

ANALISIS PENURUNAN DAN DAYA DUKUNG FONDASI KONSTRUKSI SARANG LABA-LABA PADA TANAH LUNAK

Tita Maya Bella¹⁾ Niken Silmi Surjandari²⁾ Bambang Setiawan³⁾

¹⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

^{2) 3)} Pengajar Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jln Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126. Telp: 0271-634524. Email: titabellay@gmail.com

Abstract

Settlement is a phenomenon that often occurs in Indonesia these days, especially in some big cities such as Jakarta, Bandung, Semarang, Yogyakarta, and others, so settlement will be one of the important issues that must be faced. One of the building located in Semarang city will become the topic in this research. The subgrade, where the building is located, is a soft soil layer and the building has a function as an office building. The building is using KSSL foundation. The purpose of this research is to calculate the bearing capacity of foundation and the settlement using empirical method.

Empirical method to calculate bearing capacity using Meyerhof (1963) equation, immediately settlement calculated using Janbu et al. (1956) equation and primary consolidation settlement calculated on condition clay normally consolidated. Additional stress distribution in soil calculated using the Boussinesq equation.

The results of bearing capacity using the empirical method is 422,173 kN/m² and the settlement result is 44,846 cm. Using KSSL foundation is still inadequate to be applied for the soft soil subgrade because the settlement value is still far from the maximum settlement which is 65-100 mm.

Key Words: konstruksi sarang laba-laba foundation, bearing capacity, settlement.

Abstrak

Penurunan tanah merupakan fenomena yang sering terjadi di Indonesia akhir-akhir ini, terutama di kota-kota besar seperti Jakarta, Bandung, Semarang, Yogyakarta, dan lain-lain. Salah satu gedung yang berada di kota Semarang akan menjadi topik dalam penelitian ini. Tanah dasar dari lokasi bangunan berupa lapisan tanah lempung lunak dan fungsi bangunan sebagai gedung perkantoran. Gedung tersebut menggunakan fondasi konstruksi sarang laba-laba (KSSL). Tujuan dari skripsi ini untuk menghitung daya dukung fondasi dan penurunan menggunakan metode empiris.

Metode empiris untuk menghitung daya dukung menggunakan persamaan Meyerhof (1963), penurunan segera dihitung menggunakan persamaan Janbu et al. (1956) dan penurunan konsolidasi primer dihitung pada kondisi lempung terkonsolidasi normal. Tambahan tegangan tanah dihitung menggunakan persamaan Boussinesq.

Hasil analisis daya dukung ultimit menggunakan metode empiris sebesar 422,173 kN/m² dan penurunan sebesar 44,846 cm. Fondasi KSSL saja kurang cocok diterapkan pada tanah lunak karena penurunan masih jauh dari batas penurunan maksimum sebesar 65-100 mm.

Kata Kunci: fondasi konstruksi sarang laba-laba, daya dukung, penurunan.

PENDAHULUAN

Penurunan tanah merupakan fenomena yang sering terjadi di Indonesia akhir-akhir ini, terutama di kota-kota besar seperti Jakarta, Bandung, Semarang, Yogyakarta, dan lain-lain. Salah satu gedung yang berada di kota Semarang akan menjadi topik dalam penelitian ini. Tanah dasar dari lokasi bangunan berupa lapisan tanah lempung lunak, berarti merupakan tanah yang mempunyai penurunan besar. Fungsi bangunan ini sebagai gedung perkantoran. Gedung tersebut menggunakan konstruksi fondasi yang jarang dipakai gedung-gedung bertingkat di wilayah perkotaan yang rawan penurunan yaitu fondasi konstruksi sarang laba-laba (KSSL). Berdasarkan topik permasalahan tersebut menjadi menarik sehingga dalam skripsi ini akan menganalisis besarnya daya dukung fondasi dan penurunan yang dihitung menggunakan metode empiris.

