

Analisis Fondasi Tiang Bor Dengan PLAXIS 3D (Studi Kasus : Proyek Pembangunan Gedung Pendidikan Fakultas Teknik Unsrat Jurusan Sipil)

Ribka Prilia^{#1}, Fabian J. Manoppo^{#2}, Lanny D. K. Manaroinsong^{#3}

[#]Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi

Jl. Kampus UNSRAT Kelurahan Bahu, Manado, Indonesia, 95115

¹ribkamaria.tanjaya@gmail.com; ²fabian_jm@unsrat.ac.id; ³lannymanaroinsong@gmail.com

Abstrak

Penggunaan fondasi dalam pembangunan merupakan hal yang sangat diperlukan guna menopang beban struktur yang di atasnya. Fondasi dalam jenis tiang bor menjadi pilihan pada Proyek Pembangunan Gedung Pendidikan Fakultas Teknik Unsrat Jurusan Sipil. Adapun dalam hal menganalisis fondasi yang ada baik dari segi daya dukung maupun sampai pada penurunan dan defleksi, digunakan beberapa metode statis dan juga program (software) yang dapat digunakan, salah satunya PLAXIS 3D yang merupakan program metode elemen hingga bertujuan khusus untuk menganalisis masalah-masalah di bidang geoteknik. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, didapat untuk pemodelan kelompok tiang 3-pile dan 4-pile dengan menggunakan metode statis dan pemograman yaitu, untuk metode statis $Q_u = 13304,4 \text{ kN}$ dan $15294,5 \text{ kN}$ lalu $H_g = 130,721 \text{ kN}$ dan $162,274 \text{ kN}$ (analitis), dan $y_0 = 0,002769 \text{ m}$ dan $0,003437 \text{ m}$ (analitis), kemudian $S_g = 0,10266$ (metode Vesic 3-pile dan 4-pile) dan $S_g = 0,03021 \text{ m}$ dan $0,03473 \text{ m}$ (metode Meyerhof). Dan pada pemograman dengan PLAXIS 3D didapat $Q_u = 11496,7 \text{ kN}$ dan $15089,9 \text{ kN}$, lalu $H_g = 135 \text{ kN}$ dan 165 kN , kemudian $y_0 = 0,000508 \text{ m}$ dan $0,000460 \text{ m}$, dan $S_g = 0,025 \text{ m}$ bagi masing-masing kelompok tiang.

Kata kunci – PLAXIS 3D, tiang bor, SPT, daya dukung

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Fondasi dalam yang sering digunakan dalam perencanaan adalah fondasi tiang pancang dan fondasi tiang bor. Perbedaan kedua fondasi tersebut terletak di cara pemasangannya, dimana fondasi tiang pancang pelaksanaannya dengan cara tiang fondasi dimasukkan ke tanah kemudian mendesak tanah disekitarnya (displacement pile) sedangkan fondasi tiang bor dilaksanakan dengan menggali lubang bor dan mengisinya dengan material beton.

Dalam hal ini, bangunan dengan jumlah lantai yang terbilang cukup banyak yaitu enam lantai tentu

memerlukan fondasi dalam. Bangunan tersebut tentu saja, yakni konstruksi Gedung Pendidikan Fakultas Teknik UNSRAT Jurusan Sipil yang kemudian direncanakan menggunakan fondasi dalam jenis tiang bor guna menopang beban bangunan yang ada, baik dari segi daya dukung, penurunan maupun kemungkinan defleksi yang akan terjadi. Kondisi tanah yang ada pada proyek ini juga menjadi tolak ukur untuk diteliti karena memiliki beberapa lapisan tanah yang sifatnya berbeda-beda.

Perhitungan daya dukung yang mampu didukung fondasi perlu dilakukan. Saat menghitung daya dukung suatu fondasi dapat digunakan beberapa metode. Salah satunya menggunakan program dengan nama PLAXIS 3D yang telah dikembangkan oleh para ahli geoteknik dengan metode yang diterapkan yaitu metode elemen hingga. Penggunaan suatu program atau aplikasi dalam menganalisis daya dukung dan sebagainya terkadang ada yang perhitungannya berbeda jauh dengan perhitungan-perhitungan manual yang ada. Studi kasus kali ini menggunakan Program PLAXIS 3D untuk menganalisis daya dukung fondasi tiang bor lalu dibandingkan dengan analisis statis

B. Batasan Masalah

Adapun dalam penyusunan penelitian ini penulis membatasi permasalahan yang ada dengan batasan masalah sebagai berikut :

1. Data penelitian adalah berupa data hasil penyelidikan tanah dan data Fondasi dari Fakultas Teknik UNSRAT.
2. Data yang ditinjau hanya berdasarkan data N-SPT.
3. Program untuk hitung daya dukung fondasi tiang bor adalah program PLAXIS 3D.
4. Menganalisis defleksi dan penurunan fondasi tiang bor.
5. Kelompok tiang yang ditinjau adalah Fondasi P2 dan P3.
6. Eksentrisitas diabaikan.
7. Arah beban yang ditinjau ialah aksial dan lateral.
8. Fondasi tiang berupa tiang jepit dan tegak.

C. Tujuan Penelitian

Untuk tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung dan membandingkan daya dukung aksial Fondasi tiang bor pada studi kasus dengan metode statis dan *PLAXIS 3D*;
2. Menghitung dan membandingkan daya dukung lateral Fondasi tiang bor pada pada studi kasus dengan metode statis dan *PLAXIS 3D*;
3. Menghitung dan membandingkan kemungkinan defleksi Fondasi tiang bor pada studi kasus dengan metode statis dan *PLAXIS 3D*;
4. Menghitung dan membandingkan kemungkinan penurunan Fondasi tiang bor pada studi kasus dengan metode statis dan *PLAXIS 3D*.

Untuk data yang dikumpulkan dalam penelitian berupa data sekunder yang merupakan data hasil penyelidikan tanah dan data fondasi dari Fakultas Teknik UNSRAT terkait Proyek Pembangunan Gedung Pendidikan Fakultas Teknik UNSRAT Jurusan Sipil.

Setelah tahap-tahap sebelumnya telah terlaksana, barulah kita menganalisis daya dukung fondasi tiang bor serta defleksi dan penurunan menggunakan program *PLAXIS 3D* dan menggunakan metode statis. Metode statis yang digunakan ada berasal dari Meyerhof, Broms, Vesic, Reese dkk, dan beberapa metode untuk menentukan faktor efisiensi dan faktor reduksi. Hasil perhitungan menggunakan program *PLAXIS 3D* dibandingkan dengan hasil menggunakan metode statis untuk mengontrol tingkat keakuratan.

