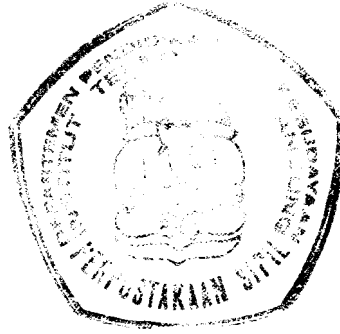


ANALISIS STABILITAS KONSTRUKSI SHEET PILE
AKIBAT PEKERJAAN GALIAN
DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

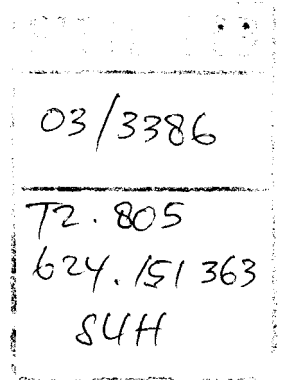
(Studi Kasus : Normalisasi Kali Item Jakarta)

TESIS MAGISTER



Oleh :

Andryan Suhendra
25000082



BIDANG KHUSUS GEOTEKNIK
PROGRAM STUDI REKAYASA SIPIL
PROGRAM PASCASARJANA
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG
2003

**ANALISIS STABILITAS KONSTRUKSI *SHEET PILE*
AKIBAT PEKERJAAN GALIAN
DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**

(Studi Kasus : Normalisasi Kali Item Jakarta)

TESIS MAGISTER



**Nama : Andryan Suhendra
NIM : 25000082**



Pembimbing



Ir. Masyhur Irsyam, MSE., Ph.D

2003

ABSTRAK

Konstruksi Sheet Pile merupakan salah satu konstruksi yang banyak digunakan dalam penanggulangan kelongsoran lereng atau timbunan terutama berkaitan dengan area yang terbatas dan atau kondisi-kondisi yang membutuhkan lereng yang tegak. Salah satu kondisi yang sering menggunakan konstruksi Sheet Pile sebagai dinding penahan adalah pada tebing-tebing kali atau sungai seperti pada studi kasus yang digunakan dalam penulisan tesis

Tesis ini akan membahas dan menyajikan metodologi mengenai perancangan Sheet Pile dengan menggunakan beberapa data tanah yang berbeda yang kemudian dianalisis balik dengan menggunakan pemodelan elemen hingga melalui bantuan program komputer Plaxis 7.2.

Dengan menggunakan program Plaxis sebagai sarana untuk analisis balik memberikan banyak keuntungan, diantaranya dapat diketahui arah dan deformasi yang terjadi untuk setiap tahapan pelaksanaan pekerjaan.

Tesis ini akan menggunakan proyek Normalisasi Kali Item Jakarta sebagai studi kasus, dimana telah terjadi ketidaksesuaian antara perancangan awal dengan hasil pelaksanaan dan telah terjadi pergerakan yang seharusnya tidak terjadi

Tujuan utama dari studi pada paper ini adalah untuk menganalisis permasalahan yang terjadi dan metode penanggulangan yang paling efektif dan tepat guna terhadap permasalahan yang timbul di lapangan.

Dan hasil analisis diketahui bahwa penyebab ketidaksesuaian hasil rancangan dengan kenyataan di lapangan adalah karena tidak samanya kondisi dan properti tanah dasar yang ada di lapangan dengan yang digunakan dalam perancangan.

Selain itu, dan hasil analisis juga diketahui bahwa penanggulangan dengan menggunakan sistem angkur merupakan penyelesaian yang paling efektif dan tepat guna.

Kata Kunci : Sheet Pile, Elemen Hingga, Plaxis, Angkur

ABSTRACT

Sheet Pile structure is a common solution for slope or embankment failure especially related to limited area and or steep slope condition. A condition that often uses the sheet pile structure, as Retaining Earth Structure is protection of river slope against sliding and erosion, like the project that will be reviewed and evaluated in this thesis.

This thesis will evaluate and present a methodology regarding the sheet pile design using several difference soil properties and then the design result will be review using finite element analysis through Plaxis 7.2. of computer program.

