

## STUDI PERBANDINGAN SAND DRAIN DAN IJUK DIBUNGKUS GONI SEBAGAI VERTIKAL DRAIN

Sumiyati Gunawan

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 44 Yogyakarta  
Email : sumiyatig@staff.uajy.ac.id  
sumiyatig@yahoo.co.id

### ABSTRAK

Sifat fisik tanah dapat diperbaiki dengan menurunkan kadar air. Suatu metode drainasi dibuat untuk berbagai macam keperluan pekerjaan tanah, bila diharapkan air dalam tanah berkurang. Salah satu cara perbaikan tanah dasar pondasi lunak yang *kompresible* antara lain dengan memasang drainasi vertikal untuk mempercepat konsolidasi, sehingga diharapkan diperoleh tanah yang lebih padat dengan kuat geser yang lebih besar. Saat ini kita telah mengenal penggunaan pasir sebagai drainasi vertikal yang telah terbukti dapat mempercepat konsolidasi. Pada penelitian ini dicoba dengan menggunakan bahan sederhana yaitu ijuk pohon aren yang dibungkus goni, sebagai bahan alternatif lain yang sangat banyak dijumpai di negeri ini. Pada penelitian ini akan dilakukan uji konsolidasi Rowe dengan batu pori di atas dan di bawah, dengan drainasi vertikal yang dipasang di tengah-tengah. Drainasi vertikal yang dibandingkan yaitu pasir dan ijuk dari pohon aren dibungkus goni serta tanpa drainasi vertikal, masing-masing 2 sample. Hasil koefisien konsolidasi arah vertikal ijuk bungkus goni rerata  $4,065 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{dt}$ , pasir rerata  $2,34 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{dt}$  dan yang tanpa drainasi vertikal sebesar  $9,53 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{dt}$ . Hasil koefisien konsolidasi arah horisontal ijuk dibungkus goni rerata  $2,296 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{dt}$ , pasir rerata  $1,37 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{dt}$ . Penurunan total, drainasi vertikal ijuk dibungkus goni rerata 0,389 cm, pasir rerata 0,3785 cm, dan tanpa drainasi vertikal 0,3115 cm. Sehingga, dilihat dari hasil percobaan ini maka ijuk dari pohon aren yang dibungkus goni bisa dijadikan bahan alternatif sebagai drainasi vertikal.

Kata kunci : konsolidasi, drainasi vertikal, koefisien konsolidasi

### 1. PENDAHULUAN

Sifat fisik tanah dapat diperbaiki dengan menurunkan kadar air. Suatu metode drainasi dibuat untuk berbagai macam keperluan pekerjaan tanah, bila diharapkan air dalam tanah berkurang. Salah satu cara perbaikan tanah dasar pondasi lunak yang *kompresible* antara lain dengan memasang drainasi vertikal untuk mempercepat konsolidasi, sehingga diharapkan diperoleh tanah yang lebih padat dengan kuat geser yang lebih besar. Saat ini kita telah mengenal penggunaan pasir sebagai drainasi vertikal yang telah terbukti dapat mempercepat konsolidasi. Pada penelitian ini dicoba dengan menggunakan bahan sederhana yaitu ijuk pohon aren yang dibungkus goni, sebagai bahan alternatif lain yang sangat banyak dijumpai di negeri ini.

#### 1.1. Tujuan Dan Manfaat Penelitian

Berdasarkan dari apa yang telah diuraikan di atas, tujuan penelitian ini adalah ingin mempelajari kecepatan penurunan tanah dengan percobaan konsolidasi Rowe dengan membandingkan drainasi vertikal dari pasir dan drainasi vertikal dari ijuk dibungkus goni. Dan diharapkan dari hasil penelitian ini, akan ada bahan alternatif yang lebih murah dan mudah didapatkan, yang tentu saja bermanfaat bagi pekerjaan tanah yang menggunakan metode drainasi.

#### 1.2. Batasan Masalah

Pada penelitian ini, diambil tanah lempung dari daerah Piyungan Bantul di Selatan Daerah Istimewa Yogyakarta dan akan dilakukan uji konsolidasi Rowe dengan batu pori di atas dan di bawah, dengan drainasi vertikal yang dipasang di tengah-tengah. Adapun drainasi vertikal yang akan dibandingkan yaitu pasir (lolos ayakan 3mm dan tertahan ayakan 1mm), dan ijuk dari pohon aren dibungkus goni, masing-masing 2 sample dan parameter yang dihasilkan adalah koefisien konsolidasi.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Konsolidasi

Peristiwa keluarnya air dari dalam pori tanah karena tambahan tekanan efektif sehingga terjadi pemampatan/penurunan pada tanah dasar. Akibat adanya tambahan tekanan efektif pada lapisan tanah kompresif, tanah mengalami konsolidasi yang prosesnya berlangsung dalam jangka waktu yang lama.

