

SIMULASI PERILAKU PONDASI GABUNGAN FOOT PLAT DAN SUMURAN PADA VARIASI DIMENSI FOOT PLAT DAN DIAMETER SUMURAN

Budhi Sulistyanto¹⁾, Niken Silmi Surjandari²⁾, Yusep Muslich Purwana³⁾

¹⁾Mahasiswa Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret.

²⁾³⁾Pengajar Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret.

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524. Email: budhi.sulistyanto@yahoo.com.

Abstract

Now days, many projects were started to use a combination of foot plate and the caisson as composite foundation. However, the characteristics of those composite on bearing the load was still unknown. This study reviewed the magnitude of displacement of those composite as the result of an additional vertical axial load in the middle of the foundation. This displacement value used to gain the bearing capacity in various combination of foundation. Assumption of the pervious bearing capacity was given by the sum of both foot plat and the caisson. Basic soil parameters used as secondary data in this research were obtained from Soil Mechanics Laboratory of UNS in form of clay. The foundation was modelled as monolith and f_c used in this experiments was 25 MPa. Further, the data were analyzed by using Plaxis 3D Foundation v.1.6 software. The merger of the foot plate foundation and the caisson resulted on the increasing of the endurance of the composite, but there were also 11% gap of displacement from the sum endurance value provided by each type of foundation. The decrease of the foot plate dimension showed the bigger effect on the displacement value of the composite compared to the decrease of the caisson diameters.

Keywords: foundation, settlement, bearing capacity, contact pressure, Plaxis 3D Foundation

Abstrak

Saat ini, beberapa proyek mulai menggunakan gabungan pondasi foot plat dan pondasi. Namun belum diketahui bagaimana perilaku pondasi gabungan tersebut dalam menahan beban. Penelitian ini meninjau besarnya penurunan akibat dari penambahan beban aksial vertikal pada tengah pondasi. Nilai penurunan digunakan untuk mendapatkan daya dukung pada berbagai variasi pondasi gabungan. Asumsi daya dukung awal yang diberikan adalah penjumlahan daya dukung foot plat dan sumuran. Parameter tanah dasar yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh dari di Laboratorium Mekanika Tanah UNS berupa tanah lempung. Pondasi dimodelkan dalam bentuk monolit dan mutu beton yang digunakan adalah f_c 25 MPa. Selanjutnya, data parameter dianalisis dengan software Plaxis 3D Foundation v.1.6. Penggabungan pondasi foot plat dengan pondasi sumuran menambah daya dukung namun terdapat selisih 11% dari penjumlahan daya dukung foot plat dan daya dukung sumuran. Pengurangan dimensi foot plat memberikan efek penurunan daya dukung pondasi yang lebih signifikan jika dibandingkan dengan pengurangan diameter sumuran.

Kata kunci: pondasi, penurunan, daya dukung, tegangan kontak, Plaxis 3D Foundation

PENDAHULUAN

Pondasi merupakan bagian bangunan yang berfungsi meneruskan beban pada struktur atas ke dalam tanah dimana dalam pelaksanaannya harus memperhitungkan perencanaan desain agar daya dukung yang diinginkan terpenuhi. Di lapangan seringkali dijumpai jenis pondasi dangkal berbentuk bujur sangkar dan pondasi menengah berupa pondasi sumuran yang digunakan untuk bangunan menengah. Namun saat ini konstruksi pondasi mengalami perkembangan, diantaranya yaitu adanya inovasi penggabungan pondasi *foot plat* dengan sumuran. Penggunaan pondasi ini menggunakan asumsi awal bahwa daya dukung yang diberikan oleh pondasi gabungan ini merupakan penjumlahan daya dukung dari keduanya, sehingga dalam penelitian ini dilakukan analisis yang lebih mendalam tentang pondasi gabungan ini.

LANDASAN TEORI

Pondasi Telapak (*Foot Plat*)

Pondasi ini berupa tiang yang bersambung dengan kolom dan sebuah plat dibawahnya yang berfungsi untuk menyalurkan beban struktur ke tanah. Yang terpenting dalam perencanaan pondasi telapak adalah perhitungan tegangan kontak maksimum yang dapat ditahan oleh tanah di bawah pondasi tanpa menyebabkan keruntuhan dan penurunan yang berlebihan pada pondasi (Terzaghi dan Peck, 1948). Persamaan yang digunakan di dalam metode Terzaghi di dalam menghitung kapasitas dukung ultimit pondasi telapak adalah:

$$Q_u = cN_c + D_f \gamma N_q + 0,5 B \gamma N_\gamma \dots \dots \dots [1]$$

dengan Q_u = kapasitas dukung ultimit, c = kohesi, D_f = kedalaman pondasi, γ = berat volume tanah, B = lebar pondasi, dan N_c , N_q , N_γ = faktor daya dukung.

