

ANALISIS KAPASITAS DUKUNG DAN PENURUNAN TIANG BOR TUNGGAL AKIBAT BEBAN GEMPA DENGAN MENGGUNAKAN PLAXIS 2D

Syamsukardi Mansur¹⁾, Indriati Martha Patuti^{2*)}, Fadly Achmad³⁾
^{1,2,3)} Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo
 Jl. Jenderal Sudirman No. 6, Desa Dulalowo Timur, Kota Tengah, Kota Gorontalo
^{*)}Corresponding Author

E-mail: Syamsukardito@gmail.com, indri.m.patuti@ung.ac.id, fadly_achmad@yahoo.com.

ABSTRAK

Universitas Negeri Gorontalo (UNG) membangun kampus baru yang di dalamnya terdapat 13 gedung yang terdiri dari Gedung Kuliah Fakultas Teknik, Fakultas MIPA, Fakultas Sastra dan Budaya, Fakultas Pertanian dan Perpustakaan Pusat UNG. Kampus baru UNG ini terletak di Kecamatan Tilongkabila, Kabupaten Bone Bolango. Berdasarkan peta risiko gempa, Tilongkabila adalah salah satu kecamatan di Kabupaten Bone Bolango yang merupakan daerah dengan risiko gempa sedang. Penelitian ini bertujuan menganalisis kapasitas dukung pondasi dan menghitung penurunan yang terjadi dengan memasukan pengaruh beban gempa. Penelitian ini mengambil studi kasus pada gedung fakultas MIPA dengan data-data yang dianalisis merupakan data sekunder. Analisis kapasitas dukung pondasi didasarkan pada data sondir digunakan metode Guy Sangrelat, sedangkan dalam analisis kapasitas dukung pondasi berdasarkan data SPT digunakan metode Meyerhof. Adapun analisis penurunan digunakan program plaxis 2D. Berdasarkan hasil analisis diperoleh kapasitas dukung pondasi terhadap gaya tekan berdasarkan data SPT adalah 109,29 ton. Adapun penurunan yang terjadi tanpa adanya beban gempa adalah 23,86 mm. Penurunan yang terjadi dengan memperhitungkan beban gempa dengan magnitude 5,2 SR, 6 SR, 7 SR, dan 8 SR berturut-turut adalah 153,44 mm, 178,71 mm, 234,58 mm dan 234,64 mm. Penurunan tiang bor dengan beban gempa lebih besar daripada penurunan izin tiang yang disyaratkan, <40mm.

Kata Kunci : Kapasitas Dukung, Penurunan Pondasi, Tiang Bor, Plaxis 2D

1. PENDAHULUAN

Gempa bumi merupakan gejala alam yang perlu mendapatkan perhatian serius dari perancang struktur maupun arsitek. Gempa menyebabkan terjadinya getaran pada tanah, dan selanjutnya akan menggerakkan struktur bagian bawah bangunan yang berdiri di atasnya. Ketika terjadi gempa bumi maka tanah bergetar dan menggerakkan lantai dan pondasi. Dalam keadaan demikian, sebenarnya struktur bagian atas bangunan seperti atap mempunyai kecenderungan untuk tetap bertahan pada kondisi semula, tetapi karena terikat dengan balok dan kolom, maka atap tertarik oleh gerakan dinding dan kolom, yang kemudian gaya ini ditransfer kembali melalui plat lantai ke dinding dan kolom hingga fondasi dan akhirnya sampai ke tanah.

Pondasi merupakan suatu pekerjaan yang sangat penting dalam suatu pekerjaan teknik sipil. Pondasi berfungsi memikul dan menahan suatu beban yang bekerja di atasnya yang kemudian akan menyalurkan tegangan pada beban struktur atas ke dalam lapisan tanah yang keras. Pondasi tiang bor (*bored pile*) adalah salah satu jenis pondasi yang merupakan bagian dari konstruksi yang terbuat dari beton dan tulangan baja. Bentuk distribusi beban dapat berbentuk beban vertikal melalui dinding tiang. Dengan kata lain daya dukung tiang dapat dikatakan merupakan kombinasi tahanan selimut dan tahanan ujung tiang.