Laju konsolidasi atau kecepatan proses konsolidasi, dipengaruhi oleh :

- Permeabilitas tanah
- Tebal tanah kompresible
- Kondisi drainasi di atas dan di bawah lapisan tanah kompresible

### 2.2. Nilai Koefisien Konsolidasi Arah Vertikal (Cv)

Menurut Terzaghi, pada drainasi 2 arah (batu pori diletakkan di atas dan di bawah sample), pada saat pembebanan  $\Delta p$  bekerja, tekanan eksese u terbagi rata (diagram berbentuk segiempat). Dengan mengalirnya air, tekanan eksese berkurang (diagram berbentuk parabola) yang makin lama makin kecil dan menjadi nol setelah konsolidasi selesai. Besarnya tekanan eksese berubah menurut waktu dan kedalaman, maka :

$$u = f(z, t) \tag{2.2.1}$$

Tekanan eksese = tekanan pori = tekanan hidrostatis :  $u = h \cdot \gamma_w$  Atau tinggi tekanan :  $h = \frac{u}{\gamma_w}$

Dari teori konsolidasi Terzaghi ini diperoleh hubungan antara U dan Tv yang digambarkan sebagai grafik atau dibuat suatu tabel (tabel 2.1)

dan persamaannya disederhanakan dengan rumus pendekatan menjadi :

$$\text{untuk } U_v < 60\% \rightarrow T_v = \frac{\pi}{4} \cdot U_v^2 \tag{2.2.2}$$

$$\text{untuk } U_v \geq 60\% \rightarrow T_v = -0,933 \cdot \log(1 - U_v) - 0,085 \tag{2.2.3}$$

Tabel 2.1 Hubungan U dan Tv

Uv	0	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Tv	0	0,008	0,031	0,071	0,126	0,197	0,286	0,403	0,567	0,848	~

Juga diperoleh hubungan antara Tv dan Cv yaitu :  $T_v = \frac{C_v}{d^2} \cdot t$  (2.2.4)

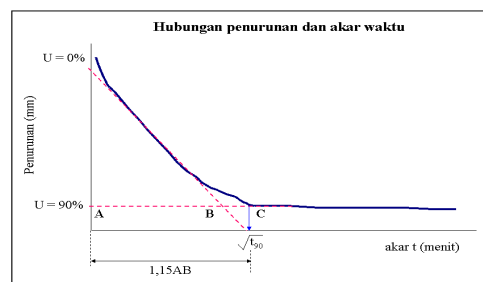
Dimana : Tv = faktor waktu

Cv = koefisien konsolidasi arah vertikal

t = waktu

d = panjang lintasan (1/2 H untuk drainasi 2 arah )

Nilai koefisien konsolidasi arah vertikal Cv dari suatu tanah diperoleh dari grafik hubungan antara penurunan (s) dan waktu (t) yang diperoleh dari pengamatan langsung di laboratorium. (gambar 2.1)



Gambar 2.1 Hubungan Penurunan dan waktu

Bagian grafik dari U = 0% sampai sekitar U = 60% berupa garis lurus dan selanjutnya garis lengkung, jika ditarik U= 90% dan dipotongkan dengan perpanjangan garis lurus dari kurva (titik B), selanjutnya juga dipotongkan dengan kurva U -  $\sqrt{t}$  (titik C), ternyata AC = 1,15 AB

Sehingga nilai koefisien konsolidasi arah vertikal dapat dicari dengan rumus :  $C_v = \frac{0,848 \cdot d^2}{t_{90}}$  (2.2.5)

### 2.3. Nilai Koefisien Konsolidasi Arah Horisontal (Cr)

Keadaan dengan anggapan hanya terjadi konsolidasi dan penurunan tanah akibat air mengalir ke drainasi vertikal saja. Hubungan antara derajat konsolidasi arah radial Ur dan waktu t, dinyatakan dalam faktor waktu Tr, adalah :

$$u_r = f (T_r) \tag{2.3.1}$$

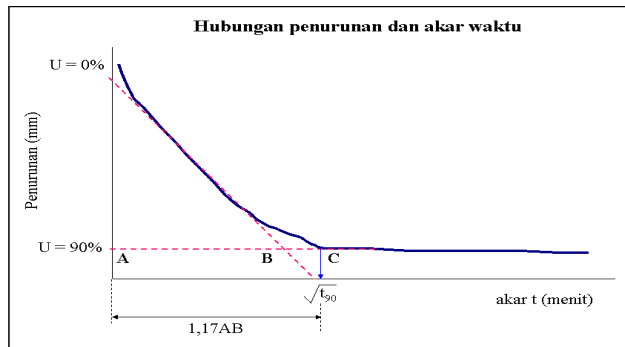
Dimana :  $T_r = \frac{C_r}{(2R)^2} \cdot t$  (2.3.2)

Digunakan rumus pendekatan :  $U_r = 1 - e^{-8.Tr/y}$  atau  $Tr = -\frac{y}{8} \ln(1-U_r)$  (2.3.3)

