

Studi Analisis Penurunan Tanah Lempung Lunak Dan Lempung Organik Menggunakan Pemodelan Box Dan Matras Beton Bendrat Tanpa Tiang

Riansyah Putra¹⁾

Iswan²⁾

Setyanto³⁾

Abstract

Soil clay have role that very important for something building civil especially in building and projects in whole indonesia. Development construction in soil clay will experience some obstacles as existence settlement and if soil given loading then will occurrence settlement that significant, will reduced volume soil so water pore exit and cause pressure water pore up so experience settlement on consolidation. Then from that need do research settlement that use box and mattress concrete bendrat without pole as tool land subsidence. For knowing how much big function from tool decline this could proven in laboratory with test soil clay in the box and burdened by concrete mattress bendrat and given loading, then do testing settlement or that called consolidation. Giving loading above surface permeability clay aim for look coefficient consolidation (Cv) compression index (Cc) changes in volume (Av) and the coefficient congestion volume (Mv). Result loading settlement clay that use modeling box and mattress bendrat without pole, soft clay soil experience decline 51% while organic clay soil experience decline 56%. Because of organic clay soil have value water content that more high. Research in prove that organic clay soil more fast experience decline compared with soft clay soil when given loading certain.

Keywords : clay soil, concrete mattress box test and bendrat without poles, soil consolidation

Abstrak

Tanah lempung memiliki peranan yang sangat penting bagi suatu bangunan sipil khususnya di gedung dan proyek-proyek di seluruh indonesia. Pembangunan konstruksi di tanah lempung akan mengalami beberapa kendala seperti adanya penurunan tanah dan apabila tanah diberi pembebanan maka akan terjadinya penurunan tanah yang signifikan, akan berkurangnya volume tanah sehingga air pori keluar dan menyebabkan tekanan air pori naik sehingga mengalami penurunan tanah secara konsolidasi. Maka dari itu perlu dilakukan penelitian penurunan tanah yang menggunakan box dan matras beton bendrat tanpa tiang sebagai alat penurunan tanahnya. Untuk mengetahui seberapa besar fungsi dari alat penurunan ini dapat dibuktikan di laboratorium dengan menguji tanah lempung di dalam box dan di bebani oleh matras beton bendrat dan diberi pembebanan, kemudian dilakukan pengujian penurunan tanah atau yang disebut konsolidasi. Pemberian pembebanan di atas permukaan tanah lempung bertujuan untuk melihat koefisien konsolidasi (Cv) indeks pemampatannya (Cc) perubahan volume (Av) dan koefisien kemampatan volume (Mv).

Hasil pengujian penurunan tanah lempung yang menggunakan pemodelan box dan matras beton bendrat tanpa tiang, tanah lempung lunak mengalami penurunan 51 % sedangkan tanah lempung organik mengalami penurunan 56 %. dikarenakan tanah lempung organik memiliki nilai kadar air yang lebih tinggi. Penelitian ini membuktikan bahwa tanah lempung organik lebih cepat mengalami penurunan dibandingkan dengan tanah lempung lunak ketika diberi pembebanan tertentu.

Kata kunci : Tanah Lempung, Box Uji Dan Matras Beton Bendrat Tanpa Tiang, Penurunan Tanah

¹⁾ Mahasiswa pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Surel: rian_1611@yahoo.com

²⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145. surel: one_iswan@ymail.com

³⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. Surel : setni_nkc@yahoo.com

1. PENDAHULUAN

Tanah lempung memiliki peranan yang sangat penting bagi suatu bangunan sipil khususnya di gedung dan proyek-proyek di seluruh Indonesia. Tanah sangat erat kaitannya dengan bangunan konstruksi sipil sifat fisik dan mekanis tanah. Matras beton bendrat adalah beton pracetak dengan menggunakan sebagai tulangan agar bersifat ekonomis, digunakannya pada konstruksi gedung. Tujuan dari penggunaan matras bendrat pada penelitian ini yaitu untuk mengetahui penurunan tanah, jika tanah lempung tersebut di bebani oleh kawat bendrat yg di satukan oleh beton sehingga kita dapat mengetahui kecepatan penurunan tanah nya.

