

ANALISIS PEMAMPATAN SEKUNDER PADA TANAH GAMBUT JAMBI DENGAN METODE GIBSON-LO

Tanjung Rahayu

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Jakarta

email : tanjungrahayu@yahoo.com

ABSTRAK: Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari perilaku pemampatan sekunder pada tanah gambut Jambi dengan melakukan percobaan konsolidasi dan analisa data. Percobaan konsolidasi dilakukan di laboratorium dengan menggunakan alat uji oedometer digital dan analisis data dilakukan dengan menggunakan Metode Gibson-Lo. Tahapan pembebanan pada percobaan konsolidasi dilakukan dengan rasio penambahan beban sebesar 1, dengan beban awal $0,05 \text{ kg/cm}^2$ dan beban akhir $6,4 \text{ kg/cm}^2$. Tiap tahapan beban diberikan selama 24 jam, kecuali untuk dua tahap beban di sekitar tekanan prakonsolidasi yaitu $0,4 \text{ kg/cm}^2$ dan $0,8 \text{ kg/cm}^2$, beban diberikan selama 7×24 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kurva pemampatan tanah gambut Jambi menyerupai kurva pemampatan tipe I dan II menurut Lo (1961). Hasil analisis data dengan Metode Gibson-Lo menunjukkan bahwa nilai parameter a dan b mengecil dengan meningkatnya beban, sedangkan nilai $1/\lambda$ membesar dengan meningkatnya beban.

Kata Kunci : tanah gambut, konsolidasi sekunder

ABSTRACT: This research was conducted to study the behavior of secondary compression of peat soils Jambi by experimenting consolidation and analysis of data. Consolidation experiments conducted in the laboratory using digital oedometer test equipment and data analysis is done by using the method of Gibson-Lo. Tahapan loading on consolidation experiments conducted with the addition expense ratio of 1, with an initial load of 0.05 kg/cm^2 and load end of 6.4 kg/cm^2 . Each stage of the load is given for 24 hours, except for a two-stage load around prakonsolidasi pressure is 0.4 kg/cm^2 and 0.8 kg/cm^2 , the load given for 7×24 jam. The results showed that the compression curve resembles peat in Jambi compression curve of type I and II according to Lo (1961). The results of the analysis of the data by the method of Gibson-Lo showed that the value of the parameters a and b decreases with increasing load, while the value of $1/\lambda$ enlarged with increasing load.

Keywords : peat soils, secondary consolidation

LATAR BELAKANG

Gambut yang lebih dikenal dengan nama peat, adalah campuran dari fragmen-fragmen material organik yang berasal dari tumbuh-tumbuhan yang telah membusuk dan menjadi fosil. Tanah gambut mempunyai sifat yang tidak menguntungkan bagi konstruksi bangunan sipil, sebab mempunyai kadar air yang tinggi, daya dukung rendah, dan kemampuan tinggi. Oleh sebab itu, tanah gambut termasuk tanah yang kurang baik untuk suatu konstruksi bangunan sipil.

Penelitian mengenai tanah gambut masih jarang dilakukan di Indonesia sehingga pengetahuan tentang tanah gambut sangat terbatas. Keadaan seperti ini tidak boleh terjadi, sebab lahan gambut di Indonesia sangat luas. Lahan gambut terbesar terdapat di pulau Kalimantan, Sumatera, dan Irian Jaya.

Perilaku tanah gambut, misalnya konsolidasi, berbeda dengan perilaku tanah lainnya. Dengan demikian, analisis-analisis pada tanah lain seperti lempung tidak dapat digunakan begitu saja pada

tanah gambut. Pada tanah lempung, penurunan tanah tidak akan terjadi setelah konsolidasi sekunder selesai atau proses disipasi tekanan air pori selesai. Pada tanah gambut, penurunan masih dapat terjadi setelah disipasi tekanan air pori selesai karena adanya pemampatan pada butiran-butiran tanah.

Untuk mendapatkan metode yang benar dan tepat pada pelaksanaan konstruksi teknik sipil di atas tanah gambut, harus dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui karakteristik dan perilaku tanah gambut. Dengan demikian, diharapkan penelitian ini dapat digunakan untuk menambah pengetahuan dalam pelaksanaan rekayasa sipil pada tanah gambut.

TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku pemampatan sekunder pada tanah gambut dengan melakukan analisis-analisis terhadap data-data yang diperoleh dari percobaan di laboratorium. Analisis dilakukan dengan menggunakan Metode Gibson-Lo. Dari analisis-analisis tersebut akan diperoleh :

- 1) Bentuk kurva pemampatan tanah gambut Jambi?
- 2) Kurva hubungan antara penurunan - waktu, angka pori - waktu, regangan - waktu, regangan - log waktu, dan kecepatan perubahan angka pori - waktu.
- 3) Parameter-parameter model reologi a , b , λ , b_1 , dan λ_1 .

KARAKTERISTIK TANAH GAMBUT

Tanah gambut adalah tanah yang terbentuk dari campuran fragmen-fragmen material organik yang berasal dari tumbuh-tumbuhan yang telah membusuk dan menjadi fosil. Menurut ASTM D2607-69, istilah gambut hanya berhubungan dengan bahan organik yang berasal dari proses geologi selain batubara, dibentuk dari tumbuhan

yang telah mati, berada di dalam air, dan hampir tidak ada udara di dalamnya, terjadi di rawa-rawa, dan mempunyai kadar abu tidak lebih dari 25 % berat keringnya.

Parameter-parameter tanah yang dapat memberi gambaran fisik dari tanah gambut adalah :

- a. Kadar air
Tanah gambut mempunyai kemampuan yang cukup tinggi untuk menyerap dan menyimpan air.
- b. Angka pori
Angka pori untuk tanah gambut sangat besar, yaitu berkisar 5 - 15. Bahkan pernah ada tanah gambut berserat yang mempunyai angka pori 25 (Hanrahan,1954).
- c. Berat jenis
Berat jenis tanah gambut lebih besar dari 1. Menurut MacFarlene (1969), nilai berat jenis rata-rata adalah 1,5 atau 1,6.
- d. Berat volume
Berat volume tanah gambut sangat rendah. Untuk gambut yang mempunyai kandungan organik tinggi dan terendam air, berat volumenya kira-kira sama dengan berat volume air (MacFarlene, 1969). Hasil studi dari beberapa peneliti yang dirangkum oleh MacFarlene menunjukkan bahwa nilai berat volume tanah gambut berkisar antara 0,9 - 1,25 t/m³.
- e. Susut
Apabila tanah gambut dikeringkan maka tanah tersebut akan menyusut dan menjadi keras. Menurut Colley (1950), penyusutan yang terjadi dapat mencapai 50 % dari volume awal. Tanah gambut yang telah mengalami penyusutan tidak akan mampu untuk menyerap air seperti pada kondisi awal. Volume air yang dapat diserap kembali hanya berkisar antara 33 - 55 % dari volume air semula (Feustel dan Byers,1930).
- f. Koefisien permeabilitas
Nilai koefisien permeabilitas tanah gambut berkisar antara 10^{-6} - 10^{-3} cm/dt (Colley, 1950, dan Miyakawa, 1960). Untuk tanah gambut berserat (fibrous peat), koefisien

permeabilitas arah horisontal lebih besar daripada arah vertikal.

g. Keasaman (*acidity*)

Air gambut (*peaty water*) yang pada umumnya bebas dari air laut mempunyai pH antara 4 – 7 (Lea, 1960). Tingkat keasaman tanah gambut berfluktuasi tergantung pada musim dan cuaca. Nilai pH tertinggi terjadi setelah hujan lebat yang diikuti dengan musim panas yang kering.

h. Kadar abu dan kadar organik

Kadar abu tanah gambut dapat ditentukan dengan cara memasukkan tanah gambut (yang telah dikeringkan pada temperatur 105°C) ke dalam oven pada temperatur 440°C (Metode C) atau temperatur 750°C (Metode D) sampai contoh tanah tanah menjadi abu (ASTM D 2974-87).