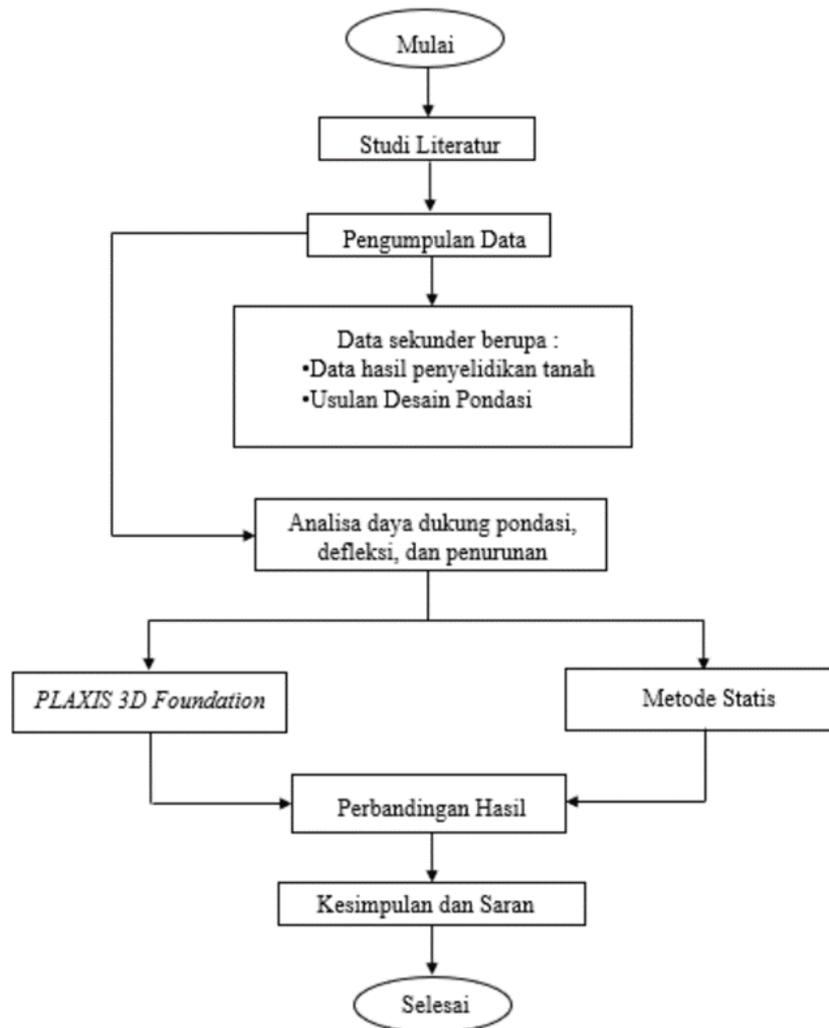
II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Uraian Umum

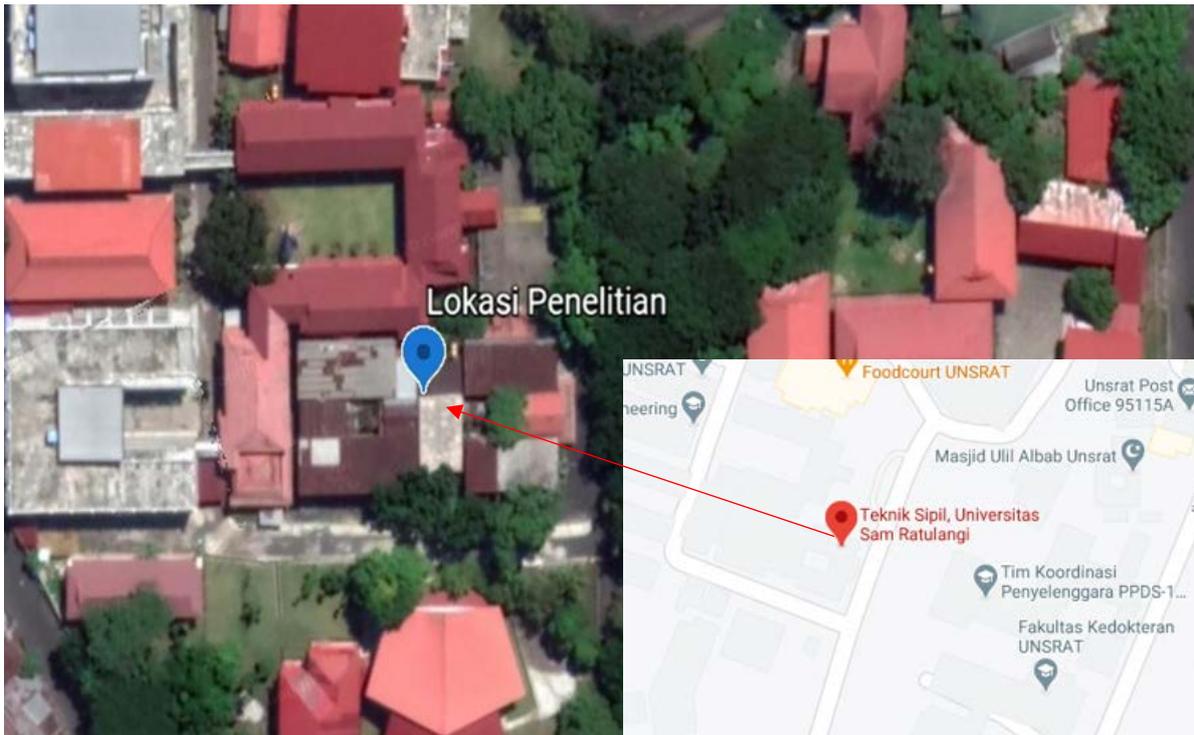
Tahapan awal dari penelitian ini adalah studi literatur mengenai Fondasi Tiang Bor, Perhitungan Daya Dukung Fondasi menggunakan Program *PLAXIS 3D* dan Metode Statis, serta kemungkinan terjadinya defleksi dan penurunan fondasi.

B. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian untuk studi kasus kali ini terdapat di Proyek Pembangunan Gedung Pendidikan Fakultas Teknik UNSRAT Jurusan Sipil seperti yang ada pada Gambar 2.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian



Gambar 2. Lokasi Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Analisis

Untuk hasil dan pembahasan dalam penelitian ini, data tanahnya diambil dari hasil boring di lokasi studi kasus dengan uji SPT dengan kedalaman 0.00–3.20 m dibentuk lapisan tanah lempung bersifat kenyal warna coklat, dengan nilai N-SPT=5 di kedalaman 1.50m dan N-SPT=10 di kedalaman 3.00m dari permukaan tanah eksisting, selanjutnya pada kedalaman 3.20–6.50 m dibentuk oleh tanah lempung bersifat kenyal warna coklat muda, dengan nilai N-SPT=7 di kedalaman 4.50 m dan N-SPT=3 di kedalaman 6.00 m, berikut kedalaman 6.50-12.00 m dibentuk oleh lapisan tanah pasir lanauan tersementasi (cadas) berpasir bersifat padat warna kehitaman, dengan lapisan tanah keras nilai N-SPT>60 diperoleh pada kedalaman 8.00 m dari muka tanah eksisting (elevasi titik uji), lapisan tanah keras tersebut menerus hingga akhir pemboran.

