

EVALUASI PERENCANAAN PONDASI BORE PILE DAN ABUTMENT PADA PEMBANGUNAN JEMBATAN BARU SEI WAMPU (MYC)

Oleh:
Boby Frans C Simbolon
Universitas Darma Agung, Medan
E-mail:
bobyfrans@gmail.com

ABSTRACT

Pile foundations or also called deep foundations serve to carry and withstand the loads that work on them, namely the construction load on the hard soil layer. In planning the pile foundation must be done carefully and as well as possible. Each foundation must be able to support loads up to a predetermined safety limit, including supporting the maximum load that may occur. The purpose of this study is to calculate the carrying capacity of bored piles from SPT data and calculate abutment stability on the Sei Wampu bridge, Stabat. The allowable lateral forces and the settlement of the foundation that occur also need to be known. The methodology of data collection is the method of observation, collecting data from the implementing contractor and conducting a library study. Based on the results of the calculation of the carrying capacity of the bored pile foundation using SPT data, and the Reese and Wright method, the value of the carrying capacity of the bored pile foundation is obtained, namely $Q_{all} = 3390.70$ kN and the carrying capacity of the pile group is 38816.73 and the load carried by the bored pile foundation is equal to, $P_u = 35208.96$ kN. From the analysis of the abutment stability, it is found that the bridge abutment is safe against the loading that occurs

Keywords: *Bored Pile Foundation, Bearing Capacity Of Bored Pile Foundation, Abutment Stability*

ABSTRAK

Pondasi tiang atau disebut juga pondasi dalam berfungsi untuk memikul dan menahan beban yang bekerja di atasnya yaitu beban konstruksi atas ke lapisan tanah yang keras. Dalam perencanaan pondasi tiang harus dilakukan dengan teliti dan sebaik mungkin. Setiap pondasi harus mampu mendukung beban sampai batas keamanan yang telah ditentukan, termasuk mendukung beban maksimum yang mungkin terjadi. Tujuan dari studi ini untuk menghitung daya dukung tiang bored pile dari data SPT dan menghitung stabilitas abutment pada jembatan Sei Wampu, Stabat. Gaya lateral yg diijinkan dan penurunan pondasi yang terjadi juga perlu diketahui. Metodologi pengumpulan data adalah dengan metode observasi, pengambilan data dari kontraktor pelaksana dan melakukan studi keperpustakaan. Berdasarkan hasil perhitungan daya dukung pondasi bored pile dengan menggunakan data SPT, dan metode Reese and Wright didapatkan nilai kapasitas daya dukung pondasi bored pile yaitu $Q_{all} = 3390,70$ kN dan daya dukung kelompok tiang adalah 38816,73 dan beban yang dipikul oleh pondasi bored pile adalah sebesar, $P_u = 35208,96$ kN. Dari analisis terhadap stabilitas abutment diperoleh bahwa abutment jembatan aman terhadap pembebanan yang terjadi

Kata Kunci : *Pondasi Bored Pile, Daya Dukung Pondasi Bored Pile, Stabilitas Abutment*

1. PENDAHULUAN

Pada pembangunan suatu konstruksi hal pertama yang dilaksanakan adalah pekerjaan pondasi. Pekerjaan pondasi merupakan tahapan pekerjaan yang sangat penting dan menentukan keamanan serta kelancaran proses pekerjaan selanjutnya. Hal ini disebabkan oleh karena pondasi inilah yang memikul dan menahan semua beban yang bekerja di atasnya. Pondasi akan menyalurkan tegangan-tegangan yang terjadi pada struktur atas kedalam lapisan tanah yang keras yang dapat memikul beban konstruksi tersebut.

Pondasi sebagai struktur bawah secara umum dibagi menjadi dua jenis, yaitu pondasi dalam dan pondasi dangkal. Pemilihan jenis pondasi tergantung kepada jenis struktur, apakah termasuk konstruksi beban ringan ataukah konstruksi beban berat. Jenis struktur tanah juga ikut mempengaruhi pemilihan jenis pondasi. Untuk konstruksi beban ringan dan kondisi tanah dasar cukup baik, biasanya dipakai pondasi dangkal, tetapi untuk konstruksi beban berat dan jenis tanah jelek biasanya jenis pondasi dalam adalah pilihan yang tepat.