Perilaku fondasi tiang dapat diketahui dari responnya terhadap beban dan deformasi. Melalui perilaku ini dapat ditentukan kuat dukung fondasi tiang dalam menerima beban aksial maupun beban lateral. Berdasarkan beberapa kondisi di atas, maka perlu adanya analisis tentang kekuatan serta pemodelan dari struktur pondasi tiang bor dari bangunan yang diteliti sehingga memberikan informasi yang lebih rinci dan jelas.

Dalam dunia teknik sipil sendiri khususnya geoteknik, dikenal program perhitungan *soil and rock mechanics* yaitu Plaxis 2D. Plaxis adalah program elemen hingga untuk aplikasi geoteknik dimana digunakan model-model tanah untuk melakukan simulasi terhadap perilaku dari tanah. Dengan mengacu pada fungsional dari program Plaxis 2D tersebut, maka akan digunakan untuk menganalisa daya dukung serta perilaku tiang bor pada proyek pembangunan kampus baru Fakultas MIPA Universitas Negeri Gorontalo (UNG).

Penelitian-penelitian tentang analisis kapasitas dukung dan penurunan tiang telah banyak dilakukan, walaupun memiliki perbedaan baik dalam hal metode analisis maupun obyek/lokasi penelitian. Nainggolan (2015) mengungkapkan bahwa berdasarkan hasil analisis tiap kolom, daya dukung pondasi grup pada gedung didasarkan pada hasil perhitungan dari data *Standard Penetration Test* (SPT) karena dianggap lebih mewakili nilai sebenarnya di lapangan. Shooshpasha dan kawan-kawan (2013) mengungkapkan bahwa nilai kapasitas dukung pondasi dengan menggunakan metode Meyerhof lebih kecil dibanding kapasitas dukung pondasi yang didapatkan dengan melakukan pemodelan dengan bantuan perangkat lunak plaxis. Momeni dan kawan-kawan (2013) berpendapat bahwa hasil metode analitik dan empiris terdapat perbedaan dalam mengestimasi daya dukung aksial pondasi sehingga cara analisis tidak boleh dianggap sebagai satu-satunya sumber desain pondasi. Adapun hasil uji PDA yang dilakukan diperoleh hasil yang beragam sehingga perlu divalidasi dengan pengujian lainnya seperti uji beban. Prakasa dan Rijaludin (2016) berpendapat bahwa semakin besar diameter pondasi maka semakin besar daya dukung ujung yang disalurkan. Jenis daya dukung pondasi tiang berdasarkan hasil perhitungan adalah termasuk tahanan ujung tiang, karena tahanan ujung tiang lebih besar dibandingkan dengan tahanan gesek tiang.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapasitas Dukung Pondasi

Analisis kapasitas dukung pondasi menggunakan metode Meyerhof. Besaran gaya yang didapat dari hasil analisis kapasitas dukung ijin digunakan sebagai gaya yang bekerja pada pondasi untuk mengetahui nilai besaran penurunan maksimum tanpa pengaruh beban gempa dan penurunan yang terjadi dengan memvariasikan beban gempa. Persamaan untuk menghitung daya dukung ijin tekan berdasarkan uji SPT seperti dijelaskan pada Persamaan 1:

$$P_a = \frac{q_c \times A_p}{FK_1} + \frac{\sum l_i f_i \times A_{st}}{FK_2} \quad (1)$$

dengan:

P_a	: daya dukung ijin tekan tiang (ton),
q_c	: tahanan konus (t/m^2), 20 N , untuk lempung/lanau 40 N , untuk pasir,
N	: nilai N -SPT,
A_p	: luas penampang tiang (m^2),
A_{st}	: keliling penampang tiang (cm),
l_i	: panjang segmen yang ditinjau (m),
f_i	: gaya geser pada selimut segmen tiang (ton/m^2), N maksimum 12 ton/m^2 , untuk lempung/lanau, $N/5$ maksimum 10 ton/m^2 , untuk pasir,
FK_1, FK_2	: faktor keamanan 3 dan 5.