Pondasi Sumuran (*Caisson*)

Di Indonesia, pondasi *caisson* sering dibuat dalam bentuk silinder sehingga umumnya disebut pondasi sumuran karena bentuknya menyerupai sumur. Menurut Hardiyatmo (2006), *caisson* merupakan peralihan dari pondasi

dangkal ke pondasi dalam. Perhitungan kapasitas dukung pondasi *caissons* sama seperti pondasi tiang, yakni mengandalkan tahanan ujung dan tahanan gesek tiangnya dimana Terzaghi (1967) menyarankan persamaan berikut:

$$Q_u = Q_b + Q_s \dots\dots\dots [2]$$

$$= q_u A_b + Q_s$$

dengan Q_u = kapasitas dukung ultimit, $q_u = 1,3cN_c + D\gamma'N_q + 0,3B\gamma'N_\gamma$, B = lebar atau diameter pondasi, A_b = luas penampang *caisson*, A_s = luas selimut *caisson*, dan Q_s = besarnya tahanan gesek dinding *caisson*. Q_s dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q_s = A_s K_a \phi' \operatorname{tg} \delta \dots\dots\dots [3]$$

dengan A_s = luas selimut kaisson, K_a = koefien tahanan tanah lateral, δ = sudut gesek antara tanah dengan dinding dan ϕ' = tekanan vertikal efektif rata-rata di sepanjang tiang.

Penurunan (*Settlement*)

Istilah penurunan (*settlement*) digunakan untuk menunjukkan gerakan titik tertentu pada bangunan terhadap titik referensi yang tetap. Besarnya penurunan bergantung pada karakteristik tanah dan penyebaran tekanan pondasi ke tanah di bawahnya. Jika seluruh permukaan tanah di bawah pondasi dan di sekitar bangunan turun secara seragam dan penurunan terjadi secara tidak berlebihan, maka turunnya bangunan tidak nampak oleh pandangan mata dan penurunan tidak menyebabkan kerusakan pada bangunan. Pada umumnya, penurunan tak seragam lebih membahayakan daripada penurunan total.

Interpretasi Data Hasil Pengujian Pembebanan

Data hasil pengujian dari pembebanan dan penurunan pondasi menghasilkan grafik yang diplot pada bidang cartesius, dimana beban terletak pada absis dan penurunan pada ordinat. Dari grafik tersebut nantinya akan digunakan dalam penentuan kapasitas dukung ultimit (q_{ult}) pondasi. Metode interpretasi penentuan q_{ult} yang pernah digunakan pada beberapa uji pembebanan pondasi, antara lain Metode Fuller dan Hoy, Butler dan Hoy, dan Metode Vander Veen.

Pada interpretasi yang dilakukan oleh Fellenius (1980), menunjukkan bahwa metode Fuller dan Hoy dan Vander Veen menghasilkan nilai kapasitas dukung ultimate yang rasional. Metode Fuller dan Hoy menghasilkan perkiraan nilai q_{ult} yang layak terhadap nilai q_{ult} yang sebenarnya (Prakash dan Sharma, 1989).

Plaxis 3D Foundation

Plaxis 3D Foundation dikembangkan di *Delft University of Technology* pada tahun 1987. Terdiri dari tiga sub-program pada *user interface* yaitu *input*, *output*, dan *curves* dengan masing-masing kegunaan. *Input* digunakan untuk mengatur geometri, parameter model, dan fase perhitungan. *Output* digunakan untuk menampilkan hasil perhitungan secara tiga dimensi maupun secara potongan melintang. *Curves* berfungsi untuk melakukan plot grafik angka hasil perhitungan berdasarkan titik tinjauan geometri yang telah ditetapkan. *Toolbar* pada *user interface* digunakan untuk membantu dalam menggunakan masing-masing fitur program.