Secara umum pondasi dalam yang sering digunakan adalah pondasi tiang pancang dan pondasi bore pile. Pondasi bore pile adalah suatu pondasi yang dibangun dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, baru kemudian diisi dengan tulangan dan dicor. Bore pile dipakai apabila tanah dasar yang kokoh yang mempunyai daya dukung besar terletak sangat dalam serta keadaan sekitar sudah banyak berdiri bangunan – bangunan besar dan tinggi sehingga dikhawatirkan dapat menimbulkan retak-retak pada bangunan yang sudah ada akibat getaran yang ditimbulkan oleh kegiatan pemancangan.

Jembatan merupakan suatu struktur yang melintasi sungai, teluk, atau kondisi-kondisi lain berupa rintangan yang berada lebih rendah, sehingga memungkinkan kendaraan, kereta api maupun pejalan kaki

melintas dengan lancar dan aman. Suatu jembatan harus direncanakan dengan baik agar dapat menahan berbagai beban yang dipikulnya seperti berat sendiri, beban lalu lintas, beban gempa, beban angin dan beban lain yang ada pada jembatan.

Suatu jembatan terdiri dari atas bagian utama yaitu struktur atas, struktur bangunan bawah, jalan pendekat dan bangunan pengaman. Bangunan bawah ini terdiri dari struktur utama berupa pilar (*pier*) dan pangkal jembatan (*abutment*). Pondasi, pilar dan abutmen memiliki peran penting pada suatu jembatan yaitu untuk meneruskan semua beban dari bangunan ke tanah pendukung.

Perencanaan pondasi dan pangkal jembatan (*abutmen*) pada jembatan didesain agar tahan gempa, banjir dan tanah longsor. Beberapa jembatan di Indonesia menjadi rusak dan tidak dapat digunakan lagi setelah terjadinya gempa, banjir dan longsor, Ketinggian jembatan terhadap sungai yang melintang harus direncanakan agar tidak terjadi kerusakan terhadap struktur jembatan terutama abutmen dan pilar jembatan. Jarak muka air sungai dengan struktur bawah jembatan sangat menentukan umur jembatan. Jika muka air ketika banjir menggerus tanah di bagian abutmen dan pilar, stabilitas struktur akan berkurang sehingga dapat berakibat fatal.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Tanah

Tanah selalu mempunyai peranan yang penting pada suatu lokasi pekerjaan konstruksi. Tanah adalah pondasi pendukung suatu bangunan, atau bahan konstruksi dari bangunan itu sendiri seperti tanggul atau bendungan, atau kadang-kadang sebagai sumber penyebab gaya luar pada bangunan, seperti tembok/dinding penahan tanah, jadi tanah itu selalu berperan pada setiap pekerjaan teknik sipil. (Suyono Sosrodarsono and Kazuto Nakazawa Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi).

Pada umumnya tanah, pada

kondisi alam, terdiri dari campuran butiran-butiran mineral dengan atau tanpa kandungan bahan organik. Butiran-butiran tersebut dapat mudah dipisahkan satu sama lain dengan kocokan air. Material ini berasal dari pelapukan batuan, baik secara fisik maupun kimia. Sifat-sifat fisik teknis tanah, kecuali oleh sifat batuan induk yang merupakan material asal, juga dipengaruhi oleh unsur-unsur luar yang menjadi penyebab terjadinya pelapukan batuan tersebut.

Istilah-istilah seperti kerikil, pasir, lanau dan lempung digunakan dalam teknik sipil untuk membedakan jenis-jenis tanah dan kadang-kadang terdapat pula kandungan bahan organik. Material campurannya kemudian dipakai sebagai nama tambahan dibelakang material unsur utamanya. Sebagai contoh, lempung berlanau adalah tanah lempung yang mengandung lanau dengan material utamanya adalah lempung dan sebagainya.

Tanah terdiri dari 3 komponen yaitu udara, air dan bahan padat. Udara dianggap tidak mempunyai pengaruh teknis, Sedangkan air sangat mempengaruhi sifat-sifat teknis tanah. Ruang diantara butiran-butiran, sebagian atau seluruhnya dapat terisi oleh air atau udara. Bila rongga tersebut terisi air seluruhnya, tanah dikatakan dalam kondisi jenuh. Bila rongga terisi udara dan air, tanah pada kondisi jenuh sebagian (*partially saturated*). Tanah kering adalah tanah yang tidak mengandung air sama sekali atau kadar airnya nol.

