



Reabilitas Daya Dukung Pondasi Tiang Bor Berdasarkan Formula Reese & Wright dan Usulan Load Resistance Factor Design dalam Perencanaan Pondasi Tiang Bor Studi Kasus Proyek Jakarta

Yudhi Lastiasih

S3 Teknik Sipil FTSL Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10 Bandung 40132
E-mail: yudhi.lastiasih@gmail.com

Masyhur Irsyam

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10 Bandung 40132
E-mail: masyhur.ir@gmail.com

Indra Djati Sidi

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10 Bandung 40132
E-mail: indradjati@gmail.com

FX Toha

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10 Bandung 40132
E-mail: fxtoha@indo.net.id

Abstract

Design bored pile foundation often use formulae of Reese and wright (1977) on projects heild in Jakarta. The safety factor often use on the design foundation on project in Jakarta are generally 2 or 3. By using advance First Order Liability Method to analysis design foundation, the result showed that the design was very conservative. Proven by the safety index for this design is 2.68 where's the equivalent of failure probably 3.72×10^{-3} , this result is less than requirement of failure probability 1×10^{-2} . Lastiasih (2012) propose the use of multiple safety factors by applying Load Resistance Factor Design (LRFD) in accordance with the design of building age so as not to use single safety factor again. Further more the design of bored pile foundation become more efficient.

Keywords: *Safety index, First order reliability method, LRFD*

Abstrak

Perencanaan pondasi tiang bor sering menggunakan formula dari Reese & Wright (1977) pada proyek-proyek yang dilaksanakan di Jakarta. Angka keamanan yang sering dipakai pada perencanaan pondasi pada proyek di Jakarta umumnya adalah 2,5 atau 3. Bila dilakukan analisis ststistika dengan menggunakan Advance First Order Reliability Method maka perencanaan yang selama ini dilakukan ternyata direncanakan dengan sangat konservatif. Terbukti dengan safety index yang ada pada perencanaan selama ini adalah 2,68 dimana setara dengan probibiltas keruntuhan $3,72 \times 10^{-3}$ sedangkan probibiltas keruntuhan yang disyaratkan adalah sebesar 1×10^{-2} . Berdasarkan data-data perencanaan yang ada di Jakarta maka Lastiasih (2012) mengusulkan penggunaan multi angka keamanan dengan menerapkan Load Resistance Factor Design (LRFD) sesuai dengan umur rencana bangunan sehingga tidak menggunakan angka keamanan tunggal lagi. Sehingga diharapkan perencanaan desain pondasi menjadi lebih efisien.

Kata-kata kunci: *Safety index, First order reliability method, LRFD.*

Pendahuluan

Pada bidang geoteknik perencanaan pondasi dari segi pembebanan menganggap karakter semua beban adalah sama sehingga faktor keamanan yang diambil menjadi sangat konservatif. Sebenarnya karakter dari beban mati, beban hidup, beban angin dan beban gempa adalah berlainan tergantung juga segi umur bangunan tersebut, sehingga tidak bisa menganggap hanya satu angka faktor keamanan.

Dari segi umur bangunan, semakin lama umur bangunan tersebut maka beban yang diterima oleh bangunan dan kemudian ditransfer ke pondasi kemungkinan menerima beban yang lebih besar. Dengan memperhatikan banyak ketidakpastian seperti yang telah disebutkan, maka dalam perencanaan daya dukung ultimate pondasi tiang diperlukan angka keamanan yang lebih *reliable* berdasarkan tingkat risiko yang diinginkan.

Sudah banyak studi terdahulu yang melakukan penelitian terhadap daya dukung pondasi terutama pada pondasi tiang pancang dengan pendekatan probabilistik maupun korelasi terhadap satu jenis tes penyelidikan tanah lapangan maupun laboratorium. Antara lain sudah dilakukan penelitian untuk memodelkan probabilitas dari semua sumber ketidakpastian untuk memperkirakan kapasitas tiang pancang pada tanah kohesif (Sidi, 1986), menilai reabilitas pondasi tiang pancang dengan menggunakan metode *First Order Reliability Method* (FORM) (Afologan, Opeyemi, 2008) maupun menggunakan metode *Load Resistance Factor design* (McVay et.al, 2000).