KONSOLIDASI DAN PEMAMPATAN TANAH GAMBUT

Terzaghi (1943) menyatakan bahwa konsolidasi adalah proses berkurangnya kadar air pada lapisan tanah jenuh tanpa penggantian tempat air oleh udara. Holtz dan Kovacs menyatakan jika tanah lempung menerima beban, karena permeabilitasnya yang kecil, maka pemampatannya ditentukan dari kecepatan keluarnya air dari pori-pori tanah. Proses ini dinamakan konsolidasi dengan respons tegangan-regangan-waktu.

Proses berkurangnya volume dalam konsolidasi dapat disebabkan karena :

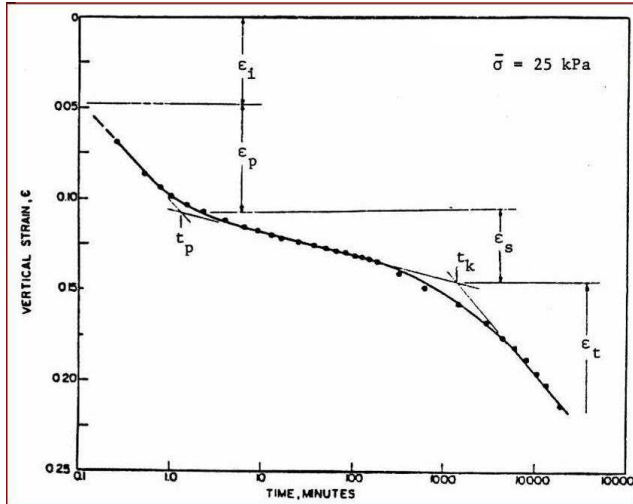
- a. deformasi partikel-partikel tanah (*bending*)
- b. perubahan jarak antar partikel
- c. keluarnya air dan udara dari pori-pori tanah

Konsolidasi tanah dapat dibagi menjadi konsolidasi primer dan konsolidasi sekunder, dimana konsolidasi sekunder terjadi setelah proses konsolidasi primer selesai. Pertambahan

beban pada tanah, pertama kali akan diterima oleh air sehingga menimbulkan kenaikan tekanan air pori (*excess pore pressure*). Pada konsolidasi primer, tekanan air pori akan berkurang akibat keluarnya air dari pori-pori tanah, kemudian dilanjutkan dengan konsolidasi sekunder dengan tekanan air pori konstan. Pada tanah inorganik, konsolidasi primer merupakan komponen terbesar dari penurunan total (*settlement*), sedangkan pada tanah organik konsolidasi sekunder merupakan komponen terbesar.

Pemampatan tanah gambut dapat diamati dengan melihat kurva regangan terhadap log waktu. Komponen-komponen pemampatan tanah gambut terdiri dari :

- a. regangan seketika (*instantaneous strain, ϵ_i*)
Terjadi dengan segera setelah beban diberikan karena tertekannya rongga udara.
- b. Regangan primer (*primary strain, ϵ_p*)
Terjadi pada waktu yang relatif singkat sampai waktu t_p dengan kecepatan pemampatan yang tinggi karena disipasi tekanan air pori.
- c. Regangan sekunder (*secondary strain, ϵ_s*)
Terjadi pada waktu yang relatif lama sampai waktu t_s dengan kecepatan pemampatan yang lebih rendah akibat pemampatan butiran tanah.
- d. Regangan tersier (*tertiery strain, ϵ_t*)
Terjadi secara terus-menerus sampai seluruh proses pemampatan berakhir.



Gambar 1. Kurva regangan - log waktu pada tanah gambut dengan beban 25 kPa (Edil dan Dhowian, 1980)

Teori konsolidasi Terzaghi umumnya digunakan untuk memperkirakan pemampatan tanah, namun teori ini tidak dapat digunakan pada tanah gambut karena:

- Koefisien permeabilitas berkurang dengan cepat
Pemampatan awal sangat cepat terjadi dan koefisien permeabilitas berkurang, sedangkan teori konsolidasi Terzaghi digunakan pada tanah yang mempunyai koefisien permeabilitas konstan.
- Daya mampat tinggi
Pemampatan seras terjadi karena butiran tanah memampat, sedangkan pada teori konsolidasi Terzaghi butiran tanah tidak termampatkan.

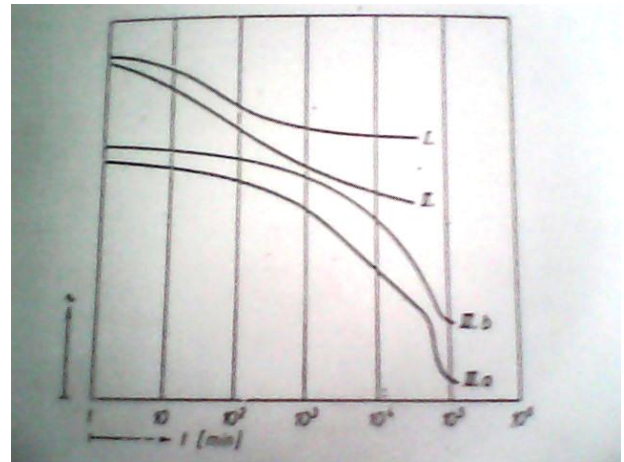
METODE GIBSON - LO

Hasil studi yang dilakukan Lo (1961) membagi kurva angka pori - log waktu menjadi beberapa bentuk :

- Kurva tipe I, yang mempunyai bentuk cekung ke atas yang bagus, kecepatan pemampatan sekunder berkurang sejalan waktu dan

kurva menjadi horisontal saat mencapai penurunan maksimum.

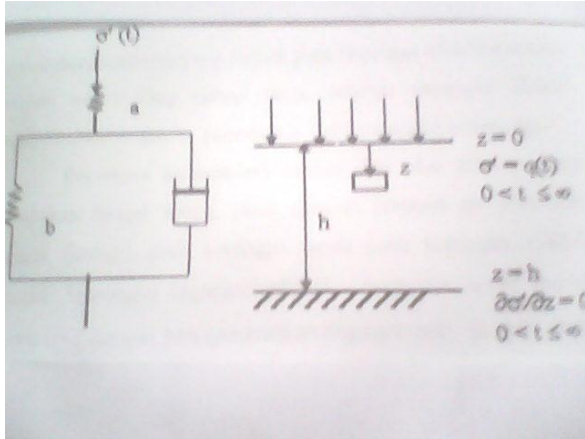
- Kurva tipe II, mempunyai karakteristik yang digambarkan dengan bagian lurus pada kurva dengan pendekatan logaritma untuk waktu yang cukup lama. Kecepatan pemampatan berkurang cepat mendekati tahap akhir dan menjadi nol saat penurunan maksimum tercapai.
- Kurva tipe III, mempunyai bentuk cekung ke bawah, kecepatan pemampatan sekunder meningkat sejalan waktu, kemudian berkurang perlahan-lahan sampai selesai (IIIb) atau tiba-tiba (IIIa).



Gambar 2. Tipe pemampatan sekunder (Lo)

Pemampatan sekunder dengan kurva tipe I dan II

R.E. Gibson dan K.Y. Lo (1961) merumuskan teori konsolidasi satu dimensi dengan menggunakan model reologi dua elemen, yaitu pegas Hooke yang dihubungkan dengan elemen Kelvin.