Tanah lempung adalah tanah berbutir halus, koloidal yang tersusun dari mineral-mineral yang dapat mengembang. Kawat bendrat berfungsi sebagai pengikat antar baja tulangan agar dapat membentuk struktur seperti yang dikehendaki. Kawat bendrat yang digunakan adalah berdiameter 1 mm dan dalam penggunaannya digunakan 2 lapis kawat agar lebih kuat dalam meningkatkan baja tulangan.

Kebanyakan dari tanah lempung yang ada di bumi dalam keadaan plastis karena volume tanah tersebut akan semakin membesar dalam keadaan basah dan akan menyusut dalam keadaan kering.

Umumnya sifat-sifat fisik dan mekanis tanah kurang baik dan menjadi tanah yang baik di bidang sipil disebut stabilitas tanah. Stabilitas tanah merupakan cara yang baik dan tepat digunakan untuk memperbaiki suatu tanah.

Pada tanah lempung proses kering dan basah akan menyebabkan nilai konstan, sifat tanah lempung yang dipadatkan akan lebih besar pada saat kering optimum dan basah optimum. Tanah lempung yang dipadatkan pada keadaan kering optimum relatif kekurangan air sebab tanah lempung sangat cepat meresap air dan cepat mengembang. Pada umumnya percobaan penyelidikan tanah sangat penting karena kita bisa menyelidiki kekuatan tanah secara optimal.

Proses stabilitas tanah saat ini belum mampu merubah sifat kembang susut tanah sehingga walaupun suatu perkerasan atau konstruksi jalan tersebut sudah di padatkan akan cepat mengalami kerusakan dikarenakan sifat buruk tanah yang ada dibawah tanah tersebut. Melihat perkembangan yang terjadi di lapangan teknologi stabilitas tanah telah mengalami peningkatan yang sangat pesat.

Pada tanah organik mempunyai sifat yang berbeda dengan lempung. Untuk mengetahui karakteristik tanah organik perlu melakukan pengujian-pengujian kadar organik, kadar abu dan kadar serat, sebagai pertimbangan untuk dapat mengetahui sifat karakteristik tanah organik sedangkan tanah gambut lebih rendah daya dukung nya *soft clay*.

Maka dari itu penelitian kali ini yang akan dicoba adalah, bagaimana disitu ada tanah lempung lunak dan lempung organik yang akan di uji penurunan nya menggunakan Matras Beton Bendrat untuk mengetahui penurunan tanah tersebut.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Tanah adalah himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relative lepas (*loose*) yang terletak di atas batu dasar (*bedrock*) (Hardiyatmo, 1992).

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel padat tersebut (Das, Braja.M. 1995)

Klasifikasi tanah juga berfungsi untuk studi yang lebih terperinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan akan pengujian untuk menentukan sifat teknis seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi, dan sebagainya (Bowles,1991).

Tanah butiran halus khususnya tanah lempung akan banyak dipengaruhi oleh air. Sifat pengembangan tanah lempung yang dipadatkan akan lebih besar pada lempung yang dipadatkan pada kering optimum dari pada yang dipadatkan pada basah optimum. Lempung yang dipadatkan pada kering optimum relatif kekurangan air oleh karena itu lempung ini mempunyai kecenderungan yang lebih besar untuk meresap air sebagai hasilnya adalah sifat mudah mengembang (Hardiyatmo, 2002).

3. METODE PENELITIAN

Pada Penelitian ini pengambilan sampel tanah yang akan diuji ada 2 jenis tanah yaitu : Tanah lempung lunak yang diambil dari desa Belimbing Sari, Kecamatan Jabung, Lampung Timur dengan koordinat (-5°71'84,26") dan jarak tempuh dari Bandar Lampung ketempat pengambilan sampel sekitar 2-5 jam sampai lokasi tersebut. Tanah lempung organik dari desa Benteng Sari, Kecamatan Jabung, Lampung Timur dengan koordinat (105° 39'10,73") dan jarak tempuh dari Bandar Lampung ketempat pengambilan sampel sekitar 2-5 jam sampai lokasi tersebut.

