

Perencanaan Koefisien Reduksi Daya Dukung Tanah untuk Pondasi Dangkal pada Wilayah Fluktuasi Muka Air Tanah Tinggi

Fadila Fitria Wulandari^{1✉}, Eko Suwarno², Edi Santoso³

^{1,2,3} Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 16-05-2023

Direvisi : 23-05-2023

Diterima : 25-05-2023

Kata Kunci:

Koefisien Reduksi,
Fluktuasi Muka Air
Tanah, Daya Dukung
Tanah, Pondasi Dangkal.

Keywords:

Reduction Coefficient,
Groundwater Level
Fluctuation, Bearing
Capacity, Shallow
Foundation.

Corresponding Author:

Fadila Fitria Wulandari
Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang
Jl. Semarang 5 Malang 65145 Jawa Timur Indonesia
Email: fadila.fitria.ft@um.ac.id

ABSTRAK

Pesatnya pembangunan infrastruktur perumahan di Indonesia, termasuk di Desa Tegal Gondo, Karangploso, Malang, membuat masyarakat tertarik untuk mengembangkan hunian bertingkat. Namun, kondisi tanah yang fluktuatif (muka air tanah naik-turun) menjadi masalah karena beberapa rumah mengalami retakan pada sloof dan dinding. Oleh karena itu, perencanaan pondasi dangkal perlu dilakukan dengan mempertimbangkan koefisien reduksi daya dukung tanah. Penelitian ini melibatkan pengumpulan data lapangan, pengujian laboratorium, dan analisis berbasis software by Plaxis Versi 8.2 yang di konfirmasi menggunakan perhitungan manual dengan rumus Terzaghi. Hasil penelitian menunjukkan nilai ϕR (koefisien reduksi) daya dukung tanah pada kedalaman -1.00 m senilai 0,64. Sedangkan nilai ϕR sebesar 0,55 pada kedalaman -2.00 m.

ABSTRACT

The development of housing infrastructure in Indonesia, including in Tegal Gondo Village, Karangploso, Malang, has attracted people to develop multiple levels house. However, the fluctuating soil conditions (groundwater level fluctuating) became a problem because several houses had cracks in the sloof and walls. Therefore, shallow foundation planning needs to be done by considering the reduction coefficient of soil bearing capacity. This research involved field data collection, laboratory testing, and analysis using Plaxis Version 8.2 software and manual calculations using the Terzaghi formula. The results showed a ϕR value (reduced coefficient) of bearing capacity at a depth of -1.00 m is 0.64, and a ϕR value at a depth of -2.00 m is 0.55.

PENDAHULUAN

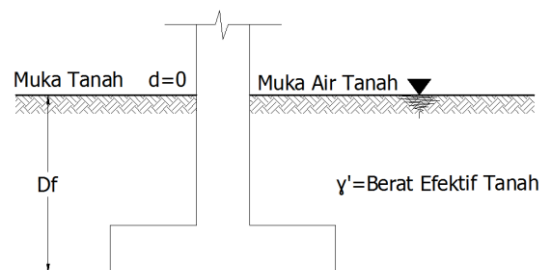
Pesatnya perkembangan infrastruktur di Indonesia khususnya di bidang perumahan, membuat masyarakat tertarik untuk mengembangkan hunian bertingkat. Perkembangan tersebut juga dialami di Desa Tegal Gondo, Karangploso, Kabupaten Malang, karena letak geografisnya yang berbatasan dengan Kota Malang dan memiliki potensi besar sebagai daerah penunjang. Namun, pertumbuhan tersebut tidak diimbangi oleh keadaan tanah yang memadai untuk mendukungnya. Kondisi awal lapangan menunjukkan perbedaan kedalaman muka air sumur pada musim penghujan dan kemarau. Sehingga peneliti melakukan survei dasar untuk menganalisis indikasi masalah yang terjadi pada bangunan di Desa Tegal Gondo dan ditemukan

pada beberapa bangunan menunjukkan ciri ciri kerusakan struktur bangunan seperti retak pada dinding dan sloof.