Sebelum hendak menghitung kapasitas daya dukung kelompok tiang, hitung terlebih dulu untuk yang tiang tunggal. Dan untuk data fondasi digunakan fondasi tiang bor dengan diameter 60 cm dan Panjang 800 cm.

B. Hasil Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Aksial

Perhitungan daya dukung aksial menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q_u = 4 \cdot N \cdot A_p + \frac{1}{100} \cdot \bar{N} \cdot A_s$$

Hasil perhitungan daya dukung aksial berdasarkan kedalaman tanah dan nilai SPT ditampilkan pada Tabel 1.

C. Hasil Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Lateral

Perhitungan perilaku dan faktor kekakuan tiang.

$$T = \sqrt{\frac{E_p I_p}{n_h}} = 1,504$$

$$L \geq 4T = 8,0 \geq 6,018$$

Maka, jenis tiang bor dikategorikan sebagai tiang panjang. Perhitungan H_u sesuai dengan ketentuan dan rumus yang ada, yakni:

$$H_u = \frac{2 M_y}{e + 2 \cdot 0,82 \sqrt{\frac{H_u}{d K_{py}} / 3}} = 150,254 \text{ kN}$$

Dan beban ijin lateral tiang dengan faktor keamanan 2,5 adalah:

$$H = \frac{H_u}{FK} = 60,101 \text{ kN}$$

Nilai H_u juga dapat diperoleh dari grafik Broms pada Gambar 3 dengan cara diplot dan menghitung terlebih dahulu persamaan berikut:

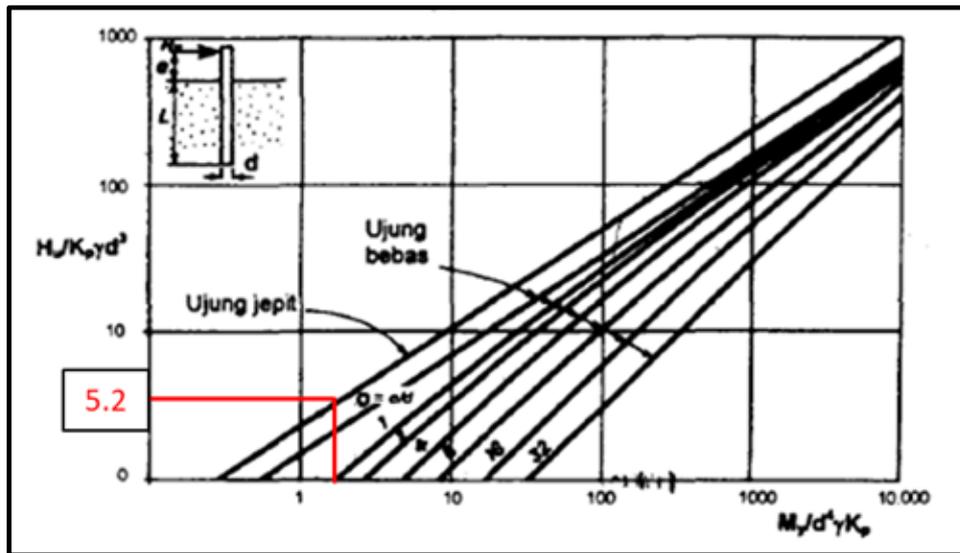
$$\frac{M_y}{d^4 \gamma K_p} = 3,033$$

$$\begin{aligned} \frac{H_u}{K_p \gamma d^3} &= 5,2 \\ H_u &= 5,2 \cdot K_p \cdot \gamma \cdot d^3 \\ &= 148,362 \text{ kN} \end{aligned}$$

TABEL 1
Hasil Perhitungan Daya Dukung Aksial Tiang Bor Metode Meyerhof Titik BH-1

BH -1							
Depth (m)	Jenis Tanah	N	n	A _s (m ²)	Q _u (ton)	Q _u (kN)	Q _a (kN)
1,5	Lempung	5	2,5	30,434	487,709	4782,81	1913,13
3,0	Lempung Lanau	10	5	60,868	489,991	4805,2	1922,08
4,5	Lempung Lanau	7	5,5	91,303	491,97	4824,6	1929,84
6,0	Pasir Lanau	3	6,25	121,737	494,556	4849,97	1939,99
8,0	Pasir Lanau	60	17	162,316	514,542	5045,95	2018,38
12,0	Pasir Lanau	60	24,166	243,474	545,787	5352,37	2140,95

Sumber: Hasil Analisis



Gambar 3. Nilai H_u dengan Grafik

D. Hasil Perhitungan Daya Dukung Aksial Kelompok Tiang

Sketsa konfigurasi kelompok tiang bor desain fondasi dapat dilihat pada Gambar 4. Untuk perhitungan efisiensi dengan menggunakan Metode Converse – Labarre adalah sebagai berikut:

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n'-1)m + (m-1)n'}{90mn'}$$

$$E_g = 0.758$$

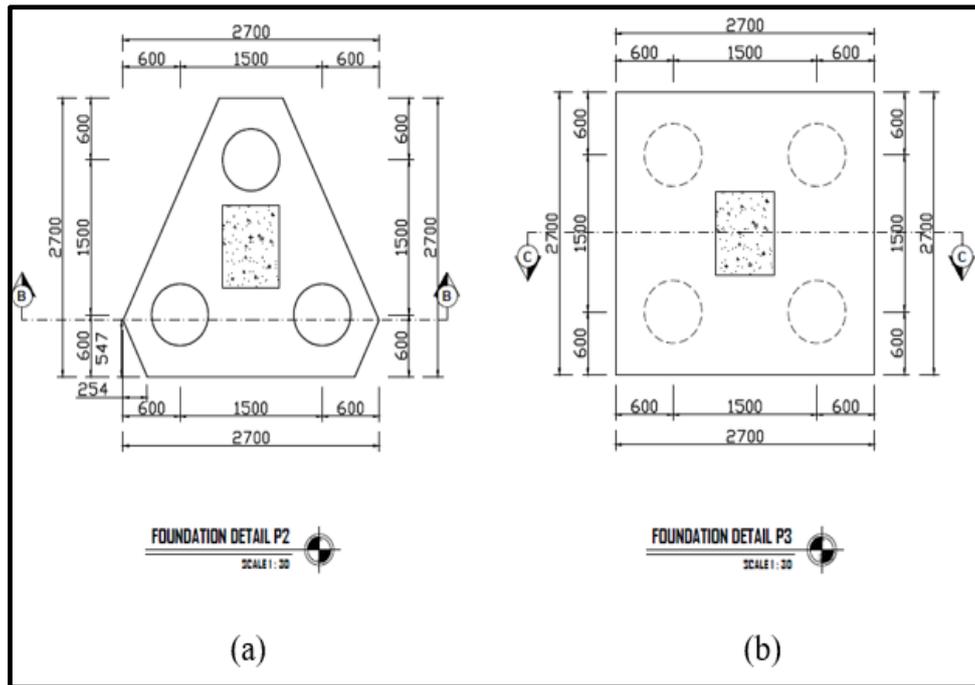
Perhitungan efisiensi tiang kelompok dengan menggunakan Metode Los Angeles Group adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} E_g &= 1 - \frac{d}{s \cdot m \cdot n'} [m(n'-1) + n'(m-1) + 2^{0.5} \cdot (m-1) \cdot (n'-1)] \\ &= 0.859 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan kapasitas daya dukung tiang kelompok diambil nilai efisiensi terkecil yang adalah metode Converse – Labarre. Sehingga kapasitas tiang kelompok adalah:

$$\begin{aligned} Q_g &= E_g \cdot n \cdot Q_a \\ &= 0,757 \cdot 3 \cdot 5045,955 \\ &= 13304,38 \text{ kN} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan kapasitas tiang kelompok selengkapnya ditampilkan pada Tabel 3.



Gambar 4. Sketsa Konfigurasi Kelompok Tiang Bor; (a) Fondasi 3-pile (P2) (b) Fondasi 4-pile (P3)

TABEL 2
Hasil Perhitungan Efisiensi Kelompok Tiang

Jumlah Tiang	Converse-Labarre	Los Angeles Group
3	0,879	0,936
4	0,758	0,859

Sumber: Hasil Analisis

TABEL 3
Hasil Perhitungan Daya Dukung Kelompok Tiang

Jumlah Tiang	Q_s (kN)
3	13304,38
4	15294,53

Sumber: Hasil Analisis

E. Hasil Perhitungan Daya Dukung Lateral Kelompok Tiang

Perhitungan dilakukan dengan memplotkan Gambar 5 dengan ratio s/d untuk menentukan nilai faktor reduksi.

- Untuk 3-pile, $s = 172$ cm dan $d = 60$ cm, jadi nilai s/d nya adalah 2,87.
- Untuk 4-pile, $s = 150$ cm dan $d = 60$ cm, jadi nilai s/d nya adalah 2,5.

Pehitungan daya dukungnya adalah sebagai berikut:

- Konfigurasi 3-pile
 $H_g = n.H_u.faktor\ reduksi$
 $= 3.150,254.0,29$
 $= 130,721$ kN

- Konfigurasi 4-pile
 $H_g = n.H_u.faktor\ reduksi$
 $= 4.150,2540,27$
 $= 162,274$ kN

F. Hasil Perhitungan Defleksi Kelompok Tiang

Defleksi Tiang Tunggal dihitung sebagai berikut:

$$\eta = \left(\frac{n_h}{E_p I_p} \right)^{1/5}$$

$$= 0,665$$

$$\eta L > 4 = 5,318 > 4$$

Maka, jenis tiang bor dikategorikan sebagai tiang panjang.

$$y_0 = \frac{0.93 H}{n_h^{2/5} (E_p I_p)^{2/5}}$$

$$= 0,003183 \text{ m}$$

Nilai y_0 juga dapat diperoleh dari Broms pada Gambar 6 dengan menghitung dahulu ηL .

Dimana:

$$\eta = 0,665$$

$$\eta L = 5,318$$

Lalu setelah diplot garis hubungannya diperoleh:

$$\frac{y_0 (E_p I_p)^{2/5} n_h^{2/5}}{PL} = 0,2$$

$$y_0 = \frac{0.2 .HL}{(E_p I_p)^{2/5} n_h^{2/5}}$$

$$= 0,003639 \text{ m (hampir sama)}$$

Penentuan tipe tiang dan nilai ηL sama dengan yang untuk tiang tunggal. Untuk 3-pile dengan $H_g = 130,721$ kN, maka:

$$y_0 = \frac{0.93 H}{n_h^{2/5} (E_p I_p)^{2/5}}$$

$$= 0,002796 \text{ m}$$

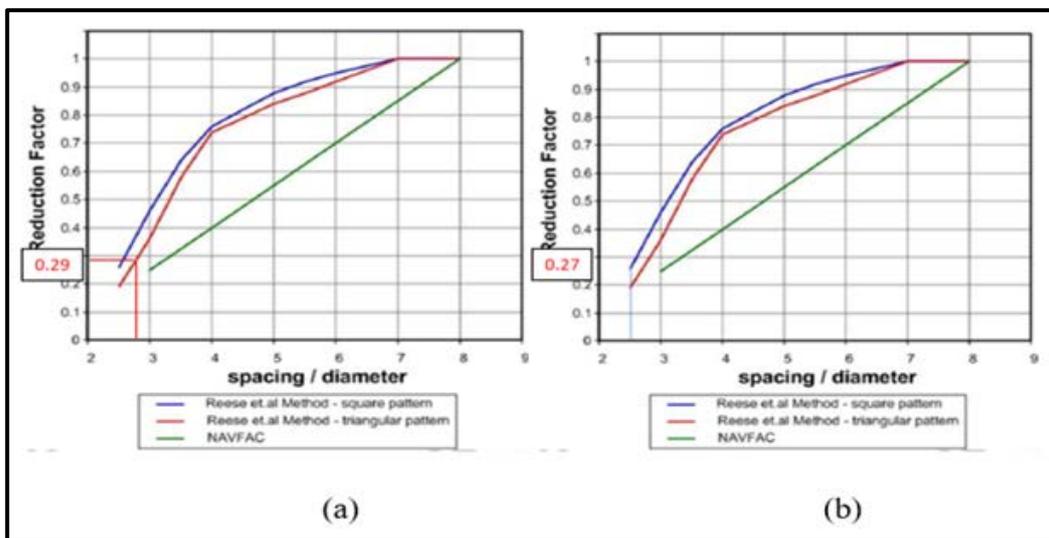
Dengan grafik (Gambar 6), diperoleh:

$$\frac{y_0 (E_p I_p)^{2/5} n_h^{2/5}}{PL} = 0,2$$

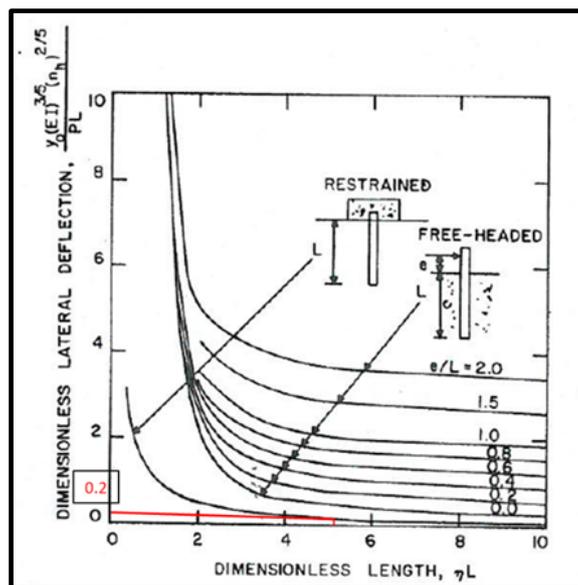
$$y_0 = \frac{0.2 .HL}{(E_p I_p)^{2/5} n_h^{2/5}}$$

$$= 0,003166 \text{ m}$$

Hasil selengkapnya ditampilkan pada Tabel 4.