There are some advantages when using the Plaxis as a media of back analysis, such as the value and direction of deformation for each stage construction will be presented.

Case study of Normalisasi Kali Item Project, which located at Jakarta, will be analysis in this thesis. The main problem of this project is the length of sheet pile in site different with the design result, and there are some movements in the sheet pile structure.

The main purpose of the study on this paper is to analyze the problems and to find the effective and efficient solution using the right methods.

According to the analyze, the difference between real condition and design requirement due to the unsimilarity of the soil properties and condition in real with the design properties and condition.

Beside that, the analysis show that the anchoring system is the most effective and efficient solution.

Key words : Sheet Pile, Finite element, Plaxis, Anchoring

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
I.1. LATAR BELAKANG	I-1
I.2. TUJUAN PENELITIAN	I-8
I.3. RUANG LINGKUP PENELITIAN	I-8
I.4. METODOLOGI PENELITIAN	I-9
I.5. SISTEMATIKA PENULISAN	I-9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1. STRUKTUR DAN KONSTRUKSI <i>SHEET PILE</i>	II-1
II.1.1. Umum	II-1
II.1.2. Perancangan Konstruksi <i>Sheet Pile</i> Metode Konvensional	II-4
II.1.2.1. Konstruksi <i>Sheet Pile</i> Tipe Kantilever dengan Tanah Dasar Berupa Pasir	II-4
II.1.2.2. Konstruksi <i>Sheet Pile</i> Tipe Kantilever dengan Tanah Dasar Berupa Lempung	II-7
II.1.2.3. Konstruksi <i>Sheet Pile</i> dengan Angkur	II-9
II.1.3. Tekanan dan Deformasi	II-12
II.2. PENGARUH AIR TERHADAP STABILITAS KONSTRUKSI	II-14
II.2.1. Umum	II-14
II.2.2. Tekanan Air Pori	II-15

II.2.3. Pemodelan Aliran Air Tanah	II-17
II.2.4. Hukum Darcy	II-18
II.2.5. Persamaan Pengatur	II-21
II.2.5.2. Aliran <i>Steady State</i>	II-22
II.2.5.2. Aliran <i>Transient</i>	II-24
II.2.6. Penyelesaian Aliran	II-25
II.3. ANALISA ELEMEN HINGGA UNTUK KONSTRUKSI DAN REMBESAN	II-26
II.3.1. Umum	II-26
II.3.2. Konsep Dasar Metode Elemen Hingga	II-26
II.3.2.1. Sistem Koordinat	II-27
II.3.2.2. Fungsi Bentuk (<i>Shape Function</i>)	II-29
II.3.2.3. Syarat Batas (<i>Boundary Condition</i>)	II-30
II.3.2.4. Penyelesaian Persamaan Elemen Hingga	II-31
II.3.3. Formula Elemen Hingga Material Konstruksi	II-32
II.3.3.1. Material Sheet Pile	II-32
II.3.3.1.1. Fungsi Bentuk	II-32
II.3.3.1.2. Matriks Kekakuan	II-34
II.3.3.2. Sistem Penyangga/angkur	II-36
II.3.3.2.1. Fungsi Bentuk	II-36
II.3.3.2.2. Matriks Kekakuan	II-37
II.3.4. Formula Elemen Hingga pada Rembesan	II-39
II.4. PENGARUH <i>INTERFACE</i>	II-43
II.5. PEMODELAN TANAH UNTUK ANALISIS DEFORMASI DAN KESTABILAN KONSTRUKSI	II-44
II.5.1. Pemodelan Tanah Elastik	II-45
II.5.1.1. Material Elastik Linear	II-45
II.5.1.2. Material Elastik Nonlinear	II-46
II.5.2. Pemodelan Tanah Mohr Coulomb	II-47
II.5.3. Pemodelan Tanah Hardening Soil	II-49
BAB III ANALISIS ASPEK GEOTEKNIK PADA STUDI KASUS	
III.1. KONDISI DAN PROFIL TANAH DASAR	III-1
III.2. PARAMETER TANAH DASAR	III-6
III.2.1. Korelasi Empiris Parameter Tanah Dasar	III-6
III.2.1.1. Korelasi dari Nilai N-SPT	III-6
III.2.1.2. Korelasi dari Uji Penetrasi Kerucut (CPT)	III-8
III.2.1.3. Korelasi antar Parameter Tanah Dasar	III-11
III.2.2. Parameter <i>Drained</i> dan <i>Undrained</i>	III-20