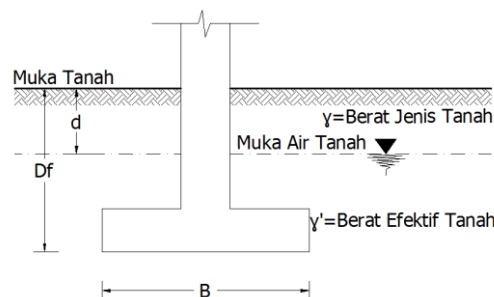
Keretakan yang terjadi pada bangunan seringkali disebabkan oleh penurunan pondasi akibat kecilnya daya dukung tanah (Fahriani & Apriyanti, 2015). Menurut Das (2017: 25) daya dukung tanah dalam menahan beban pondasi dapat bervariasi tergantung kedalaman muka air tanah. Besarnya pengaruh muka air tanah terhadap daya dukung tanah tergantung dari letak muka air tanah terhadap pondasi dangkal (Alencar et al., 2021; Chen et al., 2023). Sehingga terjadinya fluktuasi muka air tanah sangat berpengaruh terhadap terjadinya penurunan pondasi dan keamanan bangunan.

Besarnya pengaruh letak muka air tanah pada penelitian ini dibedakan menjadi tiga kasus, yaitu : Kasus I: $d = 0$ menggunakan persamaan: $q = \gamma' D_f$; Kasus II: $0 < d \leq D_f$ menggunakan persamaan $q = \gamma d + (D_f - d) \gamma'$; dan Kasus III: $D_f \leq d \leq D_f + B$ menggunakan persamaan

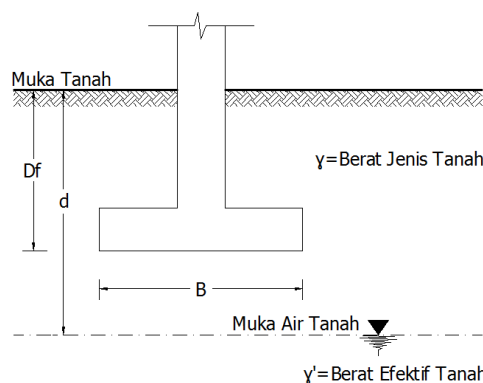
$\bar{\gamma} = \gamma' + \left(\frac{d - D_f}{B}\right)(\gamma - \gamma')$. Berikut ilustrasi gambar pada tiap kasusnya (Das, 2017)



Gambar 1. Letak Muka Air Tanah Kasus I



Gambar 2. Letak Muka Air Tanah Kasus II



Gambar 3. Letak Muka Air Tanah Kasus II

Pada bangunan rumah sederhana biasa menggunakan pondasi dangkal antara lain: foot plat; pondasi jalur, maupun pondasi setempat sebagai penyalur beban bangunan ke tanah dasar atau batuan yang berada dibawahnya (Yulianti, 2014; Zhanabayeva et al., 2023). Tanah memiliki batas daya dukung (*ultimate bearing capacity*) yang menentukan nilai maksimum beban yang dapat ditahan tanpa menyebabkan kelongsoran geser pada tanah di sekitar dan di bawah pondasi. Oleh karena itu, ketika merencanakan pondasi, perlu memperhitungkan kapasitas daya dukung tanah

yang diperlukan untuk menahan beban yang akan diteruskan oleh pondasi. (Baban, 2016; Das, 2017). Selain itu penting untuk mengetahui angka keamanan/koeffisien reduksi untuk memastikan nilai qult yang diperhitungkan masih aman mengingat tingginya perbedaan fluktuasi muka air tanah Z. Sehingga nilai koeffisien reduksi (*safety factors*) diperlukan dalam perencanaan daya dukung tanah untuk pondasi dangkal di wilayah tersebut.

METODE PENELITIAN

Pengambilan sampel dilakukan di RT/RW 24/06, RT/RW 15/04, RT/RW 12/04, RT/RW 11/03 yang kemudian secara berturut-turut disebut sebagai Titik I, II, III, IV. Pemilihan lokasi tersebut karena tingginya fluktuasi muka air tanah yang terjadi. Kemudian untuk mengetahui sifat fisis tanah, pengambilan sampel *undisturb* (contoh tanah tidak terganggu) dilakukan dengan menggunakan bor tangan manual (*hand auger*) pada -1.00 m dan -2.00 m (Murthy, 2021). Dua kedalaman tersebut dipilih karena dianggap mempresentasikan pondasi dangkal untuk hunian satu lantai di kedalaman -1.00 atau disebut Pondasi tipe A, kemudian untuk hunian dua lantai pada kedalaman -2.00 disebut dengan Pondasi tipe B. Kedua tipe tersebut menggunakan simulasi perhitungan pondasi footplat bujur sangkar dengan nilai B/L adalah 1,00 m/1,00 m.

