

PERCEPATAN PENURUNAN SAMPAH PLASTIK SEBAGAI DRAINASE VERTIKAL

Sumiyati Gunawan

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 44 Yogyakarta

email: sumiyatig@staff.uajy.ac.id; sumiyatig@yahoo.co.id

Abstract: One of soil behavior which could potentially lead to the failure of the structure is the result of consolidation of land subsidence in clay. Clay is a land that has a coefficient of permeability (k) is small. When the low permeability soil layer saturated burdened, then the pore water pressure in the soil immediately increased. The difference in pore water pressure in the soil, resulting in water flowing into the soil layer with pore water pressure is lower, which is followed by a decrease in soil. One way to speed up the flow of water/saturated clay consolidation rate using vertical drains. In this study will be conducted experiments vertical drainage comparison with fillers such as sand, fibers and plastics. This study was conducted to determine the ability of vertical drainage with filler sand, fibers and plastic waste to the speed reduction clay. Research land is done by creating a model in the laboratory. Imposition is done there are 4 stages, namely the burden 0.25 ton, 0.5 ton, 1 ton and 2.0 ton each performed 10 days of observation. Drainage diameter used was 2.5 cm with the distance between the vertical drainage 18.75 cm with a rectangular arrangement pattern on soft ground with a thickness of 10 cm and in a state of double drain. There are 4 test, which loading test without vertical drainage, with vertical drainage sand, with vertical drainage fibers and with vertical drainage plastic waste. Sand is filtered before use, the fibers used from palm trees and plastic garbage used is rubbish plastic bottles with size ± 1 cm. The results show that the method of soil improvement using vertical drainage with plastic garbage filler material proved to be better than the vertical drainage Ijuk and sand in accelerating the decline. This indicated an increase in the coefficient of consolidation vertical direction compared to the coefficient of consolidation on soft ground without vertical drainage. In vertical drainage plastic waste increases by 412.03%. In vertical drainage sand improve drainage 160.0% and 345.13% increase vertical fibers.

Keywords: Vertical Drainage, Consolidation, consolidation coefficient, Consolidation Process.

Abstrak: Salah satu perilaku tanah yang berpotensi menyebabkan kegagalan struktur adalah penurunan tanah akibat konsolidasi pada tanah lempung. Tanah lempung merupakan tanah yang mempunyai koefisien permeabilitas (k) yang kecil. Bila lapisan tanah jenuh berpermeabilitas rendah dibebani, maka tekanan air pori di dalam tanah tersebut segera bertambah. Perbedaan tekanan air pori pada lapisan tanah, berakibat air mengalir ke lapisan tanah dengan tekanan air pori yang lebih rendah, yang diikuti penurunan tanahnya. Salah satu cara untuk mempercepat aliran air/laju konsolidasi lempung jenuh dengan menggunakan drainase vertikal. Dalam penelitian ini akan dilakukan percobaan perbandingan drainase vertikal dengan bahan pengisi berupa pasir, ijuk dan sampah plastik. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan drainase vertikal dengan bahan pengisi pasir, ijuk dan limbah plastik terhadap kecepatan penurunan tanah lunak. Penelitian ini dilakukan dengan membuat model di laboratorium. Pembebanan yang dilakukan ada 4 tahap, yaitu beban 0,25 ton, 0,5 ton, 1 ton dan 2,0 ton masing-masing dilakukan 10 hari pengamatan. Diameter drainase yang dipakai adalah 2,5 cm dengan jarak antar drainase vertikal 18,75 cm dengan pola susunan segiempat pada tanah lunak dengan ketebalan 10 cm dan dalam kondisi *double drain*. Ada 4 pengujian, yaitu pengujian pembebanan tanpa drainase vertikal, dengan drainase vertikal pasir, dengan drainase vertikal ijuk dan dengan drainase vertikal sampah plastik. Pasir dilakukan penyaringan sebelum digunakan, ijuk yang dipakai dari pohon aren dan sampah plastik yang digunakan adalah sampah botol plastik dengan ukuran ± 1 cm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode perbaikan tanah menggunakan drainase vertikal dengan bahan pengisi sampah plastik terbukti lebih baik daripada drainase vertikal Ijuk dan pasir dalam mempercepat penurunan. Hal ini ditunjukkan adanya peningkatan koefisien konsolidasi arah vertikal yang dibandingkan dengan koefisien konsolidasi pada tanah lunak tanpa drainase vertikal. Pada drainase vertikal sampah plastik meningkatkan sebesar 412,03%. Pada drainase vertikal pasir meningkatkan 160,0% dan drainase vertikal ijuk meningkatkan 345,13%.

