

Perencanaan Koefisien Reduksi *Bearing Capacity* Pondasi Dangkal akibat Fluktuasi Muka Air Tanah

Fadila Fitria Wulandari¹

¹Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang

¹fadila.fitria.ft@um.ac.id*

Abstract

The rapid development of infrastructure in Indonesia, especially in the field of housing, has made people interested in developing multi-level housing, including in Tegal Gondo Village, Karangploso District, Malang Regency because of its geographical location which borders Malang City and has great potential as a supporting area. However, the condition of the soil which has very varied fluctuations (rising and falling) of the ground water level during the rainy and dry seasons is considered dangerous because several houses showed cracks in the sloof and walls during the initial study. So it is necessary to plan the reduction coefficient of soil bearing capacity for planning shallow foundations for simple dwellings. This planning was translated into three stages of activity, namely data collection, laboratory testing, and data processing using Plaxis Version 8.2 software which was confirmed using manual calculations using the Terzaghi formula. Variations in soil depth were taken at -1.00 m and -2.00 m with a 1.00 x 1.00 square shallow foundation design model. The results of the research yielded a ϕR value (reduction number of bearing capacity) of 0.64 from an average bearing capacity of 66.13 tons/m² at a depth of -1.00 m. In addition, at a depth of -2.00 m it has a ϕR value (reduction number of bearing capacity) of 0.55 from an average carrying capacity of 105.78 tons/m².

Keywords: Fluctuation, Groundwater Level, Bearing Capacity, Shallow Foundation, Plaxis Software

Abstrak

Pesatnya perkembangan infrastruktur di Indonesia khususnya di bidang perumahan, membuat masyarakat tertarik untuk mengembangkan hunian bertingkat, termasuk di Desa Tegal Gondo Kecamatan Karangploso Kabupaten Malang karena letak geografisnya yang berbatasan dengan Kota Malang dan memiliki potensi besar sebagai daerah penunjang. Tetapi kondisi tanah yang memiliki fluktuasi (naik-turunnya) muka air tanah yang sangat variatif pada saat musim hujan dan kemarau dianggap membahayakan karena beberapa rumah menunjukkan retakan pada sloof dan dinding pada saat kajian awal. Sehingga perlu adanya perencanaan koefisien reduksi daya dukung tanah untuk perencanaan pondasi dangkal untuk hunian sederhana. Perencanaan ini dijabarkan menjadi tiga tahap kegiatan yaitu pengambilan data lahan, pengujian laboratorium, dan pengolahan data menggunakan software Plaxis Versi 8.2 yang dikonfirmasi menggunakan perhitungan manual menggunakan rumus Terzaghi. Variasi kedalaman tanah diambil di -1.00 m dan -2.00 m dengan model perencanaan pondasi dangkal bujur sangkar 1.00 x 1.00. Hasil penelitian menghasilkan nilai ϕR (angka reduksi daya dukung tanah) sebesar 0,64 dari daya dukung tanah rata-rata 66,13 ton/m² pada kedalaman -1.00 m. Selain itu pada kedalaman -2.00 m mempunyai nilai ϕR (angka reduksi daya dukung tanah) sebesar 0,55 dari daya dukung rata-rata 105,78 ton/m².

Kata kunci: Fluktuasi, Muka Air Tanah, Daya Dukung Tanah, Pondasi Dangkal, Software Plaxis

Diterima Redaksi : 13-02-2023 | Selesai Revisi : 28-06-2023 | Diterbitkan Online : 10-07-2023

1. Pendahuluan

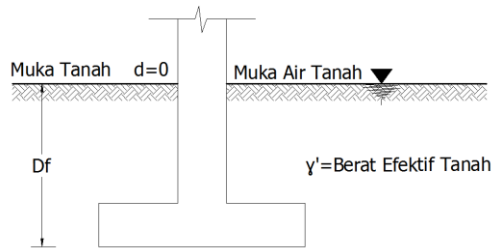
Pesatnya perkembangan infrastruktur di Indonesia khususnya di bidang perumahan, membuat masyarakat tertarik untuk mengembangkan hunian bertingkat.

Perkembangan tersebut juga dialami di Desa Tegal Gondo Kecamatan Karangploso Kabupaten Malang karena letak geografisnya yang berbatasan dengan Kota Malang dan memiliki potensi besar sebagai daerah penunjang. Akan tetapi perkembangan tersebut tidak

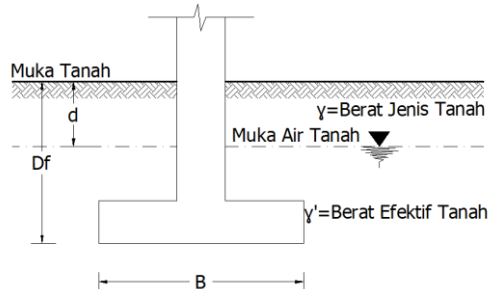
diiringi dengan kondisi tanah yang mendukung. Kondisi awal lapangan menunjukkan perbedaan kedalaman muka air sumur pada musim penghujan dan kemarau. Sehingga peneliti melakukan survei dasar untuk menganalisis indikasi masalah yang terjadi pada bangunan di Desa Tegal Gondo dan ditemukan pada beberapa bangunan menunjukkan ciri-ciri kerusakan struktur bangunan seperti retak pada dinding dan sloof.

