

## ANALISIS GALIAN DALAM PADA BASEMENT GEDUNG DENGAN PERMODELAN SOFT SOIL MENGGUNAKAN PROGRAM PLAXIS

### ABSTRAK

Ferra Fahriani

Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Universitas Bangka Belitung

Email : f2\_ferra@yahoo.com

Galian tanah menyebabkan perubahan tegangan dan regangan serta deformasi pada tanah. Penelitian ini mengambil studi kasus galian dalam pada proyek pembangunan basement sebuah Gedung Tinggi di Jakarta. Metode konstruksi yang digunakan adalah metode top down. Diafragma wall dengan tebal 0,6 meter dan panjang 37 meter dikonstruksikan pada galian. Suatu professional software yang berbasis pada konsep Metode Elemen Hingga yaitu "PLAXIS 2D" dipilih untuk analisis. Permodelan tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah Cam Clay (Soft Soil) dengan menggunakan analisis drained dan undrained menggunakan parameter efektif. Penelitian ini menunjukkan bahwa hasil analisis drained memberikan nilai deformasi dan bending momen yang lebih besar dari pada analisis undrained, sehingga angka keamanan yang dihasilkan lebih kecil. Analisis undrained memberikan hasil prediksi yang lebih menyerupai hasil pengukuran deformasi di lapangan. Surface movement hasil analisis menggunakan analisis drained lebih besar dari pada menggunakan analisis undrained. Surface movement yang besar terjadi pada jarak 5-10 m. Namun perilaku regangan dan tegangan pada pemodelan Soft Soil menyerupai kondisi di lapangan.

Kata kunci : galian dalam, analisis drained, analisis undrained, cam clay

### ABSTRACT

Excavation causes soil deformation and changes in stress and strain. This research takes on a case study in the basement construction project of a skyscraper in Jakarta. The construction method used is top down method. The Diafragma, with a thickness of 0.6 meter and length of 37 meter, was constructed to the excavation. A professional software based on the concept of Finite Element Method, "PLAXIS 2D", was chosen for the analysis. The soil example used in this research is Cam Clay (Soft Soil) using drained and undrained analysis and effective parameter. The result shows that drained analysis gives bigger values of deformation and bending moment than undrained analysis, so the safety factor is smaller. Undrained analysis gives a prediction result that is more similar with the result of deformation measurement in the field. For the surface movement, the result is bigger when using drained analysis than when using undrained analysis. The big surface movement occurs in 5-10 m length. However, the behavior of stress and strain in the Soft Soil modeling is similar to the condition in the field.

Key Words: excavation, drained analysis, undrained analysis, cam clay

### PENDAHULUAN

Ada banyak faktor yang berpengaruh pada pergerakan tanah akibat pekerjaan galian tanah khususnya untuk pekerjaan *basement*. Diantaranya yang paling penting adalah properti tanah, kondisi dan kontrol air tanah, dimensi dari penggalian, sistem pendukung, penggalian struktur dan fasilitas-fasilitas didekatnya. Galian tanah yang menyebabkan perubahan tegangan dan regangan pada tanah dapat mengakibatkan terjadinya deformasi pada tanah. Apabila dipasang suatu dinding penahan tanah pada suatu galian maka akan terjadi pula perubahan perilaku tanah maupun dinding penahan tanah. Faktor yang berpengaruh pada deformasi dinding seharusnya berpengaruh pula penurunan tanah.

Oleh karena itu akan dilakukan penelitian terhadap studi kasus galian dalam pada proyek pembangunan basement di sebuah Gedung Jakarta. Dalam beberapa paper geoteknik sebelumnya seperti After Peck (1969), Mana dan Clough (1981), Clough et.al (1989), Clough dan O'Rourke (1990) telah meneliti perubahan tegangan dan regangan akibat galian tanah yang menyimpulkan adanya *settlement* pada tanah dan deformasi pada dinding penahan tanah akibat galian tanah. Ada beberapa pemodelan tanah yang dapat dipakai untuk menganalisis perubahan tegangan dan regangan tersebut. Tiap-tiap pemodelan mempunyai prinsip yang berbeda-beda dan menggunakan parameter yang berbeda-beda dalam menganalisis tegangan dan regangan. Pemilihan parameter tanah merupakan hal yang sangat penting dalam perhitungan dan analisis suatu permasalahan geoteknik. Pada

penelitian ini diambil permodelan Cam Clay yang prinsipnya digunakan untuk analisis soft soil pada program PLAXIS. Tanah pada proyek ini umumnya memiliki tanah keras yang relative dalam, oleh karena itu alternative penggunaan permodelan soft soil bisa digunakan pada penelitian ini. Hal ini telah dibahas pula pada beberapa paper geoteknik sebelumnya.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Tekanan Tanah Pada Dinding Penahan Tanah