Gambar 3. Model reologi Gibson - Lo

Saat beban luar yang diberikan bekerja pada tanah, pegas (*spring*) Hooke memampat seketika tetapi pemampatan elemen Kelvin $b-\lambda$ tertahan oleh peredam (*dashpot*) Newton λ . Akibat rendahnya permeabilitas yang dimiliki tanah gambut, tegangan efektif $\sigma'(t)$ meningkat secara perlahan sejalan waktu dari nol sampai sama besar dengan tegangan yang diberikan. Dengan demikian, pemampatan pegas a juga terjadi dengan perlahan dan memampat secara penuh hanya jika tegangan efektifnya sama besar dengan tegangan yang diberikan.

Dengan bertambahnya tegangan efektif secara perlahan, elemen Kelvin mulai memampat. Pada mulanya, seluruh beban diterima oleh peredam Newton λ , kemudian ditransfer ke pegas Hooke b , dan memulai pemampatan. Peristiwa pemindahan beban tersebut berhubungan dengan proses konsolidasi sekunder yang terjadi pada tegangan efektif konstan. Setelah waktu yang cukup lama, seluruh tegangan efektif diterima oleh a dan b , peredam λ tidak memikul beban lagi.

Peristiwa konsolidasi terdiri dari dua proses yang merupakan fungsi waktu, yaitu disipasi tekanan air pori dan rangkakan (*creep*) dalam kerangka tanah pada tegangan efektif konstan. Hubungan tegangan efektif – regangan untuk

model seperti ini (dengan mengasumsikan regangan nol, $\varepsilon = 0$, pada $t = t_0 = 0$) dapat dinyatakan dalam bentuk rumus Gibson-Lo sebagai berikut :

$$\varepsilon(t) = a \sigma'(t) + \lambda \int_0^t \sigma'(\tau) e^{-\left(\frac{\lambda}{b}\right)(t-\tau)} d\tau \quad (1)$$

dimana :

ε = regangan pemampatan

a = kemampuan pemampatan primer (kPa^{-1})

b = kemampuan pemampatan sekunder (kPa^{-1})

t = waktu setelah pemberian beban

Pada teori Gibson-Lo, disipasi tekanan air pori diasumsikan akan ditentukan oleh persamaan dasar konsolidasi satu dimensi :

$$\frac{de}{dt} = \frac{1+e}{\gamma_w} \frac{d}{dz} \left(k \frac{du}{dz} \right) \quad (2)$$

Substitusi $\frac{-de}{1+e} = d\varepsilon$ dengan mengambil $k =$ konstan dan $i_0 = 0$ pada persamaan (2) :

$$\frac{k}{\gamma_w} \frac{d^2 \sigma'}{dz^2} = \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (3)$$

Dari kombinasi persamaan (1) dan (2), diperoleh persamaan konsolidasi satu dimensi yang dinyatakan dengan tegangan efektif σ' :

$$\frac{k}{\gamma_w} \frac{d^2 \sigma'}{dz^2} = a \frac{d\varepsilon}{dt} + \lambda \sigma' - \frac{\lambda^2}{b} \int_0^t \sigma'(z, \tau) e^{-\left(\frac{\lambda}{b}\right)(t-\tau)} d\tau$$

Kondisi batas dan awal adalah sebagai berikut :

- $0 < z < H$; $\sigma' = 0$; untuk $t = 0$
- $0 < t < \infty$; $\sigma' = \sigma(t)$ untuk $z = 0$ (5)
- $0 < t < \infty$; $d\sigma'/dz = 0$; untuk $z = H$

dimana H adalah ketebalan lapisan tanah dan tekanan $\sigma(t)$ merupakan fungsi waktu.

Penurunan relatif lapisan tanah didefinisikan sebagai berikut :

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{H} \int_0^H e(z, t) dz \quad (6)$$

Persamaan tersebut diselesaikan dengan spesifikasi fungsi beban sebagai berikut :

$$\begin{aligned} - \sigma(t) &= 0 && \text{untuk } t < 0 \\ - \sigma(t) &= \sigma_0 && \text{untuk } t \geq 0 \end{aligned} \quad (7)$$

Penurunan dalam fungsi waktu mempunyai bentuk sebagai berikut :

$$\varepsilon(t, a, b, \lambda, k) = \sigma_0(a + b) \left[1 + \frac{8}{\pi^2} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{(2m+1)^2} \cdot \left(\frac{R+P_2}{P_1-P_2} e^{P_1 t} - \frac{R+P_1}{P_1-P_2} e^{P_2 t} \right) \right]$$

dimana :

$$P_{1,2} = 0,5 \left[-(R + \alpha) \pm \sqrt{((R + \alpha)^2 - 4R\beta)} \right]$$

$$\alpha = \lambda \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)$$

$$\beta = \lambda/b$$

$$R = \frac{(m^2 \pi^2 k)}{4 H^2 a \gamma_w}$$

a = kemampuan pemampatan primer (kPa₋₁)

b = kemampuan pemampatan sekunder (kPa₋₁)

k = koefisien permeabilitas (m/s)

1/λ = kekentalan (kPa-s)

Pemodelan seperti ini memerlukan empat parameter yaitu koefisien permeabilitas (k), kekentalan struktur tanah (1/λ), kemampuan pemampatan primer (a), dan kemampuan pemampatan sekunder (b). Dua parameter pertama menentukan waktu rata-rata pemampatan sekunder (b). Dua parameter pertama menentukan waktu rata-rata pemampatan primer dan sekunder, sedangkan dua parameter berikutnya

digunakan untuk perhitungan penurunan akhir. (6)

Gibson dan Lo merumuskan sebuah Metode pendekatan untuk menentukan parameter tanah yang relevan dari data eksperimen berdasarkan asumsi bahwa untuk waktu jangka panjang penurunan total tanah (gambar 3) sama dengan jumlah dari penurunan total pegas a dan penurunan gabungan elemen b-λ :

$$\varepsilon(t, a, b, \lambda, k) = \varepsilon_a(t) + \varepsilon_b(t)$$

dimana $\varepsilon_a(t) = a \sigma_0$

Persamaan konsolidasi (4) menjadi (8)

$$\frac{k}{\gamma_w} \frac{d^2 \sigma'}{dz^2} = \lambda \sigma' - \frac{\lambda^2}{b} \int_0^t \sigma'(z, \tau) e^{-\left(\frac{\lambda}{b}\right)(t-\tau)} d\tau$$

Persamaan ini diselesaikan dengan memperhatikan kondisi (5) dan (7) sehingga fungsi pendekatan untuk penurunan menjadi :

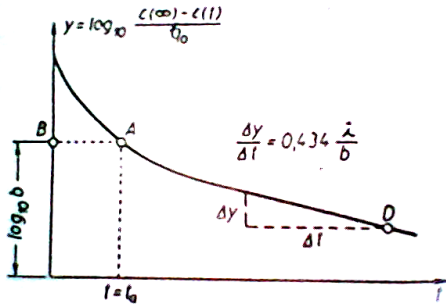
$$\varepsilon(t) = \sigma_0 \left[a + b (1 - e^{-(\lambda/b)t}) \right] \quad (11)$$

Pada limit $t \rightarrow \infty$, $\varepsilon(\infty) = (a + b) \sigma_0$

Persamaan (11) dapat ditulis dalam bentuk lain :

$$\log \frac{\varepsilon(\infty) - \varepsilon(t)}{\sigma_0} = \log b - 0,434 (\lambda/b) t$$

Metode yang digunakan untuk menentukan parameter-parameter pada persamaan ini digambarkan pada gambar 4.



Gambar 4. Penentuan parameter-parameter konsolidasi Gibson dan Lo apabila regangan akhir diketahui.