Gambar 5. Nilai Faktor Reduksi Kelompok Tiang (a) 3-pile (triangular pattern); (b) 4-pile (square pattern)



Gambar 6. Nilai y_0 Tiang Tunggal dengan Grafik

TABEL 4
Hasil Perhitungan Defleksi Kelompok Tiang

Jumlah Tiang	Manual (m)	Grafik (m)
3	0,0028	0,0032
4	0,0034	0,0039

Sumber: Hasil Analisis

G. Hasil Perhitungan Penurunan (Settlement) Tiang Tunggal dan Kelompok

Perhitungan penurunan tiang tunggal adalah sebagai berikut:

$$S_e = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)}$$

1. Penurunan elastis tiang ($S_{e(1)}$):

$$S_{e(1)} = \frac{(Q_p + \alpha Q_s)L}{A_p \cdot E} = 0,00534 \text{ m}$$

2. Penurunan akibat beban ujung tiang ($S_{e(2)}$):

$$S_{e(2)} = \frac{C_p \cdot Q_p}{d \cdot q_p} = 0,0424 \text{ m}$$

3. Penurunan akibat pengalihan beban sepanjang tiang ($S_{e(3)}$):

$$I_{ws} = 2 + 0,35 \cdot (L/D)^{0,5} = 3,278$$

$$S_{e(3)} = \left(\frac{Q_s}{pL} \right) \frac{d}{E_s} (1 - 2 \cdot V_s) \cdot I_{ws} = 0,000648 \text{ m}$$

Setelah didapat S_s , S_p , dan S_{ps} , barulah kita dapatkan perkiraan penurunan total (S_e) dan nilai ijin (S_{ijin}) sebagai berikut.

$$S_e = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)} = 0,0484 \text{ m}$$

$$S_{ijin} = 0,025 \text{ m} > 0,0484 \text{ m (TIDAK OK)}$$

Perhitungan penurunan tiang kelompok menggunakan metode sebagai berikut:

1. Metode Vesic (1969)

$$S_g = S_e \sqrt{\frac{B_g}{d}} = 0,0484 \sqrt{\frac{B_g}{d}} = 0,10266 \text{ m}$$

2. Meyerhof (1976)

$$S_{g(e)} = \frac{0,96q \sqrt{B_g I}}{N_{60}} = \frac{0,96 (2098,0156) \sqrt{2,70,629}}{60} = 0,0347 \text{ m}$$

Untuk hasil kedua kelompok tiang dapat dilihat pada Tabel 5.

TABEL 5
Hasil Perhitungan Penurunan Metode Meyerhof

Jumlah Tiang	Sg (m)
3	0,0302
4	0,0347

Sumber: Hasil Analisis

H. Komputasi dengan PLAXIS 3D

Langkah awal adalah meng-input data-data yang ada pada program PLAXIS 3D Foundation seperti pada Tabel 6 dan Tabel 7. Setelah proses input, selanjutnya adalah menggambar desain fondasi yang diberikan yaitu diameter 0,6 m dan panjang 8 m, serta penggambaran kelompok tiangnya dan beban yang ada.

Pada kelompok tiang 3-pile, didapat hasil penurunan sebesar 0,025 m dan defleksi 0,000508 dengan beban vertikal 11496,67 kN dan beban horizontal 135 kN.

Untuk kelompok tiang 4-pile, didapat hasil penurunan sebesar 0,025 m dan defleksi 0,000460

sebesar dengan beban vertikal 15089,91 kN dan horizontal 165 kN.

I. Perbandingan Hasil

Setelah di dapatkan hasil dari perhitungan menggunakan metode statis dan menggunakan program PLAXIS 3D Foundation, maka dapat dilihat selisih persentasenya adalah sebagai berikut:

1. Daya dukung ultimit aksial fondasi kelompok tiang bor (*bored pile*) dengan diameter 0,6 m dan panjang 8 m, dan juga jumlah kelompok tiang 3-pile dan 4-pile dengan perbandingan beberapa metode dapat dilihat pada Tabel 8.

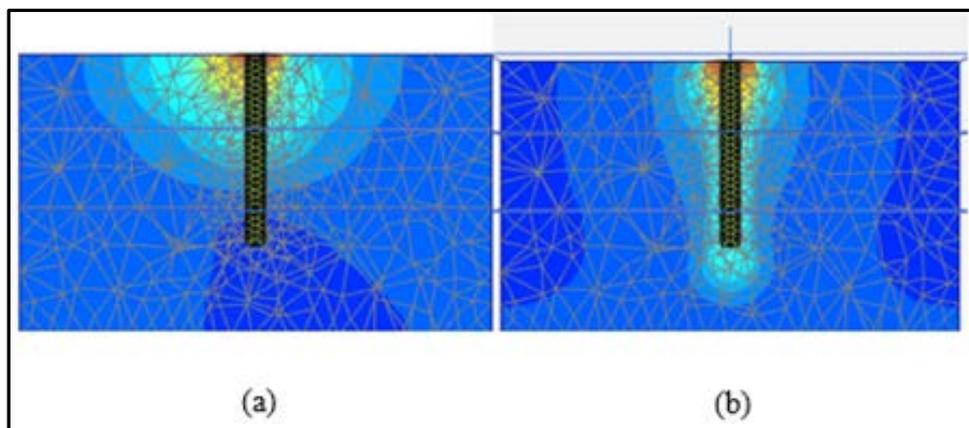
2. Daya dukung ultimit lateral fondasi tiang bor (*bored pile*) dengan diameter 0,6 m dan panjang 8 m, dengan perbandingan beberapa metode dapat dilihat pada Tabel 9.
3. Defleksi lateral
Defleksi lateral yang diperkirakan akan dialami oleh tiang dengan perbandingan beberapa metode dapat dilihat pada Tabel 10.
4. Penurunan kelompok tiang
Penurunan kelompok tiang yang diperkirakan akan dialami oleh kelompok tiang *3-pile* dan *4-pile* dengan perbandingan metode Meyerhof untuk metode statis dikarenakan hasilnya lebih mendekati hasil komputasi program *PLAXIS 3D* dan dapat dilihat pada Tabel 11.