Dimana :  $y = \frac{n^2}{n^2-1} \ln n - \frac{3n^2-1}{4n^2} \longrightarrow n = \frac{R}{r}$  (2.3.4)

R = jari-jari pengaruh = 0,564a, untuksusunan bujursangkar  
 = 0,525a, untuksusunan segitiga  
 r = jari-jari drainasi vertikal

Nilai koefisien konsolidasi Cr dari suatu tanah diperoleh dari grafik hubungan antara penurunan (s) dan waktu (t) yang diperoleh dari pengamatan langsung di laboratorium. (gambar 2.2)



Gambar 2.2 Hubungan Penurunan dan waktu

Bagian grafik dari U = 0% sampai sekitar U = 60% berupa garis lurus dan selanjutnya garis lengkung, jika ditarik U = 90% dan dipotongkan dengan perpanjangan garis lurus dari kurva (titik B), selanjutnya juga dipotongkan dengan kurva U - √t (titik C), ternyata AC = 1,17 AB

Sehingga nilai koefisien konsolidasi arah horisontal dapat dicari dengan rumus :  $C_r = \frac{Tr.(2R)^2}{t_{90}}$  (2.3.5)

Berdasarkan ukuran sample, dengan diameter sample tanah 6” = 15,24cm dan diameter drainasi vertikal 0,8cm, maka untuk  $U_r = 90\% \rightarrow Tr = 0,635$ , maka koefisien konsolidasi arah horisontal menjadi :

$$C_r = \frac{0,635.(2R)^2}{t_{90}} \quad (2.3.6)$$

**2.4. Derajat konsolidasi gabungan arah vertikal dan arah horisontal / radial**

Jika tanah mengalami konsolidasi vertikal dan radial, masing – masing mencapai derajat konsolidasi arah vertikal  $U_v$  dan derajat konsolidasi arah radial  $U_r$ , maka derajat konsolidasi gabungan  $U_{gab}$  yang dicapai dihitung dengan persamaan :

$$(1 - U_{gab}) = (1 - U_v).(1 - U_r) \quad (2.4.1)$$

**3.METODOLOGI PENELITIAN**

**3.1 Bahan**

Contoh tanah lempung yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari daerah Piyungan Bantul di bagian selatan Daerah Istimewa Yogyakarta.

Tanah lempung tidak terganggu (*undisturbed sample*), diambil pada kedalaman ± 2,5 m dengan menggunakan tabung pralon yang mempunyai diameter dalam 25,3cm dan diameter luar 26,75cm serta tinggi tabung 30cm.

Pada pembuatan contoh tanah di laboratorium menggunakan cetakan khusus dari plat baja yang mempunyai diameter dalam 6” (φ15,24cm) dan tinggi 3,5cm, serta cetakan khusus untuk membuat lubang drainasi vertikal dengan diameter 0,8cm yang sesuai dengan alat yang akan digunakan yaitu sel konsolidasi Rowe.

**3.2. Diskripsi Peralatan**

Peralatan yang akan digunakan sel Rowe yang dikembangkan di universitas Manchester (Rowe dan Barden 1966). Pada dasarnya prinsip kerja alat ini sama dengan alat konsolidasi konvensional (*oedometer*), perbedaan yang utama (keunggulan sel Rowe) terletak pada :

- a. Sistem pembebanan (pembebanan hidrolis) : tidak menimbulkan getaran yang berarti pada contoh tanah; pemberian tekanan dapat diberikan sampai 1000 kPa atau melihat kondisi membran karet, pengaturan tegangan dapat dilakukan dengan mudah.

- b. pengukuran : dapat disimulasi beberapa kondisi drainasi (vertikal atau horisontal); mengukur tekanan air pori dengan teliti pada setiap saat, sehingga memungkinkan ditetapkannya secara tepat batas mulai dan berakhirnya proses pemampatan primer ; tingkat kejenuhan dapat ditentukan dengan *back pressure*; pengukuran daya mampat dapat dilakukan dalam arah vertikal maupun horisontal / radial.
  - c. variasi sistem pengaliran : satu arah ; dua arah atau 3 arah / 3 dimensi.
  - d. Tersedia 3 ukuran diameter pada sel konsolidasi *Rowe* yaitu : 3” ; 6” ; dan 10”.
- Pada penelitian ini digunakan sel Rowe yang berdiameter 6” ( $\phi 15,24\text{cm}$ ).

