

PENGARUH PERKUATAN *PILE* TERHADAP DAYA DUKUNG PADA PEMODELAN FISIK LERENG TANAH PASIR

Herlien Indrawahyuni, Suroso, Widodo Suyadi, Yulvi Zaika

Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang
Jl. Mayjen Haryono 147 Malang

ABSTRAK

Ada kalanya pondasi harus dibangun di permukaan lereng (*on face of slope*) atau di atas lereng (*on top of slope*). Hal tersebut dikarenakan struktur atau bangunan memang harus dibangun di daerah yang tidak rata, atau bisa juga dikarenakan keterbatasan lahan datar (*plain ground*). Contoh pondasi yang harus dibangun di permukaan lereng atau di atas lereng antara lain pondasi *abutment* jembatan, *retaining walls*, dan sebagainya. Masalah yang akan timbul ketika suatu pondasi harus dibangun di permukaan lereng atau di atas lereng adalah penurunan *bearing capacity* (daya dukung) tanah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menunjukkan bahwa model lereng yang diberi perkuatan mengalami peningkatan daya dukung tanah pada lereng yang ditunjukkan dengan meningkatnya nilai *Bearing Capacity Improvement* (BCI).

Kata kunci: perkuatan lereng, *pile* dengan tulangan bambu komposit, *bearing capacity improvement*, *Finite element method* (FEM).

PENDAHULUAN

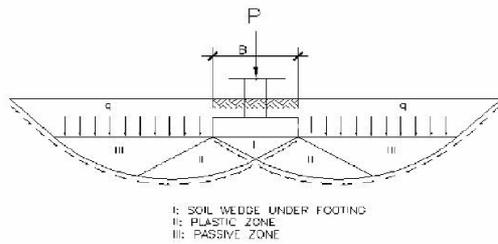
Setiap bangunan dibangun di atas tanah sehingga diperlukan tanah yang mampu untuk menopang berat bangunan yang terjadi. Baik buruknya suatu tanah tergantung pada kekuatan (*strength*) dan stabilitas (*stability*). Kekuatan tanah merupakan suatu kemampuan tanah untuk menahan gaya geser yang terjadi. Dalam hal ini struktur atau bangunan tersebut tidak boleh runtuh. Sedangkan tanah erat kaitannya dengan penurunan (*settlement*), dalam hal ini struktur atau bangunan tersebut tidak boleh berpindah dan tidak mengalami penurunan yang berbeda (*different settlement*) maupun penurunan yang berlebihan serta tidak mengalami rotasi. Salah satu metode yang paling baru untuk dikembangkan yaitu perkuatan lereng dengan menggunakan *pile*. *Pile* sebagai salah satu alternatif perkuatan lereng banyak diterapkan karena mudah dalam pemasangannya dan tidak mengganggu keseimbangan dari lereng. Penambahan perkuatan menggunakan *pile* berfungsi sebagai sebuah penahan untuk mengurangi

pergerakan tanah pada permukaan lereng. Hal ini mengakibatkan permukaan runtuhnya akan lebih panjang dan menghasilkan daya dukung yang lebih besar.

Oleh karena itu, dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh perkuatan *pile* pada permodelan fisik terhadap daya dukung (*bearing capacity*) tanah pada lereng, terutama lereng pasir. Selanjutnya akan diamati bagaimana pengaruh variabel dari perkuatan lereng seperti panjang *pile*, diameter *pile*, lokasi *pile*, dan jarak antar *pile* terhadap peningkatan daya dukung lereng dengan tanpa menggunakan perkuatan.

Daya Dukung Tanah

Menurut Terzaghi (1943), suatu pondasi didefinisikan sebagai pondasi dangkal apabila kedalaman D_f kurang atau sama dengan lebar pondasi (B), (Das, 1994). Terzaghi juga mengatakan ketika pondasi dibebani, pada tanah tepat di bawah dasar pondasi terbentuk 3 zona geser seperti yang terlihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Zona geser berdasarkan Teori Terzaghi

Daya Dukung Tanah pada Lereng Tanpa Perkuatan

Permasalahan khusus yang cukup sering terjadi dalam dunia teknik sipil khususnya geoteknik adalah pondasi yang berlokasi di dekat atau di atas lereng. Ada banyak cara menghitung daya dukung tanah untuk pondasi yang berlokasi di dekat atau di atas lereng tanpa perkuatan dengan menggunakan metode analitik, seperti metode Hansen, Vesic, GEO (1993), Meyerhof (1957) dan metode Shields (1990).