TINJAUAN PUSTAKA

Menurut Asiyanto (2009) fondasi sistem Konstruksi Sarang Laba-Laba (KSSL) adalah merupakan sistem fondasi substruktur yang kokoh, serta dapat menghemat biaya struktur bangunan bawah kurang lebih antara 30% sampai 50%. Sistem fondasi ini, yang sering disingkat dengan KSSL, ditemukan oleh Ryantori et al. (1976) dengan mendapatkan hak paten fondasi No. 7191, di mana hak patennya dimiliki oleh PT. Dasaguna Indonesia.

Daya Dukung Fondasi

Persamaan umum kapasitas dukung Meyerhof yaitu:

$$q_u = s_c d_c i_c c N_c + s_q d_q i_q P_o N_q + s_\gamma d_\gamma i_\gamma 0,5 B' \gamma N_\gamma \dots \dots \dots (1)$$

keterangan:

- q_u = kapasitas dukung ultimit (kN/m^2)
- N_c, N_q, N_γ = faktor kapasitas dukung untuk fondasi memanjang
- s_c, s_q, s_γ = faktor bentuk fondasi
- d_c, d_q, d_γ = faktor kedalaman fondasi
- i_c, i_q, i_γ = faktor kemiringan beban
- B' = lebar fondasi efektif (m)
- P_0 = $D_f \gamma$ = tekanan *overburden* pada dasar fondasi (kN/m^2)
- D_f = kedalaman fondasi (m)
- γ = berat volume tanah (kN/m^3)

Tegangan Tanah

Penyebaran tekanan pada dasar fondasi, dihitung dengan persamaan:

$$q = \frac{\Sigma P}{A} \pm \frac{\Sigma P e_y y}{I_x} \pm \frac{\Sigma P e_x x}{I_y} \dots\dots\dots (2)$$

keterangan:

- ΣP = jumlah total beban fondasi (kN)
- A = luas total fondasi rakit (m^2)
- x, y = berturut-turut koordinat pada sembarang titik pada rakit arah x-y yang dibuat lewat pusat berat luasan fondasi (m)
- I_x, I_y = momen inersia terhadap sumbu x dan sumbu y (m^4)
- e_x, e_y = eksentrisitas searah sumbu x dan y

Tambahan tegangan vertikal akibat beban terbagi rata fleksibel berbentuk empat persegi panjang, dengan ukuran panjang L dan lebar B, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan *Boussinesq*, sebagai berikut:

$$\Delta \sigma_z = qI \dots\dots\dots (3)$$

keterangan:

- q = beban merata pada fondasi
- I = faktor pengaruh I untuk tegangan vertikal di bawah sudut luasan beban terbagi rata

Penurunan

Janbu et al.(1956), mengusulkan persamaan penurunan-segera rata-rata pada beban terbagi rata fleksibel berbentuk empat persegi panjang dan lingkaran yang terletak pada tanah elastis, homogen, dan isotropis dengan tebal terbatas, sebagai berikut:

$$S_i = \mu_1 \mu_0 \frac{qB}{E} \dots\dots\dots (4)$$

keterangan:

- S_i = penurunan segera (m)
- μ_1 = faktor koreksi untuk lapisan tanah dengan tebal terbatas H
- μ_0 = faktor koreksi untuk kedalaman fondasi D_f
- B = lebar fondasi (m)
- q = tekanan pada dasar fondasi (kN/m^2)
- E = modulus elastisitas tanah (kN/m^2)

Penurunan konsolidasi primer dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$S_c = \frac{\Delta e}{1+e_0} H = \frac{e_1 - e_0}{1+e_0} H \dots\dots\dots (5)$$

keterangan:

- Δe = perubahan angka pori akibat pembebanan
- e_0 = angka pori awal
- e_1 = angka pori saat berakhirnya konsolidasi
- H = tebal lapisan tanah yang ditinjau

Untuk lempung terkonsolidasi normal (*normally consolidated*), yaitu jika $p_0' = p_c'$ perubahan angka pori (Δe) akibat konsolidasi dinyatakan oleh:

$$\Delta e = C_c \log \frac{p_0' + \Delta p}{p_0'} \dots\dots\dots (6)$$

keterangan:

- Δe = perubahan angka pori akibat pembebanan
- C_c = indeks pemampatan
- p_0' = tekanan overburden efektif
- Δp = selisih tekanan

Skempton dan MacDonald (1995) menyarankan batas-batas penurunan maksimum seperti yang disajikan pada tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Batas Penurunan Maksimum (*Skempton dan MacDonald, 1955*)

Jenis Fondasi	Batas Penurunan Maksimum (mm)
Fondasi terpisah pada tanah lempung	65
Fondasi terpisah pada tanah pasir	40
Fondasi rakit pada tanah lempung	65-100
Fondasi rakit pada tanah pasir	40-65

METODE

Metode yang digunakan dalam penyelesaian tugas akhir ini adalah metode analisis data, yakni dengan menganalisis data tanah (sekunder) yang ada dengan menggunakan metode empiris, kemudian menghasilkan angka penurunan dan daya dukung fondasi.

- Daya dukung fondasi

Metode ini digunakan untuk menganalisis kapasitas dukung, *Meyerhof* (1963) menyarankan persamaan kapasitas dukung dengan mempertimbangkan bentuk fondasi, kemiringan beban dan kuat geser tanah di atas fondasinya.

- Penurunan

Perhitungan total penurunan dengan cara menambahkan hasil dari penurunan segera dan penurunan konsolidasi primer. Penurunan segera dihitung menggunakan persamaan *Janbu et al.* (1956) penurunan-segera rata-rata pada beban terbagi rata fleksibel berbentuk empat persegi panjang dan lingkaran yang terletak pada tanah elastis, homogen, dan isotropis dengan tebal terbatas. Penurunan konsolidasi primer dihitung pada kondisi lempung terkonsolidasi normal (*normally consolidated*). Tambahan tegangan tanah dihitung menggunakan persamaan *Boussinesq*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil analisis menggunakan metode empiris menghasilkan daya dukung fondasi dan penurunan, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Analisis Daya Dukung Fondasi dan Penurunan

Hasil Analisis	Metode Empiris
Daya Dukung Ultimit q_u (kN/m ²)	422,173
Daya Dukung Ijin q_a (kN/m ²)	140,724
Penurunan (cm)	44,846

Pembahasan

1. Metode analisis

Penggunaan rumus empiris untuk fondasi konstruksi sarang laba-laba (KSL) menggunakan rumus yang paling mendekati dengan bentuk fondasi ini yaitu fondasi rakit karena untuk rumus perhitungan fondasi ini terdapat hak paten yang belum disebar-luaskan sehingga dalam skripsi ini digunakan pendekatan yang paling cocok. Rumus ini digunakan pendekatan fondasi rakit karena struktur fondasi rakit yang hampir mirip dengan fondasi ini. Kedua fondasi ini juga cocok digunakan untuk mendukung bangunan yang terletak pada tanah lunak. Kekurangan dari metode empiris yaitu dalam perhitungan daya dukung fondasi hanya memperhitungkan faktor bentuk saja. Perhitungan menggunakan metode manual juga tidak memperhitungkan rib-rib diagonalnya dikarenakan dalam rumus daya dukung fondasi maupun penurunan tidak terdapat faktor yang dapat memperhitungkan rib-rib diagonal pada fondasi ini. Metode yang dipakai dapat disimpulkan kurangnya pengaruh rib-rib diagonal pada perhitungan dikarenakan keterbatasan pemodelan dan rumus empiris yang digunakan dalam analisis.

