipakai sebagai acuan dibagi menjadi 2 sumbu yaitu sumbu X dan Y serta diambil reaksi terbesar setiap as bangunan. Reaksi bangunan yang akan dipakai sebagai acuan desain ditunjukkan pada Tabel 4-5.

Tabel 4. Hasil reaksi bangunan pada sumbu X

As	Gaya Tekan (Ton)	Gaya Tarik (Ton)	
	ENV	EQXP	EQXN
1	1047,71	-172,71	-164,96
2	1376,80	-27,75	-16,60
3	1410,93	-11,60	-3,09
4	1415,29	-6,71	-1,02
5	1415,79	-3,26	-0,41
6	1415,77	0	0
7	1415,81	-3,18	-3,18
8	1415,41	-6,16	-6,16
9	1411,75	-7,59	-7,59
10	1388,52	3,16	0,89
11	1182,99	153,66	1,11

Tabel 5. Hasil reaksi bangunan pada sumbu Y

As	Gaya Tekan (Ton)	Gaya Tarik (Ton)	
	ENV	EQYP	EQYN
A	1019,45	-228,33	-228,33
B	1282,60	-26,93	-26,93
C	1415,33	-5,31	-5,31
D	1415,81	1,06	1,06
E	1303,68	18,95	18,95
F	1202,88	172,86	172,86

### Properti fondasi *raft*

Untuk perhitungan kapasitas tarik fondasi *raft*, dimensi fondasi *raft* sebesar 82 x 32 m dengan tebal 2 m. Dimensi fondasi *raft* diperbesar 1 m pada setiap sisinya agar dapat menyelimuti keseluruhan tiang pada titik kolom. Mutu beton fondasi *raft* sebesar 35 MPa.

### Properti fondasi tiang bor

Untuk perhitungan daya dukung tiang bor, diameter tiang bor ditentukan sebesar 0,5, 0,6, 0,8, dan 1 m dengan kedalaman yang disesuaikan dengan kebutuhan. Mutu beton tiang bor sebesar 25 MPa.

### Properti ground anchor

Untuk perhitungan daya dukung *ground anchor*, *free length* ditetapkan 5 m untuk *strand* tendon. Panjang *fixed length* diatur sesuai dengan kebutuhan tarik yang diperlukan. Untuk penentuan kekuatan *strand* dipakai dari buku FHWA-IF-99-015. Namun untuk penelitian ini lebih ditinjau pada kapasitas tarik yang dimiliki *grouting* pada jenis tanah sepanjang *fixed length*. Diameter lubang *ground anchor* dipakai 0,2 m sesuai dengan kemampuan alat pengeboran untuk *ground anchor* pada umumnya. Namun karena diberi *grouting* bertekanan, maka material *grout* menyebar dengan asumsi hingga membentuk diameter *grouting* (D) 0,5 m.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil pengecekan kapasitas tekan fondasi *raft*

Faktor keamanan (*safety factor*) dipakai sebesar 3 untuk kapasitas tekan fondasi *raft* (Badan Standardisasi Nasional, 2017). Hasil perhitungan kapasitas tekan fondasi *raft* dengan metode Meyerhoff (1936) ditunjukkan pada Tabel 6-7.

Tabel 6. Hasil perhitungan kapasitas tekan ultimit fondasi *raft* ( $q_u$ ) dengan metode Meyerhoff (1936)

$N_q$	$N_c$	$N_y$	$F_{cs}$	$F_{qs}$	$F_{ys}$	$F_{cd}$	$F_{qd}$	$F_{yd}$	$F_{ci} = F_{qi}$	$F_{yi}$	$q_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	$q_u$ (ton/m <sup>2</sup> )
64,20	75,31	109,41	1,33	1,33	0,84	1,01	1,01	1	1	1	18150,25	1815,02



Tabel 7. Hasil perhitungan kapasitas tekan *allowable* fondasi *raft* ( $q_{all}$ ) dengan *safety factor* sebesar 3

$q_u$ (ton/m <sup>2</sup> )	<i>Safety factor</i>	$q_{all}$ (ton/m <sup>2</sup> )	Luas fondasi <i>raft</i> (m <sup>2</sup> )	$q_{all}$ (ton)
1815,02	3	605,01	2624	1587541,71

Kemudian dilakukan pengecekan sederhana dimana diambil reaksi tekan kolom terbesar yaitu 1415,81 ton dengan asumsi reaksi tekan kolom terbesar tersebut terjadi pada semua 66 titik kolom. Sehingga dihitung total reaksi tekan kolom yang akan bekerja pada fondasi *raft* seperti pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil perhitungan total reaksi tekan kolom pada fondasi *raft*

Reaksi tekan kolom terbesar (ton)	Titik kolom	Total reaksi tekan kolom (ton)
1415,81	66	93443,20