### 3.3 Prosedur pengujian

- a. Batu pori ditempatkan di bagian atas dan bawah contoh tanah yang sudah dilapisi kertas saring ,sehingga berlaku drainasi 2 arah vertikal, juga dibuat lubang drainasi vertikal dengan diameter 0,8cm, sehingga berlaku juga drainasi arah horisontal / radial . Kemudian contoh tanah dimasukkan ke dalam sel konsolidasi *Rowe*.
- b. Sel *Rowe* yang sudah berisi contoh tanah diberikan pembebanan hidrolis secara bertahap  $1\text{kg/cm}^2$  ;  $2\text{ kg/cm}^2$  ;  $4\text{ kg/cm}^2$  ;  $6\text{ kg/cm}^2$  . Setiap tahap pembebanan dibiarkan selama 24 jam (pemampatan primer telah selesai).
- c. Pada setiap tahap pembebanan diamati dan dicatat penurunannya, tekanan air porinya pada waktu yang ditentukan selama 24 jam (pemampatan primer telah selesai).Waktu pencatatan adalah sebagai berikut :  $0'$ ;  $0,25'$ ;  $1'$ ;  $2,25'$ ;  $4'$ ;  $6,25'$ ;  $9'$ ;  $12,25'$ ;  $16'$ ;  $20,25'$ ;  $25'$ ;  $36'$ ;  $49'$ ;  $64'$ ;  $81'$ ;  $100'$ ;  $144'$ ;  $169'$ ;  $1440'$  (24jam).
- d. Dilakukan juga pengujian parameter tanah , sebagai berikut : kadar air tanah , berat jenis, berat volume, batas plastis, derajat kejenuhan dan angka pori.

## 4.ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Hasil Penelitian

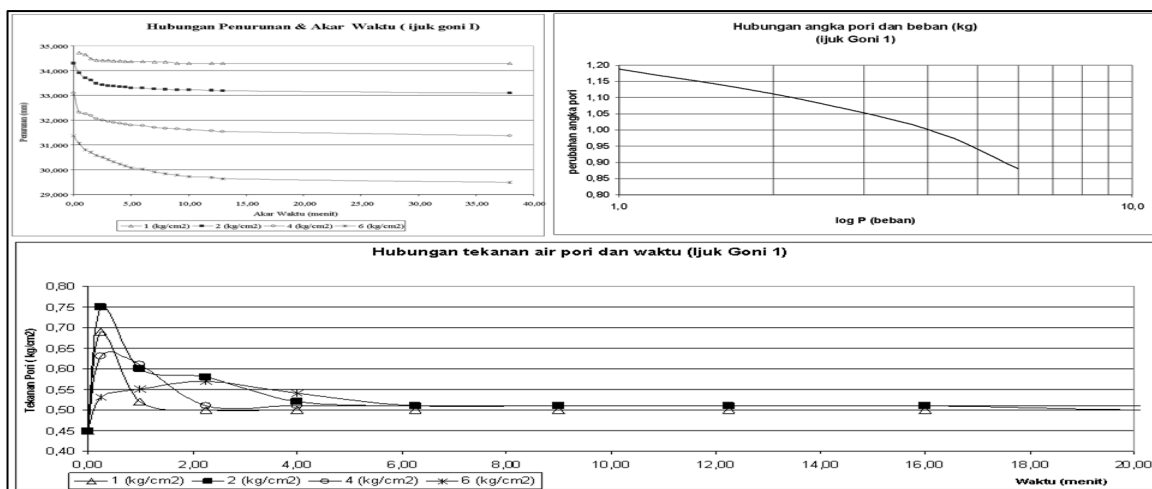
Tabel 4.1 Parameter tanah lempung yang didapat :

Kadar air	45,5560% - 48,692%
Berat jenis	2,6454 - 2,6776
Berat volume	$1,5930\text{ gr/cm}^3$ - $1,7270\text{ gr/cm}^3$
Plastisitas	30,5289% - 33,3000%
Derajat kejenuhan	91,2910% - 95,8455%
Angka pori	1,2340 - 1,4317

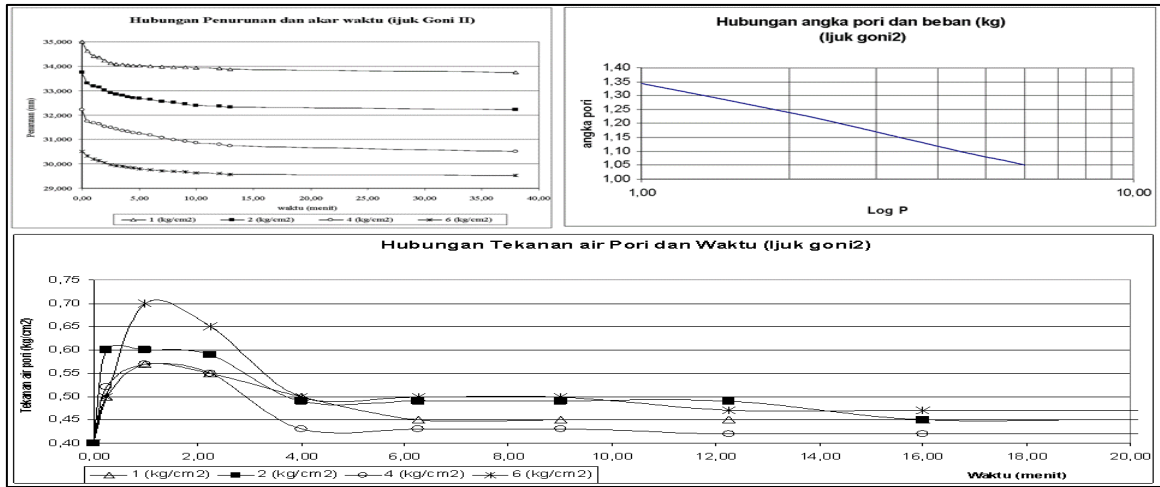
Dari hasil percobaan konsolidasi di laboratorium diperoleh beberapa hubungan yang akan digunakan untuk memperoleh parameter-parameter tanah yang kita inginkan, antara lain :