Studi-studi terdahulu yang sudah memakai pendekatan probabilistik masih menggunakan pendekatan yang sederhana sedangkan pada penelitian ini akan mencoba menggunakan pendekatan dengan metode *Advance First Order Second Moment*. Dari berbagai penelitian sebelumnya terlihat bahwa peninjauan untuk tiang bor belum banyak diteliti, baik itu reliabilitas dari kapasitas tiang maupun metode yang selama ini dipakai dalam pelaksanaan pondasi tiang bor.

Metode Penelitian

Berdasarkan data yang diperoleh dari Dinas P2B ternyata perencanaan pondasi yang sering dipakai di Jakarta adalah dengan menggunakan *Reese dan O'Neil* (1988) serta *Reese dan Wright* (1977). Pada penulisan kali ini akan dibahas dengan menggunakan *Reese dan Wright*. Adapun formula dari *Reese dan Wright* adalah sebagai berikut:

Daya dukung pondasi tiang bor

Formula daya dukung pondasi berdasarkan *Reese dan Wright* (1977) untuk tiang bor mengikuti formula sebagai berikut:

$$Q_p = 9 \times c_u \times A_p(\text{ton}) \dots\dots\dots (1)$$

Daya dukung ujung tiang (Q_p) untuk tanah non kohesif:

$$Q_p = \frac{40}{0.3048^2} \times A_p(\text{ton}) \text{ untuk } N_{SPT} > 60 \dots\dots (2)$$

$$Q_p = \frac{2}{3} \times \frac{1}{0.3048^2} \times N \times A_p(\text{ton}) \text{ untuk } N_{SPT} \leq 60 \dots\dots (3)$$

Daya dukung selimut tiang (Q_s) untuk tanah kohesif:

$$Q_s = C_u \times a \times p \times \Delta l(\text{ton}) \dots\dots\dots (4)$$

Daya dukung selimut tiang (Q_s) untuk tanah non kohesif:

$$Q_s = 0.32 \times N \times p \times \Delta l(\text{ton}) \text{ untuk } N_{SPT} < 53 \dots\dots\dots (5)$$

$$Q_s = \left(\frac{N-53}{450}\right) \times \frac{1}{0.3048^2} \times p \times \Delta l(\text{ton}) \text{ untuk } N_{SPT} \geq 53 \dots\dots (6)$$

Sehingga daya dukung ujung ultimate merupakan penjumlahan dari daya dukung ujung dan daya dukung selimut tiang seperti persamaan 7.

$$Q_u = Q_p + Q_s \dots\dots\dots (7)$$

dimana:

- Q_p = daya dukung ujung tiang.
- Q_s = daya dukung selimut tiang.
- Q_u = daya dukung ultimate tiang.
- c_u = kohesi tanah (ton/m²)
- A_p = luas permukaan tiang (m²)
- P = keliling tiang (m)
- α = koreksi factor.
- N = nilai N_{SPT} tanah.
- Δl = kedalaman tiang yang ditinjau.

Dari Lastiasih (2012) diperoleh faktor koreksi yang harus diterapkan jika estimasi perhitungan daya dukung pondasi bor dihitung dengan menggunakan *Reese dan Wright* (1977) dan daya dukung *ultimate* pondasi diuji dengan menggunakan metode interpretasi dari Chin (1970), Mazurkiewicz (1972) dan Vander Veen (1953). Setelah mengetahui formula dan nilai koreksi yang akan dipakai maka dengan menggunakan bantuan *Advance First Order Reliability Method* maka akan didapatkan besarnya *safety index* dari perencanaan yang telah dilakukan, dengan asumsi awal menggunakan nilai angka keamanan 2 s/d 3. Adapun *Advance First Order Reliability Method* dapat dijelaskan sebagai berikut:

Keamanan yang diberikan tiang digambarkan dengan probabilitas keruntuhan, P_f . P_f didefinisikan sebagai probabilitas dimana tahanan R lebih kecil daripada beban Q atau probabilitas keruntuhan (P_f) = $P(R < Q)$ atau

$$P_f = P(R < Q)$$

$$P_f = P(R - Q \leq 0)$$

$$P_f = P(z \leq 0) \dots \dots \dots (8)$$

$$P_f = \Phi \left(\frac{0 - \mu_z}{\sigma_z} \right)$$

$$P_f = \Phi \left(\frac{-\mu_z}{\sigma_z} \right)$$

$$P_f = 1 - \Phi \left(\frac{\mu_z}{\sigma_z} \right)$$

$$P_f = 1 - \Phi(\beta) \dots \dots \dots (9)$$

Dengan menggunakan *Advance First Order Reliability Method* maka dapat diperoleh *reliability index* (β) sebagai berikut:

$$\beta = \frac{\mu_z}{\sigma_z} = \frac{\mu_R - \mu_Q}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_Q^2}} \dots \dots \dots (10)$$

dimana:

- Z = *performance function*.
- Φ = probabilitas normal standar.
- B = *safety index*.
- μ_z = rata-rata dari *performance function*.
- σ_z = standar deviasi dari *performance function*.
- μ_R = rata-rata nilai tahanan.
- σ_R = standar deviasi dari nilai tahanan.
- μ_Q = rata-rata dari nilai beban.
- σ_Q = standar deviasi dari nilai beban.

Setelah mengetahui *safety index* dari perencanaan yang biasanya dipakai maka untuk mendapatkan multi angka keamanan berdasarkan umur bangunan dan asumsi distribusi beban pada masing-masing beban baik itu beban hidup, mati maupun gempa maka dapat dicari *Load Resistance Factor Design* (LRFD) berbeda dengan *Allowable Stress Design* (ASD), pada ASD menggunakan kriteria satu faktor angka keamanan sedangkan pada LRFD mengacu pada multi faktor angka keamanan yang mengacu pada variasi dari beban dan tahanan yang dibagi kedalam beberapa faktor.

Jadi LRFD adalah formula perbandingan dari beban dan tahanan untuk kondisi batas kekuatan yang dinyatakan pada persamaan 11. Persamaan 11 adalah persamaan LRFD dari substruktur {Barker et.al (1991), Whitism et.al (1997)}

Tahanan \geq pengaruh dari beban atau

$$\phi R_n \geq \eta \sum \gamma_i Q_i \dots \dots \dots (11)$$

$$\phi R_n = \gamma_D D_n + \gamma_L L_n + \gamma_E E_n$$

$$\phi R_n = \gamma_D D_n + \gamma_L \alpha D_n + \gamma_E \theta D_n$$

$$\phi R_n = (\gamma_D + \gamma_L \alpha + \gamma_E \theta) D_n$$

$$R_n = \frac{(\gamma_D + \gamma_L \alpha + \gamma_E \theta) D_n}{\phi}$$

$$T_n = D_n + L_n + E_n$$

$$T_n = D_n + L_n + E_n$$

$$T_n = D_n + \alpha D_n + \theta D_n$$

$$T_n = (1 + \alpha + \theta) D_n$$

$$SF = \frac{R_n}{T_n}$$

$$SF = \frac{(\gamma_D + \gamma_L \alpha + \gamma_E \theta) D_n}{(1 + \alpha + \theta) D_n} = \frac{[(\gamma_D + \gamma_L \alpha + \gamma_E \theta)]}{(1 + \alpha + \theta)}$$

Dimana:

- T_n = beban nominal.
- D_n = beban mati nominal
- L_n = beban hidup nominal
- E_n = beban gempa nominal
- ϕ = faktor tahanan (tanpa satuan)
- α = rasio beban hidup nominal terhadap beban mati nominal
- θ = rasio beban gempa nominal terhadap beban mati nominal
- Q_i = beban (beban mati, hidup, gempa) (ton)
- γ_i = faktor beban (tanpa satuan)
- η = faktor untuk menghitung pengaruh duktilitas, redundansi dan kepentingan pelaksanaan. (1,05 untuk struktur yang dianggap penting, 1 untuk struktur khusus dan 0,95 untuk struktur yang kurang penting)

Dengan data perencanaan pondasi yang sudah ada maka dicoba diuji apakah perencanaan yang selama ini dipakai bila ditinjau dengan menggunakan metode *Advance First Order Reliability* sudah memenuhi kriteria bahwa perencanaan dapat diterima bila $\beta=3,09$ untuk sementara dan $\beta=2,325$ untuk beban tetap atau setara dengan probabilitas keruntuhan sebesar 1×10^{-3} untuk beban sementara 1×10^{-2} untuk beban tetap.