2.2 Penurunan Pondasi

Perhitungan analisis penurunan tiang menggunakan metode Poulos and Davis dimana nilai besaran penurunan dipengaruhi oleh besaran beban dan faktor pengaruh penurunan untuk tiang yang tidak mudah mampat. Batas penurunan maksimum yang disarankan oleh Skempton dan MacDonald untuk pondasi terpisah pada tanah pasir adalah 40 mm (Hardiyatmo, 2014). Rumus menghitung penurunan tiang apung dijelaskan pada Persamaan 2.

$$S_t = \frac{P_u I}{E_s d} \quad (2)$$

$$I = I_0 R_k R_b R_m \quad (3)$$

dengan:

S_t	: penurunan kepala tiang (m),
P_u	: beban terfaktor yang bekerja pada tiang (kN),

- I_o : faktor pengaruh penurunan untuk tiang yang tidak mudah mampat (*incompressible*) dalam massa semi tak terhingga.
 R_k : faktor koreksi kemudahmampatan (kompresibilitas) tiang untuk $\mu = 0,5$,
 R_h : faktor koreksi untuk ketebalan lapisan terletak pada tanah keras,
 R_μ : faktor koreksi angka poisson μ ,
 h : kedalaman total lapisan tanah (m).

3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini adalah pada proyek pembangunan kampus baru Fakultas MIPA UNG, yang terletak di Desa Moutong, Kecamatan Tilongkabila, Kabupaten Bone Bolango. Lokasi penelitian seperti pada Gambar 1.



Gambar 1 Lokasi penelitian

3.2 Data yang Digunakan

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder. Adapun data-datanya seperti:

1. Data pengujian sondir
2. Data pengujian bor dan SPT
3. Data *PDA test*
4. Gambar teknis gedung Fakultas MIPA
5. Peta geologi
6. Peta risiko gempa

3.3 Cara Analisis

Setelah memperoleh data yang dibutuhkan dalam analisis, kemudian dilakukan pengolahan data penelitian. Pengolahan data diawali dengan melakukan analisis parameter tanah dari uji bor terlebih dahulu. Adapun parameter tanah yang tidak ada dalam pengujian diambil berdasarkan korelasi antara nilai SPT dengan parameter tanah tersebut. Berdasarkan hasil penentuan parameter tanah kemudian dilakukan analisis nilai kapasitas dukung ijinnya terhadap gaya tekan. Setelah kapasitas dukung ijin dari pondasi tiang bor tersebut diketahui, selanjutnya dilakukan analisis penurunan tiang pondasi menggunakan program plaxis 2D. Besaran gaya yang didapat dari hasil analisis kapasitas dukung ijin digunakan sebagai gaya yang bekerja pada pondasi. Untuk mengetahui nilai besaran penurunan maksimum tanpa pengaruh beban gempa dan penurunan yang terjadi dengan memvariasikan beban gempa dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak plaxis 2D.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kapasitas Dukung Pondasi Akibat Gaya Tekan

Analisis daya dukung pondasi tiang bor dilakukan secara manual dengan data pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) menggunakan metode Meyerhof. Adapun rumus yang digunakan seperti pada Persamaan 1, yang hasilnya seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 Perhitungan kapasitas dukung pondasi terhadap gaya tekan berdasarkan Data SPT