Setelah dilakukan pengambilan sampel kemudian dilakukan pengujian di laboratorium. Pengujian tersebut adalah sudut geser langsung tanah (ϕ) dan pengujian berat isi tanah (γ) yang dapat menghasilkan besaran nilai kohesi tanah, serta pengujian analisa ayakan untuk menentukan jenis tanah pada titik dan kedalaman tertentu yang digunakan untuk mencari nilai permeabilitas, modulus elastisitas, dan *poison ratio*. Data pengujian diolah secara manual menggunakan perhitungan berdasarkan teori rumus Terzaghi, dengan memperhitungkan simulasi tinggi muka air tanah.

Menurut teori Terzaghi dalam Das (2017: 21) analisis kapasitas *ultimate bearing capacity* pada tanah yang memperhitungkan nilai berat volume tanah, kohesi tanah, dan tekanan tanah adalah:

$$q_{ult} = q_q + q_c + q_\gamma$$

$$q_{ult} = cN_c + qN_q + 0.5 \gamma B N_\gamma$$

Krizek dalam Das (2017:25) membuat ringkasan dari persamaan teori daya dukung tanah Terzaghi N_c , N_q , dan N_γ dengan deviasi maksimal sebesar 15%. Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$N_c = \frac{288 + 4.3\theta}{40 - \theta}$$

$$N_q = \frac{40 + 5\theta}{40 - \theta}$$

$$N_\gamma = \frac{6\theta}{40 - \theta}$$

Dimana :

θ = Sudut geser tanah

Kapasitas daya dukung tanah untuk beberapa jenis pondasi menurut teori Terzaghi dalam Das (2017: 13).

Tabel 1. Kapasitas Daya Dukung untuk Jenis Pondasi

Jenis Pondasi	Kapasitas Daya Dukung (Terzaghi)
Lajur/menerus	$q_{ult} = c.N_c + N_q + 0.5.\gamma.B.N_\gamma$
Bujur Sangkar	$q_{ult} = 1,3.c.N_c + N_q + 0,4.\gamma.B.N_\gamma$
Lingkaran	$q_{ult} = 1,3.c.N_c + N_q + 0,3.\gamma.B.N_\gamma$

Keterangan :

q_{ult} : Daya dukung ultimate pondasi (kg/m^2)

c : Kohesi tanah (kg/m^2)

γ : Berat volume tanah (kg/m^3)

- D_f : Kedalaman pondasi (m)
 B : Lebar atau diameter pondasi (m)
 L : Panjang pondasi (m)
 N_c : Faktor daya dukung tanah terhadap kohesi tanah
 N_q : Faktor daya dukung tanah terhadap tekanan tanah
 N_γ : Faktor daya dukung tanah terhadap Berat volume tanah

persamaan, hasil *q_{ultimate}* dibandingkan dengan *output* dari Plaxis Versi 8.2 dengan jenis pemodelan material Mohr-Coulomb (MC) dan jenis model *Plane Strain* serta tipe perilaku material *Drained* karena digunakan untuk perhitungan pondasi yang letaknya diasumsikan berdekatan dengan muka air tanah (Bangad, 2020; Plaxis, 2020). Dalam untuk mensimulasikan perilaku tanah, model tanah yang sesuai dan parameter material yang sesuai harus diinputkan kedalam program (Plaxis, 2020). Data yang diperlukan untuk diinputkan kedalam program antara lain adalah:

Tabel 2. Input Material pada Plaxis V 8.2

No	Parameter	Nama	Sat
1	Material model	Mohr-Coulomb	-
2	Tipe perilaku material	Drained	-
3	Berat isi tanah di atas MAT	γ_{unsat}	kN/m ³
4	Berat isi tanah di bawah MAT	γ_{sat}	kN/m ³
5	Permeabilitas	k_x, k_y, k_z	m/hr
6	Modulus elastisitas	E_{ref}	kN/m ²
7	Poisson Rasio	ν	-
8	Kohesi	c_{ref}	kN/m ²
9	Sudut geser tanah	Φ	°

Sumber : (PLAXIS Tutorial Manual version 2, 2002)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan nilai *q_{ultimate}* dari 4 titik pemboran dihitung menggunakan rumus Terzaghi dengan simulasi variasi kedalaman muka air tanah setiap -0.20 m yang diterapkan pada kasus I, II dan III.