Penggambaran $\log \frac{\epsilon(\infty) - \epsilon(t)}{\sigma_0}$ dengan waktu (t) membentuk garis lurus BD. Garis OB menunjukkan kemampuan pemampatan b :

$$\log b = OB$$

dan kemiringan garis BD menunjukkan kekentalan $1/\lambda$:

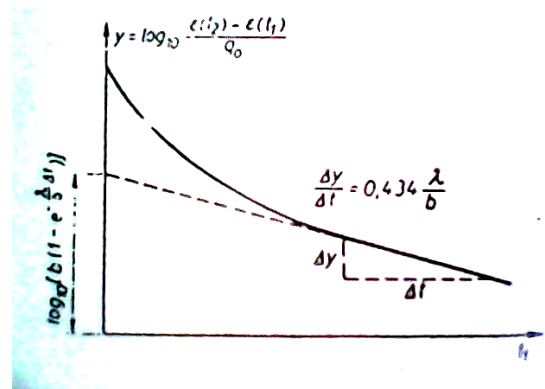
$$0,434 (\lambda/b) = tg \alpha$$

Apabila regangan akhir belum diketahui, dapat diaplikasikan penggambaran t_1 dan $t_2 = t_1 + \Delta t_0$ dengan mengambil $\Delta t_0 = t_2 - t_1$ konstan.

$$\log \frac{\epsilon(t_2) - \epsilon(t_1)}{\sigma_0} = \log [b (1 - e^{-(\lambda/b) \Delta t_0})] - 0,434 (\lambda/b) t_1 \quad (15)$$

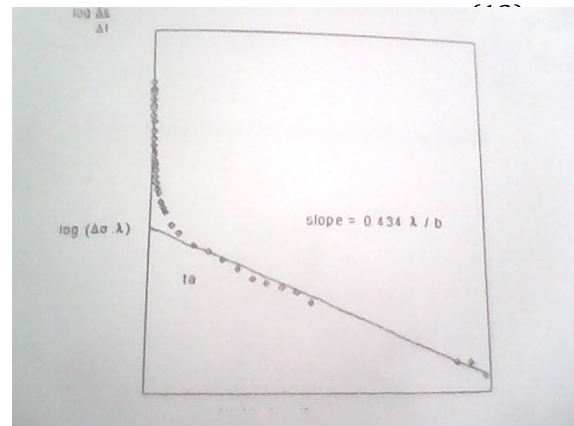
Penggambaran $y = \log_{10} \frac{\epsilon(t_2) - \epsilon(t_1)}{\sigma_0}$ dengan t_1 menghasilkan kemiringan $(-0,434 \lambda/b)$ dan koefisien pemampatan b dari pegas b dapat dihitung dari intercept

$$y_0 = \log [b (1 - e^{-(\lambda/b) \Delta t_0})]$$



Gambar 5. Penyederhanaan Metode Gibson-Lo

Parameter-parameter reologi dapat juga ditentukan dari kurva log kecepatan - regangan (Edil danDhowian).



Gambar 6. Kurva log kecepatan regangan - waktu

Kemampuan pemampatan primer (a) dapat dicari dari persamaan (11) untuk titik A (gambar 4).

$$a = [\epsilon(t_a)/\sigma_0] - b (1 - e^{-(\lambda/b) t_a})$$

atau

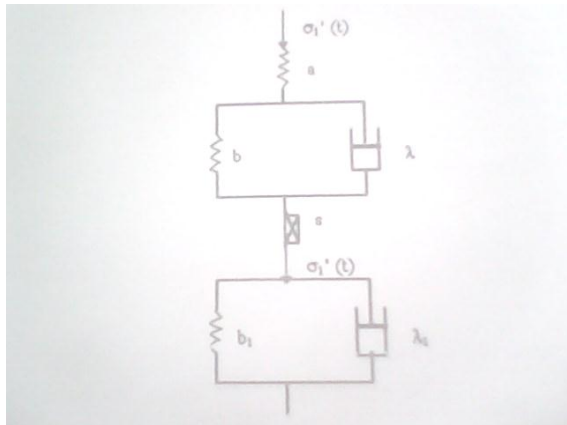
$$a = [\epsilon(\infty)/\sigma_0] - b \quad (16)$$

Regangan dan penurunan tanah yang terjadi dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$\epsilon(t) = \Delta\sigma [a + b (1 - e^{-(\lambda/b) t})] \quad (18)$$

$$S(t) = \epsilon(t).h \quad (19)$$

Pemampatan sekunder dengan kurva tipe IIIa dan IIIb



Gambar 6. Model reologi (Lo, 1961)

Model reologi di atas sama dengan dua buah seri gambar (3) yang disambungkan dengan elemen S. Dibawah nilai tegangan atau regangan kritis, elemen S kaku sehingga menahan tegangan $\sigma'(t)$ dari elemen $b-\lambda$ tanpa memindahkannya ke elemen $b_1-\lambda_1$. Namun ketika nilai kritis tersebut terlampaui, elemen S akan kehilangan kekakuannya dan $\sigma'(t)$ menggerakkan elemen $b_1-\lambda_1$ untuk :

$$\begin{aligned} 0 < t < t_k & \quad \sigma_1'(t) = 0 \\ t \geq t_k & \quad \sigma_1'(t) = \sigma_1'(t) \end{aligned}$$

Setelah kerusakan (*breakdown*) struktur tanah terjadi ($t \geq t_k$), penurunan regangan untuk jangka panjang serupa dengan persamaan (8). Dengan koefisien kekentalan peredam λ_1 maka persamaan tersebut menjadi :

$$(t) = \sigma_0 \left[a + b \left(1 - e^{-(\lambda/b)t} \right) + b_1 \left(1 - e^{-(\lambda_1/b_1)(t-t_k)} \right) \right] \tag{21}$$

Kerusakan struktur tanah pada waktu t_k ditandai dengan adanya perubahan tiba-tiba pada kurva konsolidasi.

$$(\infty) = (a + b + b_1) \sigma_0 \tag{22}$$

$$\log \left[\frac{\sigma(\infty) - \sigma(t)}{\sigma_0} - b e^{-(\lambda/b)t} \right] = \log b_1 - 0,434 (\lambda_1/b_1)(t - t_k) \tag{23}$$

Penggambaran sisi sebelah kiri persamaan di atas yaitu $y = \log (*)$ dengan $\log(t - t_k)$ akan menghasilkan

intercept $y = \log b_1$

kemiringan $(- 0,434 \lambda_1/b_1)$

METODE PENELITIAN

BENDA UJI

Benda uji untuk percobaan konsolidasi ini diambil dari Jambi. Contoh gambut yang digunakan adalah contoh tanah tidak terganggu (*undisturb sample*). Contoh tanah diambil pada kedalaman 1 m dengan tabung berdiameter 7 cm dan panjang 60 cm. Tanah gambut yang telah masuk ke dalam tabung dilapisi oleh aluminium foil dan lilin agar tidak merubah kondisi asli.

Benda uji yang masih berada di dalam tabung dikeluarkan dengan alat pendorong vertikal secara perlahan-lahan dan langsung dimasukkan ke dalam cincin percobaan. Benda uji yang digunakan dalam percobaan berdiameter 6 cm dan tinggi 2 cm. (20)

Prosedur penelitian di laboratorium

Kegiatan percobaan dilakukan di Balai Geoteknik, Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan, Ujungberung, Bandung. Jenis kegiatan yang dilaksanakan adalah :

1. Percobaan berat jenis berdasarkan ASTM D 854
2. Percobaan kadar air berdasarkan ASTM D 2974
3. Percobaan konsolidasi dengan oedometer berdasarkan ASTM D 2435 :

- a) Test 1
 Memberikan beban secara bertahap dengan waktu pembebanan 24 jam untuk beban :
- | | |
|---------------------------|--------------------------|
| 0,05 kg/cm ² ; | 0,1 kg/cm ² ; |
| 0,2 kg/cm ² ; | 0,4 kg/cm ² ; |
| 0,8 kg/cm ² ; | 1,6 kg/cm ² ; |
| 3,2 kg/cm ² ; | 6,4 kg/cm ² ; |
- Jumlah benda uji adalah 1 buah.