Hasil dan Pembahasan

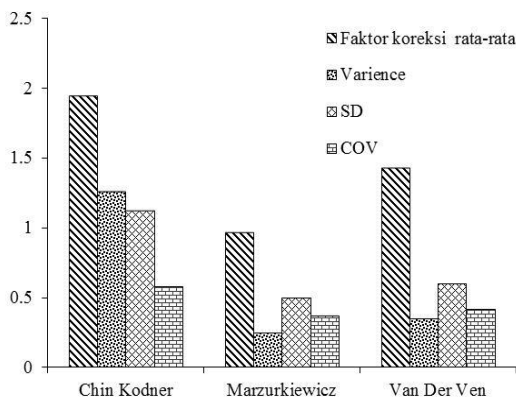
Lastiasih (2012) melakukan analisa secara statistika terhadap keandalan dari metode *Reese* dan *Wright* (1977) dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 2. Bahwa apabila estimasi perhitungan daya dukung pondasi tiang bor

menggunakan metode *Reese* dan *Wright* (1977) maka Q_{ult} hasil dari metode interpretasi uji beban tiang harus dibagi dengan nilai faktor koreksi supaya Q_{ult} yang dihasilkan antara perhitungan *Reese* dan *Wright* (1977) besarnya relatif sama dengan nilai Q_{ult} hasil interpretasi uji beban.

Adapun faktor koreksi yang dapat dipakai dapat dilihat pada Tabel 1. Pada Tabel 1 dan Gambar 1 terlihat bahwa interpretasi uji beban yang akurat adalah menggunakan *Marzurkiewicz* (1972) dimana nilai faktor koreksi rata-ratanya dan COV yang dimiliki oleh *Marzurkiewicz* (1972) memiliki nilai yang tidak jauh berbeda dengan Q_{ult} yang berasal dari perhitungan dengan menggunakan *Reese* dan *Wright* (1977).

Tabel 1. Nilai faktor koreksi rata-rata, variance, standar deviasi (SD) dan CO (Lastiasih, 2012)

Keterangan	Qmetode/Q _{RW}		
	Chin Kodner	Marzurkiewicz	Van Der Ven
Faktor koreksi rata-rata	1.94	1.97	1.43
Variance	1.26	0.25	0.35
SD	1.12	0.50	0.60
COV	0.58	0.37	0.42



Gambar 1. Nilai faktor koreksi rata-rata, variance, standar deviasi (SD) dan COV (Lastiasih, 2012)

Sedangkan untuk mengetahui tingkat keamanan perencanaan di Jakarta apabila dilakukan dengan menggunakan perhitungan *Reese* dan *Wright* (1977), maka dilakukan studi kasus pada salah satu proyek di Jakarta. Dengan perhitungan daya dukung pondasi sebagai berikut: diketahui:

- Beban hidup normal (L_n) = 232,625 ton,
- Beban hidup yang dipakai $L_n = 0,4 \times 232,625 = 93,05$ ton
- Beban mati nominal (D_n) = 892,05 ton
- Beban gempa nominal (E_n) = 51,91 ton
- Total beban bekerja = 1037,01 ton
- Daya dukung ijin pondasi nominal (Q_n) = 100 ton
- Daya dukung ijin pondasi rata-rata = 166,74
- Angka keamanan (SF) = 2
- Kebutuhan tiang = 10

Jadi 1 tiang menerima:

- Beban hidup nominal (L_n) = 9,31 ton
- Beban mati nominal (D_n) = 89,21 ton
- Beban gempa nominal (E_n) = 5,19 ton

Dengan menggunakan asumsi bahwa distribusi untuk beban hidup adalah log normal, beban mati berdistribusi normal dan beban gempa berdistribusi beta, maka setelah dianalisa dengan menggunakan *advance first order reliability method* untuk variasi umur bangunan 20 tahun, 50 tahun dan 100 tahun dan variasi beban hidup rata-rata terhadap nominal berdasarkan Galambos (2004) dan kondisi lapangan, maka diperoleh *safety index* dan probabilitas keruntuhan seperti yang terlihat pada Tabel 2.

Perbedaan yang ada pada perencanaan umur bangunan 20 tahun, 50 tahun dan 100 tahun adalah pada beban gempanya. Semakin lama perencanaan umur bangunan maka untuk terlampaunya beban gempa yang lebih besar dari perencanaan akan semakin besar sehingga mengakibatkan probabilitas keruntuhan pada pondasi tersebut menjadi lebih besar. Sehingga semakin lama umur bangunan maka *safety index* yang dipunyai semakin kecil dan probabilitas keruntuhan yang terjadi semakin besar seperti yang terlihat pada Tabel 2. Pada Tabel 2 terlihat bahwa pengaruh dari beban gempa tidak begitu signifikan terhadap perubahan probabilitas keruntuhan, hal ini dikarenakan perencanaan bangunan di Jakarta rata-rata menggunakan *gravity load*.