Analisis Daya Dukung Tanah pada Lereng dengan Perkuatan Pile

Daya dukung tanah pada lereng dengan perkuatan tidak dapat diselesaikan secara analitik karena sampai saat ini belum ditemukan rumus empiris. Untuk mengetahui daya dukung tanah pada lereng dengan perkuatan dilakukan penelitian di laboratorium, baik berupa *model test* maupun *prototype*. Selain melalui penelitian di laboratorium, analisis daya dukung tanah pada lereng sebelum maupun setelah diberi perkuatan *pile* dapat dilakukan dengan menggunakan pemodelan numerik atau *finite element method* (FEM) yaitu *software* PLAXIS. Hasil analisis dari program PLAXIS akan memverifikasi hasil penelitian di laboratorium. Pemodelan numerik menggunakan PLAXIS untuk memverifikasi hasil penelitian di laboratorium telah dilakukan oleh para peneliti terdahulu seperti Esmaili (2008), Bujang dkk (2006) dan Rajendran Reshma (2008), untuk pondasi di tanah datar.

Sedangkan untuk pondasi di dekat lereng telah dilakukan oleh Azzam (2010), Anil Kumar (2009), Sawwaf (2004), dan Khaled M. M. Bahloul.

Analisis Bearing Capacity Improvement (BCI)

Pengaruh adanya perkuatan baik menggunakan *pile* ataupun perkuatan yang lain, digambarkan dalam bentuk besaran non-dimensional yang biasanya disebut BCI. *Bearing Capacity Improvement* (BCI) adalah suatu rasio yang menjelaskan perbandingan antara daya dukung tanah saat diberi perkuatan dengan daya dukung tanah tanpa diberi perkuatan. Nilai BCI dapat ditentukan berdasarkan dua hal, yaitu daya dukung pada saat ultimit atau BCI_u (S. M. Marandi, 2008; P. K. Haripal dkk, 2008; E. C. Shin dkk, 2000; J. Thanapalasingam dkk, 2008; M. J. Kenny dkk, 1997) dan daya dukung pada penurunan yang sama atau BCI_s (A. Zahmatkesh dkk, 2010; S. M. Marandi, 2008).

Pada penelitian ini terdapat pengujian tanpa *pile* dan 12 variabel yang akan diujikan dengan menggunakan perkuatan. Sebelum melakukan langkah pengujian lereng menggunakan tiang terlebih dahulu dilakukan pengujian lereng tanpa perkuatan menggunakan tiang.

Metode Hansen

Pada dasarnya daya dukung yang disarankan oleh Hansen (1970) sama dengan Terzaghi, hanya dalam persamaannya memperhatikan pengaruh-pengaruh bentuk pondasi, kedalaman, kemiringan beban, kemiringan dasar dan kemiringan permukaan tanah.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada **Gambar 3**.

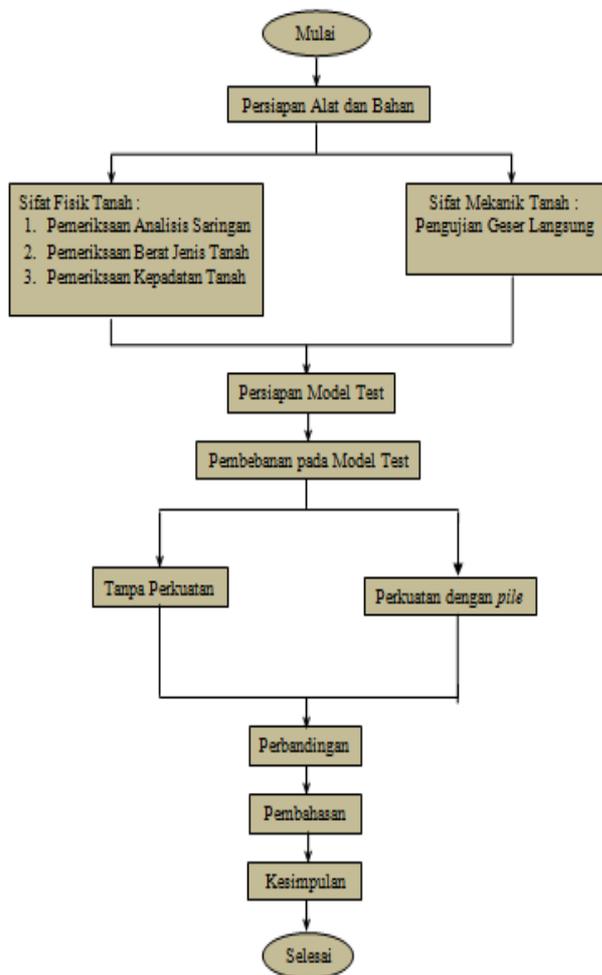
Metode Vesic

Persamaan daya dukung Vesic (1975), selengkapnya sama dengan persamaan Hansen, memberikan pengaruh-