2.1.1 Langkah – Langkah SPT

Standart Penetration Test (SPT) dilakukan untuk mengestimasi nilai kerapatan relatif dari lapisan tanah yang diuji. Untuk melakukan pengujian SPT dibutuhkan sebuah alat utama yang disebut Standard Split Barrel Sampler atau tabung belah standar. Alat ini dimasukkan ke dalam Bore Hole setelah dibor terlebih dahulu dengan alat bor. Alat ini diturunkan bersama-sama pipa bor dan diturunkan hingga ujungnya menumpu ke tanah dasar.

Setelah menumpu alat ini kemudian dipukul (dengan alat pemukul yang beratnya 63,5 kg) dari atas. Pada pemukulan pertama alat ini dipukul hingga sedalam 15,24 cm. Kemudian dilanjutkan dengan pemukulan tahap kedua sedalam 30,48 cm. Nah, pada pukulan kedua inilah muncul nilai "N" yang merupakan manifestasi jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk membuat tabung belah standar mencapai kedalaman 30,48 cm.

Menurut teori Terzaghi dan Peck Hubungan nilai N dengan kerapatan relatif adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Hubungan Nilai N dengan Kerapatan relatif

N	Kerapatan Relatif (Dr)
< 4	Sangat Tidak Padat
4 - 10	Tidak Padat
10 - 30	Kepadatan Sedang
30 - 50	Padat
> 50	Sangat Padat

Sumber: Teknik Fondasi-Harry CH

2.2 Daya Dukung Tanah

Kapasitas daya dukung tanah merupakan kemampuan tanah dalam mendukung beban pondasi yang bekerja di atasnya tanpa terjadi keruntuhan geser (*shear failure*). Jenis dan besar kecilnya ukuran pondasi ditentukan oleh kekuatan

atau daya dukung tanah dibawah pondasi tersebut, sebagai contoh untuk jenis pondasi telapak tunggal, semakin kuat daya dukung tanah, maka semakin kecil ukuran pondasi yang akan direncanakan. Sebaliknya semakin lemah daya dukung

tanah, semakin besar ukuran pondasi yang akan direncanakan. Untuk tanah dengan daya dukung yang lemah ini, sebaiknya digunakan jenis pondasi lain, misalnya pondasi sumuran atau bahkan digunakan tiang pancang

3. METODE PENELITIAN

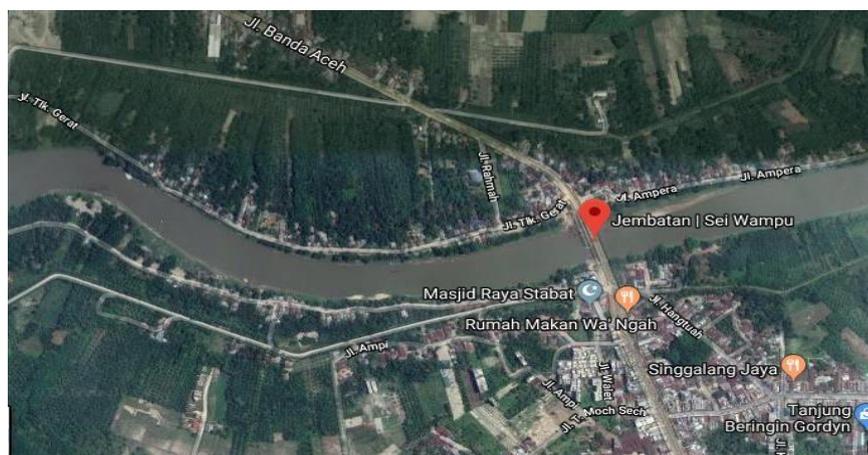
3.1. Data Umum Proyek

- Nama Proyek : Pembangunan Jembatan Sei Wampu
- Lokasi Proyek : JL. Banda Aceh, Stabat, Langkat- Sumatera Utara
- Pemilik Proyek : Kementrian Pekerjaan Umum , Direktorat Jendral Bina Marga
- Sumber Dana : APBN
- Kontraktor : PT.Karya Agung Nadajaya
- Konsultan Perencana : PT. Visi Tekniktama Unggul
- Konsultan Supervisi : PT.Purnajasa Bimanapratama

3.2. Data Teknis Proyek

Data teknis proyek meliputi peta/denah lokasi, gambar tampak dan potonganstruktur dan juga data tanah