Setelah itu, total reaksi tekan kolom sebesar 93443,20 ton dibandingkan dengan kapasitas tekan *allowable* fondasi *raft* sebesar 1587541,71 ton. Hasil perbandingan antara total reaksi tekan kolom dengan kapasitas tekan *allowable* fondasi *raft* terlihat bahwa fondasi *raft* mampu menahan seluruh reaksi tekan kolom dengan kondisi yang ekstrim sehingga tidak diperlukan fondasi tambahan pada fondasi *raft*. Kemudian dilakukan pengecekan tegangan yang terjadi pada fondasi *raft* dengan reaksi tekan akibat gempa arah X maupun Y. Perhitungan tegangan yang terjadi pada fondasi *raft* akibat reaksi tekan akibat gempa ditunjukkan pada Tabel 9-12.

Tabel 9. Tegangan yang terjadi pada fondasi *raft* akibat gempa arah X positif pada sumbu X

As	Reaksi kolom (ton)	Luas <i>tributary</i> fondasi <i>raft</i> (m <sup>2</sup> )	Tegangan fondasi <i>raft</i> (ton/m <sup>2</sup> )
1	-172,71	12	-14,39
2	-27,75	24	-1,16
3	-11,60	48	-0,24
4	-6,71	48	-0,14
5	-3,26	48	-0,07
6	0	48	0
7	-3,18	48	-0,07
8	-6,16	48	-0,13
9	-7,59	48	-0,16
10	3,16	24	0,13
11	153,66	12	12,81

Tabel 10. Tegangan yang terjadi pada fondasi *raft* akibat gempa arah X negatif pada sumbu X

As	Reaksi kolom (ton)	Luas <i>tributary</i> fondasi <i>raft</i> (m <sup>2</sup> )	Tegangan fondasi <i>raft</i> (ton/m <sup>2</sup> )
1	-164,96	12	-13,75
2	-16,60	24	-0,69
3	-3,09	48	-0,06
4	-1,02	48	-0,02
5	-0,41	48	-0,01
6	0	48	0
7	-3,18	48	-0,07
8	-6,16	48	-0,13
9	-7,59	48	-0,16
10	0,89	24	0,04
11	1,11	12	0,09

Tabel 11. Tegangan yang terjadi pada fondasi *raft* akibat gempa arah Y positif pada sumbu Y

As	Reaksi kolom (ton)	Luas <i>tributary</i> fondasi <i>raft</i> (m <sup>2</sup> )	Tegangan fondasi <i>raft</i> (ton/m <sup>2</sup> )
A	-228,33	12	-19,03
B	-26,93	24	-1,12
C	-5,31	48	-0,11
D	1,06	48	0,02
E	18,95	24	0,79
F	172,86	12	14,40

Tabel 12. Tegangan yang terjadi pada fondasi *raft* akibat gempa arah Y negatif pada sumbu Y

As	Reaksi kolom (ton)	Luas <i>tributary</i> fondasi <i>raft</i> (m <sup>2</sup> )	Tegangan fondasi <i>raft</i> (ton/m <sup>2</sup> )
A	-228,33	12	-19,03
B	-26,93	24	-1,12
C	-5,31	48	-0,11
D	1,06	48	0,02
E	18,95	24	0,79
F	172,86	12	14,40

Jika diambil tegangan terbesar yang terjadi sebesar 14,40 ton/m<sup>2</sup> dibandingkan dengan kapasitas tekan fondasi *raft* ( $q_u$ ) sebesar 1815,02 ton/m<sup>2</sup>, fondasi *raft* tidak akan terjadi kemungkinan terguling atau terangkat akibat beban gempa pada bangunan.

### Hasil daya dukung tiang bor

Faktor keamanan (*safety factor*) dipakai sebesar 2,5 untuk daya dukung tarik tiang bor (Badan Standardisasi Nasional, 2017). Hasil perhitungan daya dukung tarik tiang bor dengan metode O'Neill & Reese (1999) ditunjukkan pada Tabel 13.

Tabel 13. Hasil perhitungan daya dukung tarik tiang bor ( $Q_u$  &  $Q_{all}$ ) dengan metode O'Neill & Reese, 1999

Diameter (m)	Panjang Tiang (m)	Metode O'Neill & Reese	
		$Q_u$ (ton)	$Q_{all}$ (ton)
0,5	6	65,99	26,40
	8	89,62	35,85
	14	192,44	76,98
0,6	6	79,87	31,95
	8	108,45	43,38
	14	232,51	93,00
0,8	6	108,30	43,32
	8	147,02	58,81
	14	314,23	125,69
1	6	137,64	55,06
	8	186,79	74,72
	14	398,07	159,23
	18	562,05	224,82
	23	796,42	318,57
	28	1056,60	422,64
	38	1637,73	655,09
58	3505,39	1402,40	
78	6672,89	2669,15	

### Hasil kapasitas tarik *ground anchor*

Faktor keamanan (*safety factor*) dipakai sebesar 3 untuk kapasitas tarik *ground anchor* (Badan Standardisasi Nasional, 2017). Hasil perhitungan kapasitas tarik *ground anchor* ditunjukkan pada Tabel 14 dengan panjang *free length ground anchor* yang dipakai sebesar 5 m.