- a. Hubungan antara penurunan (mm) dan akar waktu (menit), dari hubungan ini akan kita peroleh nilai koefisien konsolidasi
- b. Hubungan antara angka pori (tanpa satuan) dan beban (kg), dari hubungan ini kita peroleh nilai indeks kompresi (cc)
- c. Hubungan antara tekanan air pori ( $\text{kg/cm}^2$ ) dan waktu (menit), yang menunjukkan bahwa konsolidasi primer telah selesai

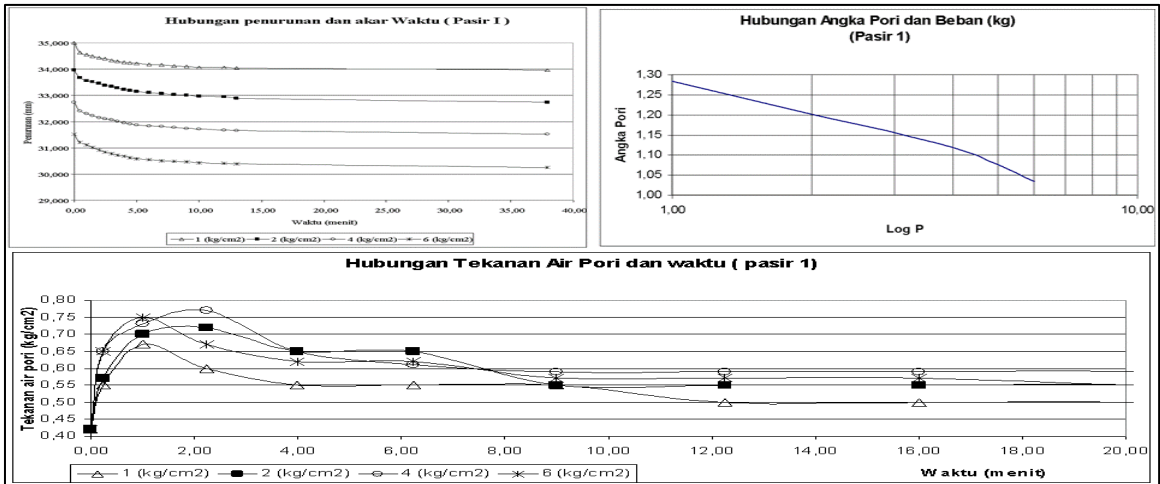
#### 4.1.1 Hasil Percobaan Konsolidasi I (ijuk goni 1)



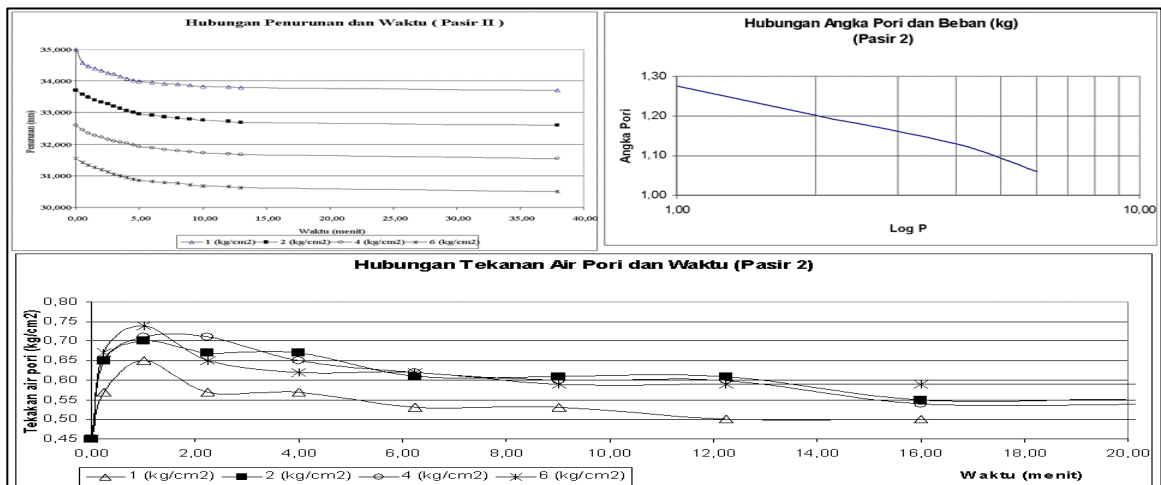
### 4.1.2 Hasil Percobaan Konsolidasi II (ijuk goni 2)