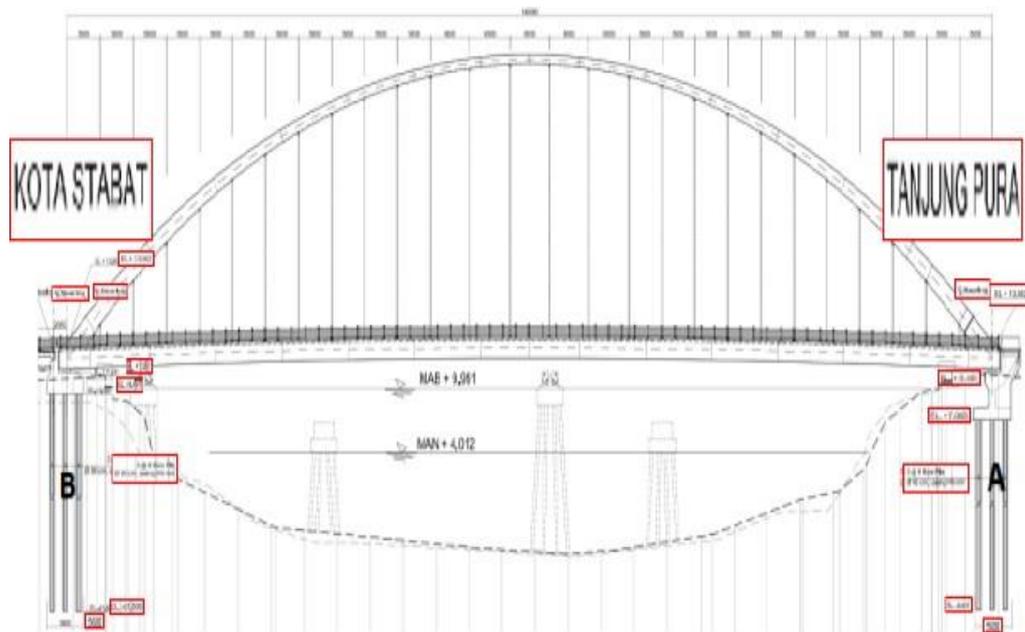
3.2.1. Denah / Sket Lokasi Proyek



Gambar 3.1 Lokasi Pemabngunan Jembatn Sei Wampu Di Stabat
(Sumber: Googlemap.com)

3.2.2. Jenis pondasi

Pada proyek pembangunan Jembatan Sei Wampu terdapat 2 abutment , yaitu Abutment A (Sta. 43+176,78) dan Abutment B (Sta. 43+036,78). Jenis pondasi yang digunakan pada abutment A dan B adalah pondasi bored pile



Gambar 3.12 Identifikasi abutment jembatan
(Sumber: Perencanaan Konsultan)

3.3. Pengeboran / penyelidikan tanah

Data daya dukung tanah menggunakan hasil Penyelidikan tanah yang dilakukan oleh Konsultan Geoteknik GSEC Medan. Pengujian bor mesin dilakukan pada dua

titik dan data SPT setiap interval 2 m hingga kedalaman 30 m dan pengujian laboratorium sebanyak 4 (empat) tabung buah contoh tanah. Hasil sbb :

Tabel 3.1. Deskripsi Tanah Pada BH-1

Kedalaman	Jenis Tanah	Kerapatan / Konsistensi (N)
0.00 - 2.00	Aspal	Very loose (N-SPT rata-rata = 0)
2.00 - 4.00	Lempung Pasir	Loose (N-SPT rata-rata = 8)
4.00 - 8.00	Lempung	Very loose (N-SPT rata-rata = 3)
8.00 - 14.00	Pasir	Medium Dense (N-SPT rata-rata = 14)
14.00 - 28.00	Lempung	Soft (N-SPT rata-rata = 2- 4)
28.00 - 30.45	Pasir Gravel	Dense (N-SPT rata-rata = 28)

Tabel 3.2. Deskripsi Tanah Pada BH-2

Kedalaman	Jenis Tanah	Kerapatan / Konsistensi (N)
0.00 - 4.00	Lempung Berpasir	Very Soft (N- SPT rata-rata= 1)

4.00 – 6.00	Lempung	Medium Dense (N- SPT rata-rata= 20)
6.00-8.00	Lempung	Loose (N-SPT rata-rata = 9)
8.00-16.00	Pasir	Very Stiff (N-SPT rata-rata= 21-27)
16.00-18.00	Pasir	Stiff (N-SPT rata-rata = 12)
18.00-28.00	Lanau Berlempung	Soft (N-SPT rata-rata = 2-4)
28.00-30.45	Pasir Gravel	Dense (N-SPT rata-rata = 33)

3.4. Metode Perhitungan Daya Dukung

Perhitungan daya dukung pondasi bor pile tunggal menggunakan persamaan *Reese and Wright* . Kapasitas Daya dukung total pondasi bor pile diperoleh dengan memperhitungkan efisiensi group tiang.