Perhatian utama pada suatu perencanaan dan pelaksanaan pada penggalian adalah pengaruh yang kuat pada konstruksi yang berhubungan dengan pergerakan tanah pada terhadap properti dan sarana disekitarnya. Selama penggalian tegangan pada tanah disekeliling daerah galian berubah. Perubahan paling besar pada sisi dinding penahan yaitu berkurangnya tegangan pada permukaan galian hasil dari pergerakan tanah secara horizontal diikuti pergerakan tanah secara vertikal pada suatu keseimbangan dan meningkatnya tegangan vertikal akibat menurunnya muka air tanah akibat penurunan segera dan konsolidasi pada tanah. Pergerakan tanah ini dapat menyebabkan bangunan khususnya pondasi mengalami translasi, rotasi, deformasi, distorsi dan akhirnya mengakibatkan kerusakan, jika jaraknya melebihi batas yang ditolensi.

Bila suatu dinding dalam keadaan diam, yaitu bila suatu dinding tidak bergerak ke satu arah baik ke kanan maupun ke kiri dari posisi awal, maka massa tanah tersebut dalam keadaan keseimbangan elastik. Rasio

antara tekanan arah vertikal dan horizontal dinamakan koefisien tekanan tanah dalam keadaan diam ( $K_0$ ) dengan  $K_0 = \sigma_h / \sigma_v$  (1)

Menurut Jaky (1944),  $K_0$  untuk tanah berbutir :

$$K_0 = 1 - \sin \Phi \quad (2)$$

Menurut Brooke dan Ireland (1965),  $K_0$  untuk tanah lempung :

$$K_0 = 0,95 - \sin \Phi \quad (3)$$

Jika suatu dinding yang membatasi suatu massa tanah tersebut diijinkan bergerak, maka tekanan tanah horizontal dalam element tersebut akan berkurang secara terus menerus dan akhirnya dicapai suatu keseimbangan plastis. Kondisi tersebut dinamakan sebagai kondisi aktif

Menurut Rankine (1857) tekanan tanah yang bekerja pada dinding tersebut ( $\sigma_a$ ) dinamakan tekanan tanah aktif:

$$\sigma_a = \sigma_v \times k_a - 2c\sqrt{k_a}, \quad k_a = \text{koefisien tekanan tanah aktif} = \tan^2 (45 - \Phi/2)$$

Sedangkan keadaan tanah pasif adalah apabila suatu dinding didorong untuk masuk secara perlahan-lahan kearah dalam tanah, maka tegangan horizontal ( $\sigma_h$ ) akan bertambah secara terus menerus. Pada keadaan ini, keruntuhan tanah akan terjadi yang dikenal sebagai tekanan tanah pasif

Menurut Rankine (1857) tekanan tanah yang bekerja pada dinding tersebut ( $\sigma_p$ ) dinamakan tekanan tanah pasif

$$\sigma_p = \sigma_v \times k_p + 2c\sqrt{k_p}, \quad (4)$$

$$k_p = \text{koefisien tekanan tanah pasif} \\ = \tan^2 (45 + \Phi/2) \quad (5)$$

### Shear Strength Pada Tanah

Ada 3 *principle stresses* yang bekerja pada suatu masa tanah yaitu  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  dan  $\sigma_3$  dan apabila tanah dalam kondisi saturated akan ada tekanan air pori  $u$  pada masa tanah tersebut. Perubahan *total principle stresses* yang disebabkan oleh perubahan tekanan air pori, tidak berpengaruh pada perubahan volume atau kondisi tegangan saat keruntuhan.