TABEL 6
Parameter Tanah untuk PLAXIS 3D

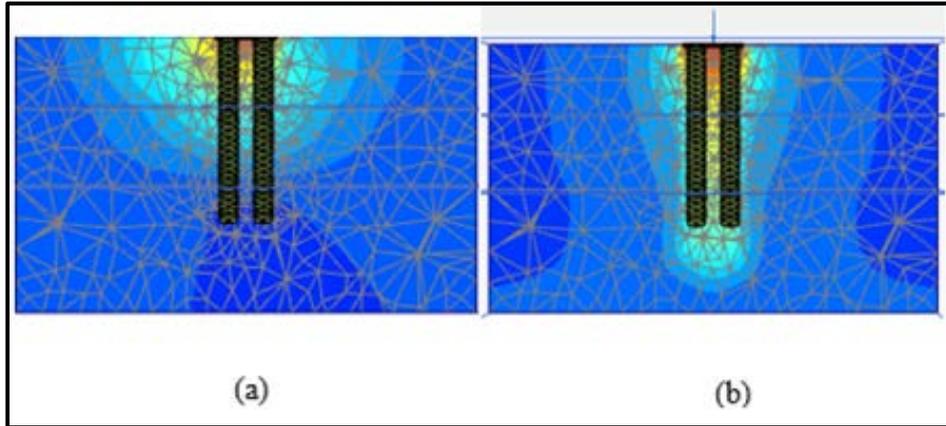
Indeks Properti	Kedalaman (m)		
	0-3,2	3,2-6,5	6,5-12
Deskripsi Tanah	Lempung Coklat, Kenyal	Lempung Lanauan, Coklat Muda, Kenyal	Pasir Lanauan Tersementasi (Cadas), Kehitaman, Padat
Modulus Young, E_s (MPa)	3450	9832,5	18975
Angka Poisson, ν_s	0,25	0,3	0,4
Sudut Geser Dalam, ϕ	18	25	43
Kohesi, c (kN/m ²)	49	32,66	20
Sudut Dilatasi, ψ	-	-	-
Berat Volume Kering, γ_d (kN/m ²)	15	14,5	20,8
Berat Volume Jenuh, γ_{sat} (kN/m ²)	17,1875	15,333333	23
Berat Volume Total, γ_t (kN/m ²)	16,33	17	24

TABEL 7
Parameter Tiang untuk PLAXIS 3D

Pile	
Modulus Elastisitas, E_p (MPa)	23500000
Angka Poisson, ν_s	0,15
Berat Volume Kering, γ_d (kN/m ²)	24



Gambar 7. Shading Kelompok Tiang 3-Pile
(a) Defleksi Tiang, (b) Penurunan Tiang

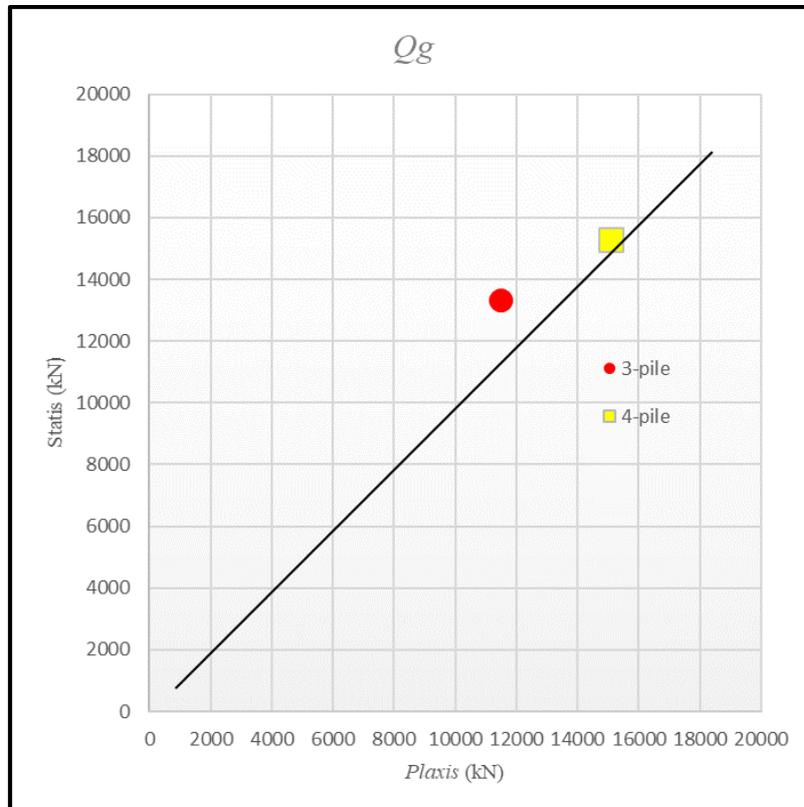


Gambar 8. *Shading* Kelompok Tiang 4-Pile
(a) Defleksi Tiang, (b) Penurunan Tiang

TABEL 8
Daya Dukung Ultimit Aksial Kelompok Tiang

Group Pile	Converse-Labarre (kN)	PLAXIS (kN)	Selisih (kN)	Persentase (%)
3-pile	13304,38	11496,67	1807,716	7,29%
4-pile	15294,53	15089,91	204,629	0,67%