2. Daya dukung ijin dan penurunan ijin

Daya dukung ijin adalah tekanan fondasi maksimum yang dapat dibebankan pada tanah, sedemikian hingga kedua persyaratan keamanan terhadap daya dukung dan penurunannya terpenuhi (*Hardiyatmo, 2011*). Hasil perhitungan menunjukkan daya dukung fondasi yang didasarkan pada keamanan terhadap keruntuhan tanah telah memenuhi syarat daya dukung ijin yaitu P_{total} sebesar 25616,833 kN lebih besar dari P_{maks} yang terdapat faktor daya dukung ijin sebesar 108076,287 kN. Penurunan ijin dari suatu bangunan atau besarnya penurunan yang ditoleransikan tergantung pada beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut meliputi jenis, tinggi bangunan, kekakuan, fungsi bangunan, besar dan kecepatan penurunan, serta distribusinya. Rancangan dibutuhkan untuk dapat

memperkirakan besarnya penurunan yang masih dalam batas toleransi (Hardiyatmo,2002). Penurunan pada bangunan terlihat adanya kerusakan struktur oleh pengaruh rangkak (*creep*) karena penurunan yang terjadi sangat besar 79,414 cm. Penurunan maksimum dapat diprediksi dengan ketepatan yang memadai namun tidak untuk penurunan tak seragam. *Skempton dan MacDonald* (1955) pada Tabel 2 menyarakan batas-batas penurunan maksimum untuk jenis tanah lempung pada fondasi rakit yaitu sebesar 65-100 mm atau 6,5-10 cm, karena penurunan yang sebesar 44,846 cm maka penurunan yang terjadi melebihi batas penurunan maksimum yang berarti bangunan tidak aman terhadap penurunan ijin. Bangunan yang tidak memenuhi syarat terhadap penurunan ijin akan berdampak pada kerusakan bangunan dan amblesnya bangunan yang berakibat bangunan tidak layak pakai. Kedua penjelasan mengenai daya dukung ijin dan penurunan ijin didapat kesimpulan berupa hitungan daya dukung fondasi aman terhadap daya dukung ijin sedangkan penurunan yang terjadi melampaui batas nilai toleransinya, sehingga tekanan fondasi harus dikurangi sampai penurunan yang terjadi masih dalam batas-batas yang memenuhi persyaratan dengan cara menambahkan perkuatan pada fondasi atau merancang ulang fondasi.

3. *Review* perbandingan dengan penelitian lain

Pemilihan pembanding didasarkan pada kemiripan metode analisis, tujuan analisis, struktur fondasi, lapisan tanah, besar bangunan, dan juga jumlah lantai bangunan, akan tetapi tidak dapat 100% sama oleh karena itu dapat diambil jurnal skripsi yang paling mendekati dengan skripsi ini. Haryono dkk (2007) dengan diskripsi bangunan menggunakan fondasi terapung diatas tanah lunak dan fungsi bangunan sebagai gedung perkantoran. Gedung ini terdiri dari 6 lantai dengan lebar dan panjang bangunan yang ditinjau sebesar 22 m. Penelitian tersebut menghitung daya dukung fondasi dan penurunan menggunakan metode konvensional. Dari penjelasan diatas dapat disimpulkan penelitian tersebut dapat menjadi topik bahasan sebagai pembanding karena kondisi yang hampir mirip dengan skripsi ini. Perbedaan paling mencolok pada jumlah lantai pada bangunan dan luas bangunan. Struktur bawah bangunan juga menggunakan fondasi KSSL dengan kedalaman fondasi 1,9 m. Konstruksi fondasi ini terdiri dari pelat beton tipis menerus yang bawahnya dikakukan oleh rib-rib tegak tipis yang relatif tinggi. Rib-rib tegak pengaku penempatannya diatur sedemikian rupa sehingga rib-rib tersebut membentuk petak-petak dengan hubungan kaku/rigid. Fondasi ini sendiri digunakan sebagai fondasi yang memikul beban terpusat per kolom maka susunan rib-rib diatur sedemikian rupa sehingga titik-titik pertemuan rib-rib dengan titik kerja beban/kolom berhimpit.

Hasil penelitian dari Haryono dkk, 2007 tersebut selanjutnya akan dibandingkan dengan hasil analisis pada penelitian ini, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.