Kedalaman (m)	l_i (m)	Jenis Tanah C/S	N SPT	Tahanan Ujung konus Q_c (t/m ²)	Luas Penampang Tiang, A_p (m ²)	Keliling Tiang A_{st} (m)	Gaya Geser f_i (t/m ²)	$l_i f_i$ (t/m)	$\sum l_i f_i$ (t/m)	Daya Dukung Ijin P_{all} Ton
2	2	C	58	1.160	0,13	1,26	58,00	116	116,00	77,78
4	2	C	44	880	0,13	1,26	44,00	88	204,00	88,17
6	2	C	36	720	0,13	1,26	36,00	72	276,00	88,57
8	2	C	42	840	0,13	1,26	42,00	84	360,00	125,71
10	2	C	12	240	0,13	1,26	12,00	68	384,0	109,29

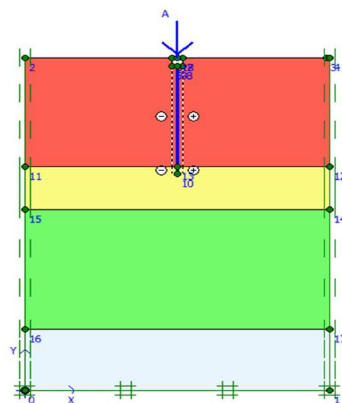
Berdasarkan Tabel 1 diketahui bahwa kapasitas dukung pondasi terhadap gaya tekan yang dianalisis menggunakan data SPT adalah sebesar 109,29 ton atau 1.072,13 kN.

4.2 Perhitungan Penurunan dengan Analisis Plaxis 2D

3.2.1. Proses Penggambaran Geometri dan Stratifikasi Tanah

Analisis deformasi tiang pada program Plaxis ialah dengan melakukan pemodelan terhadap tiang dan lapisan tanah di sepanjang penampang dan selimut tiang. Untuk menganalisis deformasi pondasi tiang bor menggunakan program plaxis, langkah pertama yang harus dilakukan adalah penggambaran geometri tanah.

Menurut Azizi (2000) dalam Dwianto (2018) penggambaran geometri tanah untuk analisis pondasi tiang memiliki batas minimum yaitu $30d$ arah sumbu X dan $2L$ arah sumbu Y dari dasar tiang dimana d ialah diameter tiang dan L ialah panjang tiang. Penggambaran geometri tanah pada Plaxis 2D dibagi pada empat lapisan tanah yang disesuaikan dengan hasil pengeboran. Penggambaran geometri ditunjukkan pada Gambar 2 dengan jenis tanah seperti pada Tabel 2.



Gambar 2 Geometri tanah

Tabel 2 Jenis tanah

No	Kedalaman (m)	Jenis Tanah
1	0-10	Lempung
2	10-14	Pasir berkerikil
3	14-25	Lempung Berpasir
4	25-32	Pasir

Setelah penggambaran geometri selesai selanjutnya dimasukkan data-data karakteristik tanah dan karakteristik tiang yang sesuai dengan karakteristik di lapangan pada lokasi penelitian.

3.2.2. Proses Input Data

Pada proses analisa perhitungan menggunakan program plaxis di perlukan data- data *input* untuk *soil properties* dan *pile properties*, adapun data-data tersebut seperti pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3 Data *input soil properties* (Hasil Analisis Data, 2019)

No	Deskripsi	Simbol	Satuan	Lapisan Tanah			
				Lempung (0-10 m)	Pasir (10-14m)	Lempung (14-25m)	Pasir (25-32m)
1	Berat Jenis Tanah Jenuh	γ	kN/m ³	17,85	20,03	16,93	19,58
2	Berat Jenis Tanah Tidak Jenuh	γ_{unsat}	kN/m ³	14,71	10,22	7,12	9,77
3	Permeabilitas Arah Horizontal	k_x	m/day	8,53E10 ⁻⁷	3,6E10 ⁻³	3,6E10 ⁻⁷	3,6E10 ⁻³
4	Permeabilitas Arah y Vertikal	k_y	m/day	8,53E10 ⁻⁷	3,6E10 ⁻³	3,6E10 ⁻⁷	3,6E10 ⁻³
5	Modulus Elastisitas	E_{ref}	kN/m ²	81.600	200.000	40.00	162.500
6	Poisson Ratio	ν_{nu}		0,30	0,4	0,3	0,43
7	Kohesi Tanah	C_{ref}	kN/m2	20,69	0	12,53	0
8	Sudut Gesek Dalam	Φ	°	12	37,69	0	36,5
9	Sudut Dilatasi	Ψ	°	0	7,69	0	6,50