Kata kunci : Drainase Vertikal, Konsolidasi, Koefisien konsolidasi, Proses Konsolidasi.

PENDAHULUAN

Salah satu perilaku tanah yang berpotensi menyebabkan kegagalan struktur adalah penurunan tanah akibat konsolidasi pada tanah lempung. Tanah lempung merupakan tanah yang mempunyai koefisien permeabilitas (k) yang kecil. Bila lapisan tanah jenuh berpermeabilitas rendah dibebani, maka tekanan air pori di dalam tanah tersebut segera bertambah. Perbedaan tekanan air pori pada lapisan tanah, berakibat air mengalir ke lapisan tanah dengan tekanan air pori yang lebih rendah, yang diikuti penurunan tanahnya.

Konsolidasi adalah peristiwa keluarnya air dari pori-pori tanah akibat pembebanan di atas tanah sehingga tanah mengalami penurunan. Karena permeabilitas yang kecil, maka penurunan tersebut berlangsung dalam waktu yang lama sehingga sangat merugikan pada pelaksanaan konstruksi. Salah satu cara untuk mempercepat aliran air/laju konsolidasi lempung jenuh dengan menggunakan drainase vertikal. Penggunaan drainase vertikal telah sejak lama dilakukan untuk mempercepat konsolidasi. Material yang sering digunakan menjadi bahan utama pengisi drainase vertikal adalah pasir. Banyak juga digunakan geotekstil sebagai bahan pengisi drainase vertikal. Penggunaan geotekstil dan pasir sebagai bahan pengisi masih relatif mahal. Permasalahan yang timbul adalah mencari bahan pengisi pada drainase vertikal yang efektif dalam mempercepat penurunan konsolidasi dan harganya murah.

Pada penelitian ini akan dicoba bahan pengisi drainase vertikal yang lain yaitu sampah plastik botol mineral yang akan dibandingkan dengan pasir dan ijuk. Pada penelitian ini menggunakan pola penyusunan drainase vertikal berupa segi empat. Pada susunan drainase vertikal segi empat, jumlah drainase yang digunakan adalah enam belas buah. Alasan menggunakan ijuk dan sampah botol plastik air mineral adalah disamping harganya murah dan mudah didapat, ijuk memiliki sifat menyerap dan menyimpan air serta akan mengalirkannya apabila terdapat tekanan yang bekerja terhadapnya, sedangkan sampah botol plastik merupakan limbah yang tidak mudah terurai dan dapat dijadikan bahan alternatif yang dapat mempercepat penurunan.

Batasan Masalah

Dalam penelitian ini diberikan beberapa batasan agar penelitian tidak terlalu luas dan lebih terarah. Adapun beberapa batasan masalah tersebut antara lain: (1) Sampel tanah yang digunakan adalah tanah lempung yang berasal dari daerah Kasongan, Bantul, sedangkan sampel tanah pasir yang digunakan berasal dari sekitar daerah kampus II Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Tanah akan diuji parameternya di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta. (2) Material pengisi drainase vertikal adalah pasir, ijuk dan sampah botol plastik air mineral. (3) Sampah botol plastik air mineral dipotong kecil-kecil dengan ukuran $\pm 1 \text{ cm}^2$. (4) Ketebalan sampah botol plastik yang digunakan dianggap sama. (5) Kotak uji yang digunakan berukuran $100 \text{ cm} \times 100 \text{ cm} \times 80 \text{ cm}$. (6) Pembebanan dalam percobaan ini dilakukan secara 4 tahap, yaitu 0,25 ton; 0,50 ton; 1,0 ton dan 2,0 ton dengan setiap tahapnya dilakukan pengamatan selama 10×24 jam. (7) Diameter drainase vertikal yang digunakan adalah 2,5 cm. Kedalaman drainase vertikal sama dengan kedalaman sampel yaitu 10 cm dan jarak antara drainase vertikal adalah 18,75 cm. (8) Percobaan penelitian akan dilakukan 4 kali, yaitu: (a) Tanah lempung tanpa drainase vertikal. (b) Tanah lempung + drainase vertikal dengan bahan pasir. (c) Tanah lempung + drainase vertikal dengan bahan ijuk. (d) Tanah lempung + drainase vertikal dengan bahan plastik. (9) Pengujian parameter yang akan dilakukan adalah uji kadar air, berat jenis, berat volume, gradasi, Hidrometer, batas-batas *Atterberg* dan pengujian konsolidasi.