Perhitungan efisiensi tiang menggunakan metode *Converse Labarre*. Daya dukung ijin total kelompok tiang dibandingkan dengan besarnya beban yang dipikul oleh pondasi abutment.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan Pembebanan Jembatan

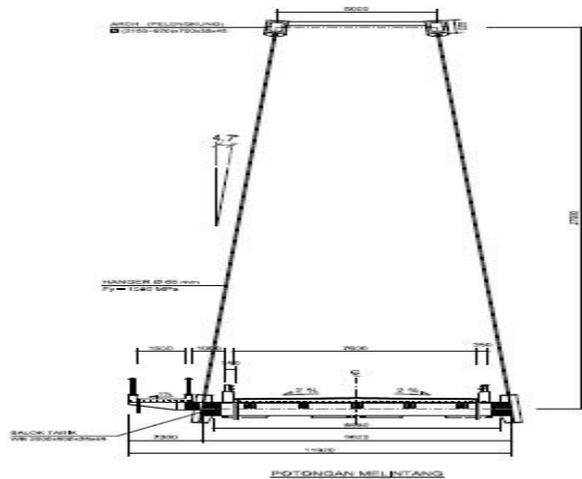
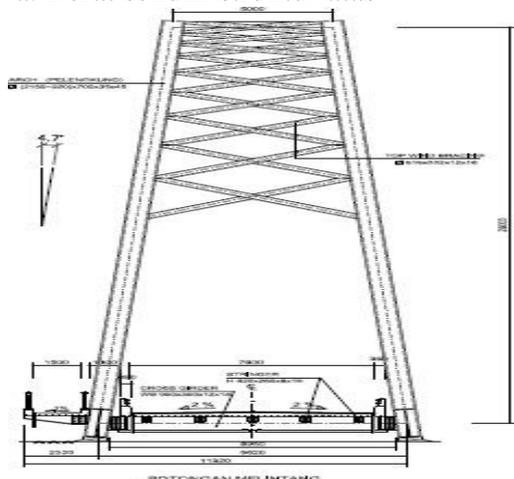
Pembebanan Jembatan sesuai dengan Peraturan RSNI – 02 – 2005 adalah sebagaiberikut :

1. Aksi dan Beban Tetap :
Terdiri dari Berat sendiri jembatan, beban mati tambahan dan tekanan tanah
2. Beban Lalu Lintas
Terdiri dari : Beban Lajur “D” dan beban Truk “T”
3. Aksi Lingkungan
Terdiri dari : Beban angin, beban gempa, beban rem, tekanan tanah, gayaakibat tumbukan, gaya akibat perbedaan suhu, dll
4. Aksi Lainnya

4.1.1 Beban Mati Jembatan (QMS)

Berat sendiri (*Self Weight*) adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen non struktural yang dipikulnya dan bersifat tetap. Berat sendiri dibedakan menjadi 2 macam, yaitu berat sendiri struktur atas, dan berat sendiri struktur bawah :

- a. Berat sendiri struktur atas



Gambar.4.1. Potongan melintang jembatan

(Sumber: Perencanaan Konsultan)

Tabel 4.1. Berat Sendiri Struktur Atas

No	Uraian	Berat (kN)
1.	Slab Lantai jembatan ketebalan 35 cm, lebar 10,05 m	11818,80 kN
2.	Jalur pedestrian dengan lebar 1.5 m	252,00 kN
3.	Beton pembatas di kiri kanan jalur lalu lintas	1225,00 kN
4.	Beton pembatas jalur pedestrian	875,00 kN
5.	Pipa Railing (4 unit diameter 3') sepanjang jembatan	49,22 kN
6.	Profil : - Gelagar Memanjang (Stringer) = 623.88 kN - Gelagar melintang (Cros girder for floor) = 525.99 kN - Batang Pelengkung (Box arch member) = 4565.59 kN - Batang Tarik = 2478.71 kN - Batang Hanger = 232.71 kN - Profil penyambung gel.melintang dengan Balok tarik = 40.55 kN - Ikatan angin atas = 477.05 kN - Profil penyambung ikatan angin atas = 67.19 kN	