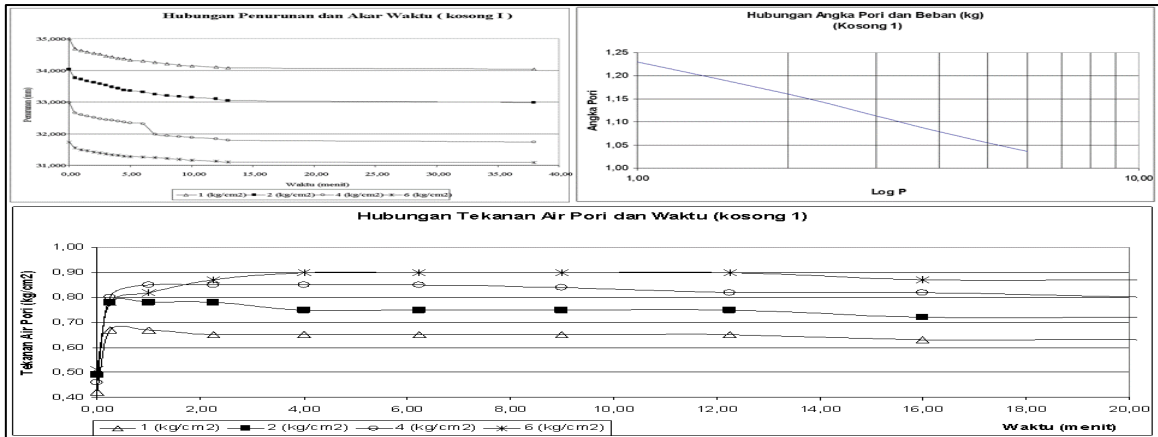
### 4.1.3 Hasil Percobaan Konsolidasi III (Pasir 1)



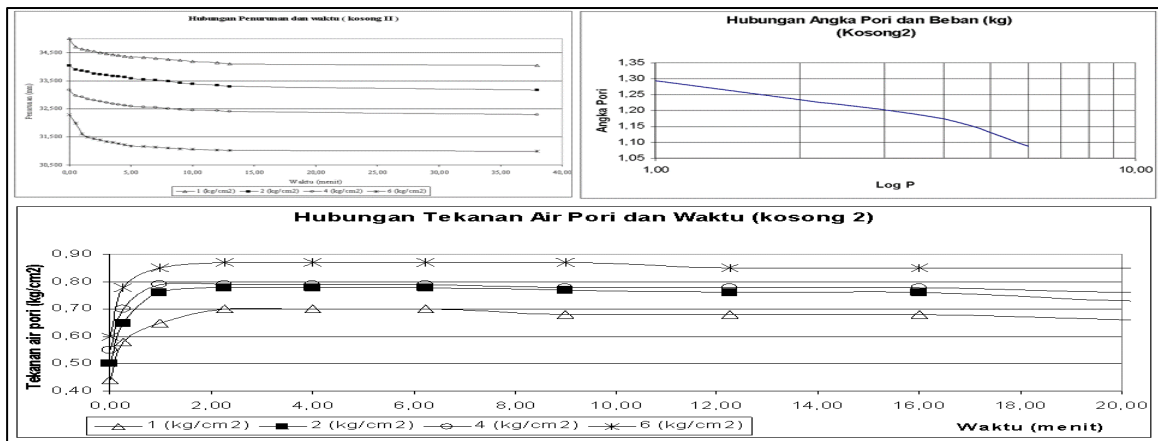
### 4.1.4 Hasil Percobaan Konsolidasi IV (Pasir 2)



### 4.1.5 Hasil Percobaan Konsolidasi V (Tanpa Drainasi 1 / Kosong 1)



### 4.1.6 Hasil Percobaan Konsolidasi VI (Tanpa Drainasi 2 / Kosong 2)



## 4.2. Analisa Hasil dan Pembahasan

Dari hasil penurunan akibat pembebanan dan akar waktu diperoleh koefisien konsolidasi arah vertikal (tabel 4.2) dan koefisien konsolidasi arah horisontal (tabel 4.3) yang dapat dibandingkan sebagai berikut :

Tabel 4.2. Koefisien konsolidasi arah vertikal

Drainasi Vertikal	Koefisien konsolidasi arah vertikal $C_v$ ( $\text{cm}^2/\text{dt}$ )
Ijuk dibungkus goni 1	$0,0004627487 = 4,63 \cdot 10^{-4}$
Ijuk dibungkus goni 2	$0,0003497848 = 3,50 \cdot 10^{-4}$
Pasir 1	$0,0002441903 = 2,44 \cdot 10^{-4}$
Pasir 2	$0,0002238834 = 2,24 \cdot 10^{-4}$
Tanpa drainasi 1	$0,0000951933 = 9,50 \cdot 10^{-5}$
Tanpa drainasi 2	$0,0000955824 = 9,56 \cdot 10^{-5}$