Pelaksanaan di lakukan di laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung. Pengujian yang akan di lakukan di lab dibagi menjadi 3 bagian yaitu : 1.Sifat-sifat fisik tanah asli, 2. Pembuatan matras beton bendrat dengan tebal 6 cm dan 80x90 cm, 3. Pengujian penurunan tanah yang telah diberi pembebanan.

Pengujian sifat fisik tanah asli meliputi sebagai berikut : Uji berat jenis, Uji kadar air, Uji batas *atterberg*, Uji pemadatan Tanah, Uji Analisa Saringan, Uji Berat Volume, Uji Hidrometer, Uji Konsolidasi.

penelitian yang dilakukan dalam pemodelan box uji berupa kotak box dan matras beton bendrat berupa : Kotak Baja yang dilapisi Kaca, kotak ini dibuat berbentuk persegi empat dengan ukuran 80 cm x 90 cm x 100 cm bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

Dempul dan Tinner, lem kaca, plat baja pada tebal 1 dan 0,5 (mm), besi hollow pada tebal dimensi penampang 20x40 (mm), cat hijau, karet kaca, kaca dengan tebal 12 mm, meteran.



Gambar 1. Bentuk Pemodelan Alat Penurunan Tanah

Pembuatan matras beton bendrat tanpa tiang yaitu berdiameter 80 x90 100 x 6 cm. Dibawah ini adalah gambar beton bendrat yang sudah dicetak dengan mutu beton k-225 yang masih basah dan menunggu sampai jadi \pm 30 hari, agar tercapai kuat optimal dan bisa digunakan untuk penelitian penurunan tanah ini.



Gambar 2. Matras beton bendrat yang baru dicetak

Tanah yang sudah diambil dari Jabung Lampung timur meliputi jenis tanah lempung lunak dan lempung organik, setelah sampai di Lab langsung di buka dr karung setelah itu di hamparkan dipanaskan sampai mengering setelah itu baru di tumbuk.



Gambar 3. Penumbukan tanah yang akan diuji

Tanah yang sudah di tumbuk dan dimasukkan kedalam box pengujian dan dilakukan penjenuhan selama 1 hari.



Gambar 4. Penjenuhan tanah yang akan diuji



Gambar 5. Pemasangan matras beton bendrat pada boks uji



Gambar 6. Pengujian penurunan tanah lempung

Semua data dari penelitian ini akan di uraikan dalam bentuk tabel dan grafik serta akan di tinjau kembali, Dan akan di bandingkan dengan rumus-rumus yang berlaku dan akan dibandingkan dengan penelitian terdahulu.

4.HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian utama

Pengujian ini merupakan awal dari penelitian dimana dari hasil pengujian sifat fisik ini kita dapat mengetahui sifat dan karakteristik tanah tersebut. Pengujian sifat-sifat fisik tanah dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Tabel 1. Hasil pengujian sifat fisik tanah lempung (*Soft Clay*)

NO.	DESCRIPTION	TEST RESULT		
		BELIMBING SARI	BETENG SARI	
DISTURBED SAMPLE				
1	Kadar Air	%	64,48	183,18
2	Berat Volume	gr/cm ³	1,558	1,153
3	Berat Jenis (Gs)		2,540	2,153
4	Percent Lose No. 200	%	82,77	48,33
5	Atterberg Limit			
	LL	%	82,25	183,90
	PL	%	57,93	154,83
	PI	%	24,32	29,07
6	Direct Shear Test			
	Cohesion (c)	kg/cm ²	0,080	0,048
	Internal Friction Angle	... ⁰	25,7	17,8

Dari hasil uji kadar air dapat diambil nilai rata-rata dari tanah tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa kadar air sampel yang di ambil di Desa Belimbing Sari, Kecamatan Jabung Lampung Timur sebesar 64,48%, sedangkan dari sampel Desa Beteng Sari kadar airnya sebesar 183,18% Dari hasil tersebut kadar air nya cukup tinggi, biasanya kadar airnya yang cukup besar dari 100% adalah jenis tanah organik.