- b) Test 2
 Memberikan beban secara bertahap dengan :
- waktu pembebanan 24 jam untuk beban

0,05 kg/cm ² ;	0,1 kg/cm ² ;
0,2 kg/cm ² ;	1,6 kg/cm ² ;
3,2 kg/cm ² ;	6,4 kg/cm ² ;
 - waktu pembebanan 24 jam untuk beban

0,4 kg/cm ² dan 0,8 kg/cm ² ;

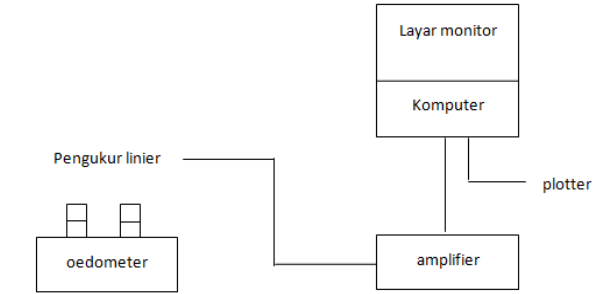
- Jumlah benda uji adalah 1 buah.

Peralatan percobaan konsolidasi

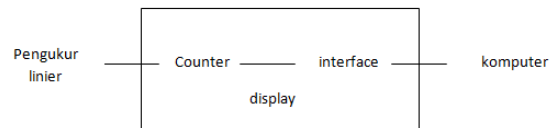
Peralatan yang digunakan untuk melakukan percobaan konsolidasi tanah gambut adalah oedometer yang disambungkan dengan amplifier dan seperangkat komputer. Dengan adanya amplifier dan komputer tersebut, maka pembacaan penurunan akan lebih baik dan dapat direkam secara otomatis oleh komputer.

Sistem ini terdiri dari :

1. Perangkat keras
 - a) mesin percobaan : alat konsolidasi yaitu oedometer pembebanan
 - b) alat pengukur : amplifier pengukur linier
 - c) komputer : komputer dan layar monitor untuk pengukuran dan pemrosesan data



Gambar 7. Skema perangkat keras



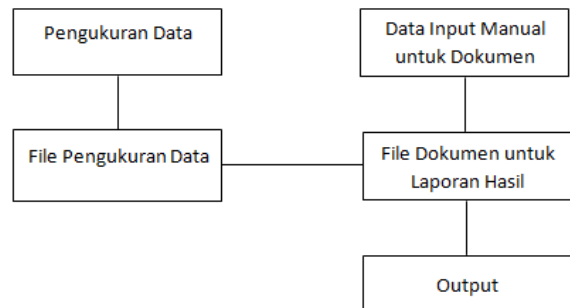
Gambar 8. Skema amplifier pada percobaan konsolidasi

Amplifier pada percobaan konsolidasi terdiri dari :

- a) penghitung (*counter*), berfungsi untuk menghitung jumlah sinyal yang terdeteksi oleh alat sensor
- b) layar LCD (*LCD display*), berfungsi untuk menunjukkan besarnya deformasi
- c) interface, berfungsi untuk mengubah jumlah sinyal yang terdeteksi oleh alat sensor menjadi suatu besaran yang dapat direkam oleh komputer

2. Perangkat lunak

- a) pengukuran
- b) pemrosesan data
- c) perekaman dalam disket



Gambar 9. Skema aliran data

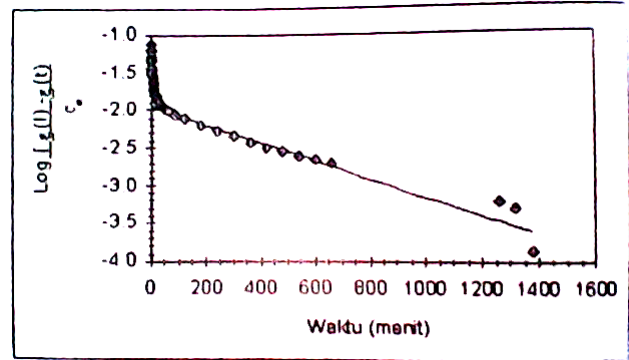
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Sifat fisik yang dimiliki oleh tanah gambut Jambi adalah :

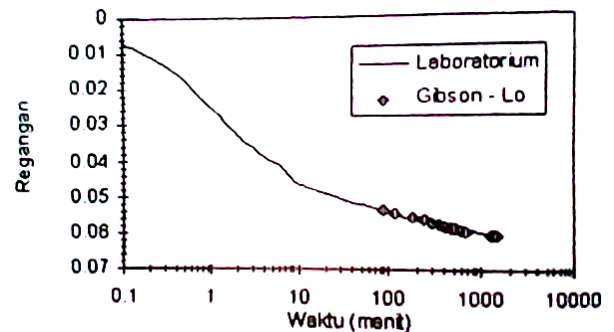
- 1) kadar air : 271,9 %
- 2) berat volume : 1,08 t/m³
- 3) berat jenis : 1,67
- 4) angka pori : 4,7571

HASIL PERCOBAAN KONSOLIDASI DENGAN METODE GIBSON-LO

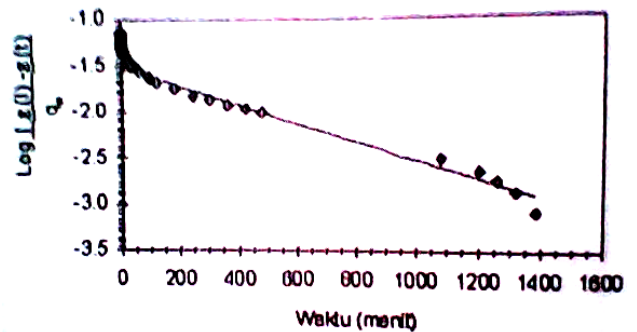
Kurva angka pori - log waktu pada percobaan konsolidasi tanah gambut Jambi selama 1 hari dan 1 minggu dengan pembebanan bervariasi menunjukkan kurva tipe I dan II menurut Lo. Kurva tipe I mempunyai bentuk cekung ke atas yang bagus, kecepatan pemampatan sekunder berkurang sejalan waktu, dan kurva menjadi horisontal pada saat penurunan maksimum terjadi. Kurva tipe II mempunyai karakteristik yang digambarkan dengan bagian lurus pada kurva dengan pendekatan logaritma untuk waktu yang cukup lama. Kecepatan pemampatan berkurang cepat mendekati tahap akhir dan menjadi nol saat penurunan maksimum tercapai. Dengan demikian, analisis data konsolidasi sekunder dengan Metode Gibson-Lo menggunakan rumus-rumus untuk pemampatan sekunder dengan kurva tipe I dan II.



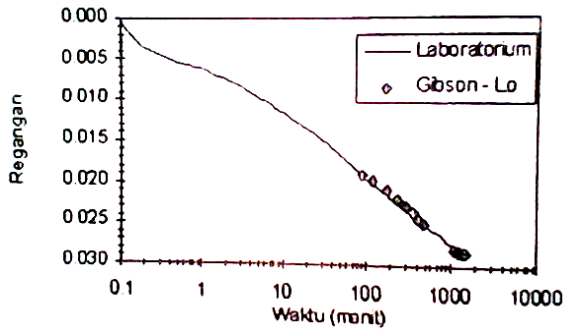
Gambar 10. Kurva $\log[\varepsilon(1) - \varepsilon(t)]/q_0$ dan waktu untuk tekanan 0,8 kg/cm² (test 1)



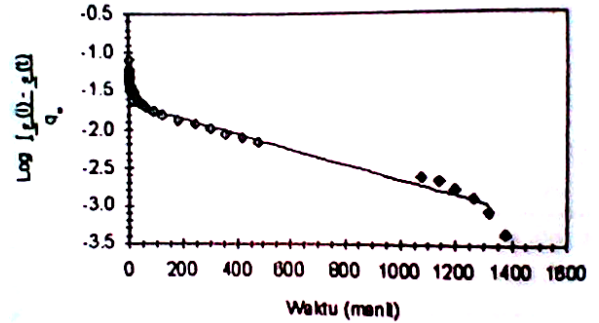
Gambar 11. Kurva regangan - waktu untuk tekanan 0,8 kg/cm² (test 1)