	Dengan pelengkung - Ikatan angin bawah = 63.38 kN Sub Total	9095.05 kN
7.	Pelat: - Pelat buhul sambungan batang pelengkung = 81.13 kN - Pelat buhul sambungan balok tarik = 125.03 kN - Pelat buhul gelagar melintang dengan balok Tarik = 81.13 kN - Pelat buhul gelagar melintang dengan Gelagar memanjang = 62.55 kN - Pelat buhul penggantung hanger = 2.40 kN - Pelat buhul sambungan ikatan angin atas = 10.43 kN - Pelat buhul ikatan angin bawah = 0.95 kN - Pelat stiffener pada balok tarik = 7.17 kN - Pelat stiffener pada batang pelengkung = 121.84 kN - Pelat stiffener melintang pada ikatan angina Atas = 0.65 kN - Pelat perletakan = 23.64 kN - Pelat penutup manhole = 86.21 kN Sub Total	558.60 kN

8.	Baut : - Baut pelat buhul batang pelengkung = 51.46 kN - Baut pelat buhul pada balok tarik = 65.66 kN - Baut pelat buhul gelagar melintang dengan balok tarik = 20.70 kN - Baut pelat buhul gel.melintang kantilever Dengan balok tarik = 2.46 kN - Baut pelat buhul gelagar melintang dengan Gelagar memanjang = 28.16 kN - Baut pelat sambung ikatan angin atas = 51.61 kN - Baut pelat buhul ikatan angin bawah dengan Gelagar melintang = 2.85 kN - Baut pelat penutup manhole & handhole = 4.16 kN - Stud connector pada gelagar lantai = 2.46 kN Sub Total	229.53 kN
Total		24103,20 kN

Tabel 4.2. Beban Mati Tambahan Pada Lantai Jembatan

No	Nama Beban Tambahan	Tebal (m)	W (kN/m ³)	Berat (kN/m ²)
1	Lapisan aspal + overlay	0.10	22.0	2.200
2	Genangan air hujan	0.05	9.8	0.490
QMatotal				2.690

5. SIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Daya dukung ijin tiang tunggal pondasi bored pile menggunakan data SPT dan metode Reese and Wright diperoleh sebesar 3390,70 kN.
2. Daya dukung kelompok tiang berjumlah 18 buah bored pile diperoleh daya dukung sebesar 38816,73 kN, sedangkan beban vertical yang dipikul oleh pondasi sebesar 35208,96 kN. Jadi pondasi bored pile aman memikul beban vertical
3. Dari analisis terhadap stabilitas abutmen diperoleh hasil sebagai berikut : Abutment aman

terhadap guling dengan angka keamanan (SF) sebesar 3,6. Dari analisis terhadap stabilitas geser diperoleh bahwa abutment aman terhadap geser dengan angka keamanan (SF) sebesar 3,22.

4. Dari evaluasi terhadap penurunan yang terjadi diperoleh bahwa pondasi abutment aman terhadap penurunan yang terjadi.

Saran

Saran dari penulis, agar penelitian ini dapat lebih berkembang lagi :

1. Ketelitian dalam penyelidikan tanah di lapangan harus diperhatikan, sehingga keakuratan dalam perhitungan perencanaan pondasi dapat