Sumber: Hasil Analisis

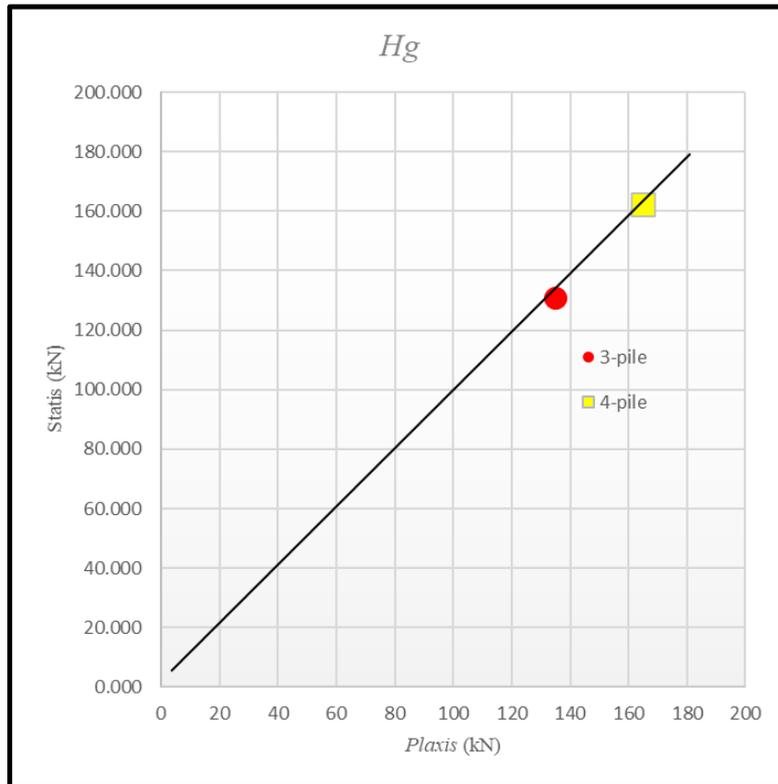


Gambar 9. Grafik Hubungan Q_g Metode Statis dan PLAXIS 3D

TABEL 9
Daya Dukung Ultimit Lateral

Group Pile	Broms (analitis) (kN)	PLAXIS (kN)	Selisih (kN)	Persentase (%)
3-pile	130,721	135	4,279	1,61%
4-pile	162,274	165	2,726	0,83%

Sumber: Hasil Analisis



Gambar 10. Grafik Hubungan H_g Metode Statis dan PLAXIS 3D

TABEL 10
Hasil Perhitungan Defleksi Tiang Metode Broms dan PLAXIS 3D

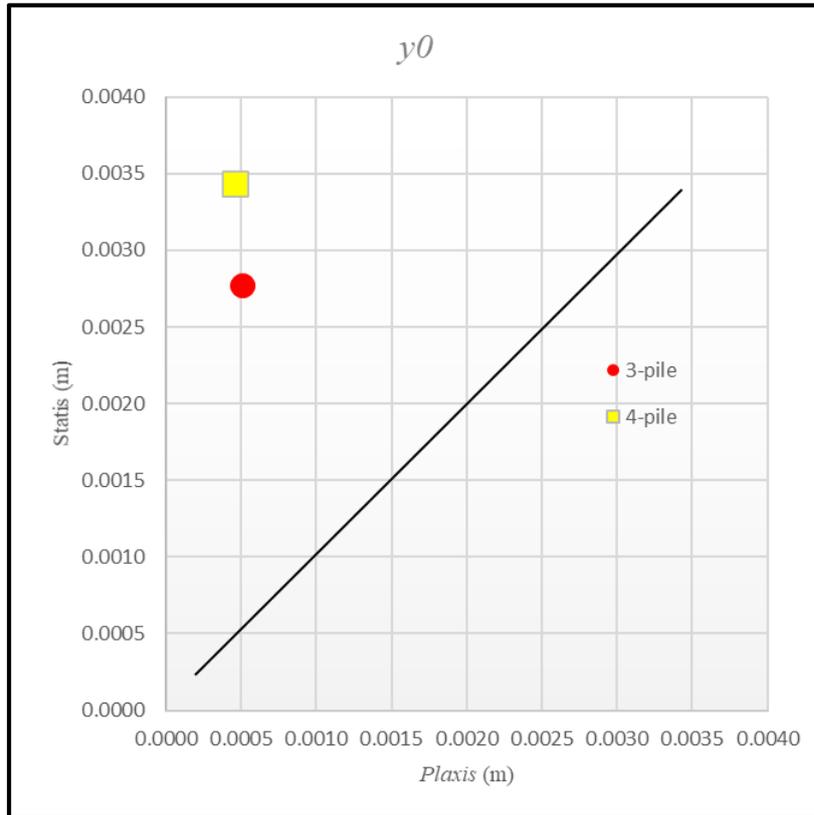
Group Pile	Broms (analitis) (kN)	PLAXIS (kN)	Selisih (kN)	Persentase (%)
3-pile	0,002769	0,000508	0,002	68,97%
4-pile	0,003437	0,000460	0,003	76,41%

Sumber: Hasil Analisis

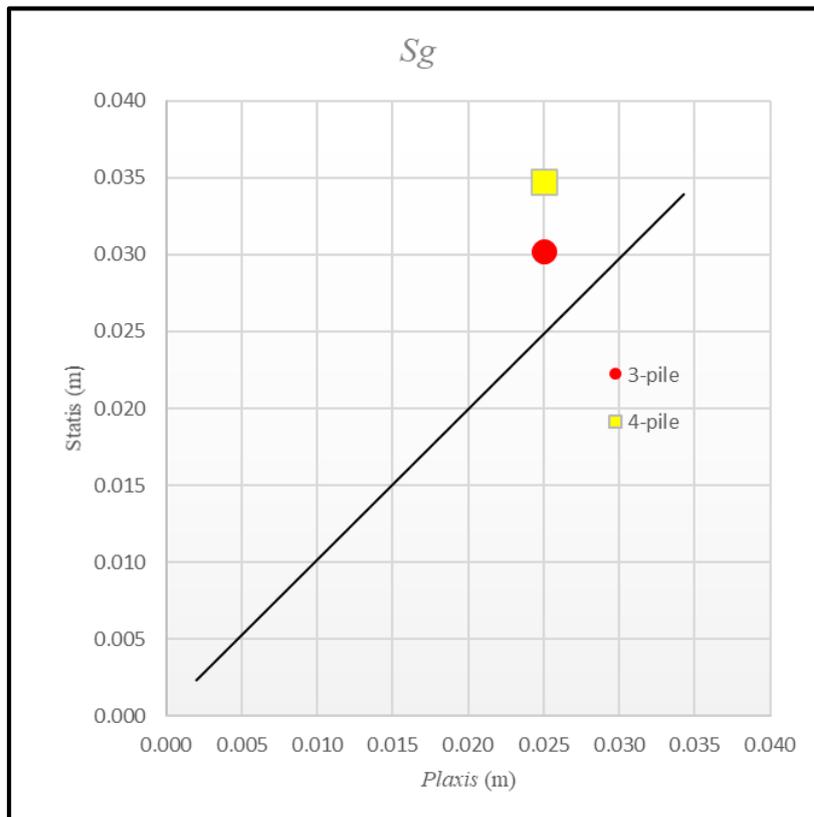
TABEL 11
Hasil Perhitungan Penurunan Metode Meyerhof dan PLAXIS 3D

Group Pile	Meyerhof (kN)	PLAXIS (kN)	Selisih (kN)	Persentase (%)
3-pile	0,03021	0,025	0,00521	9,44%
4-pile	0,034729	0,025	0,009729	16,29%

Sumber: Hasil Analisis



Gambar 11. Grafik Hubungan y_0 Metode Statis dan PLAXIS 3D



Gambar 12. Grafik Hubungan S_g Metode Statis dan PLAXIS 3D

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan analisis data yang telah dilakukan guna menganalisis fondasi tiang bor pada Proyek Pembangunan Gedung Pendidikan Fakultas Teknik Unsrat Jurusan Sipil, maka didapat kesimpulan, yaitu:

1. Daya dukung aksial fondasi kelompok tiang bor (*bored pile*), bahwa PLAXIS 3D hasilnya cukup akurat karena angka selisih yang dibandingkan dengan metode statis tidak jauh (Tabel 8).
2. Daya dukung lateral fondasi kelompok tiang bor (*bored pile*) pada PLAXIS 3D memberi hasil sedikit lebih besar dari metode statis (Tabel 9).
3. Defleksi lateral kelompok tiang hasil PLAXIS 3D jauh lebih kecil daripada metode statis (Tabel 10). Selisih yang besar ini dianggap belum akurat dalam menentukan defleksi lateral tiang kelompok.
4. Penurunan kelompok tiang yang diperkirakan dengan PLAXIS 3D memiliki selisih yang sangat kecil (Tabel 11), sehingga penurunan tersebut dianggap akurat.

B. Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan mengenai penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Perlu adanya uji laboratorium guna mendapatkan sifat fisis atau parameter tanah yang lebih akurat.
2. Dapat juga dibandingkan dengan beberapa aplikasi lainnya, seperti *AllPile*, *GEO5*, *GGU*, dan sebagainya.
3. Dapat dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai perhitungan daya dukung dengan pemodelan lainnya dengan *PLAXIS 3D*.

KUTIPAN

A. Buku

- [1] Joseph E. Bowles, *Analisis dan Desain Pondasi Jilid 1 Edisi keempat*. Jakarta: Erlangga, 1993.
- [2] Joseph E. Bowles, *Analisis dan Desain Pondasi Jilid 2 Edisi keempat*. Jakarta: Erlangga, 1997.
- [3] Donald P. Coduto, *Foundation Design Principles and Practices 2nd Edition*, USA: Pearson Prentice Hall, 2001.
- [4] Braja M. Das, *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Jakarta: Erlangga, 1995.
- [5] Braja M. Das, *Principles of Foundation Engineering 7th Edition*. USA: Global Engineering, 2011.
- [6] Hary C. Hardiyatmo, *Teknik Pondasi 2 Edisi keempat*. Yogyakarta: Beta Offset, 2008.
- [7] Kopertis, *Rekayasa Fundasi II Fundasi Dangkal dan Fundasi Dalam*. Jakarta: Gunadarma, 1997.
- [8] Harry G. Poulos and Edward H. Davis, *Pile Foundation Analysis and Design*. Canada: John Wiley & Sons, Ltd, 1980.
- [9] PLAXIS 3D FOUNDATION Scientific Manual

B. Peraturan, Undang-Undang, Standar

- [10] SNI 8460:2017. *Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
- [11] ASTM D 2113-99. *Standard Practice for Rock Core Drilling and Sampling of Rock for Site Investigation*. ASTM International. United States.

C. Jurnal

- [12] Christian Harsanto, Fabian J. Manoppo, J. E. R. Sumampouw, “Analisis Daya Dukung Tiang Bor (*Bored Pile*) pada Struktur Pylon Jembatan Soekarno dengan *PLAXIS 3D*”, dalam Jurnal Ilmiah Media Engineering Vol.5 No.2, September 2015 (345-35) ISSN: 287-9334
- [13] Muhammad F. Lubis, Rudi Iskandar, “Analisis Daya Dukung Pondasi Bored Pile dengan Program Software *Plaxis Version 8.6 (Studi Kasus Jalan Layang Kereta Api Medan-Kualanamu KM 4+600)*”, dalam Jurnal Teknik Sipil USU Vol. 8, No. 1, 2019.
- [14] Zul T. H. Maksam, Roesyanto, “Analisis Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Diameter 50 cm pada Proyek Bangunan Koleza 9 Residence, PT. Wilmar, Percut Sei Tuan-Medan”. Universitas Sumatera Utara: Medan, 2016.
- [15] Adi G. Prakasa, Arief Rijaluddin, “Analisa Daya Dukung Dan Penurunan Pondasi Tiang Bor (*Bored Pile*) Tunggal Dengan Menggunakan Program *Plaxis (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Yogya Toserba II Majalengka)*”, dalam Jurnal J-Ensicet: Vol 03 No. 01, November 2016.
- [16] George Roschedy, Fabian J. Manoppo, Agnes T. Mandagi, “Analisis Daya Dukung Pondasi Jembatan *Gorr I*”, dalam Jurnal Sipil Statik Vol. 7, No.4, April 2019 (397-408) ISSN: 2337-6732.
- [17] Bengt W. Broms, “*The Lateral Resistance of Piles in Cohesive Soil*”, in Journal of the Soil Mechanics Divisions, ASCE, Vol. 90, No. SM3, pp.27-63, 1964.
- [18] Bengt W. Broms, “*The Lateral Resistance of Piles in Cohesionless Soil*”, in Journal of the Soil Mechanics Divisions, ASCE, Vol. 90, No. SM2, pp.123-156, 1964.
- [19] Sjachrul Balamba, “Analisis Pengaruh Jumlah Tiang dan Tebal Kepala Tiang (*Pile Cap*) pada Tanah Pasir dan Lempung Terhadap Defleksi Tiang Pancang Akibat Beban Lateral”, dalam Disertasi. Malang: Universitas Brawijaya, 2018.
- [20] Claudio D. Sorongan, Fabian J. Manoppo, Steeva G. Rondonuwu, “Analisa Pile Slab Pada Tanah Rawa (*Jalan Tol Manado-Bitung*)”, dalam Jurnal Tekno, vol. 16, No. 70, 2018, ISSN: 0215-9617
- [21] Eko Seftian Randyanto, Josef. E. R. Sumampouw, Sjachrul Balamba, “Analisis Daya Dukung Tiang Pancang Dengan Menggunakan Metode Statik Dan Calendring Studi Kasus: Proyek Pembangunan Manado Town Square 3”, dalam Jurnal Sipil Statik Vol. 3, No. 9, September 2015 (631-643) ISSN: 2337-6732.
- [22] Victor Mamangkey, Turangan A.E, Lanny Manaroinsong, “Analisis Pondasi Tiang Pancang Pada Silo Semen Tonasa”, dalam Jurnal Sipil Statik Vol.6 No.12, Desember 2018 (1029-1034) ISSN: 2337-6732.
- [23] Sabrina Kawengian, Sjachrul Balamba, Alva N. Sarajar, “Analisis Daya Dukung Lateral Pada Tiang Pancang Kelompok di Dermaga Belang”, dalam Jurnal Sipil Statik, Vol. 6, No. 9, September 2018 (683-692) ISSN: 2337-673.