Perubahan nilai  $u$  menyebabkan perubahan tekanan total  $\sigma$  menjadi tekanan efektif  $\sigma'$  yang didefinisikan seperti persamaan berikut ini :  $\sigma' = \sigma - u$  (6)  
Shear Strength pada material terdapat pada persamaan Mohr - Coloumb theory ,

$$S = c + \sigma_n \tan \Phi \quad (7)$$

Shear Strength dalam kondisi efektif ,

$$S' = c' + \sigma_n' \tan \Phi' \quad (8)$$

Dimana:

$S$  = tegangan geser pada tanah pada kondisi total

$C$  = kohesi tanah pada kondisi total

$\sigma_n$  = tegangan normal pada kondisi total

$\Phi$  = sudut geser internal tanah pada kondisi total

### Undrained Shear Strength

Pada kondisi *undrained shear strength*, kadar air dan volume pada suatu lempung adalah konstan dan *excess pore pressure* dihasilkan. *Shear strength* pada kondisi ini didefinisikan sebagai *undrained shear strength*.

Jika lempung saturated pada kondisi *undrained* dianalisis pada kondisi total, perhitungan tekanan air pori tidak diperlukan. Dibawah kondisi ini dimana  $\Phi = 0$  metode yang digunakan untuk analisis

ini adalah *undrained shear strength* yang sama dengan nilai kohesi pada keruntuhan Coulomb untuk tegangan total. Untuk asumsi ini, *undrained shear strength* untuk lempung saturated tidak berpengaruh pada perubahan *confining pressure* selama kadar air tidak berubah.

### Drained Shear Strength

Berdasarkan *effective stress principle*, ketahanan maksimum geser pada tanah bukan merupakan fungsi dari tegangan normal, tetapi perbedaan antara tegangan normal dan tekanan air pori, seperti Ketika tanah digali, volume tanah berubah yang akan menyebabkan perubahan tekanan air pori  $\Delta u$ . Perubahan pada tekanan air pori ini bisa meningkat atau menurun dari waktu ke waktu tergantung tipe tanah dan tipe tegangan yang terjadi. Pada kondisi *fully drained* (waktu yang lama)  $\Delta u$  terdisipasi sehingga  $\Delta u = 0$ . Untuk *partially drained* atau kondisi *undrained*, nilai dari  $\Delta u$  tergantung dari pembebanan dibandingkan dengan drainase dalam tanah. Perubahan tekanan air pori, yang disebabkan oleh perubahan tegangan pada kondisi *undrained*.

### Permodelan Prilaku Tanah

Permodelan prilaku tanah diperlukan untuk mendekati prilaku tanah kedalam persamaan matematis selanjutnya dapat dibuat suatu perhitungan dengan menggunakan komputer.

### Model Cam Clay (Soft Soil Model)

Model tanah Cam Clay pertama kali dikembangkan di Universitas Cambridge. Ide dasar model tanah ini yaitu untuk mengakomodasi riwayat tegangan tanah (NC Clay atau OC Clay). Sehingga dalam

permodelan tanah dengan Cam Clay, dibutuhkan parameter tanah yang di dapat dari uji laboratorium berupa triaxial Tes dan Oedometer Test. Pada permodelan Cam Clay ini parameter tanah dari tes triaksial yang digunakan yaitu nilai  $S_u$ ,  $\Phi_u$  atau nilai  $C'$ ,  $\Phi'$ . Nilai lain yang dibutuhkan dari tes triaxial adalah nilai Young's Modulus (E) atau Nilai Shear Modulus (G).

Salah satu kelebihan model Cam Clay yaitu dapat mengetahui riwayat tegangan yang pernah terjadi pada elemen tanah dari nilai  $\sigma_{vc}'$ , jika beban yang bekerja kurang dari nilai  $\sigma_{vc}'$  maka tanah bersifat OC Clay dan jika beban yang bekerja pada elemen tanah lebih besar dari  $\sigma_{vc}'$  maka tanah bersifat NC Clay. Parameter tanah yang lain yang digunakan pada model tanah ini yaitu nilai  $e_0$  atau initial void ratio yang akan digunakan untuk menentukan parameter spesifik surface ( $V = 1 + e$ ). Nilai ini dapat diperoleh dari Oedometer tes.