Tabel 4 Data input pile properties

No	Deskripsi	Simbol	Satuan	Nilai
1	Berat Beton.	γ	kN/m ³	24
2	Modulus Elastisitas	E_c	kN/m ³	22.540.408,16
3	Kekakuan Normal	EA	KNm	2.833.651
4	Kekakuan Lentur	EI	KNm	28.336,51

3.2.3. Analisis Perpindahan Pondasi

Berdasarkan hasil kalkulasi dari program plaxis diperoleh nilai perpindahan horisontal maksimum seperti pada Tabel 5.

Tabel 5 Perpindahan horisontal hasil kalkulasi Plaxis

Gempa	Amplitudo (mm)	Perpindahan Horisontal (x10 ⁻³ m)
Tanpa Gempa	0	5,34
Gempa 5.2 SR	0,008	51,72
Gempa 6 SR	0,052	60,23
Gempa 7 SR	0,520	79,03
Gempa 8 SR	5,204	78,92

Perpindahan horisontal pondasi pada saat mengalami gempa 5,2 SR terjadi perpindahan 9 kali lebih besar dari nilai perpindahan pada saat pondasi tidak mengalami gempa, yakni 51,72 mm. Perbedaan nilai perpindahan horisontal pada saat pondasi mengalami gempa 5,2 SR dan 6 SR sebesar 9 mm. Perpindahan horisontal pada saat gempa 8 SR lebih kecil daripada saat terjadi gempa 7 SR.

Selain berupa perpindahan horisontal, ditampilkan juga *output* plaxis lainnya yaitu perpindahan vertikal pada saat pondasi mengalami gempa. Perpindahan vertikal hasil analisis plaxis pada saat pondasi mengalami gempa ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6 Perpindahan vertikal pondasi tiang bor hasil kalkulasi Plaxis

Gempa	Amplitudo (mm)	Perpindahan Vertikal (x10 ⁻³ m)
Tanpa Gempa	0	23,86
Gempa 5,2 SR	0,008	153,44
Gempa 6 SR	0,052	178,71
Gempa 7 SR	0,520	234,58
Gempa 8 SR	5,204	234,64

Selain perpindahan vertikal dan perpindahan horisontal, *output* Plaxis lainnya adalah perpindahan total. Perpindahan total hasil analisis plaxis dijelaskan pada Tabel 7.

Tabel 7 Perpindahan total hasil kalkulasi Plaxis

Gempa	Amplitudo (mm)	Perpindahan Total ($\times 10^{-3}$ m)
Tanpa Gempa	0	23,86
Gempa 5.2 SR	0,008	153,66
Gempa 6 SR	0,052	178,89
Gempa 7 SR	0,520	234,79
Gempa 8 SR	5,204	234,87

Secara keseluruhan perpindahan total nilainya hampir sama seperti nilai perpindahan vertikal. Perbedaanya hanya 0,1 sampai 0,2 mm dari nilai perpindahan vertikal.

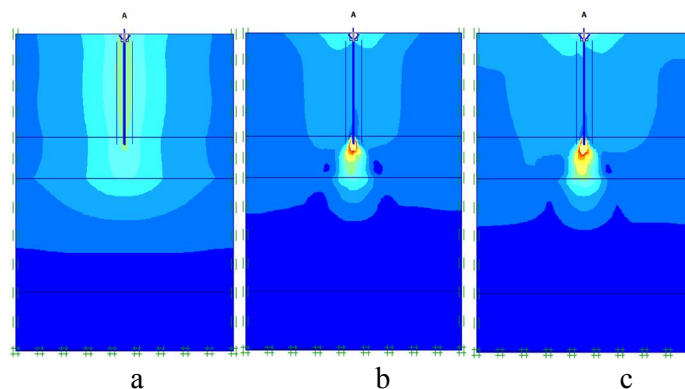
3.2.4. Perpindahan pada Tanah di Sekitar Pondasi