Tabel 14. Hasil perhitungan kapasitas tarik *ground anchor* ( $Q_{ult}$  &  $Q_{all}$ ) dengan metode SNI 8460:2017

Kedalaman Tanah (m)	Metode SNI 8460:2017	
	$Q_{ult}$ (ton)	$Q_{all}$ (ton)
10	63,62	21,21
12	118,75	39,58
18	352,96	117,65
22	572,56	190,85
27	921,27	307,09
42	2462,22	820,74
52	3901,86	1300,62
57	4745,38	1581,79
62	5671,36	1890,45
67	6679,81	2226,60

### Perbandingan *ground anchor* dengan tiang bor

Berdasarkan daya dukung tarik tiang bor dan *ground anchor* yang sudah diperhitungkan, perbandingan kedalaman dari *ground anchor* dengan tiang bor berdasarkan reaksi tarik kolom akibat gempa diberikan pada Tabel 15-18.

Tabel 15. Perbandingan gempa arah X positif pada sumbu X

As	Tarik (ton)	Kedalaman GA (m)	$Q_{all}$ GA (ton)	Panjang & Diameter Tiang Bor	$Q_{all}$ Tiang Bor (ton)
1	-172,71	22	-190,85	18 m & 1 m	-225
2	-27,75	12	-39,58	8 m & 0,5 m	-36
3	-11,60	10	-21,21	6 m & 0,5 m	-26
4	-6,71	10	-21,21	6 m & 0,5 m	-26
5	-3,26	10	-21,21	6 m & 0,5 m	-26
6	0	-	-	-	-
7	-3,18	10	-21,21	6 m & 0,5 m	-26
8	-6,16	10	-21,21	6 m & 0,5 m	-26
9	-7,59	10	-21,21	6 m & 0,5 m	-26
10	3,16	-	-	-	-
11	153,66	-	-	-	-

Tabel 16. Perbandingan akibat gempa arah X negatif pada sumbu X

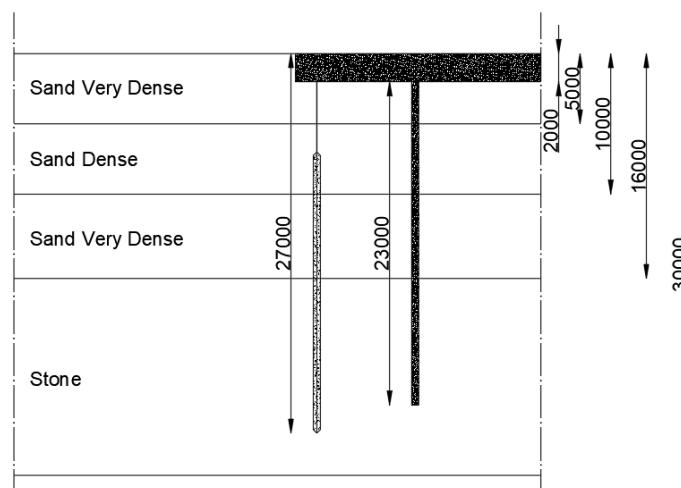
As	Tarik (ton)	Kedalaman GA (m)	$Q_{all}$ GA (Ton)	Panjang & Diameter Tiang Bor	$Q_{all}$ Tiang Bor (ton)
1	-164,96	22	-190,85	18 m & 1 m	-225
2	-16,60	10	-21,206	6 m & 0,5 m	-26
3	-3,09	10	-21,206	6 m & 0,5 m	-26
4	-1,02	10	-21,206	6 m & 0,5 m	-26
5	-0,41	10	-21,206	6 m & 0,5 m	-26
6	0	-	-	-	-
7	-3,18	10	-21,206	6 m & 0,5 m	-26
8	-6,16	10	-21,206	6 m & 0,5 m	-26
9	-7,59	10	-21,206	6 m & 0,5 m	-26
10	0,89	-	-	-	-
11	1,11	-	-	-	-

Tabel 17. Perbandingan akibat gempa arah Y positif pada sumbu Y

As	Tarik (ton)	Kedalaman GA (m)	Q <sub>all</sub> GA (ton)	Panjang & Diameter Tiang Bor	Q <sub>all</sub> Tiang Bor (ton)
A	-228,33	27	-307,09	23 m & 1 m	-319
B	-26,93	12	-39,58	8 m & 0,5 m	-36
C	-5,31	10	-21,21	6 m & 0,5 m	-26
D	1,06	-	-	-	-
E	18,95	-	-	-	-
F	172,86	-	-	-	-