Pada umumnya perencanaan pondasi yang dilakukan menggunakan angka keamanan tunggal. Pada penelitian kali ini akan dicoba untuk mengusulkan penggunaan multi angka untuk masing-masing beban sehingga dapat dicapai perencanaan yang setara dengan penggunaan angka keamanan tunggal.

Tabel 2. Safety index dan probabilitas keruntuhan

Keterangan	Distribusi	Rasio nilai rata-rata terhadap nominal			Rasio nilai rata-rata terhadap nominal pada kondisi sesungguhnya		
		n = 20	n = 50	n = 100	n = 20	n = 50	n = 100
		tahun	tahun	tahun	tahun	tahun	tahun
Tahanan	Log normal	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67
Beban mati	Normal	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
Beban hidup	Type 1	1.15	1.15	1.15	0.3	0.3	0.3
Beban gempa	Beta	1.01	1.33	1.51	1.01	1.33	1.51
β		2.68	2.66	2.63	2.77	2.7	2.72
		3.72E-03	3.94E-03	4.25E-03	2.81E-03	2.98E-03	3.24E-03

Sesuai *safety index* yang dipunyai pada masing-masing umur perencanaan bangunan maka dapat digunakan multi faktor keamanan yang diwakili oleh faktor-faktor dari beban dan dari tahanan seperti terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Faktor beban dan angka keamanan tunggal.

n = 20 tahun					
β	ϕ	Υ_D	Υ_L	Υ_E	SF
2	1,055	1,091	1,168	1,033	1,027
2,5	0,689	1,142	1,187	1,023	1,654
3	0,579	1,205	1,212	1,030	2,066
n = 50 tahun					
β	ϕ	Υ_D	Υ_L	Υ_E	SF
2	1,049	1,087	1,166	1,336	1,030
2,5	0,685	1,140	1,186	1,335	1,660
3	0,571	1,202	1,210	1,336	2,091
n = 100 tahun					
β	ϕ	Υ_D	Υ_L	Υ_E	SF
2	1,047	1,085	1,166	1,509	1,031
2,5	0,684	1,139	1,185	1,508	1,662
3	0,567	1,200	1,209	1,509	2,102

Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan terhadap formula daya dukung pondasi dengan menggunakan *Reese* dan *Wright* (1977) maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Bahwa bila dilakukan perencanaan pondasi dengan menggunakan *Reese* dan *Wright* (1977) dan dilakukan uji beban tiang, maka nilai interpretasi dari hasil uji beban tiang harus dibagi dengan suatu faktor koreksi.
2. Bahwa perencanaan pondasi yang selama ini dilakukan di Jakarta bila direncanakan dengan SF = 2 dan umur bangunan 20 tahun setara dengan *safety index* sebesar 2,68 sehingga mempunyai probabilitas keruntuhan $3,72 \times 10^{-3}$.

3. Dalam perencanaan pondasi tiang bor dengan menetapkan *safety index* yang diinginkan maka dapat ditentukan angka keamanan tunggalnya maupun multi angka keamanan dengan menggunakan *load resistance factor design* (LRFD).
4. Bila rasio beban hidup rata-rata terhadap beban hidup nominal menggunakan rasio dari Galambos (2004) maka probabilitas keruntuhan yang terjadi semakin besar dibandingkan dengan bila memakai rasio yang terjadi sesungguhnya di lapangan. Probabilitas keruntuhan untuk umur bangunan yang sama dengan menggunakan rasio dari Galambos (2004) sebesar $3,72 \times 10^{-3}$ sedangkan bila menggunakan rasio yang terjadi sesungguhnya dilapangan sebesar $2,81 \times 10^{-3}$. Hal ini berarti perencanaan pondasi selama ini sangat konservatif, karena probabilitas keruntuhan yang disyaratkan untuk beban sementara adalah 1×10^{-2} .

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada hasil uji beban vertical kali ini maka perlu ditinjau lebih jauh apabila dilakukan pada hasil uji beban lateral, sehingga dapat diketahui juga faktor koreksi yang harus diterapkan pada perhitungan daya dukung lateral. Selain itu dapat juga dilakukan untuk formula perhitungan daya dukung pondasi dengan menggunakan metode yang lainnya.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Dinas P2B Jakarta yang telah mengijinkan penggunaan data uji beban tiang, perencanaan pondasi dan penyelidikan tanah.