Berikut adalah rata rata nilai *q_{ultimate}* menggunakan perencanaan pondasi tipe A dan B yang ditampilkan dalam Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Daya Dukung Tanah dibawah Pondasi Dangkal Tipe A

No	Variasi Muka Air Tanah	q_{ult} (ton/m ²)	Penurunan Daya Dukung (%)	Penurunan rata rata tiap kasus (%)
1	Tidak terdapat muka air tanah	66,16	0,0	0,0
2	Muka air tanah di permukaan tanah	23,56	64,4	64,4
3	Muka air diantara D_f dan muka tanah			
	0,20 m	26,03	60,7	
	0,40 m	28,50	56,9	
	0,60 m	30,97	53,2	
	0,80 m	33,44	49,4	
4	Muka air tanah pada D_f	35,92	45,7	45,7
5	Muka air di bawah penanaman pondasi			
	1,20 m	40,08	39,4	
	1,40 m	45,19	31,7	
	1,60 m	51,236	22,6	
	1,80 m	58,225	12,0	
	2,00 m	66,156	0,0	0,0

Tabel 4. Daya Dukung Tanah dibawah Pondasi Dangkal Tipe B

No	Variasi Muka Air Tanah	qult (ton/m ²)	Penurunan Daya Dukung (%)	Penurunan rata rata tiap kasus (%)
1	Tidak terdapat muka air tanah	105,46	0,0	0,0
2	Muka air tanah di permukaan tanah	45,93	56,5	56,5
3	Muka air diantara Df dan muka tanah			
	0,20 m	48,62	53,9	
	0,40 m	51,31	51,3	
	0,60 m	54,00	48,8	
	0,80 m	56,70	46,2	
	1,00 m	59,39	43,7	42,6
	1,20 m	61,97	41,2	
	1,40 m	64,54	38,8	
	1,60 m	67,12	36,4	
	1,80 m	69,70	33,9	
4	Muka air tanah pada Df	72,28	31,5	31,5
5	Muka air di bawah penanaman pondasi			
	2,20 m	76,852	27,1	
	2,40 m	82,458	21,8	14,5
	2,60 m	89,095	15,5	
	2,80 m	96,762	8,2	
	3,00 m	105,461	0,0	0,0

Selain itu juga dilakukan perhitungan menggunakan software Plaxis.. Berikut adalah perbandingan nilai qult menggunakan 2 metode perhitungan daya dukung tanah, yaitu dengan metode manual yang menggunakan rumus Terzaghi dan menggunakan software Plaxis. ditampilkan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Tabel Perbandingan Nilai q ultimate Pondasi tipe A

Titik Pemboran	Deformasi (m)	Qult max Plaxis (kN/m ²)	Qult max Terzaghi (kN/m ²)	Selisih
Titik I	0,038	872,43	875	3,05
Titik II	0,064	1010,00	1051	41,46
Titik III	0,012	336,72	341	4,48
Titik IV	0,013	323,98	325	1,19
Rata Rata		635,78	648	12,54

Tabel 6. Tabel Perbandingan Nilai q ultimate Pondasi tipe B

Titik Pemboran	Deformasi (m)	Qult max Plaxis (kN/m ²)	Qult max Terzaghi (kN/m ²)	Selisih
Titik I	0,047	1260	1271	11
Titik II	0,066	1330	1530	20
Titik III	0,021	449,73	492	2
Titik IV	0,035	848,35	841	8
Rata rata		47,41	52,47	10

Dari hasil analisis nilai daya dukung tanah (q_{ult}) minimal diambil ketika simulasi kedalaman muka air tanah (d) = 0, sedangkan untuk $q_{ultimate}$ maksimal diambil dari simulasi kedalaman muka air (d) = $D_f + B$. Berikut adalah hasil $q_{ultimate}$ masing masing tipe pondasi dapat dilihat dalam tabel 6 dan 7.