Menurut (Das 2009: 44) kedalaman muka air tanah dapat mempengaruhi daya dukung tanah dalam menahan beban pondasi. Besarnya pengaruh muka air tanah terhadap daya dukung tanah tergantung dari letak muka air tanah terhadap pondasi dangkal (Sitohang, 2014; Damayanti, 2013). Sehingga terjadinya fluktuasi muka air tanah sangat berpengaruh terhadap terjadinya penurunan pondasi dan keamanan bangunan.

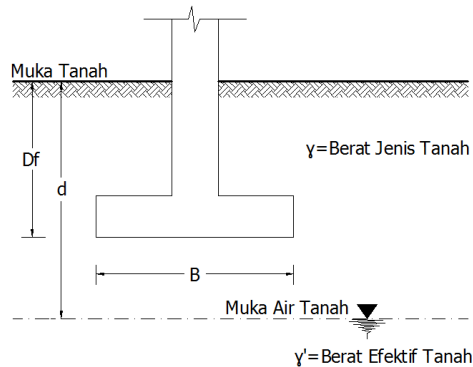
Besarnya pengaruh letak muka air tanah pada penelitian ini dibedakan menjadi tiga kasus, yaitu: Kasus I: $d = 0$ menggunakan persamaan: $q = \gamma' D_f$; Kasus II: $0 < d \leq D_f$ menggunakan persamaan $q = \gamma d + (D_f - d) \gamma'$; dan Kasus III: $D_f \leq d \leq D_f + B$ menggunakan persamaan $\bar{\gamma} = \gamma' + \left(\frac{d - D_f}{B}\right)(\gamma - \gamma')$. Berikut ilustrasi gambar pada tiap kasusnya (Das, 2009):



Gambar 1. Letak Muka Air Tanah Kasus I



Gambar 2. Letak Muka Air Tanah Kasus II



Gambar 3. Letak Muka Air Tanah Kasus III

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 (Hardiyatmo, 2001; Yulianti, 2014). Beban yang disalurkan pondasi membutuhkan kapasitas/daya dukung tanah (bearing capacity) untuk menahan suatu beban yang bekerja. Tetapi daya dukung tanah batas memiliki nilai batas/ ultimate bearing capacity (q_{ult}) yang dapat diterima tanpa menimbulkan kelongsoran geser pada tanah pendukung tepat di bawah dan sekeliling pondasi (Das 2009; Day 2009). Selain itu penting untuk mengetahui angka keamanan/kofisien reduksi untuk memastikan nilai q_{ult} yang diperhitungkan masih aman mengingat tingginya perbedaan fluktuasi muka air tanah Z. Sehingga perlu dilakukan perencanaan nilai kofisien reduksi daya dukung tanah untuk pondasi dangkal.

2. 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 kedalaman -1.00 m dan -2.00 m (Shirley, 1994). 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 pengujian berat isi tanah (γ), sudut geser langsung tanah (ϕ) 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 poisson ratio. Data hasil pengujian diolah menggunakan perhitungan manual menggunakan rumus Terzaghi dengan dimuliasi ketinggian muka air tanah.

Menurut Terzaghi dalam (Das 2009: 19) 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. 2009) membuat ringkasan dari persamaan teori daya dukung tanah Terzaghi N_c , N_q , dan N_γ dengan deviasi maksimal sebesar 15%. Persamaan Krizek 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 :

$$\theta = \text{Sudut geser tanah}$$

Kapasitas daya dukung tanah untuk beberapa jenis pondasi menurut Terzaghi dalam (Das. 1985).