Daftar Pustaka

Aashto, 1998, 1999. LRFD *Bridge Design Specification*. American Association of State

Highway and Transportation Official, Customary U.S Unit (2nd edition), Washington D.C.

Abdelrahman, G. E., 2003. *Prediction of Ultimate Pile Load from Axial Load Test and Penetration Test*, <http://www.fayoum.edu.eg/..paper6gs.pdf>, [6 Agustus 2010].

Afolagan, J. O., Opeyemi, 2008. Reability Analysis of Static Pile Capacity for concrete in Cohesive and Cohesionless Soils, *Medwell Journal, Research Journal of Applied Sciences*, 3(5): 407-411.

Ang, Alfrado. H. S. dan Tang, Wilson, 1984. Reability and Reability Based Design, *Probability Concepts in Engineering Planning and Design*, Volume II : Decision, Risk and Reability, Willey.

Barker, R. M., Duncan, J. M., Rojiani K. B., Ooi, P. S. K., dan Kim, S. G., 1991. Manual for the Design of Bridge Foundation, *Tranportation Research Board NCHRP Rep No. 343*, National Cooperative Highway Research Program, Washington. D. C.

Galambos, 2004. *Reability of The Member Stability Criteria in the 2005 ALSC Specification, Steel Structure*, <http://www.asce.or.id>, [4 Juni 2011]

Goble, George G., Husein, Mohamad H., 2000. Deep Foundation Capacity-What is it?, *Performance Confirmation of Constructed Facilities*.

Kulhawy, F. H., dan Mayne, P. W., 1990. *Manual on Estimating Soil Prperties for Foundation Design*, Electric Power Research Institute, Palo alto, California.

Lastiasih, Yudhi, 2012. Reliability evaluation of Axial Bored Pile Bearing Capacity in City of Jakarta. *Proceeding Fifth Asian-Pasific Symposium on Structural Reliability and its Applications (5APSSRA)*, Singapore.

Lastiasih, Yudhi, 2012. *Studi Reabilitas Metode Perkiraan Daya Dukung Pondasi berdasarkan Hasil Uji Beban Tiang di Indonesia*, PIT HATTI. Jakarta.

Lee, Junhwan., Kim. Minki. Lee, Seung Hwan, 2009. Reability analysis and Evaluation of LRFD

Resistance Factor for CPT-Based Design of Driven Piles, *Geomechanics and Engineering*, Vol. 1, 17-34.

Reese, Lymon C. and Wright, Stephen J, 1977. *Drilled Shaft Manual*, Washington, D. C: U. S. Dept. of Transportation Federal Highway Administration, Offices of Research and Development, Implementation Division.

Marzurkiewicz, B. K., 1972. Test Loading of oiles according to Polish Regulations, *Royal Swedish Academy of Engineering Sciences Commissions on Pile Reseach*, Report no 35, Stockholm.

Mcvay, C. M., Birgisson B., Zhang, L. M., Perez, A., dan Putcha, S2000. *Load and Resistance Factor Design (LRFD) for Driven Piles Using Dynamic Method-AFlorida Perspective*, *Geotechnical Testing Journal, GTJODJ*, 23(1), 55-66.

McVay, M. C., Badri, Duruva., Hu, Z., 2004. Determination of Axial Pile Capacity of Pressressed Cobcrete Cylinder Piles, *Technical report, Univercity of Florida*.

O'Neil, M. W., dan Reese, L. C., 1999. Drilled Shaft: Costruction Procedures and Design Method, *Report. FHWA-IF-99-025*, prepared for the US Departement of Transportation, Federal Highway administration.

Reese, L. C., and O'Neil, M. W., 1998. *Drilled Shaft: Construction Procedures and Design Methods*, U. S. Departement of Transportation, FHWA, Offic Implementation, McLean, VA.

US Army Corp of Engineer, 1991. Design of Pile Foundation, *Engineering Manual*, EM 1110-2-2906, <http://www.geotechlinks.com/fe.php>, [12 Oktober 2009]

Sidi, Indra Djati, 1986. *Probabilistic Prediction of Friction Pile Capacities*, Desertation of PhD, Urbana Illinois.

Whitiam, J. L., Voytko, E. P., Barker, R. M., Dunca, J. M., Kelly, B. C., Musser, S. C., dan Elias, V., 1997. Load and Resistance Design (LRFD) for Highway Bridge Substructures, *Federal Highway Administration*, Washington DC.