- maksimal
2. Membandingkan hasil analisis pondasi tiang bor dengan hasil secara numeric, seperti Program Plaxis, dll.
 3. Perlu membandingkan hasil analisis dengan berbagai metode yang berbeda.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, ASTM D1143/07 dan ASTM D1143/81, 1994, *Annual Book of ASTM Standart*, Section Four Construction, Barr Harbor.
- Arief, D. T., 1988, *Keandalan Pondasi Tiang Tunggal Terhadap Beban Lateral*, Tesis, Program Teknik Sipil – Struktur, Fakultas Pasca Sarjana, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Arifin, Z., 2007, *Komparasi Daya Dukung Aksial Tiang Tunggal Dihitung Dengan Beberapa Metode Analisis*, Tesis, Program Pascasarjana Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Acset Indonusa, PT., 2011, *Laporan Static Axial Compressive Load Test*, Proyek Medan Focal Point, Medan
- Broms, B., 1964, *The Lateral Resistance Of Piles In Cohesionless Soils*, *Journal of The Soil Mechanic Division*, American Society of Civil Engineering, Vol.90, May 1964.
- Bowlesh, J. E., 1991, *Analisa dan Desain Pondasi*, Edisi keempat Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
- Das, B. M., 1941, *Principles of Foundation Engineering Fourth Edition*, Library of Congress Cataloging in Publication Data.
- Das, B. M., 2008, *Principles of Foundation Engineering 7th Edition*, PWS Publishing, Pasific Grove.
- Dongyuan, W., Yuming, Z., Jianjun, Z., Yabin Y., Ju Liu, EJGE Vol.16, 2011, *Comparisons of Interpreting Ultimate Capacity of Piles Based on Axial Static Load Testing Data between Chinese and Western Methods*, EJGE Vol. 16, China
- Hardiyatmo, H. C., 2002, *Teknik Pondasi 1*, Edisi Kedua, Beta Offset, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C., 2010, *Teknik Pondasi 2*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Harahap, D. D., 2012, *Analisis Perbandingan Daya Dukung antara Hasil Loading Test Bore Pile Diameter Satu Meter Tunggal dari Jembatan Fly Over Amplas dengan Metode Elemen Hingga*, Tesis, Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Irsyam, M., 1997, SI-3221 *Rekayasa Pondasi*, Penerbit ITB, Bandung.
- Iskandar, R., 2002, *Beberapa Kendala Teori Perhitungan Daya Dukung Aksial Pondasi Dalam*, USU, Sumatra Utara
- Lambe, W. T., Whitman, R. V., 1969, *Soil Mechanics*, Jhon Willey & Sons, Inc., New York.
- LOADTEST Inc., www.loadtest.com, 2012
- Napitu, E., 2007, *Kajian Daya Dukung Dan Penurunan Tiang Pancang Beton Berdasarkan Data Lapangan, Laboratorium Dan Menggunakan Program Plaxis di Sepanjang Sungai Percut Sematera*, Tesis, Pascasarjana Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Poulos, H. G. and Davis, E. H., 1968, *The Settlement Behaviour of Single Axially Loaded Incompressible Piles and Pierss*, Geotechnique,
- Prakash, S. H., & Sharma, D., 1990, *Pile Foundations In Engineering Practice*, John Willey dan Sons, Inc. Canada.
- Raharjo, P. P., 2005, *Manual Pondasi Tiang Edisi 3*, GEC-Geotechnical Engineering Centre, Bandung.
- Sardjono, H. S., 1988, *Pondasi tiang pancang, jilid 1*, penerbit Sinar Jaya Wijaya, Surabaya.

- Sardjono, H. S., 1988, *Pondasi tiang pancang, jilid 2*, penerbit Sinar Jaya Wijaya, Surabaya.
- Schmertmann, John, H. and Hayes, John, A., 1997, *The Osterberg Cell and Bored Pile Testing – A Symbiosis*, The Third International Geotechnical Engineering Conference, Cairo University – Egypt.
- Silaen, M. K., 2009, *Analisa Daya Dukung Dan Penurunan Bore Pile Dengan Model Tanah Hardening Soil Pada Proyek City Hall Town Square Medan*, Tesis, Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Sinaga, S., 2009, *Analisa Daya Dukung Dan Penurunan Bore Pile Tunggal Dengan Menggunakan Model Tanah Mohr Coulomb Pada Proyek City Hall Town Square*, Tesis, Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Suhairiani, 2012, *Analisis Perbandingan Daya Dukung Hasil Loading Test Pada Bore Pile Diameter Satu Meter Tunggal Dengan Metode Elemen Hingga Memakai Model Tanah Mohr Coulomb Pada Proyek Crystal Square Medan*, Tesis, Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Wesley, L. D., 1977, *Mekanika Tanah*, Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Wahyu P. D., 2008, *Studi Perbandingan Kapasitas Daya Dukung Statik Tiang Pancang Tunggal Berdasarkan Rumus-Rumus Daya Dukung, Analisa Dinamik dan Uji Beban Statik*, Tugas Akhir, Program Studi Teknik Sipil, ITB.