Tabel 2.1 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	$q_{ult} = 1,3.c.N_c + N_q + 0,4.\gamma.B.N_\gamma$
Lingkar	$q_{ult} = 1,3.c.N_c + N_q + 0,3.\gamma.B.N_\gamma$

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

Selain perhitungan manual menggunakan 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 (Brinkgrave. 2002; Suroso. 2014). Dalam (Plaxis 2011) untuk mensimulasikan perilaku tanah, model tanah yang sesuai dan parameter material yang sesuai harus diinputkan kedalam program. Data yang diperlukan untuk diinputkan kedalam program antara lain adalah:

Tabel 2.2 Input Material pada Plaxis V 8.2

No	Parameter	Nama	Sat
1	Material model	<i>Mohr-Coulomb</i>	-
2	Tipe perilaku material	<i>Drained</i>	-
3	Berat isi tanah di atas MAT	γ_{unsat}	N/m^3
4	Berat isi tanah di bawah MAT	γ_{sat}	N/m^3
5	Permeabilitas	k_x, k_y, k_z	n/hr
6	Modulus elastisitas	E_{ref}	N/m^2

No	Parameter	Nama	Sat
7	Poisson Rasio	V	-
8	Kohesi	C_{ref}	N/m^2
9	Sudut geser tanah	ϕ	o

Sumber : (PLAXIS 3D Tunnel Tutorial Manual version 2, 2011)

3. 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 5.1 dan Tabel 5.2

Tabel 5.1 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	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	21,1
	1,80 m	58,225	12,0	
	2,00 m	66,156	0,0	0,0

Tabel 5.2 Daya Dukung Tanah dibawah Pondasi Dangkal Tipe B

No	Variasi Muka Air Tanah	q_{ult} (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 D_f 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 D_f	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	
	2,60 m	89,095	15,5	14,5
	2,80 m	96,762	8,2	
	3,00 m	105,461	0,0	0,0

Selain itu juga dilakukan perhitungan menggunakan software Plaxis Versi 8.2. Berikut adalah perbandingan nilai q_{ult} menggunakan 2 metode perhitungan daya dukung tanah, yaitu dengan metode manual yang menggunakan rumus Terzaghi dan menggunakan software Plaxis versi 8.2. ditampikan dalam Tabel 5.3.

Tabel 5.3 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 5.4 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 5.4 dan 5.5.

Tabel 5.5 Tabel Hasi $q_{ultimate}$ Pondasi A

Titik Pemboran	$q_{ult_{max}}$ (ton/m ²) $d = -2,00$	$q_{ult_{min}}$ (ton/m ²) $d = \pm 0,00$	Φ_R	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 $\pm 0,00$

Φ_R : 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 5.5 Tabel Hasi $q_{ultimate}$ Pondasi B

Titik Pemboran	$q_{ult_{max}}$ (ton/m ²) $d = -2,00$	$q_{ult_{min}}$ (ton/m ²) $d = \pm 0,00$	Φ_R	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 $\pm 0,00$

Φ_R : 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 yang terjadi sangat tinggi. Hal ini pun dibuktikan dengan adanya penurunan daya dukung yang tinggi, maka diperlukan nilai reduksi sebagai angka keamanan untuk perhitungan nilai q_{ult} . 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 $\pm 0,00$

Φ_R : 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:

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

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.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan tentang fluktuasi muka air tanah sebagai perencanaan angka reduksi $q_{ultimate}$ (Q_R) 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.

Daftar Rujukan

- [1] Brinkgrave, R. 2002. *Manual Plaxis 2D Versi 2.8*. Delf: Balkenman Publisher.
- [2] Damayanti, Dwi Ayu. 2013. Pengaruh Muka Air Tanah Terhadap Daya Dukung Tanah Di Bawah Pondasi Dangkal. *Jurnal IPTEK* 17 (2): 96–103.
- [3] Das, Braja M. 1985. *Principles of Foundation Engineering*. California: Brooks/Cole.
- [4] Das, Braja M. 2009. *Shallow Foundations Bearing Capacity and Settlement*. New York: Taylor and Francis group.
- [5] Day, Robert W. 2009. *Foundation Engineering Handbook Design and Construction with the 2009 International Build Code*. California: Mc Graw Hill.
- [6] Hardiyatmo, HC. 2001. *Teknik Fondasi II*. Jakarta: Gramedia.
- [7] Plaxis. 2011. *PLAXIS 3D Tunnel Tutorial Manual Version 2*. PLAXIS 3D Tunnel.
- [8] Shirley. 1994. *Penuntun Praktis Geoteknik Dan Mekanika Tanah (Penyelidikan Lapangan Dan Laboratorium)*. Bandung: Nova.
- [9] Sitohang, Endra Ade Gunawan. 2014. “Desain Pondasi Telapak Dan Evaluasi Penurunan Pondasi.” *Jurnal Teknik Sipil USU* 3 (1): 1–16.
- [10] Suroso, Agus. 2014. “Korelasi Antara Modulus Elastisitas Dan Nilai CBR 0,1” Pada Campuran Pasir Lempung Kaolin Menggunakan Plaxis 2D.” *Institutional Repository UNS*.
- [11] Yulianti, Fitri. 2014. “Studi Pemodelan Perkuatan Pondasi Dangkal Pada Tanah Lempung Lunak Menggunakan Kombinasi Geotekstil Moven Dan Gris Bambu Dengan Bantuan Program Plaxis.” *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan* 2 (3): 320–28.