Estimasi Parameter Data Sekunder

Penggunaan program Plaxis memerlukan berbagai macam parameter tanah. Dari data sekunder yang didapatkan, belum semuanya ada untuk diinput ke dalamnya, sehingga diperlukan estimasi untuk mendukung program tersebut. Beberapa data yang didapatkan dari estimasi menggunakan rumus empiris yaitu berat volume jenuh air (γ_{sat}), angka pori (e), modulus elastisitas (E), dan angka poisson (ν). Untuk mengestimasi nilai modulus elastisitas (E) dan angka poisson (ν) digunakan nilai perkiraan dari Bowles (1968) dimana didapatkan nilai $E = 6000 \text{ kN/m}^3$ dan nilai $\nu = 0,15$. Berat volume jenuh air (γ_{sat}) ditentukan dari persamaan 4 s.d. 5 berikut ini (Hardiyatmo, 2010):

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_w(G_s + e)}{1 + e} \dots\dots\dots [4]$$

$$\gamma_b = \frac{G_s \gamma_w (1 + w)}{1 + e} \dots\dots\dots [5]$$

Sehingga dari persamaan 4 dan 5 dilakukan substitusi dan didapatkan:

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_b(G_s + e)}{G_s(1 + w)} \dots\dots\dots [6]$$

dimana γ_{sat} = berat volume jenuh air, γ_b = berat volume basah, γ_w = berat volume air, e = angka pori, w = kadar air, dan G_s = berat jenis (*specific gravity*).

Angka pori (e) sendiri didapatkan dari persamaan 7 s.d. 8 berikut (Hardiyatmo, 2010):

$$e = \frac{n}{(1-n)} \text{dimana } n = 1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \dots\dots\dots [7]$$

Berat isi butir γ_s adalah perbandingan berat isi butir tanah dengan isi butir tanah, yang dirumuskan:

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \text{dimana } \frac{W_s}{V_s} = G_s \gamma_w, \text{ sehingga } \gamma_s = G_s \gamma_w \dots\dots\dots [8]$$

METODE PENELITIAN

Penelitian ini mempelajari analisis perilaku pondasi gabungan antara pondasi *foot plat* dengan pondasi sumuran yang ditinjau dari variasi dimensi *foot plat* dan diameter sumuran. Penelitian ini diawali dengan melakukan estimasi beban yang diterima per kolom pada bangunan 3 lantai. Setelah itu, menghitung besarnya q_{ult} untuk pondasi *foot plat* dan sumuran dengan teori yang ada pada tanah dasar berupa tanah lempung. Asumsi awal, daya dukung pondai gabungan merupakan hasil penjumlahan dari daya dukung *foot plat* dan daya dukung sumuran. Dari ketiga nilai tersebut akan digunakan sebagai estimasi beban yang diaplikasikan pada model pondasi agar diperoleh bentuk grafik penurunan yang baik, sehingga memudahkan dalam mengestimasi q_{ult} . Tahap selanjutnya adalah pemodelan pondasi dengan menggunakan Plaxis 3D Foundation. Beberapa model pondasi dibuat untuk menentukan besarnya perubahan nilai penurunan pada masing - masing variasi pondasi.

Tabel 1. Model Variasi Pondasi

No	Pondasi	Foot Plat		Sumuran	
		Dimensi	Kedalaman	Diameter	Panjang
1	Foot Plat	1,5 m x 1,5 m	1,5 m	-	-
2	Sumuran	-	-	1 m	4,5 m
3	Gab. A	1,5 m x 1,5 m	1,5 m	1 m	4,5 m
4	Gab. B	1,4 m x 1,4 m	1,5 m	1 m	4,5 m
5	Gab. C	1,3 m x 1,3 m	1,5 m	1 m	4,5 m
6	Gab. D	1,2 m x 1,2 m	1,5 m	1 m	4,5 m
7	Gab. E	1,5 m x 1,5 m	1,5 m	0,9 m	4,5 m
8	Gab. F	1,5 m x 1,5 m	1,5 m	0,8 m	4,5 m
9	Gab. G	1,5 m x 1,5 m	1,5 m	0,7 m	4,5 m