Uji berat volume adalah uji yang didefinisikan sebagai perbandingan antara berat tanah dan volume tanah. berat volume tanah belimbing sari sebesar 1,558 gr/cm³ dan nilai berat volume tanah beteng sari sebesar 1,153 gr/cm³.

Dari pengujian berat jenis didapatkan nilai-nilai sebagai berikut, untuk Desa Belimbing Sari 2,540 dan untuk Desa Beteng Sari 2,153 angka ini menunjukkan bahwa tanah tersebut adalah tanah lempung $\leq 2,68-2,75$.

b). Hasil Pengujian Konsolidasi Uji Box

Nilai kecepatan waktu konsolidasi diperoleh dari grafik penurunan dengan waktu (akar waktu). Dari grafik ini waktu untuk mencapai konsolidasi 90 % (T_{90}) dapat ditentukan. Nilai-nilai hasil dari grafik konsolidasi pada sampel tanah lempung lunak, dan sampel tanah lempung organik, dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. Hasil uji Konsolidasi Pada Uji Lab

waktu	Lempung Lunak				Lempung Organik			
	0,2 kg/cm ²	0,3 kg/cm ²	0,4 kg/cm ²	0,5 kg/cm ²	0,2 kg/cm ²	0,3 kg/cm ²	0,4 kg/cm ²	0,5 kg/cm ²
0	0	0,271	0,479	0,881	0	0,445	0,808	1,464
0,09	0,148	0,388	0,700	1,246	0,251	0,657	1,174	2,074
0,25	0,159	0,399	0,727	1,258	0,275	0,668	1,207	2,089
0,49	0,170	0,406	0,741	1,275	0,286	0,680	1,230	2,115
1	0,180	0,412	0,750	1,289	0,300	0,689	1,246	2,140
2,25	0,188	0,421	0,766	1,309	0,314	0,703	1,272	2,173
4	0,198	0,427	0,778	1,326	0,332	0,715	1,294	2,204
6,25	0,209	0,435	0,789	1,344	0,347	0,726	1,311	2,230
9	0,218	0,440	0,800	1,357	0,363	0,735	1,326	2,252
12,25	0,229	0,445	0,809	1,367	0,379	0,744	1,342	2,264
16	0,237	0,449	0,816	1,376	0,394	0,752	1,354	2,283
20,25	0,243	0,454	0,824	1,384	0,405	0,759	1,367	2,298
25	0,249	0,459	0,833	1,395	0,413	0,766	1,380	2,312
36	0,257	0,466	0,844	1,408	0,426	0,779	1,403	2,335
49	0,261	0,470	0,858	1,423	0,430	0,787	1,424	2,358
64	0,265	0,475	0,871	1,434	0,434	0,799	1,442	2,370
1440	0,271	0,479	0,881	1,448	0,445	0,808	1,464	2,401

D. Penurunan (*Settlement*) Tanah Pada Boks Uji Matras Beton Bendr Tanpa Tiang

A. Penurunan Tanah Lempung Lunak Jabung Lampung Timur

Penurunan yang terjadi pada tanah lempung lunak dapat diklasifikasikan dalam tiga jenis penurunan, yaitu :

1. Penurunan Seketika (*Immediate Settlement*)

Rumus penurunan seketika (*Immediate Settlement*) dikembangkan berdasarkan teori elastisitas dari Timoshenko dan Goodier (1951), didapat nilai sebagai berikut :

Keterangan: q = kedalaman tanah yang di uji
B= lebar matras

$$S_i = q \cdot B \cdot I \cdot \frac{(1 - \mu^2)}{Eu} \quad (1)$$

$$S_i = 50 \times 80 \times 0,82 \times (1 - 0,5^2) / 2000$$

$$S_i = 1,23 \text{ cm}$$

2. Penurunan Konsolidasi Primer

Tanah mengalami *over* konsolidasi, adapun syarat yang harus diperhatikan dalam perhitungan penurunan (*settlement*) pada kondisi tanah *over* konsolidasi, adalah sebagai berikut :

$$P_c > P_o$$

Sebelum menghitung penurunan konsolidasi primer, tentukan dahulu nilai indeks pemampatan kembali atau *Recompression Index* (*Cr*).