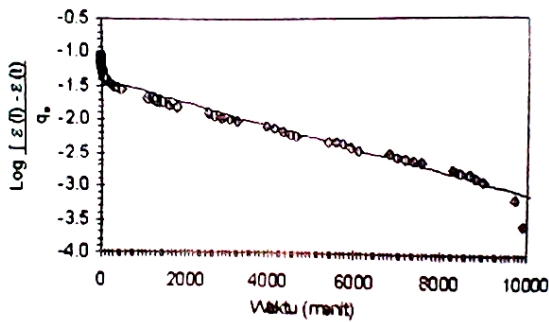
Gambar 12. Kurva $\log[\varepsilon(1) - \varepsilon(t)]/q_0$ dan waktu untuk tekanan 0,8 kg/cm² - 1 hari (test 2)



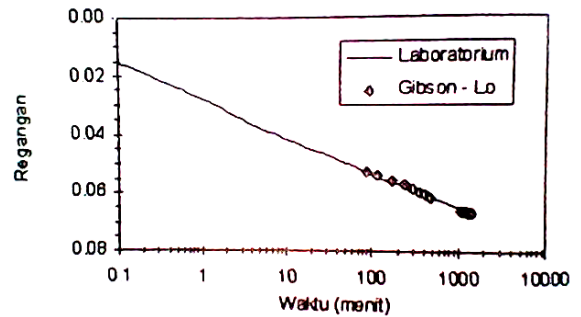
Gambar 13. Kurva regangan – waktu untuk tekanan 0,4 kg/cm² – 1 hari (test 2)



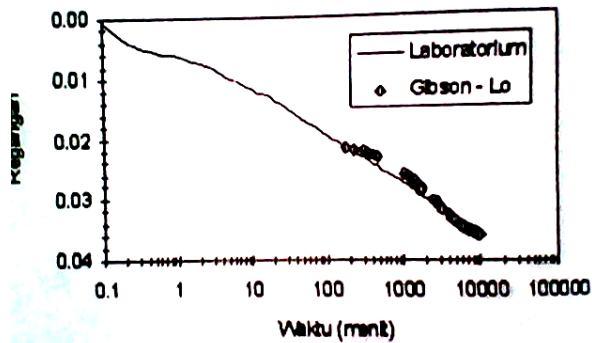
Gambar 16. Kurva $\log[\varepsilon(1) - \varepsilon(t)]/q_0$ dan waktu untuk tekanan 0,8 kg/cm² – 1 hari (test 2)



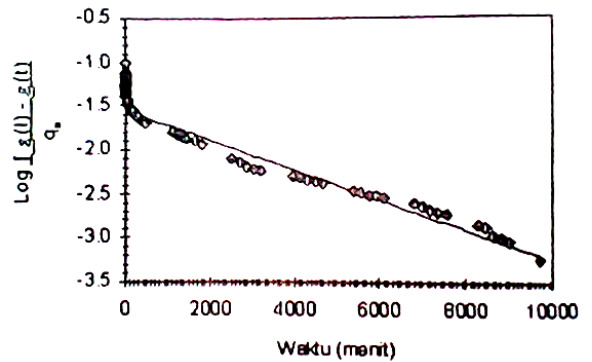
Gambar 14. Kurva $\log[\varepsilon(1) - \varepsilon(t)]/q_0$ dan waktu untuk tekanan 0,4 kg/cm² – 1 minggu (test 2)



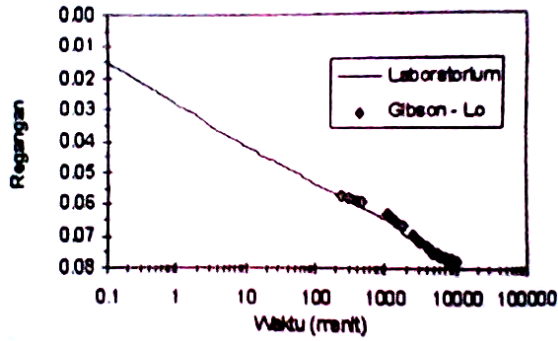
Gambar 17. Kurva regangan – waktu untuk tekanan 0,8 kg/cm² – 1 hari (test 2)



Gambar 15. Kurva regangan – waktu untuk tekanan 0,4 kg/cm² – 1 minggu (test 2)



Gambar 18. Kurva $\log[\varepsilon(1) - \varepsilon(t)]/q_0$ dan waktu untuk tekanan 0,8 kg/cm² – 1 minggu (test 2)



Gambar 19. Kurva regangan - waktu untuk tekanan 0,8 kg/cm² - 1 minggu (test 2)

Tabel 1. Parameter-parameter Gibson-Lo untuk tanah gambut Jambi (test 1)

Tekanan (kg/cm ²)	a (cm ² /kg)	b (cm ² /kg)	1/λ (kg min/cm ²)
0,05	0,3681775	0,0444631	12,195 . 10 ³
0,1	0,1206053	0,0377659	10,449 . 10 ³
0,2	0,0977921	0,0259119	13,966 . 10 ³
0,4	0,7994722	0,0153674	28,249 . 10 ³
0,8	0,0648381	0,0111764	32,362 . 10 ³
1,6	0,0473696	0,0085153	46,296 . 10 ³

Tabel 2. Parameter-parameter Gibson-Lo untuk tanah gambut Jambi (test 2)

Tekanan (kg/cm ²)	a (cm ² /kg)	b (cm ² /kg)	1/λ (kg min/cm ²)
0,05	0,6220426	0,1223771	2,955 . 10 ³
0,1	0,1163006	0,0806306	5,382 . 10 ³
0,2	0,1471326	0,0513570	16,891 . 10 ³
0,4	0,0423547	0,0300123	14,451 . 10 ³
0,8	0,0621536	0,0220757	19,646 . 10 ³
1,6	0,0452528	0,0124337	34,965 . 10 ³
3,2	0,0307686	0,0062087	69,930 . 10 ³
6,4	0,0166745	0,0031067	138,889 . 10 ³

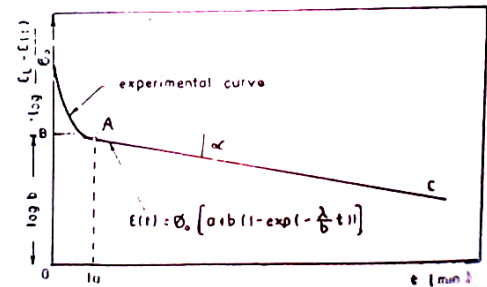
Tabel 3. Parameter-parameter Gibson-Lo untuk tanah Gambut Jambi (test 2) dengan masa pembebanan bervariasi

Tekanan (kg/cm ²)	Parameter Gibson-Lo	Waktu		
		1 hari	3 hari	7 hari
0,4	a (cm ² /kg)	0,0423547	0,0467610	0,0512118
	b (cm ² /kg)	0,0300123	0,0366891	0,0394903
	1/λ (kg min/cm ²)	14,450 . 10 ³	29,586 . 10 ³	64,516 . 10 ³
0,8	a (cm ² /kg)	0,0621536	0,0650531	0,0695792
	b (cm ² /kg)	0,0220750	0,0280285	0,0280970
	1/λ (kg min/cm ²)	19,646 . 10 ³	38,760 . 10 ³	90,909 . 10 ³

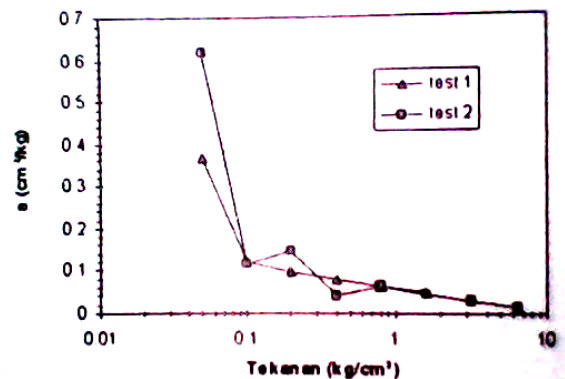
Dari hasil analisis data dengan Metode Gibson-Lo, diperoleh nilai regangan untuk setiap waktu.