Tabel 4.3. Koefisien konsolidasi arah Horisontal

Drainasi Vertikal	Koefisien konsolidasi arah Horisontal $C_{vr}$ ( $\text{cm}^2/\text{dt}$ )
Ijuk dibungkus goni 1	$0,0263300619 = 2,63 \cdot 10^{-2}$
Ijuk dibungkus goni 2	$0,0196221627 = 1,96 \cdot 10^{-2}$
Pasir 1	$0,0142235826 = 1,42 \cdot 10^{-2}$
Pasir 2	$0,0131729188 = 1,32 \cdot 10^{-2}$
Tanpa drainasi 1	-
Tanpa drainasi 2	-

Dan perbandingan penurunan total dari hasil pembebanan adalah sebagai berikut :

Tabel 4.4. Penurunan total

Drainasi Vertikal	Penurunan total (Cm)
Ijuk dibungkus goni 1	0,387
Ijuk dibungkus goni 2	0,391
Pasir 1	0,383
Pasir 2	0,374
Tanpa drainasi 1	0,302
Tanpa drainasi 2	0,321

Dari perhitungan indeks kompresi tanah dan hasil perhitungan parameter tanah maka didapat :

- a) Indeks kompresi (Cc) rata rata sebesar 0,75
- b) Berat volume tanah ( $\gamma_b$ ) rata rata sebesar 1,64 gr/cm<sup>3</sup>
- c) Angka pori (eo) rata rata sebesar 1,34

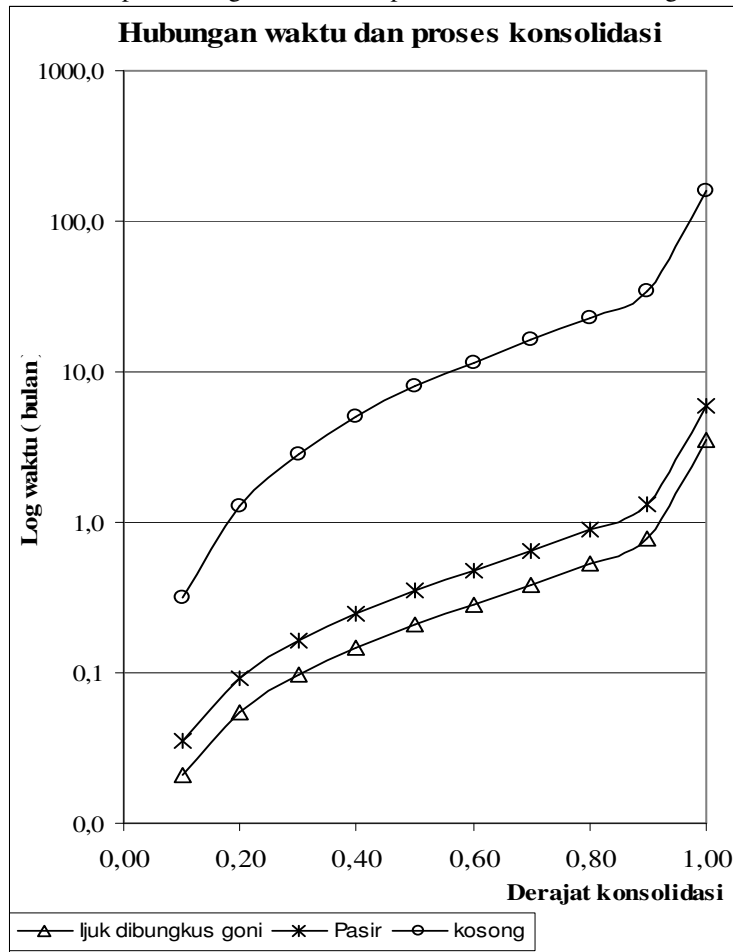
### 4.3. Contoh soal di Lapangan

Direncanakan suatu konstruksi jalan raya di atas tanah lempung kompresif setebal 2,0m yang berada di tengah tengah lapisan pasir dengan tebal masing masing 2,0m. Badan jalan dianggap cukup luas sehingga memberikan tambahan tekanan rata pada lempung sebesar  $\Delta p = 0,2 \text{ kg/cm}^2$ . muka air tanah pada -1,50 m. Direncanakan pemasangan *vertical drain* dengan diameter 30 cm, jarak antara *vertical drain* 3,0m dengan susunan bujur sangkar.