$$Cr = \frac{\Delta e}{\log(p_2 / p_1)} \quad (2)$$

$$Cr = \frac{1.823 - 1.655}{\log(0.5 / 0.35)}$$

$$Cr = 1,08$$

$$S_{cp} = \frac{Cr \cdot H}{1 + e_o} \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1,08 \times 0,5 \cdot \log \frac{0,5 + 0,1}{0,5}}{1 + 1,81} \\
 &= 0,0153 \text{ m} = 1,53 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

2. Penurunan Konsolidasi sekunder

Penurunan akibat konsolidasi sekunder dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

Dengan $T = 1$ didapat akhir konsolidasi primer sebagai berikut :

$$t = \frac{Hd^2}{Cv} \quad (4)$$

$$\begin{aligned}
 &= 1 \times 24,94^2 / 480,8 \\
 &= 1,1 \text{ tahun}
 \end{aligned}$$

Indeks pemampatan sekunder (*Secondary compression index*)

$$Ca = \frac{\Delta e}{\log(t_2/t_1)} \quad (5)$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1,6645 - 1,6561}{\log(1000/100)} \\
 &= 0,0084
 \end{aligned}$$

Besar penurunan konsolidasi Sekunder 20 tahun setelah konsolidasi primer berhenti adalah sebagai berikut :

$$Scs = Ca \cdot H \cdot \log \frac{t_2}{t_1} \quad (6)$$

$$S_s = 0,0084 \cdot 0,5 \cdot \log \frac{20 + 1,1}{1,3} \quad S_s = 0,0051 \text{ m} = 0,51 \text{ cm}$$

Jadi penurunan total (St) yang terjadi adalah :

$$St = Si + Scp + Scs \quad (7)$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,23 + 1,53 + 0,51 \\
 &= 3,27 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

B. Penurunan Tanah Lempung Organik Jabung Lampung Timur

Penurunan yang terjadi pada tanah lempung organik dapat diklasifikasikan dalam tiga jenis penurunan, yaitu :

a. Penurunan Seketika (*Immediate Settlement*)

Rumus penurunan seketika (*Immediate Settlement*) dikembangkan berdasarkan teori elastisitas dari Timoshenko dan Goodier (1951), didapat nilai sebagai berikut :

$$S_i = q \cdot B \cdot I \cdot \frac{(1-\mu^2)}{Eu} \quad (8)$$

$$S_i = 50 \times 80 \times 0,82 \times (1-0,4^2) / 5000$$

$$S_i = 0,55 \text{ cm}$$

b. Penurunan Konsolidasi Primer

Tanah mengalami *over* konsolidasi, adapun syarat yang harus diperhatikan dalam perhitungan penurunan (*settlement*) pada kondisi tanah *over* konsolidasi, adalah sebagai berikut :

$$P_c > P_o$$

Sebelum menghitung penurunan konsolidasi primer, tentukan dahulu nilai indeks pemampatan kembali atau *Recompression Index* (C_r).

$$C_r = \frac{\Delta e}{\log(p_2/p_1)} \quad (9)$$

$$= \frac{3,64 - 3,175}{\log(0,5/0,35)} = 3,00$$

$$S_{cp} = \frac{C_r \cdot H}{1 + e_o} \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} \quad (10)$$

$$= \frac{3,00 \times 0,5}{1 + 3,6} \log \frac{0,5 + 0,1}{0,5}$$

$$= 0,0423 \text{ m} = 4,23 \text{ cm}$$

c. Penurunan Konsolidasi sekunder

Penurunan akibat konsolidasi sekunder dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