Pembahasan Metode Gibson-Lo

Perbandingan nilai regangan hasil analisis dengan Metode Gibson-Lo dengan hasil percobaan di laboratorium menunjukkan perbedaan sedikit lebih besar pada awal pemampatan sampai kurang lebih menit ke sembilan puluh dibandingkan dengan waktu lainnya. Hal ini disebabkan waktu berakhirnya konsolidasi primer menurut Metode Gibson-Lo berkisar antara 50 - 240 menit tergantung pada beban yang diberikan dan waktu pembebanan. Waktu berakhirnya konsolidasi primer adalah waktu dimana garis lurus konsolidasi sekunder berhimpit dengan log garis percobaan laboratorium pada kurva $\log[\varepsilon(1) - \varepsilon(t)]/q_0$ - waktu (gambar 20).

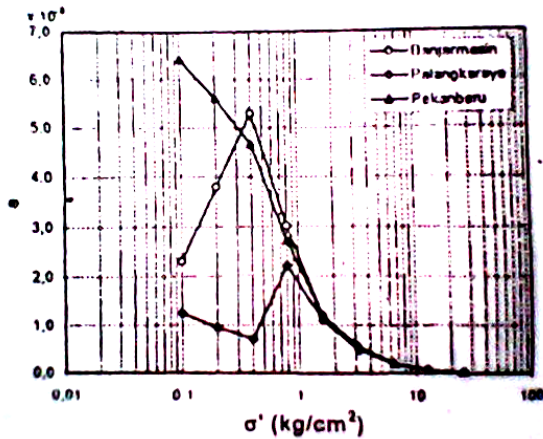


Gambar 20. Penentuan parameter konsolidasi dengan Metode Gibson-Lo (Sumber : Jurnal B. Juskiewicz - Bednarczyk dan Werno, 1981)



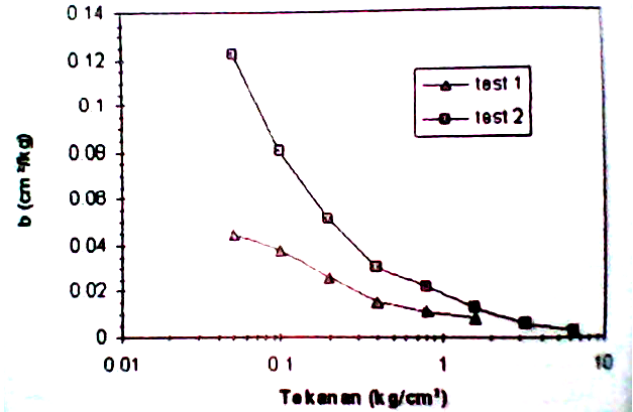
Gambar 21. Kurva parameter a

Dari gambar 21 dapat dilihat bahwa nilai parameter a pada umumnya mengecil dengan meningkatnya tekanan. Hal ini disebabkan oleh adanya kandungan serat, dimana pemampatan akibat keluarnya air dari makropori sangat dipengaruhi oleh kandungan serat dalam contoh tanah. Dengan adanya pembebanan pada tanah maka akan terjadi pemampatan yang dapat menyebabkan makropori mengecil sehingga air pori semakin sulit untuk mengalir keluar (gambar 43). Dengan demikian, nilai parameter a akan mengecil dengan meningkatnya beban. Hal ini sesuai dengan penelitian Noor Endah M. dan Eding Iskak I. (1999).

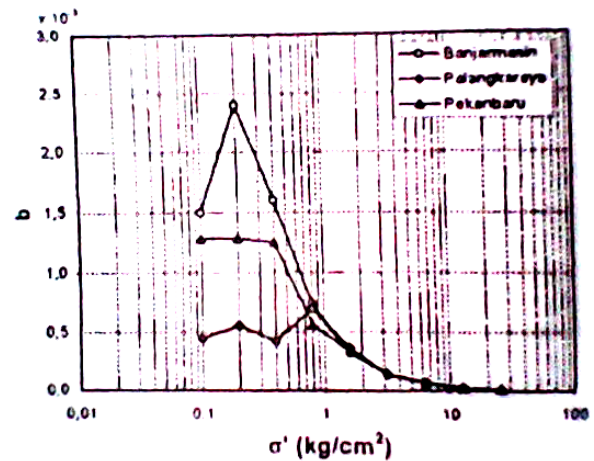


Gambar 22. Kurva parameter a (penelitian Noor Endah M. dan Eding Iskak I., 1999)

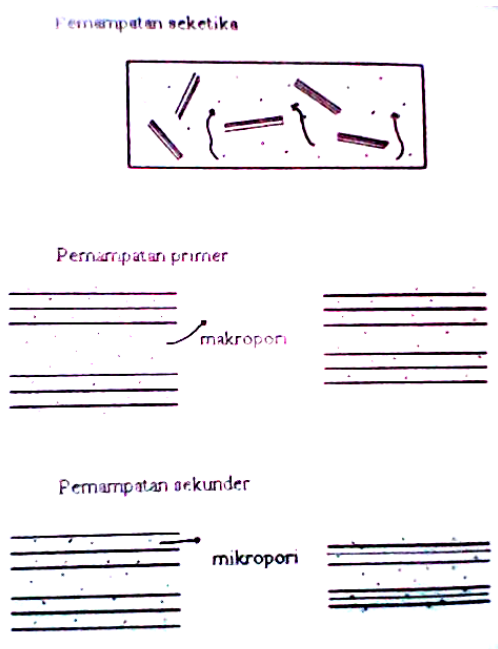
Parameter b merupakan fungsi dari kecepatan aliran air dari mikropori ke makropori (Adams, 1965). Analisis data menunjukkan bahwa nilai parameter b akan mengecil dengan meningkatnya tekanan (gambar 22), berarti pemampatan akibat rangkakan (*creep*) makin berkurang dengan meningkatnya beban. Setelah pemampatan yang terjadi cukup besar, ruang makropori dan mikropori semakin kecil sehingga aliran air dari mikropori ke makropori semakin sulit (gambar 23).



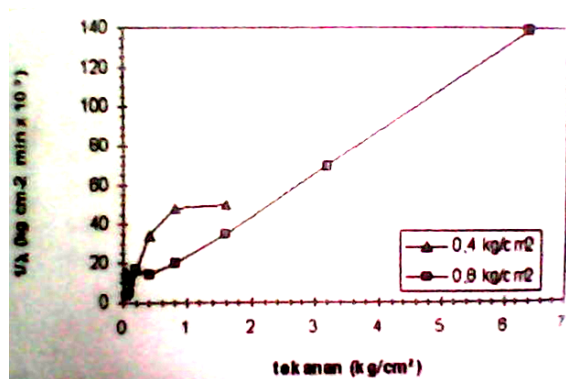
Gambar 23. Kurva parameter b



Gambar 24. Kurva parameter b (penelitian Noor Endah M. dan Eding Iskak I., 1999)