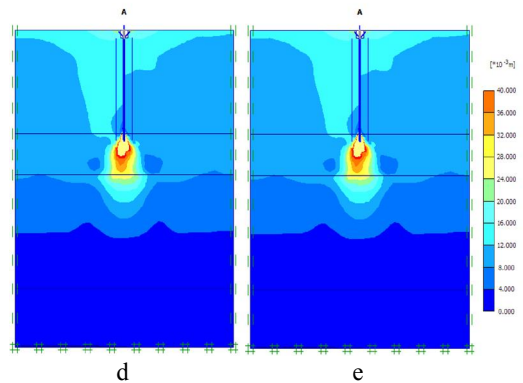
Untuk mengetahui nilai penurunan tiang bor akibat gempa, dibuat titik-titik yang tinjauan sepanjang tiang. Titik-titik ini diberi simbol huruf V, W, X, Y, dan Z. Titik V berada di bagian atas tiang bor, titik W berjarak 2,5 m dari atas tiang bor, titik X berada di tengah tiang, titik Z berada di bawah tiang, dan titik Y berada di antara titik X dan Z. Perpindahan tanah di sekitar pondasi seperti pada Tabel 8.

Tabel 8 Perpindahan tanah di sekitar pondasi

Gempa	Perpindahan Tanah di Sekitar Pondasi (kN/m^2) pada				
	Titik V	Titik W	Titik X	Titik Y	Titik Z
Tanpa Gempa	-23,181	-23,436	-22,827	-22,158	-23,281
Gempa 5,2 SR	12,707	10,822	10,472	6,589	-153,371
Gempa 6 SR	13,387	11,462	11,186	7,163	-178,573
Gempa 7 SR	14,618	12,420	12,360	7,462	-234,434
Gempa 8 SR	14,583	12,426	12,627	7,480	-234,497

Berdasarkan Tabel 8 diketahui bahwa ketika tidak terjadi gempa, tanah di sekitar pondasi mengalami kenaikan dan di bawah pondasi mengalami penurunan. Hal ini dapat dilihat dari nilainya yang bernilai negatif. Penurunan terbesar berada di titik W. Besarnya penurunan tanah di sekitar tiang dan di bawah tiang hampir sama yakni 23 mm. Ketika terjadi gempa, tanah di bawah pondasi mengalami penurunan, sedangkan tanah di samping pondasi mengalami kenaikan. Peningkatan tanah di sekitar tiang terbesar berada di titik V atau di bagian pondasi paling atas. Penurunan pada saat terjadi gempa 5,2 SR peningkatan jumlah sebesar terjadi ketika pondasi mengalami gempa 8 SR. Perbandingan perpindahan tanpa gempa dan ketika terjadi gempa seperti pada Gambar 3.





Gambar 3 Perbandingan perpindahan tanpa gempa dan ketika terjadi gempa

- a. Tanpa Gempa (Amplitudo 0 mm)
- b. Gempa 5,2 SR (Amplitudo 0,008 mm)
- c. Gempa 6 SR (Amplitudo 0,052 mm)
- d. Gempa 7 SR (Amplitudo 0,520 mm)
- e. Gempa 8 SR (Amplitudo 5,204 mm)

5. KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisis secara manual dan pemodelan dengan perangkat lunak plaxis 2D, dapat disimpulkan bahwa:

1. Besarnya nilai kapasitas dukung pondasi tiang bor tunggal adalah sebesar 109,29 ton atau 1.072,13 kN.
2. Penurunan maksimum yang terjadi dengan beban ijin yang bekerja sebesar 1.072,13 kN adalah sebesar 23,86 mm. Ketika terjadi gempa dengan magnitude 5,2 SR penurunannya menjadi 153,44 mm. Ketika terjadi gempa 6 SR, penurunan yang terjadi sebesar 178,71 mm, sedangkan gempa bermagnitude 7 SR dan 8 SR masing-masing mengakibatkan penurunan sebesar 234,58 mm dan 234,64 mm. Adapun nilai penurunan yang didapat dengan menggunakan beban ijin 1.072,13 kN tanpa adanya pengaruh beban gempa lebih kecil daripada nilai penurunan ijin maksimum yakni 40 mm, tetapi penurunan yang terjadi karena pengaruh gempa menghasilkan penurunan yang lebih besar dari penurunan maksimum yang diizinkan. Pada penurunan pondasi tanpa gempa, penurunan terbesar berada di sekitar tiang, sedangkan ketika terjadi gempa penurunan terbesar berada pada ujung tiang.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J. E. (1986). *Analisis dan Desain Pondasi*. Jakarta: Erlangga.
- Brinkbreve, R. B. (2007). *Plaxis 2D Versi 8*. Belanda: Plaxis b.v.
- Cipta, A. (2009). Gempabumi dan Tsunami Gorontalo 17 Nopember 2008. *Bulletin Vulkanologi dan Bencana Geologi*, IV(1), 1-12.
- Dwianto. (2018). *Analisis Penurunan dan Tekanan Lateral Pondasi Bored Pile pada Proyek Pembangunan Kantor Perwakilan Bank Indonesia Provinsi Gorontalo*. Gorontalo: Universitas Negeri Gorontalo.
- Frick, H., & Setiawan, P. L. (2001). *Ilmu Konstruksi Struktur Bangunan*. Yogyakarta: Kanisius.
- Gunawan, R. (1983). *Pengantar Teknik Pondasi*. Yogyakarta: Kanisius.
- Hardiyatmo, H. C. (2010). *Mekanika Tanah II*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2012). *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

- Hardiyatmo, H. C. (2014). *Analisis dan Perancangan Fondasi I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2015). *Analisis dan Perancangan Fondasi II*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Manyoe, I. N., & Bahutalaa, I. (2017). Kajian Geologi Daerah Panas Bumi Lombongo Kabupaten Bone Bolango Provinsi Gorontalo. *Jurnal Geomine*, V(1), 10-18.
- Momeni, E., Maizira, H., Gofar, N., & Nazir, R. (2013). Comparative Study on Prediction of Axial Bearing Capacity of Driven Piles in Granular Materials. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, III(61), 15–20.
- Nainggolan, H. L. (2015). *Analisis Daya Dukung dan Pemodelan Struktur Pondasi Bored Pile Bangunan Penghubung antar Gedung RSBA Jakarta Timur*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Pamungkas, A., & Harianti, E. (2013). *Desain Pondasi Tahan Gempa*. Yogyakarta: Andi.
- Prakasa, A. G., & Rijaludin, A. (2016). Analisa Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Bor (Bored Pile) Tunggal dengan Menggunakan Program Plaxis. *J-Ensitem*, III(01), 46-53.
- Shooshpasha, I., Hasanzade, A., & Taghavi, A. (2013). Prediction of the Axial Bearing Capacity of Piles by SPT-based and Numerical Design Methods . *Int. J. of GEOMATE*, IV(2), 560-564.
- Sosarodarsono, S., & Nakazawa, K. (1983). *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Widjaja, B. (2005). Studi Banding Perilaku Daya Dukung Lateral Pondasi Tiang Bor antara Uji Pembebanan Tiang dan Metode Analisis: Studi Kasus Metropolitan Medical Center Phase 2-Jakarta. *Teknik Sipil*, 2(1), 55-66.
- Widya, B., & Leon, D. (2011). *Stabilitas Tebing pada Proyek Jalan Tol Semarang-Ungaran STA 6+000 Sampai STA 6+250*. Semarang: Universitas Diponegoro.