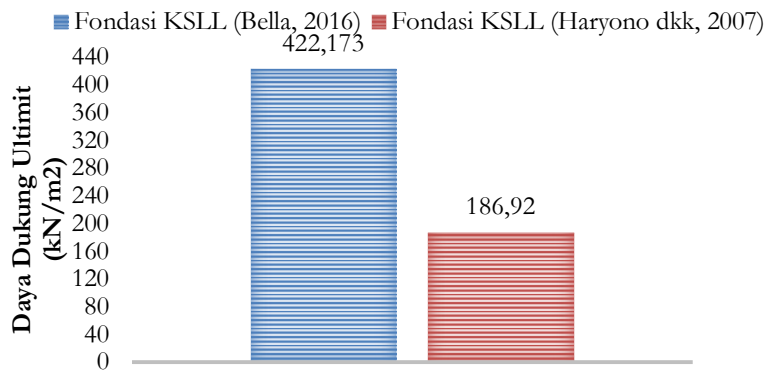
Tabel 3. Hasil penelitian fondasi KSSL

Metode	Fondasi KSSL (Bella, 2016)		Fondasi KSSL (Haryono dkk, 2007)	
	q_u (kN/m ²)	S (cm)	q_u (kN/m ²)	S (cm)
Empiris	422,173	44,846	186,92	44,901

Terdapat beberapa perbedaan metode perhitungan dalam proses analisis dari kedua penelitian ini, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.

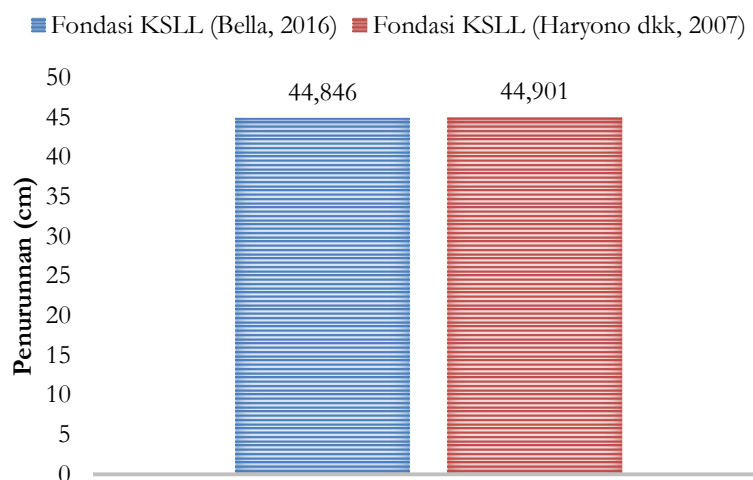
Tabel 4. Perbedaan metode perhitungan

Analisis	Fondasi KSSL (Bella, 2016)	Fondasi KSSL (Haryono dkk, 2007)
Kedalaman fondasi (D_f)	2,6 m	1,9 m
Daya Dukung Fondasi	<i>Meyerhof</i>	<i>Meyerhof</i>
Penurunan Total	$S_i + S_c$	$S_i + S_c$
Tambahan Tegangan	<i>Boussinesq</i>	<i>Newmark</i>



Gambar 1. Perbandingan daya dukung ultimit fondasi KSSL

Kedua penelitian ini menggunakan analisis daya dukung *Meyerhof* sebagai perhitungannya. Hasil daya dukung ultimit menggunakan metode empiris (Gambar 1), hasilnya lebih besar pada penelitian ini karena kedalaman fondasi D_f lebih besar yaitu 2,6 m daripada penelitian Haryono dkk yaitu 1,9 m sehingga menambah daya dukung fondasi. Hasil perhitungan berbeda dikarenakan pada proses perhitungan daya dukung menggunakan metode manual hanya berdasarkan pada rumus sederhana yang kurang mendetail dalam memasukkan parameter-parameter tanah maupun fondasi.



Gambar 2. Perbandingan penurunan total fondasi KSSL

Hasil perhitungan penurunan menggunakan metode empiris (Gambar 2), hasil penurunan besar dikarenakan pada perhitungan manual data fondasi yang dimasukkan hanya kedalaman fondasi, lebar fondasi, dan panjang fondasi sehingga rib-rib kurang berpengaruh pada hasil penuran yang mengakibatkan penurunannya lebih besar. Terdapat perbedaan dalam perhitungan tambahan tegangan tanah, penelitian ini menggunakan metode *Boussinesq* sedangkan penelitian Haryono dkk menggunakan metode *Newmark*.