pengaruh kedalaman, bentuk pondasi, kemiringan dan eksentrisitas beban, kemiringan dasar serta kemiringan permukaan tanah.

Metode Geo (1993)

Pada dasarnya metode GEO (1993) ini sama dengan metode Vesic, baik dalam menentukan faktor daya dukung maupun menentukan daya dukung pondasi pada lereng, yaitu menggunakan interpolasi linier antara nilai daya dukung pondasi pada ujung lereng dengan nilai daya dukung pondasi di tanah datar.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Tabel 1. Rancangan percobaan menggunakan *pile*

No	Diameter <i>Pile</i>	Panjang <i>Pile</i>	Jarak antar <i>pile</i>	Lokasi <i>Pile</i>	Beban Maksimum	Penurunan Maksimum
1	D1 = 1,27 cm	L = 40 cm	x = 10 cm	Tengah	P1 = ...	S1 = ...
	D2 = 1,905 cm				P2 = ...	S2 = ...
	D3 = 2,54 cm				P3 = ...	S3 = ...
	D4 = 3,175 cm				P4 = ...	S4 = ...
2	D = 2,54 cm	L1 = 30 cm	x = 10 cm	Tengah	P1 = ...	S1 = ...
		L2 = 35 cm			P2 = ...	S2 = ...
		L3 = 40 cm			P3 = ...	S3 = ...
		L4 = 45 cm			P4 = ...	S4 = ...
3	D = 2,54 cm	L = 40 cm	x = 7,5 cm	Tengah	P1 = ...	S1 = ...
			x = 10 cm		P2 = ...	S2 = ...
			x = 12,5 cm		P3 = ...	S3 = ...
			x = 15 cm		P4 = ...	S4 = ...
4	D = 2,54 cm	L = 40 cm	x = 10 cm	Atas	P1 = ...	S1 = ...
				Tengah	P2 = ...	S2 = ...
				Atas	P3 = ...	S3 = ...
				Bawah	P4 = ...	S4 = ...

HASIL DAN PEMBAHASAN

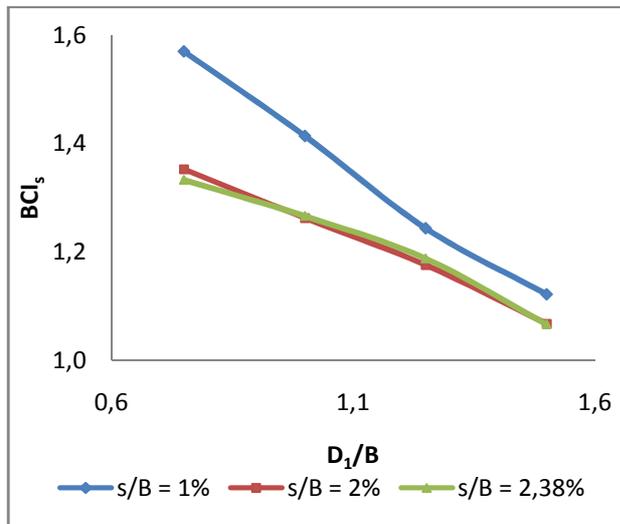
Analisa Bahan

Jenis material tanah yang digunakan pada percobaan ini menggunakan pasir lepas yang berasal dari aliran sungai di daerah Lumajang. Sebelum pasir tersebut digunakan dilakukan pengujian dasar meliputi analisis saringan, analisis pemeriksaan berat jenis, uji *direct shear* dan analisis pemeriksaan kepadatan tanah.