### METODE PENELITIAN

Analisis galian dalam dilakukan pada studi kasus pembangunan gedung basement di Jakarta menggunakan *software* PLAXIS. Adapun hal-hal yang akan dibahas pada makalah ini menyangkut:

Study permodelan tanah Cam Clay dengan analisis *drained* dan *undrained*. Keluarannya akan berupa perhitungan deformasi pada tanah, bending momen yang terjadi pada dinding penahan tanah serta angka keamanan pada galian. Adapun pendekatan parameter yang dipelajari pada penelitian ini menyangkut :

1. Metode A : Pemodelan Soft Soil dengan analisis undrained menggunakan parameter efektif
2. Metode B : Pemodelan Soft Soil dengan analisis drained menggunakan parameter efektif

### Tahapan Konstruksi Galian Dalam

Tahap konstruksi galian dalam ini, diawali dengan pemasangan konstruksi penahan tanah berupa *diafragma wall*. Setelah itu dilakukan tahapan penggalian. Galian dalam ini dilakukan dalam 3 tahapan galian dengan pemasangan pelat lantai pada tiap galian yang menggunakan metode *top down*. Pada kegiatan konstruksi dengan metode *top down*, lantai dasar pada permukaan tanah dapat dipasang setelah *diafragma wall* dan *bore pile* serta kolom-kolom selesai dipasang. Tanah kemudian digali dari bawah lantai sampai ke level selanjutnya dan dipindahkan melalui lubang bukaan pada pelat lantai. Adapun tahapan penggalian menyangkut :

- 1) Pekerjaan penggalian tahap I, pada kedalaman 0 m -2,5 m
- 2) Pemasangan pelat lantai 1, pada kedalaman 2 m
- 3) Pekerjaan penggalian tahap II, pada kedalaman 2,5 m -7 m
- 4) Pemasangan pelat lantai 2, pada kedalaman 5 m
- 5) Pekerjaan penggalian tahap III, pada kedalaman 7 m -11 m

Galian ini menggunakan *diafragma wall* dengan tebal 0,6 m dan pelat lantai dengan tebal 28 cm.

### Parameter Tanah

Adapun parameter tanah yang akan digunakan dalam analisis galian akan diuraikan dibawah ini.

Tabel 1 Parameter Tanah Soft Soil

| Depth<br>(m) | Soil Description        | $\gamma$ dry<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | $\gamma$ wet<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | $k_x-k_y$<br>(m/day)  | $\gamma$ | $\phi'$<br>(°) |
|--------------|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|----------|----------------|
| 0-1          | Aspal urugan            | 20,0                                 | 25,0                                 | 86,4                  | 0,30     | 10             |
| 1-13,5       | Lempung kelamuan        | 14,5                                 | 19,5                                 | $8,64 \times 10^{-3}$ | 0,35     | 13             |
| 13,5-25,5    | Pasir Halus             | 15                                   | 20,0                                 | 0,864                 | 0,30     | 27             |
| 25,5-27      | Pasir Halus Kelempungan | 16                                   | 21,0                                 | 0,0864                | 0,35     | 23             |
| 27-33,5      | Pasir Halus 2           | 15                                   | 20,0                                 | 0,864                 | 0,30     | 29             |
| 33,5-41,5    | Pasir Kasar Berkerikil  | 19                                   | 24,0                                 | 86,4                  | 0,30     | 31             |
| 41,5-50      | Cadas Kepusiran         | 19                                   | 24,0                                 | 86,4                  | 0,35     | 32             |

Pemodelan tanah Soft Soil hanya dilakukan pada tanah lempung yang terdapat pada kedalaman 1-13,5 m. Nilai  $C_c$  dan  $C_r$  diambil dari data tanah hasil *Consolidation Test*.  
 $C_c$  = *compression indeks* didapat dari hasil Oedometer tes sebesar 0,316

$C_r$  = *recompression indeks* didapat dari hasil Oedometer tes sebesar 0,05

$e = 1,70$

sehingga

$$\lambda^* = \frac{C_c}{2,3(1+e)} = \frac{0,316}{2,3(1+1,7)} = 0,051 \quad (9)$$

dan

$$k^* = \frac{2C_r}{(2,3(1+e))} = \frac{2 \times 0,05}{2,3(1+1,7)} = 0,016 \quad (10)$$

*Material type* yang digunakan pada penelitian ini adalah *drined* dan *undrined*. Untuk analisis *drained* dan *undrined* yang menggunakan parameter efektif nilai  $c = 0,2$  kN/m<sup>2</sup> pada tiap lapisan

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis yang digunakan dalam metode ini adalah pemodelan Mohr Coulomb pada tanah pasir dan pemodelan Soft Soil pada tanah lempung. Pada metode ini dilakukan analisis *undrained* dan *drained* menggunakan parameter total dan efektif. Pada pemodelan ini dilakukan dua pendekatan parameter yaitu :

- 1) Metode A : Analisis *undrained* menggunakan parameter efektif
- 2) Metode B : Analisis *drained* menggunakan parameter efektif