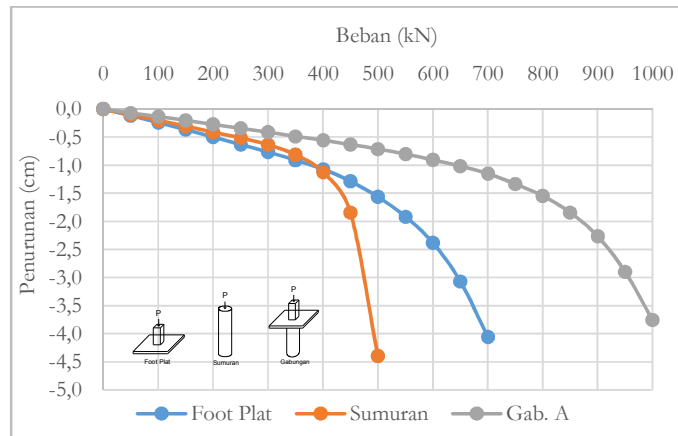
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diperoleh pada penelitian ini berupa grafik penurunan pondasi terhadap kenaikan beban. Dari grafik tersebut kemudian didapatkan nilai q_{ult} dari masing-masing variasi pondasi.

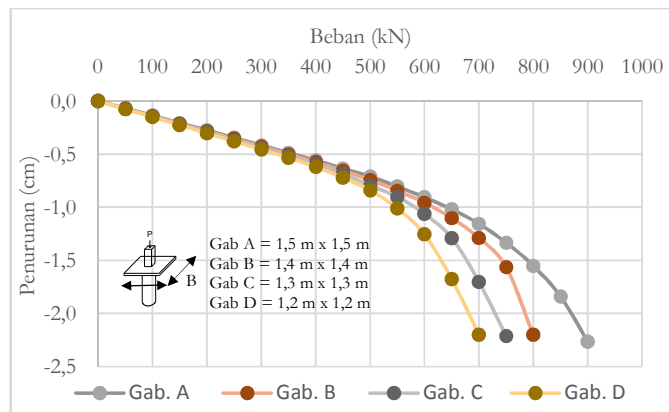
Tabel 2. Nilai Penurunan Maksimal pada Variasi Pondasi

Beban (kN)	Footplat (cm)	Sumuran (cm)	Gab. A (cm)	Gab. B (cm)	Gab. C (cm)	Gab. D (cm)	Gab. E (cm)	Gab. F (cm)	Gab. G (cm)
50	-0,1191	-0,1010	-0,0680	-0,0699	-0,0723	-0,0745	-0,0703	-0,0727	-0,0752
100	-0,2405	-0,2030	-0,1360	-0,1398	-0,1445	-0,1491	-0,1406	-0,1454	-0,1504
150	-0,3662	-0,3061	-0,2045	-0,2102	-0,2176	-0,2246	-0,2116	-0,2189	-0,2266
200	-0,4955	-0,4096	-0,2742	-0,2818	-0,2917	-0,3011	-0,2837	-0,2937	-0,3041
250	-0,6297	-0,5143	-0,3443	-0,3538	-0,3662	-0,3779	-0,3563	-0,3689	-0,3819
300	-0,7655	-0,6367	-0,4145	-0,4259	-0,4410	-0,4559	-0,4291	-0,4444	-0,4602
350	-0,9089	-0,8145	-0,4852	-0,4991	-0,5175	-0,5356	-0,5026	-0,5209	-0,5398
400	-1,0687	-1,1230	-0,5578	-0,5746	-0,5965	-0,6193	-0,5778	-0,5994	-0,6221
450	-1,2872	-1,8407	-0,6327	-0,6564	-0,6847	-0,7218	-0,6552	-0,6828	-0,7105
500	-1,5634	-4,3955	-0,7101	-0,7448	-0,7941	-0,8405	-0,7391	-0,7746	-0,8090
550	-1,9144	-	-0,8044	-0,8419	-0,9022	-1,0106	-0,8389	-0,8812	-0,9215
600	-2,3851	-	-0,9050	-0,9550	-1,0610	-1,2544	-0,9483	-0,9967	-1,0449
650	-3,0671	-	-1,0183	-1,1001	-1,2905	-1,6768	-1,0696	-1,1293	-1,1915
700	-4,0613	-	-1,1535	-1,2863	-1,7000	-2,2000	-1,2220	-1,3037	-1,3865
750	-5,4504	-	-1,3321	-1,5610	-2,2100	-	-1,4201	-1,5254	-1,6361
800	-7,2845	-	-1,5500	-2,2000	-	-	-1,6704	-1,8125	-1,9585
850	-9,7484	-	-1,8401	-	-	-	-2,0127	-2,2133	-2,4300
900	-13,2761	-	-2,2651	-	-	-	-2,5212	-2,8191	-3,1312
950	-18,1929	-	-2,8948	-	-	-	-3,2640	-3,6720	-4,0885