Hubungan Variasi Jarak Antar *Pile* terhadap *Bearing Capacity Improvement (BCI)*

Pengaruh dari perkuatan untuk meningkatkan daya dukung ultimit tanah digambarkan dalam nilai BCI. BCI merupakan perbandingan antara daya dukung menggunakan perkuatan dengan daya dukung tanpa perkuatan. Untuk penelitian ini digunakan 2 metode penentuan BCI yaitu berdasarkan dengan

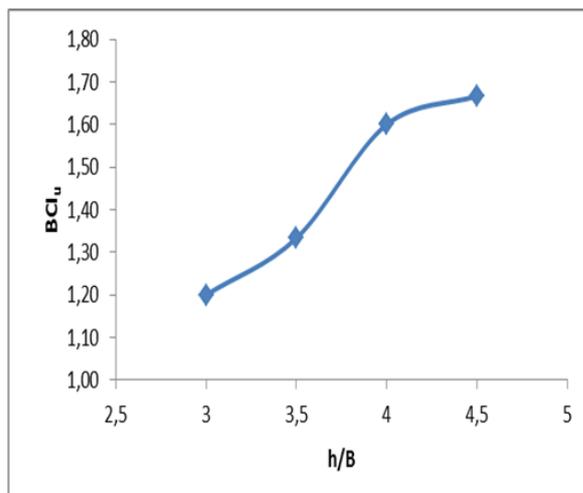
daya dukung ultimit (BCI_u) dan pada level penurunan yang sama (BCI_s).



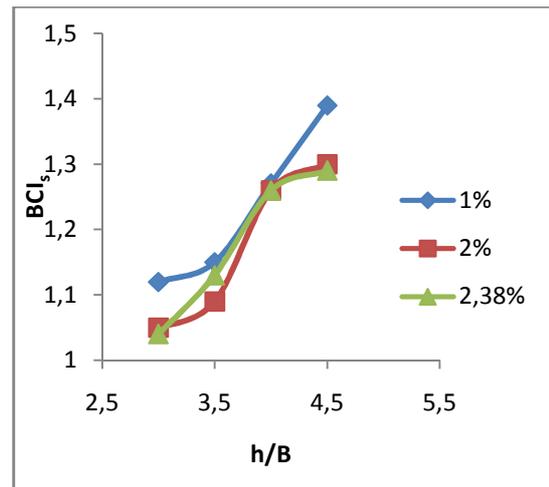
Gambar 3. Grafik hubungan antara jarak antar pile dengan BCI_s

Hubungan Variasi Panjang Pile terhadap Bearing Capacity Improvement (BCI)

Bearing Capacity Improvement (BCI) merupakan perbandingan antara nilai daya dukung perkuatan dengan daya dukung tanpa perkuatan. Ada dua metode dalam penentuan BCI, berbasis daya dukung ultimit dan berbasis rasio penurunan (s/B).



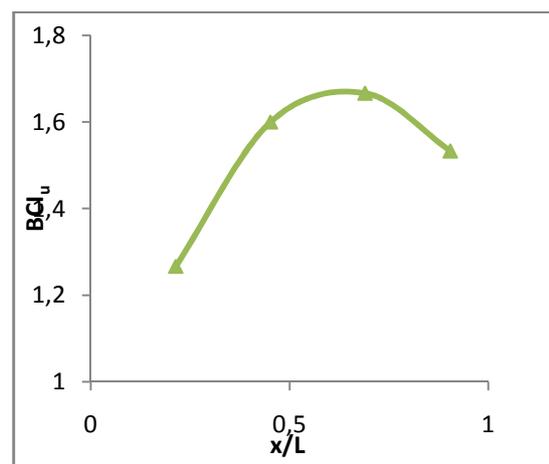
Gambar 4. Grafik BCI_u terhadap variasi panjang pile



Gambar 5. Grafik hubungan antara panjang pile dengan BCI_s

Hubungan Variasi Lokasi Pile terhadap Bearing Capacity Improvement (BCI)

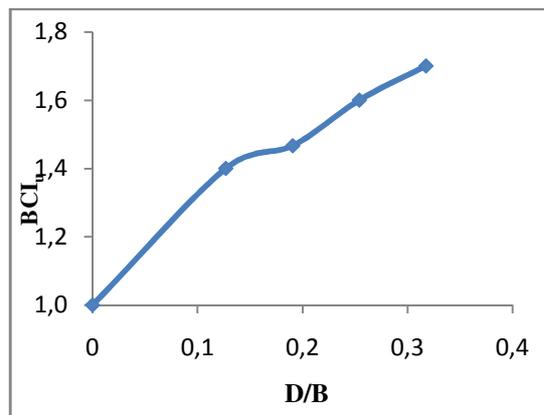
Bearing Capacity Improvement (BCI) merupakan rasio perbandingan nilai daya dukung pada lereng dengan perkuatan terhadap nilai daya dukung tanpa perkuatan. Dari rasio ini akan terlihat besarnya peningkatan daya dukung yang terjadi pada lereng menggunakan perkuatan. Nilai daya dukung yang digunakan untuk perbandingan BCI ada 2 cara penentuan yaitu berdasarkan nilai daya dukung ultimit (BCI_u) dan berdasarkan rasio penurunan (s/B) yang sama (BCI_s).