Hasil perhitungan tersebut disimpulkan bahwa semakin besar daya dukung ultimit yang diperoleh maka penurunan juga semakin kecil. Kedua diagram menunjukkan perbedaan hasil perhitungan dikarenakan perbedaan dalam menentukan parameter-parameter tanah seperti sudut geser dalam (φ), kohesi (c), modulus elastisitas (E), angka *Poisson* (ν), dan konsistensi tanah lainnya yang tidak didapat dari hasil penyelidikan tanah dengan cara mengkorelasi pada perhitungan manual.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Daya dukung ultimit fondasi KSSL menggunakan metode *Meyerhof* (1963) sebesar 422,173 kN/m².
2. Penurunan segera menggunakan metode *Janbu et al.* (1956) sebesar 12,165 cm sedangkan penurunan konsolidasi primer metode *Terzaghi* (1925) sebesar 32,681 cm sehingga penurunan total yaitu sebesar 44,846 cm.
3. Rib-rib diagonal kurang berpengaruh pada perhitungan dikarenakan keterbatasan pemodelan pada rumus empiris yang digunakan dalam analisis.

4. Perbedaan hasil perhitungan disebabkan beberapa faktor yaitu dalam menentukan parameter-parameter tanah seperti sudut geser dalam (φ), kohesi (c), modulus elastisitas (E), angka *Poisson* (ν), dan konsistensi tanah lainnya yang tidak didapat dari hasil penyelidikan tanah dengan cara mengkorelasi pada perhitungan manual.
5. Proses perhitungan daya dukung menggunakan metode manual hanya berdasarkan pada rumus sederhana yang kurang mendetail dalam memasukkan parameter-parameter tanah maupun fondasi.
6. Fondasi KSSL saja kurang cocok diterapkan pada tanah lunak karena penurunan masih jauh dari batas penurunan maksimum yaitu sebesar 6,5-10 cm jenis fondasi rakit pada tanah lempung.

SARAN

Analisis menggunakan metode empiris sebaiknya ditambah dengan membandingkan dengan rumus lain seperti *Terzaghi*, *Skempton*, *Hansen*, *Vesic*, dan lain-lain sehingga lebih banyak parameter yang dijadikan sebagai pembanding dalam pembahasan hasil analisis.

Parameter-parameter tanah yang diambil dari hasil korelasi sebaiknya pada penelitian lebih lanjut menggunakan hasil dari pengujian laboratorium yang dilakukan agar hasil analisis lebih akurat.

Penurunan pada tanah lunak yang masih melampaui batas sebaiknya fondasi KSSL diberi perkuatan seperti perkuatan tiang pancang, *geogrid*, *geotextile*, cerucuk kayu/beton agar menambah daya dukung sehingga penurunan yang dihasilkan dibawah batas penurunan maksimum atau dengan kata lain penurunannya aman.

Penelitian selanjutnya lebih baik menambahkan analisis menggunakan metode elemen hingga agar hasil yang di dapat lebih akurat dan pemodelan fondasi menyerupai keadaan asli di lapangan, program geoteknik yang bisa dipakai seperti *software* Plaxis 2D atau 3D.

UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam penyusunan laporan ini, penyusun telah menerima bantuan, petunjuk, bimbingan dan saran dari berbagai pihak. Untuk itu sudah sepantasnya penyusun mengucapkan terima kasih kepada Wibowo, S.T., D.E.A. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta. Dr. Niken Silmi Surjandari, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I Skripsi yang telah memberikan arahan dan petunjuknya. Dr. Bambang Setiawan, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II Skripsi yang telah memberikan arahan dan petunjuknya. Ir. Sunarmasto, M.T. selaku Dosen Pembimbing Kerja Praktek yang telah memberikan arahan dan petunjuknya. Edy Purwanto, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang selama ini telah memberikan bimbingannya. Devi Oktaviana Latif, S.T., M.Eng., Muchyidin, S.T. dan Ika Fitri, S.T. selaku Dosen dan Laboran di Laboratorium Mekanika Tanah SV UGM yang telah membantu memberi data sekunder dan masukan. Mustofa Agung S dan Jermy Iwada S. G. selaku teman yang telah berjuang bersama dan saling membantu. Mama, papa, adik, dan kakak selaku keluarga tercinta yang telah memberikan dukungan serta arahan selama ini. Keluarga besar "Teknik Sipil Non-Reg 2014" yang telah menemani perjalanan penulis selama kuliah ini.

REFERENSI

- A. Achmad, R., dkk., 2007. *Analisa Perbandingan Penggunaan Pondasi Tiang Pancang Dengan Pondasi Sarang Laba-Laba Dilihat Dari Segi Teknis dan Ekonomis Pada Proyek Pembangunan Hotel Ibis Semarang*. Tugas Akhir. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Adiyono, 2008. *Menghitung Konstruksi Beton*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Asiyanto, 2009. *Metode Konstruksi untuk Pelaksanaan Pondasi*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Bella, T., M., 2014. *Analisis Settlement Konstruksi Sarang Laba-Laba Proyek Pembangunan Gedung BNI 46 Jl. Dr. Cipto Semarang Dengan Perkuatan Minipile Beton Menggunakan Software Plaxis Versi 8.2*. Tugas Akhir. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Canonica, L., 1991. *Memahami Pondasi*. Bandung: Angkasa.
- Cesaria, I., 2014. *Pelaksanaan Pemancangan Pondasi Tiang Pancang Metode Jack-In Pile Pada Perkuatan Fondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba (KSSL) Bangunan BNI 46 Wilayah 05 Semarang*. Tugas Akhir. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Hardiyatmo, H., C., 2002. *Teknik Fondasi 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H., C., 2007. *Mekanika Tanah 2*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H., C., 2011. *Analisa dan Perancangan Fondasi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Haryono, R., S., C., dkk., 2007. *Analisis Penggunaan Struktur Pondasi Sarang Laba-Laba Pada Gedung BNI 46 Wilayah 05 Semarang*. Tugas Akhir. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Sarjono, H.S., 2000. *Pondasi Tiang Pancang Jilid 1*. Surabaya: Sinar Wijaya.
- Irdhiani., 2007. *Analisis Deformasi Dua Dimensi Pada Raft Footing di Atas Tanah Lunak Akibat Beban Bangunan Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Skripsi. Palu: Universitas Tadulako.

- Kasturi, S., dkk., 2013. *Analisis Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal Dengan Metode Analitis dan Metode Elemen Hingga*. Skripsi. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Mulyati, E., dkk., 2006. *Kajian Penurunan dan Daya Dukung Pondasi Terapung (Floating Foundation) Pada Tanah Lunak*. Tugas Akhir. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Padang, D., W., V., 2012. *Analisis Penurunan Bangunan BNI 46 Semarang Dengan Perkuatan Pondasi Tiang Pancang Dengan Metode Jack-in Pile Menggunakan Pemrograman Plaxis Versi 8.2*. Tugas Akhir. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Purwanto, S., S., 2012. *Konstruksi Sarang Laba-Laba Atas Tanah Daya Dukung Rendah Bangunan Bertingkat Tanggung*. Skripsi. Palembang: Universitas Palembang.
- Soeharno, B., Y., 2012. *Analisis Settlement Dengan Pemrograman Plaxis Versi 8.2 Pada Bangunan Bank Negara Indonesia (BNI) 46 Kantor Wilayah 05 Semarang*. Tugas Akhir. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Subarkah, I., 1986. *Teknik Pondasi*. Bandung: Idea Darma.
- Teng, W., C., 1962. *Foundation Design*. New York: The Thirteenth Indian Reprint.