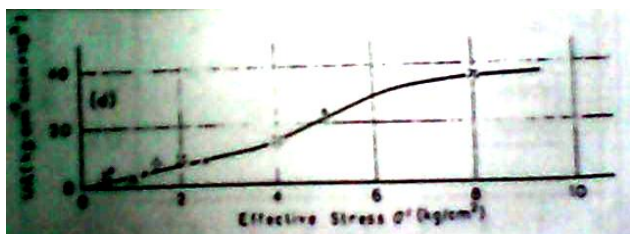


Gambar 25. Pemampatan pada tanah gambut

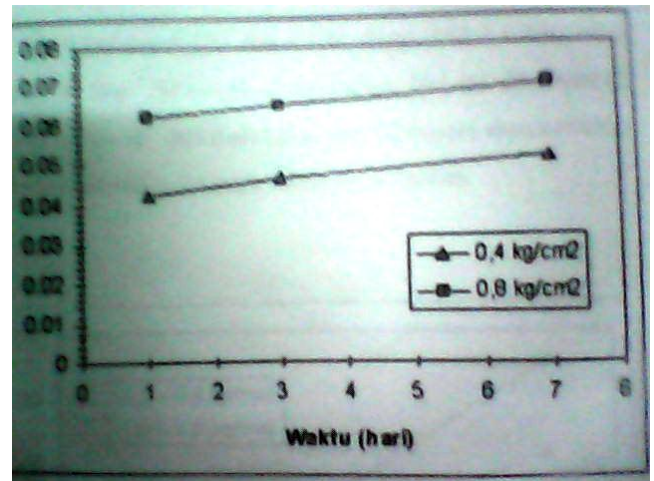


Gambar 26. Kurva parameter $1/\lambda$

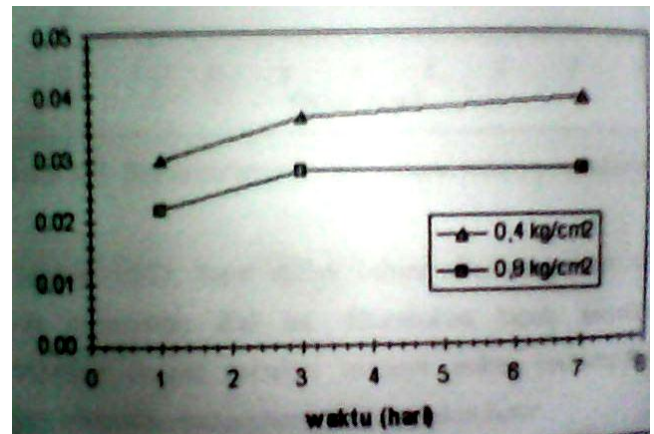
Dari gambar 26 terlihat bahwa nilai parameter $1/\lambda$ cenderung untuk membesar sejalan dengan meningkatnya beban. Hal ini sesuai dengan penelitian K.Y. Lo.



Gambar 27. Kurva parameter $1/\lambda$ (penelitian K.Y. Lo)

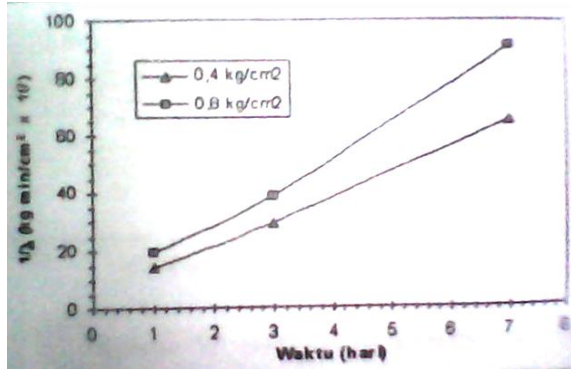


Gambar 28. Kurva parameter a dengan waktu pembebanan



Gambar 29. Kurva parameter b dengan waktu pembebanan

Dari gambar 28 dan 29 terlihat bahwa nilai parameter a dan b semakin membesar dengan meningkatnya waktu pembebanan. Hal ini disebabkan karena proses keluarnya air dari makropori dan mikropori semakin besar dengan semakin lamanya waktu pemampatan.



Gambar 30. Kurva parameter $1/\lambda$ dengan waktu pembebanan

Dari gambar 30 terlihat bahwa parameter $1/\lambda$ semakin membesar karena tanah semakin termampatkan dengan semakin lamanya waktu pemampatan sehingga kekentalan (viskositas) tanah semakin besar.

KESIMPULAN

1. Bentuk kurva regangan - waktu (skala log) yang diperoleh menyerupai kurva pemampatan tipe I dan II pada hasil studi yang telah dilakukan Lo (1961).
2. Nilai parameter a pada Metode Gibson-Lo akan mengecil dengan meningkatnya beban. Hal ini disebabkan oleh mengecilnya ruang makropori sehingga aliran air pori dari makropori menjadi semakin sulit untuk keluar.
3. Nilai parameter b pada Metode Gibson-Lo semakin mengecil dengan meningkatnya beban. Hal ini disebabkan oleh mengecilnya ruang makropori dan mikropori sehingga aliran air pori dari mikropori ke makropori semakin sulit.
4. Nilai parameter $1/\lambda$ pada Metode Gibson-Lo semakin besar dengan meningkatnya beban.
5. Periode pembebanan mempengaruhi nilai parameter a, b, $1/\lambda$. Dengan makin lamanya periode pembebanan maka nilai a, b, $1/\lambda$ semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

1. Andersland, O.B. dan Al-Khafaji, A.W.N. (1980), Organic Material and Soil Compressibility, Journal of the Geotechnical Engineering Division, vol 106, no. GT7, pp. 749-758.
2. ASTM, American Society for Testing & Material, Philadelphia, USA.
3. Barden, L. (1968), Primary and Secondary Consolidation of Clay and Peat, Geotechnique, 18.
4. Bednarczyk, J.B. dan Werno, M. (1981), Determination of Consolidation Parameters.
5. Berre, T. & Iversen, K. (1972), Oedometer Tests with Different Speciment Heights on a Clay Exhibiting Large Secondary Compression, Geotechnique, vol. 22, no. 1.
6. Berry, P.L. dan Vickers, B. (1975), Consolidation of Fibrous Peat, Journal of the Geotechnical Engineering Division, vol. 101, no. GT8, pp.741-753.
7. Das, B.M, Advanced Soil Mechanics, International Student Edition, Singapore.
8. Edil, T.B., Termaat, Ruud, dan Han, Evert den, Advances in Understanding and Modelling the Mechanical Behavior of Peat, A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield.
9. Edil, T.B., Soft Soil Engineering, Kursus Singkat Geoteknik di Indonesia Menjelang Milenium ke-3.
10. Holtz, R.D., dan Kovacs, W.D., An Introduction to Geotechnical Engineering, Prentice Hall Inc.
11. Irsyam, M., Mekanisme dan Penanggulangan Tanah Mengembang, diktat kuliah Perilaku Tanah.
12. Irsyam M., Studi Kasus Perbaikan Tanah pada Tanah Lunak dan Gambut, Kursus Singkat Geoteknik di Indonesia Menjelang Milenium ke-3.
13. Lambe, T.W., dan Whitman, R.V., Soil Mechanics, SI Version, John Wiley & Sons, Inc.

14. Lo, K.Y. (1961), Secondary Compression of Clays, *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division*, vol. 87, No. SM 4, pp 61-87.
15. Mac Farlane, I.C., *Muskeg Engineering Handbook*, National Research Council of Canada, University of Toronto, Canada.
16. Pradoto, Suhardjito dan As'ad Munawir, *Analisis dan Perilaku Pemampatan Gambut Palembang*.
17. Suklje, Lujo, *Rheological Aspect of Soil Mechanics*, Wiley-Interscience, John Wiley & Sons Ltd.
18. Wahls, H.E. (1962), Analysis of Primary and Secondary Consolidation, *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, vol. 88, no. SM6, pp. 207-231.
19. Yamanouchi, Toyotoshi dan Yasuhara, Kazuya, (March, 1975), Secondary Compression of Organic Soil, *Soils and Foundations*, vol. 15, no. 1, pp. 69-79.