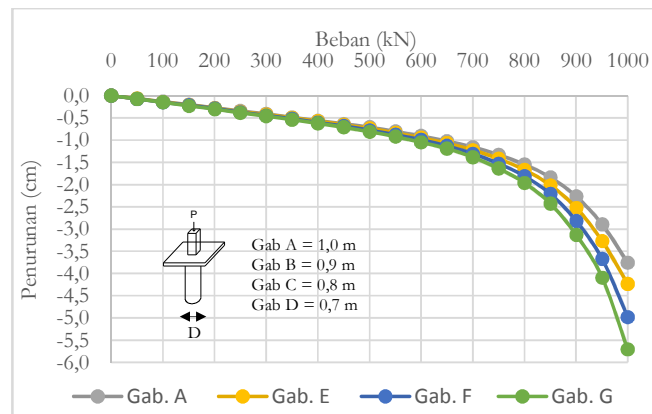
Beberapa nilai beban yang disajikan tidak memiliki hasil penurunan, misalnya pada model pondasi sumuran untuk beban 550 kN hingga 1000 kN. Hal ini disebabkan, *running* program Plaxis tidak bisa dilanjutkan karena tanah disekitar pondasi mengalami *collapse*. Begitu juga dengan model Gab. B, Gab. C, dan Gab. D.



Gambar1. Grafik Hasil Penurunan antara *Foot Plat*, Sumuran, dan Gabungan *Foot Plat* dan Sumuran



Gambar 2. Grafik Hasil Penurunan antara Gabungan *Foot Plat* dan Sumuran pada Variasi Dimensi *Foot Plat*



Gambar 3. Grafik Hasil Penurunan antara Gabungan *Foot Plat* dan Sumuran pada Variasi Diameter Sumuran

Dari data penurunan pondasi pada tabel 2, kemudian dianalisis dengan beberapa metode untuk menentukan q_{ult} masing-masing pondasi. Dalam penelitian ini digunakan 3 metode, yaitu metode Butler dan Hoy, metode Fuller dan Hoy, serta metode Vander Veen. Penentuan q_{ult} dibuat dengan melakukan *plotting* data pembebanan dan lendutan yang dihasilkan terhadap sumbu ordinat. Berikut ini disajikan hasil perhitungan dari beberapa metode di atas.

Tabel 3. Perhitungan Q_{ult} Pondasi

Pondasi	Metode Butler dan Hoy (kN)	% Kenaikan Q_{ult}	Metode Fuller dan Hoy (kN)	% Kenaikan Q_{ult}	Metode Vander Veen (kN)	% Kenaikan Q_{ult}
Gab. A	810,88	-	934,10	-	1001	-
<i>Foot Plat</i>	511,46	36,93	618,43	33,79	700	30,07
Sumuran	373,51	53,94	424,47	54,56	472	52,85
Gab. B	716,54	11,63	795,28	14,86	845	15,58
Gab. C	653,15	19,45	754,93	19,18	797	20,38
Gab. D	602,93	25,64	707,93	24,21	743	25,77
Gab. E	792,24	2,30	913,46	2,21	950	5,09
Gab. F	770,56	4,97	886,02	5,15	942	5,89
Gab. G	749,04	7,63	864,46	7,46	934	6,69

Pembahasan

Pada pondasi sumuran, Gab. B, Gab. C, dan Gab. D, nilai penurunan pondasi tidak sampai pada beban 1000 kN dikarenakan tanah mengalami *collapse* sebelum mencapai beban tersebut. Hal ini disebabkan gaya geser yang diterima pada pondasi lebih besar dibandingkan kuat geser tanahnya. Penggabungan pondasi *foot plat* dan sumuran menghasilkan nilai penurunan yang lebih kecil dibandingkan dengan penurunan pondasi *foot plat*, maupun sumuran. Dari 3 metode perhitungan q_{ult} pondasi, diperoleh perbedaan sebesar 11% antara q_{ult} pondasi gabungan dengan jumlah q_{ult} pondasi pendukungnya, yaitu *foot plat* dan sumuran. Dilihat dari perbandingan prosentase kenaikan q_{ult} pada tabel 3, serta melihat selisih penurunan dari tiap-tiap variasi, maka dapat dikatakan perubahan dimensi *footplat* memberikan penurunan yang lebih besar dibandingkan perubahan diameter sumuran dengan interval nominal yang sama.