III.2.3. Properti Tanah Dasar untuk Perancangan	III-22
III.3. PROFIL DAN PROPERTI <i>SHEET PILE</i>	III-25
III.4. DIAGRAM ALIR /URUTAN PROSEDUR ANALISIS	III-26
III.5. FAKTOR KEAMANAN PADA PROGRAM PLAXIS	III-27
III.6. PENGGUNAAN PROGRAM KOMPUTER PLAXIS DALAM STUDI KASUS	III-28
III.6.1. Data Masukan	III-28
III.6.2. Perhitungan	III-29
III.6.3. Hasil Keluaran (<i>Output</i>)	III-29

BAB IV PEMBAHASAN

IV.1. HASIL PERANCANGAN KONSTRUKSI <i>SHEET PILE</i>	IV-1
IV.1.1. Rancangan Awal	IV-1
IV.1.2. Analisis Balik	IV-5
IV.1.2.1. Deformasi dan Gaya pada <i>Sheet Pile</i>	IV-5
IV.1.2.2. Faktor Keamanan	IV-15
IV.1.3. Resume Hasil Perhitungan	IV-16
IV.2. ANALISIS KONDISI LAPANGAN DENGAN PROGRAM PLAXIS	IV-17
IV.3. ANALISIS PENANGGULANGAN	IV-29
IV.3.1. Penanggungan dengan Pemasangan Angkur	IV-29
IV.3.2. Penanggungan dengan Pemasangan <i>Strut</i>	IV-60
IV.4. PERBANDINGAN HASIL BERDASARKAN MODEL TANAH	IV-80

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. KESIMPULAN	V-1
V.2. SARAN	V-5

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. KESIMPULAN

1. Panjang *sheet pile* hasil perancangan dengan menggunakan data properti tanah awal adalah 14,6 m dengan kedalaman yang tertanam 10,1 m. Sedangkan hasil pemancangan di lapangan menunjukkan panjang *sheet pile* yang dapat dipasang maksimum 11 m dengan kedalaman yang tertanam maksimum 6 m.
2. Ketidaksesuaian pelaksanaan pekerjaan pemasangan *sheet pile* di lapangan dengan hasil perancangan disebabkan adanya perbedaan properti tanah asli yang sesungguhnya dengan yang digunakan dalam perancangan.
3. Akibat ketidaksesuaian tersebut, terjadi pergeseran dan kegagalan pada konstruksi *sheet pile* akibat pekerjaan penggalian sampai dengan elevasi -2,0, kondisi *rapid draw down* dan kondisi jangka panjang (*drained*)
4. Penanggulangan dilakukan dengan memberikan konstruksi tambahan yaitu angkur atau *strut*.
5. Pemasangan satu buah angkur pada elevasi +1,0 dengan *prestress* 10 ton/m' dan 15 ton/m' memberikan nilai deformasi yang kecil.
6. Hasil perancangan dengan menggunakan model Hardening Soil memberikan deformasi yang lebih besar dan *heaving* (tanah yang terangkat ke atas) yang lebih kecil jika dibandingkan menggunakan model Mohr Coulomb. Hal ini kemungkinan besar disebabkan

karena pada model tanah Hardening Soil memperhitungkan pengaruh pengurangan modulus kekakuan tanah akibat tegangan deviatorik dan pengaruh modulus kekakuan kondisi *unloading* dan *reloading* (E_{ur}) yang nilainya 3 kali nilai modulus kekakuan sehingga perpindahan vertikal tanah yang pernah dibebani menjadi lebih kecil.