Diketahui :

- a) Indeks kompresi (Cc) = 0,75
- b) Berat volume tanah ( $\gamma_b$ ) lempung = 1,64 gr/cm<sup>3</sup>
- c) Berat volume tanah ( $\gamma_b$ ) pasir = 1,90 gr/cm<sup>3</sup>
- d) Angka pori (eo) lempung = 1,34
- e) Angka pori (eo) pasir = 0,6
- g) Berat jenis pasir = 2,65
- h) Berat volume lempung terendam air : 0,7265 gr/cm<sup>3</sup>
- i) Berat volume pasir terendam air : 1,03125 gr/cm<sup>3</sup>
- j) Tekanan efektif lapangan Po = 4,092125 gr/cm<sup>2</sup>
- k) Besarnya penurunan : smax = 54,42 cm

Dari hasil perhitungan kita lihat perbandingan waktu dan proses konsolidasi dalam grafik di bawah ini :



## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Hasil percobaan konsolidasi di laboratorium untuk membandingkan bahan drainasi vertikal buatan sendiri dengan menggunakan ijuk yang dibungkus dengan karung goni dan bahan drainasi vertikal dari pasir serta sample yang tanpa diberi drainasi vertikal sebagai pembanding dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Pada hasil koefisien konsolidasi arah vertikal terlihat bahwa drainasi vertikal dari ijuk yang dibungkus goni mempunyai nilai tertinggi yaitu rata rata  $4,065.10^{-4}$  cm<sup>2</sup>/dt, kemudian pasir dengan nilai rata rata sebesar  $2,34.10^{-4}$  cm<sup>2</sup>/dt dan yang tanpa drainasi vertikal rata rata sebesar  $9,53.10^{-5}$  cm<sup>2</sup>/dt
- Dari hasil koefisien konsolidasi arah Horisontal terlihat bahwa drainasi vertikal dari ijuk yang dibungkus goni mempunyai nilai tertinggi yaitu rata rata  $2,296.10^{-2}$  cm<sup>2</sup>/dt, kemudian pasir dengan nilai rata rata sebesar  $1,37.10^{-2}$  cm<sup>2</sup>/dt
- Dilihat dari penurunan total, maka percobaan konsolidasi dengan menggunakan drainasi vertikal ijuk dibungkus goni mempunyai penurunan total terbesar yaitu rata rata 0,389 cm, kemudian pasir dengan rata rata penurunan total 0,3785 cm, dan yang tanpa drainasi vertikal dengan penurunan rata rata 0,3115 cm. Perbedaan penurunan tersebut dicatat pada sample setinggi 3,5 cm dengan pembebanan bertahap yang setiap tahapnya diberikan selama 24 jam
- Dari grafik hubungan antara tekanan air pori dan waktu menunjukkan bahwa tekanan air pori tidak kembali seperti semula setelah 24 jam pembebanan pada percobaan konsolidasi tanpa menggunakan drainasi vertikal.
- Untuk percobaan yang menggunakan drainasi vertikal, baik ijuk dibungkus goni maupun pasir, tekanan air pori kembali seperti semula setelah pembebanan selama 24 jam
- Melihat hasil pembahasan, maka ijuk pohon aren dibungkus goni bisa dijadikan bahan alternatif drainasi vertikal

### 5.2. Saran

Untuk pengembangan penelitian tentang drainasi vertikal dari ijuk dibungkus goni di masa yang akan datang perlu dilaksanakan hal2 sebagai berikut :

- Mencoba melakukan penelitian konsolidasi dengan membandingkan drainasi vertikal buatan sendiri dari ijuk yang dibungkus karung goni dan buatan pabrik *prefabricated drain* (geotekstil). (sudah dilakukan penulis pada penelitian berikutnya)
- Mencoba melakukan penelitian tentang karakteristik dari ijuk pohon aren yang dibungkus goni.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Khafaji, A.W and Andersland, O (1992), “ *Geotechnical Engineering and Soil Testing* “ , Florida : Saunders College Publishing.
- Das, B.M (1933), “ *Advance Soil Mechanics* “ , Washington : Hemisphere Publishing Corporation.
- Gunawan, S (1991), “ Laporan Praktikum Mekanika Tanah “ , Laboratorium Mekanika Tanah, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Gunawan, S (1995), ” Bahan Kuliah Mekanika Tanah ” , Fakultas Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Scott,R.F (1965), ” *Principle of Soil Mechanis* ” , London : Addison – Wesley Publishing Company, INC.
- Sherly,L.H (1987), “ Penuntun Praktis Geoteknik dan Mekanika Tanah “ , Bandung : Penerbit Nova.
- Hardiyatmo,H.C (1992), ” Mekanika Tanah ” , Jakarta : Penerbit PT. Gramedia Pustaka Umum.
- Karyasuparta,S.R (1998), Perbaikan Tanah Dengan Vertikal Drain , Preloading da Monitoring ” , Bandung : Prosiding Kursus Singkat Geoteknik.
- Pranowo,S (1981), ” *Sand Drain Model by Central Oedometer* ” XICSMFE Stockholm 1981, vol.1. pp 745-750.