TINJAUAN PUSTAKA

Penurunan tanah merupakan hal yang sangat diperhitungkan dalam pembangunan sebuah bangunan konstruksi. Proses penurunan tanah membutuhkan yang cukup lama. Berbagai cara dilakukan untuk mempercepat penurunan tanah. (Sumiyati, 2011) melakukan penelitian tentang percepatan penurunan tanah lunak menggunakan metode *Drainase vertikal* berupa ijuk yang dibungkus dengan karung goni yang dibandingkan dengan *Prefabricated Drain*, serta tanpa drainase vertikal, masing-masing 2 sampel. Hasil koefisien konsolidasi arah vertikal ijuk bungkus goni rerata $4,065.10^{-4} \text{ cm}^2/\text{dt}$, *Prefabricated Drain* rerata $1,25.10^{-4} \text{ cm}^2/\text{dt}$ dan yang

tanpa drainase vertikal sebesar $9,53 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{dt}$. Hasil koefisien konsolidasi arah horisontal ijuk dibungkus goni rerata $2,296 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{dt}$, *Prefabricated Drain* rerata $7,39 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{dt}$. Penurunan total, drainase vertikal ijuk dibungkus goni rerata 0,389 cm, *Prefabricated Drain* rerata 0,373 cm dan tanpa drainase vertikal 0,3115 cm. (Mahmudi.A, 2007) melakukan penelitian tentang pengaruh pola susunan *sand drain* terhadap kecepatan pemampatan konsolidasi pada sistem *vertical sand drain*. Dalam penelitian ini mengatakan bahwa semakin besar tegangan maka angkapori juga besar sehingga terjadi pemampatan besar, pada pola susunan empat lubang terjadi pemampatan lebih besar dari pada 7 lubang. Index pemampatan (Cc) pada pola susunan empat lubang lebih besar dibanding dengan pola susunan tujuh lubang, sedang pada konsolidasi klasik besar penurunannya sangat kecil sekali.

Wahyu (2007) melakukan penelitian tentang penurunan tanah organik menggunakan metode *sand drain* pada kondisi *double drain* dengan pemodelan axisymmetric. Pengujian dengan *sand drain* dengan pembebanan bertahap dilakukan dengan pola segitiga dan segiempat. Metode *sand drain* dengan pembebanan bertahap ternyata dapat mempercepat proses penurunan tanah (konsolidasi) dan proses pengaliran air tanah. Penggunaan metode *sand drain* dengan pola segiempat ternyata dapat menurunkan tanah lebih cepat daripada pola segitiga. Hal ini disebabkan karena lubang pada pola segiempat lebih banyak yaitu 21 lubang dibandingkan pola segitiga yaitu 19 lubang. Pada metode *sand drain* dengan pola segitiga penurunan tanah terjadi sebesar 2,860 cm dalam waktu 35 hari, dan 3,680 cm dalam waktu 35 hari pada metode *sand drain* pola segiempat.

LANDASAN TEORI

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: (a) Permeabilitas tanah, (b) Tebal tanah

kompresibel, (c) Kondisi drainase di atas dan di bawah lapisan tanah kompresibel.

Nilai Koefisien Konsolidasi Arah Vertikal (Cv)

Menurut (Terzaghi, 1996), pada drainase 2 arah (batu pori diletakkan di atas dan di bawah sampel), pada saat pembebanan Δp bekerja, tekanan eksese 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:

$$u = f(z, t) \quad (1)$$

Tekanan eksese = tekanan pori = tekanan hidrostatik : $u = h \cdot \gamma_w$ atau tinggi tekanan

Dari teori konsolidasi Terzaghi ini diperoleh hubungan antara U dan Tv yang digambarkan sebagai grafik atau dibuat suatu tabel 2.1 dan persamaannya disederhanakan dengan rumus pendekatan menjadi :

Untuk $U_v < 60\%$ digunakan

$$T_v = \frac{\pi}{4} U_v^2 \quad (2)$$

Untuk $U_v \geq 60\%$ digunakan

$$T_v = -0,933 \cdot \log(1 - U_v) - 0,085 \quad (3)$$

Juga diperoleh hubungan antara Tv dan Cv yaitu :

$$T_v = \frac{C_v}{d^2} t \quad (4)$$

Dimana :