Gambar 6. Perbandingan nilai BCI_u untuk setiap lokasi perkuatan

Hubungan Variasi Diameter *Pile* terhadap *Bearing Capacity Improvement* (BCI)

Bearing Capacity Improvement (BCI) adalah suatu faktor yang menjelaskan perbandingan antara daya dukung maksimum saat diberi perkuatan *pile* dengan daya dukung maksimum tanpa perkuatan. Ada dua metode dalam menentukan BCI, antara lain berdasarkan daya dukung maksimum dan berdasarkan rasio penurunan (s/B).



Gambar 7. Grafik perbandingan BCI_u untuk setiap variasi diameter *pile*

Analisis Daya Dukung Lereng dengan Analisis *Finite Element Method* (FEM)

Program PLAXIS yang digunakan adalah PLAXIS 8.2 2D untuk menganalisis analisa secara numerik atau *finite element method* (FEM), geometri bentuk lereng yang digunakan pada program PLAXIS 8.2 sesuai dengan bentuk geometri pada pengujian. Pemodelan perilaku tanah pasir dimodelkan dengan menggunakan model *elastoplastic Mohr-Coulomb*. Pada model *elastoplastic Mohr-Coulomb* terdapat lima parameter yang dibutuhkan yaitu kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), sudut dilatansi (ψ), modulus tanah (E), dan rasio poisson (ν). Nilai daya dukung didapatkan dengan membagi hasil beban vertikal maksimum yang terjadi pada bawah pondasi dengan luas pondasi. Adapun parameter yang

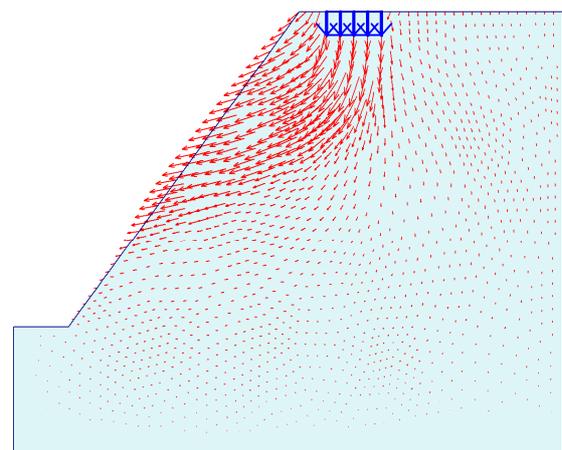
digunakan untuk digunakan pada perhitungan dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Parameter material yang digunakan pada analisis FEM

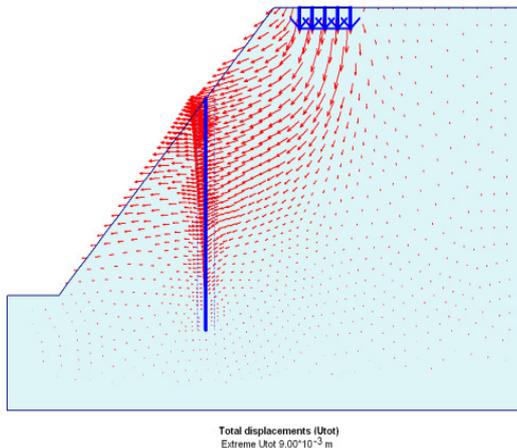
Parameter	Satuan	Nilai
Perilaku Tanah	-	<i>Drained</i>
Kohesi (c)	kN/m ²	0,5
Sudut geser dalam (ϕ)	°	38,68°
Berat isi kering tanah (γ_d)	kN/m ³	16,1
Rasio poisson	-	0,3

Pengaruh Perkuatan *Pile* terhadap Daya Dukung Lereng

Pada saat lereng dibebani dekat di tepi lereng, tanah bergerak bebas menuju arah lereng. Pergerakan tersebut dapat dilihat pada gambar 8, hal ini mengakibatkan daya dukung yang terjadi lebih rendah daripada saat pada kondisi di tanah datar. Dengan adanya perkuatan pada lereng dengan menggunakan *pile* seperti pada gambar 9, maka fungsi *pile* itu sendiri sebagai penahan pergerakan tanah agar tidak langsung bergerak bebas menuju lereng. Pengaruh dari perkuatan *pile* itu sendiri mengakibatkan adanya kenaikan daya dukung pada lereng.