7. Deformasi yang terjadi pada konstruksi *sheet pile* dengan penanggungan menggunakan satu buah angkur dan *prestress* 10 ton/m' dan 15 ton/m' untuk beberapa kondisi dan model tanah adalah :

a. Saat Penggalian sampai elevasi -2,0

i. Sisi Utara

1. Mohr Coulomb = 0,61 cm – 2,59 cm

2. Hardening Soil = 0,30 cm – 7,48 cm

ii. Sisi Selatan

1. Mohr Coulomb = 0,53 cm – 4,31 cm

2. Hardening Soil = 0,23 cm – 6,14 cm

b. Kondisi Penurunan Air Kali Tiba-tiba (*Rapid Draw Down*)

i. Sisi Utara

1. Mohr Coulomb = 0,79 cm – 4,32 cm

2. Hardening Soil = 1,32 cm – 9,57 cm

ii. Sisi Selatan

1. Mohr Coulomb = 0,81 cm – 4,66 cm

2. Hardening Soil = 1,96 cm – 10,21 cm

- c. Kondisi Jangka Panjang (*drained*)
 - i. Sisi Utara
 1. Mohr Coulomb = 1,07 cm – 6,97 cm
 2. Hardening Soil = 1,97 cm – 11,74 cm
 - ii. Sisi Selatan
 1. Mohr Coulomb = 1,24 cm – 14,99 cm
 2. Hardening Soil = 4,13 cm – 19,36 cm
8. Gaya yang terjadi pada angkur kondisi *drained* adalah sebagai berikut :
 - a. Sisi Utara :
 - i. Mohr Coulomb = 170,0 kN/m – 248,7 kN/m
 - ii. Hardening Soil = 171,9 kN/m – 227,9 kN/m
 - b. Sisi Selatan :
 - i. Mohr Coulomb = 170,6 kN/m – 278,4 kN/m
 - ii. Hardening Soil = 186,1 kN/m – 285,4 kN/m
9. Konstruksi *strut* dipasang pada elevasi +1,0 untuk semua kondisi konstruksi *sheet pile*
10. Penggunaan konstruksi *strut* memberikan hasil pergeseran atau deformasi yang lebih kecil jika dibandingkan dengan konstruksi angkur, namun dengan mempertimbangkan beberapa faktor tambahan seperti pengaruh konstruksi terhadap jumlah debit aliran air kali, efektifitas konstruksi maka penggunaan angkur di lapangan lebih menguntungkan.
11. Perbedaan deformasi konstruksi *sheet pile* dengan menggunakan metode penanggulangan angkur (1 angkur dan *prestress* 10 ton/n dan 15 ton/m') dan *strut* adalah sebagai berikut :

- a. Saat penggalian sampai dengan elevasi $-2,0$
 - i. Mohr Coulomb = $0,45 \text{ cm} - 4,05 \text{ cm}$
 - ii. Hardening Soil = $0,10 \text{ cm} - 7,33 \text{ cm}$
 - b. Kondisi Penurunan Air Kali Tiba-tiba (*Rapid Draw Down*)
 - i. Mohr Coulomb = $0,00 \text{ cm} - 2,68 \text{ cm}$
 - ii. Hardening Soil = $0,27 \text{ cm} - 8,31 \text{ cm}$
 - c. Kondisi Jangka Panjang (*drained*)
 - i. Mohr Coulomb = $0,02 \text{ cm} - 9,45 \text{ cm}$
 - ii. Hardening Soil = $0,30 \text{ cm} - 11,65 \text{ cm}$
12. Analisis dengan metode elemen hingga menggunakan program komputer dimulai dari pemodelan. Oleh karena itu pemahaman pemodelan dari suatu permasalahan geoteknik sangatlah penting karena dari pemodelan tersebut dapat diketahui karakteristik dan perilaku dari setiap model yang akan dianalisis sehingga dapat ditentukan dan diterapkan model yang paling sesuai dengan kondisi di lapangan.
13. Pemodelan analisis yang dilakukan sangat tergantung kepada syarat batas (*boundary condition*) dan kondisi awal (*initial condition*). Oleh karena itu syarat batas dan kondisi awal haruslah menggambarkan kondisi lapangan yang sesungguhnya.
14. Penentuan model konstitutif tanah sangat berperan dalam keakuratan hasil analisis yang dilakukan. Oleh karena itu dalam pemilihan model konstitutif tanah tergantung dari jenis tanah yang dianalisis dan kondisi lapangan yang dihadapi.