SIMPULAN

Berdasarkan analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Daya dukung pondasi gabungan tidak semata-mata merupakan penjumlahan dari daya dukung *foot plat* dengan daya dukung sumuran, akan tetapi terdapat perbedaan atau penurunan sekitar 11% dari hasil penjumlahan daya dukung tersebut.
2. Perubahan dimensi *footplat* memberikan nilai penurunan yang lebih besar apabila dibandingkan perubahan diameter sumuran pada pondasi gabungan. Perubahan dimensi *footplat* ini juga mengakibatkan penurunan daya dukung pondasi gabungan menjadi lebih signifikan.

REKOMENDASI

1. Penelitian ini dapat dikembangkan lagi dengan memodelkan pondasi gabungan pada tanah pasir.
2. Perlu analisis mengenai kondisi tanah dasar sebenarnya yang sesuai dengan kondisi lapangan.
3. Keakuratan data maupun penambahan data parameter yang lebih lengkap perlu diperhatikan.
4. Penggunaan *prototype* mungkin diperlukan agar hasil pengujian dapat diverifikasi sesuai dengan kondisi lapangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih pertama ditujukan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan nikmatnya. Yang kedua kepada segenap pimpinan dan dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UNS, selanjutnya kepada Dr. Niken Silmi S. S.T., M.T. dan Yusep Muslich Purwana., S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing, serta rekan-rekan sipil 2010 UNS dan juga seluruh civitas akademika Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil.

REFERENSI

- Abdurrachman, H., Irsyam, M., dan Rustini, S. 2003. *Stabilisasi Lereng Menggunakan Sistem Geosintetik Diangkur*. 2003. Proc. Konperensi Geoteknik Indonesia – IV dan Pertemuan Ilmiah Tahunan – VII. Jakarta.
- Anonim. 2004. *Plaxis 3D Foundation Manual*.
- Arianto, Rusmin S., Budijanto Widjaja, Anastasia Sri Lestari, 2004. *Variasi Kurva Desain Daya Dukung Pondasi Dangkal pada Tanah Lempung untuk Menara Telekomunikasi*. Jurnal, No. 2 Vol. 1, Juli 2004: 125 – 134.
- Bowles, Joseph E., 1968. *Foundation Analysis and Design*. Indianapolis: McGraw-Hill Book Company.

- Firdaus, Wildan. 2010. *Studi Perilaku Tiang Pancang Kelompok Menggunakan Plaxis 2D Pada Tanah Lunak (Very Soft Soil – Soft Soil)*. Skripsi. Teknik Sipil Fakultas Teknik Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 2006. *Teknik Pondasi 1*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 2008. *Teknik Pondasi 2*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 2010. *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta : Gajah Mada University Press.
- Hillyanto, Rizal Raissa, 2013. *Simulasi Perilaku Plat Beton Sebagai Perkerasan Kaku Di Atas Tanah Subgrade Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Skripsi. Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Prakash, Shamsheer dan Hari D. Sharma. 1989. *Pile Foundations in Engineering Practice*. Amerika Serikat: Jhon Wiley & Sons, Inc.
- Purba, Virgo Erlando, Novdin M Sianturi., 2013. *Kajian Pemilihan Pondasi Sumuran Sebagai Alternatif Perancangan Pondasi*. Jurnal, No. 1 Vol. 2, Juni 2013.
- Terzaghi, Karl dan Ralph B. Peck. 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. New York : Wiley – Interscience.
- Syahril, 2000. *Studi Perbandingan Analisis Kestabilan Konstruksi Lereng/Timbunan di atas Tanah Lunak dengan Metoda Geo-design dan Plaxis.*, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Sulistyo, Wahyu Ady dkk. 2012. *Studi Pengaruh Pembebanan Statis dan Dinamis Terhadap Pondasi Dangkal dengan Perkuatan Tiang Buis dari Komposisi Optimal Beton yang Menggunakan Material Limbah di Kabupaten Bangkalan (Pemodelan di Laboratorium)*. Jurnal, No. 1 Vol,1 Sept 2012: 2301-9271.