## Rangkuman Hasil Analisis Plaxis

Hasil analisis galian dalam pada kedua pemodelan diatas, dengan menggunakan program Plaxis didapat nilai —nilai maksimum pada deformasi, *beam force*, *active* dan *excess pore pressure*, efektif dan total *stress* serta nilai *safety factor* minimum seperti yang dirangkum pada tabel 2 dan 3 berikut ini

Tabel 2 Hasil Analisis Galian Dalam Dengan Metode A

|          | Deformation |                 |               | Bending Moment (kNm/m) | Shear Force (kN/m) | Axial Force (kN/m) | Excess Pore Pressure (kN/m) | Active Pore Pressure (kN/m) | Effective Stresses (kN/m <sup>2</sup> ) | Total Stresses (kN/m <sup>2</sup> ) | SF   |
|----------|-------------|-----------------|---------------|------------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------|------|
|          | Total (mm)  | Horizontal (mm) | Vertical (mm) |                        |                    |                    |                             |                             |                                         |                                     |      |
| Galian 1 | 94,93       | 86,95           | 48,01         | -177,36                | -29,28             | -172,11            | 33,88                       | -484,1                      | -572,68                                 | -1089,1                             | 2,86 |
| Galian 2 | 69,27       | 65,79           | 50,85         | 688,26                 | 332,35             | -223,64            | 68,11                       | -484,1                      | -563,53                                 | -1030,1                             | 2,71 |
| Galian 3 | 128,15      | 122,41          | 94,49         | 1125                   | 716,58             | -318,59            | 98,11                       | -484,1                      | -549,73                                 | -1030,1                             | 2,24 |

Tabel 3 Hasil Analisis Galian Dalam Dengan Metode B

|          | Deformation |                 |               | Bending Moment (kNm/m) | Shear Force (kN/m) | Axial Force (kN/m) | Excess Pore Pressure (kN/m) | Active Pore Pressure (kN/m) | Effective Stresses (kN/m <sup>2</sup> ) | Total Stresses (kN/m <sup>2</sup> ) | SF   |
|----------|-------------|-----------------|---------------|------------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------|------|
|          | Total (mm)  | Horizontal (mm) | Vertical (mm) |                        |                    |                    |                             |                             |                                         |                                     |      |
| Galian 1 | 99,68       | 76,39           | 94,61         | -299,59                | -61,88             | 143,43             | 0                           | -484,1                      | 570,27                                  | -1089,1                             | 2,75 |
| Galian 2 | 154,84      | 83,28           | 143,27        | 909,83                 | 366,53             | -230,95            | 0                           | -484,1                      | -555,55                                 | -1040,1                             | 2,64 |
| Galian 3 | 223,62      | 148,41          | 183,2         | 1480                   | 764,41             | -342,11            | 0                           | -484,1                      | -558,9                                  | -1040,1                             | 1,88 |

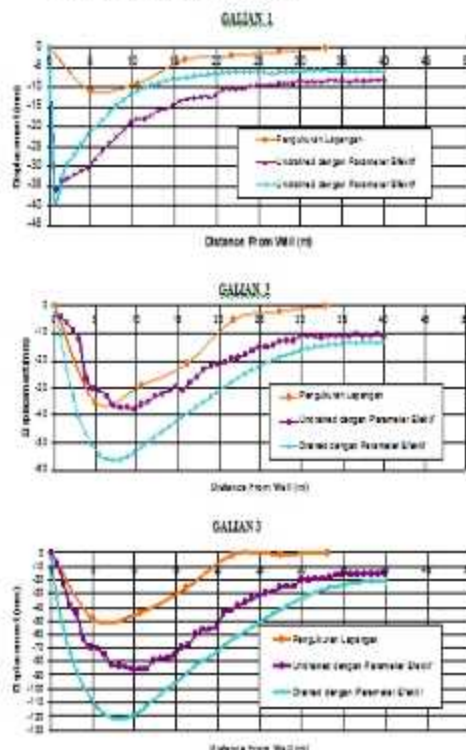
Dari kedua tabel diatas didapat bahwa :

- 1) Hasil analisis *drained* (long term) lebih besar dari pada analisis *undrained* (short term), terlihat pada perhitungan deformasi pada tanah dan besarnya bending momen dan gaya-gaya yang terjadi pada dinding penahan tanah. Hal ini dikarenakan semakin lama kekuatan geser tanah semakin berkurang. Sehingga semakin lama waktu konstruksi maka nilai deformasi semakin besar.
  - 2) Faktor Keamanan ( SF) pada analisis *drained* memberikan nilai SF yang lebih kecil dari pada analisis *undrained*. Hal ini berhubungan dengan semakin besar deformasi maka angka keamanan semakin kecil.
- Dari hal tersebut didapat bahwa dalam desain galian dalam keadaan kritis terjadi pada kondisi *drained*. Untuk itu disarankan penggunaan analisis *drained* pada analisis galian dalam, sebagaimana telah

diungkapkan pada beberapa teori tentang pemilihan parameter pada galian dalam.