Tabel 7. Tabel Hasi q ultimate Pondasi A

Titik Pemboran	$q_{ult_{max}}$ (ton/m ²) d = -2,00	$q_{ult_{min}}$ (ton/m ²) d = ±0.00	ΦR	Q_R
Titik I	875,48	320,74	0,63	554,74
Titik II	1051,46	353,84	0,66	697,62
Titik III	341,20	143,69	0,58	197,51
Titik IV	325,17	105,07	0,68	220,10
Rata rata	648,33	230,84	0,64	417,49

Keterangan :

$q_{ult_{max}}$: q_{ult} pada kedalaman -2,00

$q_{ult_{min}}$: q_{ult} pada kedalaman ±0.00

ΦR : Koefisien Reduksi

φ_R : Daya Dukung Tanah Tereduksi

Nilai q_{ult} maksimal rata rata sebesar 648,33 ton/m², sedangkan nilai q_{ult} minimal sebesar 230,84 ton/m². Dari nilai tersebut diketahui rata rata penurunan nilai daya dukung tanah (q_{ult}) jika muka air tanah pada muka tanah dan pada kedalaman -2,00 m sebesar 417,49 ton/m² atau 52,31%.

Tabel 8. Tabel Hasi q ultimate Pondasi B

Titik Pemboran	$q_{ult_{max}}$ (ton/m ²) d = -2,00	$q_{ult_{min}}$ (ton/m ²) d = ±0.00	ΦR	Q_R
Titik I	1271,35	557,94	0,55	693,42
Titik II	15,29,82	616,28	0,60	913,55
Titik III	49,14	248,91	0,49	243,23
Titik IV	840,76	257,13	0,58	483,64
Rata rata	450,06	1033,52	0,55	583,46

Keterangan :

$q_{ult_{max}}$: q_{ult} pada kedalaman -2,00

$q_{ult_{min}}$: q_{ult} pada kedalaman ±0.00

ΦR : Koefisien Reduksi

φ_R : Daya Dukung Tanah Tereduksi

Daya dukung tertinggi Nilai q_{ult} maksimal rata rata sebesar 1033,52 ton/m², sedangkan nilai q_{ult} minimal sebesar 450,06 ton/m². Dari nilai tersebut diketahui rata rata penurunan nilai daya dukung tanah (q_{ult}) jika muka air tanah pada muka tanah dan pada kedalaman -3,00 m sebesar 583,46 ton/m² atau 54,12%.

Berdasarkan hasil penelitian awal yang menunjukkan bahwa fluktuasi muka air tanah pada tanah yang diteliti. Hal ini terbukti dengan adanya penurunan daya dukung yang tinggi pada hasil penelitian. Sehingga sepadan dengan pernyataan Chen et al., (2023) besarnya nilai daya dukung tanah dipengaruhi oleh posisi muka air tanah. Maka dari itu diperlukan nilai reduksi sebagai angka keamanan untuk perhitungan nilai q_{ult} (Karamitros et al., 2013). Angka reduksi diperlukan untuk pengurangan resiko yang terjadi dalam perhitungan daya dukung tanah (Acharya & Acharya, 2019). Nilai tersebut diperoleh berdasarkan nilai q_{ult} maksimal dan minimal untuk menentukan angka koefisien dengan persamaan

$$C_R = 1 - \frac{q_{ultimate\ min}}{q_{ultimate\ max}}$$

Keterangan :

$q_{ult_{max}}$: q_{ult} pada kedalaman -2,00

$q_{ult_{min}}$: q_{ult} pada kedalaman ±0.00

ΦR : Koefisien Reduksi

Nilai ϕ_R merupakan angka koefisien untuk menetapkan nilai reduksi daya dukung tanah yang terjadi karena tingginya muka air tanah. Untuk mencari nilai daya dukung tanah (q_{ult}) tereduksi menggunakan persamaan:

$$Q_R = \phi_R \times Q_{ultimate\ max}$$

Keterangan :

$q_{ult\ max}$: q_{ult} pada kedalaman -2,00

ϕ_R : Koefisien Reduksi

Q_R : q_{ult} Reduksi (Daya Dukung Tanah Tereduksi)