Tabel 18. Perbandingan akibat gempa arah Y negatif pada sumbu Y

As	Tarik (ton)	Kedalaman GA (m)	Q <sub>all</sub> GA (ton)	Panjang & Diameter Tiang Bor	Q <sub>all</sub> (ton)
A	-228,33	27 m	-307,09	23 m & 1 m	-319
B	-26,93	12 m	-39,58	8 m & 0,5 m	-36
C	-5,31	10 m	-21,21	6 m & 0,5 m	-26
D	1,06	-	-	-	-
E	18,95	-	-	-	-
F	172,86	-	-	-	-



Gambar 7. Perbandingan *ground anchor* dengan tiang bor secara dimensi pada as a sumbu Y bangunan dengan gempa arah Y

Berdasarkan hasil perbandingan, diperoleh bahwa kedalaman yang dibutuhkan tiang bor lebih dangkal dibandingkan *ground anchor* untuk menopang reaksi tarik kolom. Hal tersebut bisa terjadi karena berbagai faktor sebagai berikut:

1. Kapasitas tarik *ground anchor* hanya mengandalkan *fixed length* sehingga panjang *free length* berkontribusi dalam menambah kedalaman keseluruhan dari *ground anchor* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.
2. Daya dukung tarik tiang bor merupakan jumlah dari berat sendiri tiang bor dengan daya dukung selimut tiang bor. Berat sendiri tiang bor lebih berat daripada berat *strand tendon ground anchor* sehingga nilai daya dukung tiang bor lebih besar daripada kapasitas tarik *ground anchor*.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis perbandingan yang telah dilakukan pada *ground anchor* dengan tiang bor dalam menahan gaya tarik bangunan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Desain *ground anchor* dengan tiang bor pada tepi bangunan memiliki kedalaman yang lebih panjang daripada yang berada pada tengah bangunan karena beban tarik akibat beban lateral lebih besar pada tepi bangunan.
2. *Ground anchor* membutuhkan kedalaman yang lebih besar daripada tiang bor karena *ground anchor* membutuhkan *free length*.

3. Berdasarkan kapasitas tarik per kedalaman *ground anchor* dengan tiang, *ground anchor* lebih unggul daripada *tiang bor* dengan diameter *grouting* dengan tiang bor sebanding.
4. Berdasarkan perbandingan diameter *grouting* dengan tiang bor, diameter tiang bor tidak memberikan penambahan daya dukung tarik yang signifikan dibandingkan dengan diameter *ground anchor*. Hal ini dapat dilihat ketika pada tepi kolom, diameter tiang bor dibutuhkan lebih besar 2 kali lipat dari diameter *grouting* untuk menahan beban kolom.

Ada beberapa saran dari penelitian sebagai berikut:

1. Jika ingin mengurangi kedalaman dari *ground anchor* untuk menahan beban tarik bangunan, bisa dilakukan perbesaran pada diameter *grouting*, jenis bentuk *grouting* dan penambahan jumlah *ground anchor*.
2. Jika ingin menggunakan *ground anchor* dengan kedalaman lebih dari 13 m, perlu dilakukan pengecekan *pullout test* untuk memastikan kapasitas tarik *ground anchor* aktual pada lapangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *Persyaratan perancangan geoteknik* (SNI 8460:2017).
- Bowles, J. E. (1997). *Foundation analysis and design* (Edisi ke 5). The McGraw-Hill Companies.
- Choi, S. W., Lee, J., Kim, J. M., & Park, H. S. (2013). Design and application of field sensing system for ground anchors in slopes. *Sensors*, 13(3), 3739-3752. <https://doi.org/10.3390/s130303739>
- Das, B. M. (2011). *Principles of foundation engineering*. Cengage Learning.
- Hutabarat, L. E. (2001). Prediksi kapasitas tarik pondasi tiang pancang berdasarkan uji pembebanan tarik di lapangan (studi kasus di Surabaya). *Jurnal EMAS: Sains dan Teknologi*, 25, 59-69. <http://repository.uki.ac.id/id/eprint/898>
- Sabatini, P. J., Pass, D. G., & Bachus, R. C. (1999). *Geotechnical engineering circular No. 4: Ground anchors and anchored systems* (FHWA-IF-99-015).
- Susanto, M. M., & Susilo, A. J. (2022). Perencanaan sistem penunjang untuk mengatasi penambahan deformasi dinding diafragma pada proyek galian basemen. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 5(4), 751-766. doi:<https://doi.org/10.24912/jmts.v5i4.20292>
- Terenggana, A. N. (2014). Analisa perhitungan pile-raft foundation pada proyek The 18 Office Park Jakarta. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 2(3), 583-591.