15. Ketepatan dari hasil analisis sangat tergantung dari parameter-parameter yang digunakan dalam analisis. Pengetahuan dan pengalaman di lapangan akan sangat membantu dalam menentukan besaran parameter tanah yang akan digunakan.

V.2. SARAN

1. Untuk mengetahui ketepatan hasil analisis, model tanah dan parameter-parameter tanah, perlu dilakukan pekerjaan monitoring di lapangan.
2. Model elemen yang digunakan dalam analisis menggunakan program Plaxis adalah elemen segitiga dengan enam titik nodal dan kekasaran mesh yang bersifat medium. Untuk mengetahui pengaruh model elemen tersebut, mungkin diperlukan analisis dengan menggunakan elemen segitiga dengan lima belas titik nodal dan mesh yang lebih halus lagi.
3. Model tanah yang digunakan dalam analisis ini adalah Mohr Coulomb dan Hardening Soil. Akan sangat bermanfaat jika dilakukan perbandingan terhadap model-model tanah yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bathe, K.J., (1982), "Finite Element Procedures in Engineering Analysis", Prentice-Hall, Inc
2. Bowles, J.E. (1984), "Physical and Geotechnical Properties of Soils, Second Edition", McGraw-Hill, Inc.
3. Brinkgreve, R.B.J. (1999), "Beyond 2000 in Computational Geotechnics (10 Years of Plaxis International)", A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield
4. Brinkgreve, R.B.J. ; Bakker, H.L. (1991), "Non-linear Finite Element Analysis of Safety Factors", Proceeding 7th International Conference On Computer Methods and Advances in Geomechanics, Cairns, Australia, 1117-1122
5. Brinkgreve, R.B.J. ; Vermeer P.A. (1998), "Plaxis, Finite Element Code for Soil and Rock Analyses Version 7", A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield
6. Brouwer, J.J.M. (2002), " Guide to Cone Penetration Testing On Shore and Near Shore", Lankelma CPT Ltd
7. Cook, R.D., (1981), "Concepts and Applications of Finite Element Analysis", John Wiley & Sons Inc
8. Das, Braja M., (1985), "Principles of Geotechnical Engineering", PWS-KENT Publishing Company, Boston
9. Das, Braja M., (1990), "Principles of Foundation Engineering (second edition)", PWS-KENT Publishing Company, Boston

10. Desai, C.S. ; Abel, J.F., (1972), "Introduction to the Finite Element Method, A Numerical Method for Engineering Analysis", Van Nostrand Reinhold Company Inc
11. Holtz, R.D. ; Kovacs, W.D., (1981), "An Introduction to Geotechnical Engineering", Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs
12. Lunne, T. ; Robertson, P.K. ; Powell, J.J.M. (1984), "Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice", E & FN Spon
13. Padfield, C.J. ; Sharrock, M.J. (1983), "Settlement of Structures on Clay Soils", Ciria Special Publication 27, PSA Civil Engineering Technical Guide 38
14. Puller, M. (1996), "Deep Excavations, a practical manual", Thomas Telford
15. Sanglerat, G. (1972), "The Penetrometer and Soil Exploration, Developments in Geotechnical Engineering Vol 1", Elsevier Publishing Company Amsterdam London New York
16. Tomlinson, M.J. (2001), "Foundation Design and Construction (seventh edition)", Prentice Hall
17. Van Langen, H. (1991), "Numerical Analysis of Soil-Structure Interaction. Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, The Netherlands.
18. - (2001), "In Situ Testing and Soil Properties Correlations", International Conference on In Situ Measurement of Soil Properties and Case Histories, Bali Indonesia May 21-24, 2001