Berdasarkan persamaan tersebut dihasilkan nilai ϕ_R sebesar 0,64, untuk pondasi tipe A dan 0,55 untuk pondasi B. Nilai rata rata ϕ_R digunakan sebagai angka pengali untuk nilai daya dukung tanah dalam perencanaan pondasi dangkal sebagai angka keamanan karena fluktuasi muka air tanah yang terjadi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan tentang fluktuasi muka air tanah sebagai perencanaan angka reduksi qultimate (QR) yang digunakan dalam perencanaan pondasi dangkal pada 4 titik pengambilan sampel dan 2 macam jenis pondasi, maka dapat disimpulkan bahwa daya dukung tanah untuk perencanaan pondasi dangkal bujur sangkar dengan lebar pondasi (B) sebesar 1,00 m memiliki rata rata sebesar 66,13 ton/m² menggunakan perhitungan manual, dan 64,85 ton/m² menggunakan software Plaxis versi 8.2 pada kedalaman (Df) -1,00 m mempunyai daya dukung tanah. Untuk kedalaman pondasi (Df) -2,00 m mempunyai daya dukung tanah rata rata sebesar 105,78 ton/m² menggunakan perhitungan manual, dan 105,42 ton/m² menggunakan software Plaxis versi 8.2. Selain itu berdasarkan fluktuasi muka air tanah yang menyebabkan penurunan daya dukung didapat nilai ϕ_R (angka reduksi daya dukung tanah) pondasi dangkal bujur sangkar 1,00 m x 1,00 m pada kedalaman -1,00 m adalah 0,64, sedangkan untuk pondasi dangkal pada kedalaman -2,00 m menggunakan nilai ϕ_R yaitu 0,55. Angka reduksi tersebut digunakan untuk mereduksi nilai daya dukung tanah dalam perencanaan pondasi dangkal.

Saran

Hasil penelitian diharapkan dapat digunakan sebagai dasar acuan dalam perencanaan pondasi dangkal bujur sangkar dengan lebar pondasi (B) 1,00 m dengan kedalaman pondasi (Df) 1,00 m dan 2,00 m di Desa Tegal Gondo Kecamatan Karangploso Malang. Penelitian lanjutan mungkin diperlukan untuk mendapatkan angka reduksi (QR) dalam perencanaan pondasi dalam. Selain itu adanya perubahan iklim dan kondisi alam mengharuskan adanya penelitian untuk konfirmasi ulang secara berkala.

REFERENSI

- Acharya, M., & Acharya, I. P. (2019). Reliability Analysis of Bearing Capacity of Shallow Foundation on c- ϕ Soil. *Journal of Advanced College of Engineering and Management*, 5, 71–78. <https://doi.org/10.3126/jacem.v5i0.26690>
- Alencar, A., Galindo, R., & Melentijevic, S. (2021). Influence of the groundwater level on the bearing capacity of shallow foundations on the rock mass. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 80(9), 6769–6779. <https://doi.org/10.1007/s10064-021-02368-2>
- Baban, T. M. (2016). *Shallow Foundations: Vol. First Edition*. Garsington, UK. Wiley Blackwell.
- Bangad, H. M. (2020). Settlement Analisis of mAchine Foundation by using Plaxis 2D. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 7(6), 4612–4621. www.irjet.net

- Chen, W., Xia, W., Zhang, S., & Wang, E. (2023). Study on the Influence of Groundwater Variation on the Bearing Capacity of Sandy Shallow Foundation. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/app13010473>
- Das, B. M. (2017). *Shallow Foundations* (3rd Edition). Boca Raton, USA. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315163871>
- Fahriani, F., & Apriyanti, Y. (2015). Analisis Daya Dukung Tanah dan Penurunan Pondasi pada daerah Pesisir Pantai Utara Kabupaten Bangka. *Jurnal Fropil*, 3(2), 89–96.
- Karamitros, D. K., Bouckovalas, G. D., Chaloulos, Y. K., & Andrianopoulos, K. I. (2013). Numerical analysis of liquefaction-induced bearing capacity degradation of shallow foundations on a two-layered soil profile. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 44, 90–101. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2012.07.028>
- Murthy, V. N. S. (2021). *Geotechnical Engineering*. Boca Raton, USA. CRC Press.
- Plaxis, B. (2020). *PLAXIS PLAXIS 2D-Reference Manual*. Delf, Netherlands. Plaxis Bentley
- Yulianti, P. (2014). Studi Pemodelan Perkuatan Pondasi Dangkal pada Tanah Lempung Lunak Menggunakan Kombinasi Geotekstil Woven dan Grid Bambu dengan Bantuan Program plaxis. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 2(3), 320–329.
- Zhanabayeva, A., Moon, S. W., Ochame, J. I., Shokbarov, Y., Khomyakov, V., Kim, J., & Satyanaga, A. (2023). Comparative Analysis of Seismic Design Codes for Shallow Foundations Adhering to the Kazakhstani and European Approaches. *Sustainability (Switzerland)*, 15(1). <https://doi.org/10.3390/su15010615>