Gambar 8. Perpindahan vektor untuk lereng tanpa perkuatan



Gambar 9. Perpindahan vektor untuk lereng dengan perkuatan *pile* pada posisi tengah atas

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Adapun dari hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan :

1. Perkuatan lereng menggunakan *pile* dapat meningkatkan daya dukung tanah yang terjadi secara signifikan. *Pile* itu sendiri ternyata efektif untuk menahan pergerakan tanah agar tidak bergerak bebas menuju permukaan lereng.
2. Panjang *pile* memegang peranan dalam meningkatkan daya dukung pada lereng, bahwa semakin panjang *pile* maka semakin meningkat pula daya dukung tanah yang terjadi pada lereng.
3. Semakin besar ukuran diameter pada *pile* maka akan meningkatkan daya dukung yang terjadi secara signifikan.
4. Nilai daya dukung maksimum didapatkan ketika jarak antar *pile* semakin rapat.
5. Posisi perkuatan di posisi tengah atas lereng memberikan nilai daya dukung yang paling optimum.

Saran

Analisa penelitian ini belum meliputi semua kondisi yang ada di lapangan, maka

dari itu untuk yang akan datang diharapkan penelitian ini :

1. Sebaiknya lebih sering mengontrol kadar air dan kepadatan model sehingga didapatkan kadar air dan kepadatan yang baik sesuai dengan asumsi awal.
2. Melakukan pengulangan percobaan yang lebih banyak lagi agar memperoleh tingkat validitas yang tinggi.
3. Sebaiknya peralatan yang digunakan pada penelitian harus dalam kondisi yang baik karena selama penelitian ini terdapat kerusakan pada beberapa alat seperti *dial gauge*, *proving ring* dan dongkrak hidrolis yang bocor.
4. Menggunakan metode pemadatan yang lain karena pada penelitian ini hanya dilakukan metode pemadatan dengan cara pemadatan dengan menumbuk menggunakan alat *proctor*. Diharapkan untuk selanjutnya bisa menggunakan metode pemadatan dengan metode pemadatan dengan metode menggilas atau metode *sand raining*.
5. Memberikan variasi sudut lereng yang lain, karena pada penelitian ini hanya menggunakan 1 sudut lereng yaitu 50° .
6. Memberikan variasi bentuk pondasi beban dalam berbagai bentuk karena pada penelitian ini hanya digunakan 1 jenis pondasi beban yaitu pondasi beban persegi panjang.
7. Melakukan penelitian dengan *full-scale model test* atau *centrifugal model test* untuk mengetahui keadaan di lapangan yang sesungguhnya.

DAFTAR PUSTAKA

Das, Braja M. 1984. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Jakarta: Penerbit Erlangga.

- Kumar, S.V. Anil and K. Ilamparuthi. 2009. *Response of Footing on Sand Slopes*. Indian Geotechnical Society Chennai Chapter.
- Meyerhof, G.G. 1957. *The Ultimate Bearing Capacity of Foundations on Slopes*. London: The Proceedings of the Fourth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering.
- Marandi, S. M. dkk. 2008. *Numerical Investigation Into the Behavior of Circular Pad Shallow Foundations Supported by Geogrid Reinforced Sand*. Civil Engineering Department, Bahonar University, Kerman, Iran.
- Kenny, M. J. and Andrawes, K. Z. 1997. *The Bearing Capacity of Footings on a Sand Layer Overlying Soft Clay*. University of Strathclyde.
- Reshma, Rajendran and Johnson, Arvee Sujil. 2008. *Model and Prototype Testing of Well Rings as Foundation for Residential Buildings*. College of Engineering, Kerala, India.
- Suroso, As'ad Munawir, dan Herlien Indrawahyuni. *Buku Ajar Teknik Pondasi*. Malang: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering and Development Department, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region. 2006. *Foundation Design and Construction*. Hong Kong.