Dengan $T = 1$ didapat akhir konsolidasi primer sebagai berikut :

$$t = \frac{T \cdot Hdr^2}{Cv} \quad (11)$$

$$= 1 \times 24,90^2 / 491,44$$

$$= 1,26 \text{ tahun}$$

Indeks pemampatan sekunder (*Secondary compression index*)

$$Ca = \frac{\Delta e}{\log(t2/t1)} \quad (12)$$

$$= \frac{3,1958 - 3,1740}{\text{Log}(1000/100)}$$

$$= 0,0218$$

Besar penurunan konsolidasi Sekunder 20 tahun setelah konsolidasi primer berhenti adalah sebagai berikut :

$$Scs = Ca \cdot H \cdot \log \frac{t2}{t1} \quad (13)$$

$$S_s = 0,0218 \cdot 0,5 \cdot \log \frac{20 + 1,26}{1,26}$$

$$S_s = 0,0134 \text{ m} = 1,34 \text{ cm}$$

Jadi penurunan total (St) yang terjadi adalah :

$$\begin{aligned} St &= Si + Scp + Scs \\ &= 0,55 + 4,23 + 1,34 \\ &= 6,12 \text{ cm} \end{aligned}$$

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Menurut sistem klasifikasi tanah *Unified Soil Classification System* (USCS), berdasarkan nilai persentase butiran lolos saringan No. 200 sebesar 82,77 % (lebih besar dari 50%), maka berdasarkan tabel klasifikasi tanah USCS, sampel tanah yang diambil dari Desa Belimbing Sari dan Beteng Sari, Kecamatan Jabung, Kabupaten Lampung Timur secara umum dikategorikan pada golongan tanah berbutir halus (lempung). Dan termasuk dalam kategori tanah organik dengan kandungan organik antara 25%-75%.
2. Dari hasil uji kadar air dapat diambil nilai rata-rata dari tanah tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa kadar air sampel yang di ambil di Desa Belimbing Sari, Kecamatan Jabung Lampung Timur sebesar 64,48%, sedangkan dari sampel Desa Beteng Sari kadar airnya sebesar 183,18% dari hasil tersebut kadar air nya cukup tinggi, biasanya kadar airnya yang cukup besar dari 100% adalah jenis tanah organik.
3. Dari hasil penelitian yang dilakukan di laboratorium nilai kecepatan waktu konsolidasi diperoleh dari grafik hubungan penurunan dengan waktu (akar waktu) dan dari grafik ini waktu untuk mencapai konsolidasi adalah 90% (T_{90}) dapat ditentukan.
4. mendeteksi penurunan dari matras beton bendrat jika di beri pembebanan tertentu.
5. Penurunan yang terjadi pada penelitian menggunakan matras beton bendrat ini sangat bertahap dari curam, tidak terlalu curam, sangat curam dan landai.
6. Matras beton bendrat yang digunakan menggunakan mutu beton K-225.

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan penulis ingin memberikan saran sebagai berikut :

1. Sampel tanah yang diambil dari lokasi saat akan dipindahkan sebaiknya tertutup rapat agar kadar air dalam tanah dapat terjaga.
2. Box uji bisa diubah ukuran (bentuknya) agar lebih memudahkan para engginer meneliti tanah tersebut.
3. Bisa di tambahkan campuran tanah lain seperti tanah lempung berpasir dsb.
4. Diperlukan ketelitian dan fokus pada pembacaan dial agar pada saat proses pengujian berlangsung bisa sempurna.
5. Setting alat konsolidometer dan dial penurunan harus dalam kondisi baik (seimbang) dan terhindar dari gangguan sehingga pembacaan dial tidak berubah-ubah dan lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Hardiyatmo, Hary Christady, 1992. *Mekanika Tanah 1*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Das, Braja, M, 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid I* . Erlangga. Jakarta.
- Bowles, Joseph E, 1991. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika tanah)*. Erlangga. Jakarta.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 2002. *Mekanika Tanah 2*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Timoshenko, S dan Goodier, J.N. 1951. *Theory of Elasticity*. 2 Edition. New york: McGraw-Hill Book Company.