### Surface Movement Tanah

Untuk mengetahui besarnya pengaruh penggalian dan pemasangan konstruksi *diafragma wall* terhadap tanah di belakang *diafragma wall*, dapat dilihat pada gambar-gambar dibawah ini, yang menunjukkan hubungan antara deformasi dengan jarak terhadap *diafragma wall*. Gambar 1 berikut menunjukkan bahwa *surface movement* hasil analisis menggunakan analisis *drained* lebih besar dari pada menggunakan analisis *undrained*. *Surface movement* yang besar terjadi pada jarak 5-10 m



Gambar 1. *Surface movement* Pada Galian Tanah

### KESIMPULAN

Dari hasil penelitian didapat beberapa kesimpulan yaitu :

1. Hasil analisis *drained* lebih besar dari pada analisis *undrained*. Hal ini terlihat pada perhitungan deformasi pada tanah dan besarnya gaya-gaya yang terjadi pada dinding penahan tanah. Dari hal tersebut didapat bahwa dalam desain galian dalam keadaan kritis terjadi pada kondisi *drained*. Untuk itu disarankan penggunaan analisis *drained* pada analisis galian dalam, sebagaimana telah diungkapkan pada beberapa teori tentang pemilihan parameter pada galian dalam.
2. Pada penelitian ini, hasil analisis deformasi vertikal maupun horizontal yang paling mendekati kondisi lapangan adalah analisis *undrained*.
3. *Surface movement* hasil analisis menggunakan analisis *drained* lebih besar dari pada menggunakan analisis *undrained*. *Surface movement* yang besar terjadi pada jarak 5-10 m.

### DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, JE (1991). *Sifat-Sifat Fisik dan Geoteknik Tanah*, Erlangga, Jakarta
- Brinkgreve and Ronald Bastiaan Johan (1994). "Geomaterial Model and Numerical Analysis of Softening", Thesis Technische Universiteit Delft, Dutch, 139-141.
- Brinkgreve, R.B.J (1998). *Plaxis 2D-Versi 8*, A.A Balkema, Rotterdam
- Gue, S.S and Y.C Tan. (1998). "Design and Construction Consideration for Deep Excavation" SSP Geotechnics Sdn Bhd, Selangor, 1-20.

- Hardiyatmo, Hary Christady. (2007). *Mekanika Tanah 2*. Gajah Mada University Press, Yogyakarta
- Hashash, Youssef M.A and Andrew J Whittle. (1996). "Ground Movement Prediction for Deep Excavation in Soft Clay". *Journal of Geotechnical Engineering*, 474-484.
- Holtz, Robert D and William D Kovacs. (1981). *An Introduction to Geotechnical Engineering*. Prentice-Hall Inc Englewood Cliffs, New Jersey
- Lewis, Ronald W (1987). "The Finite Element Methode in the Deformation and Consolidation of Porous Media" , A Willey-Interscience Publicatin, USA
- Lim, Aswin, Chang-Yu Ou and Pio-Go Hsieh. (2010). "Evaluation of Clay Constitutive Models For Analysis of Deep Excavation Under Undrined Condition", *Journal of GeoEngineering*, Vol 15 No1, pp 9-20
- Roboski, Jill and Richard J Finno. (2006) : "Distributions of Ground Movement Parallel to Deep Excavation in Clay", *Canadian Geotechnical Journal*, Canada
- Talha, Sofiana B. (1998). "Deformation Behaviour of Retaining Wall for Deep Basement Excavation with Semi-Top Down Methode", SSP Geotechnics Sdn Bhd, Selangor
- Whittle, A.J and Y.M.A Hashash. (1994). "Soil Modeling and Prediction of Deep Excavation Behaviour", *Pre-Failure Deformation of Geomaterial*, Rotterdam.