Tv = faktor waktu

Cv = koefisien konsolidasi arah vertikal

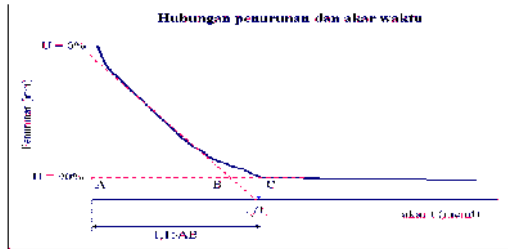
t = waktu

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

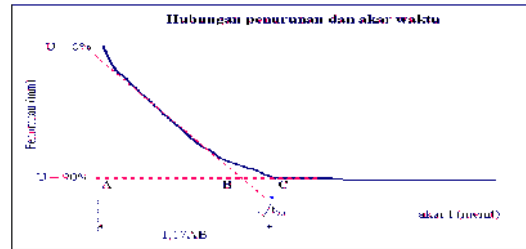
Nilai koefisien konsolidasi arah vertikal Cv dari suatu tanah diperoleh dari grafik hubungan antara penurunan (s) dan waktu (t) yang diperoleh dari pengamatan langsung di laboratorium. (Gambar 1).

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:

$$C_v = \frac{0,848 \cdot d^2}{t_{90}} \quad (5)$$



Gambar 1. Hubungan Penurunan dan waktu



Gambar 2. Hubungan Penurunan

Nilai Koefisien Konsolidasi Arah Horizontal (Cr)

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

$$U_r = f(Tr) \quad (6)$$

Dimana:

$$Tr = \frac{Cr}{(2R)^2} t \quad (7)$$

$$U_r = 1 - e^{-8.Tr/y} \quad (8)$$

$$Tr = -\frac{y}{8} \ln(1 - U_r) \quad (9)$$

Digunakan rumus pendekatan:

Dimana:

$$y = \frac{n^2}{n^2-1} \ln n - \frac{3n^2-1}{4n^2} \quad (10)$$

$$n = \frac{R}{r} \quad (11)$$

R = jari-jari pengaruh

= 0,564a, untuk susunan bujur sangkar

= 0,525a, untuk susunan segitiga

r = jari-jari drainase 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)

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 $AC = 1,17 AB$

Sehingga nilai koefisien konsolidasi arah horizontal dapat dicari dengan rumus:

$$C_v = \frac{Tr.(2R)^2}{t_{90}} \quad (12)$$

Berdasarkan ukuran sampel, dengan diameter sampel tanah $6'' = 15,24$ cm dan diameter drainase vertikal 0,8 cm, maka untuk $U_r = 90\% \rightarrow Tr = 0,635$, maka koefisien konsolidasi arah horizontal menjadi:

$$C_v = \frac{0,635.(2R)^2}{t_{90}} \quad (13)$$

Derajat konsolidasi gabungan arah vertikal dan arah horizontal / 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:

$$(1-U_{gab}) = (1-U_v).(1-U_r) \quad (14)$$

METODOLOGI PENELITIAN

Untuk menjawab rumusan masalah yang ada diperlukan adanya analisis data secara benar yang dihasilkan dari serangkaian data dengan percobaan laboratorium. Untuk mempersiapkannya perlu adanya perencanaan dan rancangan yang matang serta pemeriksaan alat yang kualitatif.

LOKASI PENELITIAN

Lokasi penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya.

JENIS PENGUJIAN PARAMETER TANAH

Jenis pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: (1) Kadar air (ASTM, D2216-10), (2) Berat jenis (ASTM, D854-72), (3) Geser langsung (ASTM, D3080-03), (4) Berat Volume (ASTM, D7263-09), (5)

Gradasi/Analisis saringan (ASTM, D421-85), (6) Hidrometer (ASTM, D 422 - 63), (7) Atterberg (ASTM, D4318-10)

ALAT DAN BAHAN

Untuk menunjang kelancaran jalannya penelitian/ percobaan di laboratorium perlu adanya bahan dan peralatan sebagai berikut :

Peralatan untuk uji laboratorium

Peralatan yang digunakan antara lain adalah: (1) Kadar air, (2) Berat jenis, (3) Geser, (4) Berat volume, (5) Gradasi dan Hidrometer, (6) Atterberg

Bahan

Bahan yang digunakan adalah sampel tanah lunak yang diambil di Kasongan Bantul Yogyakarta dan diambil pada kedalaman ± 1 meter dari muka tanah.

Bak Uji

Untuk homogenitas tanah lunak dilakukan pra pembebanan (*preloading*) selama 4×24 jam dengan beban merata sekitar $1,8 \text{ t/m}^2$. Ukuran dan kondisi bak dalam penelitian ini, adalah sebagai berikut: (1) Bak pengujian dengan ukuran $100 \text{ cm} \times 100 \text{ cm} \times 80 \text{ cm}$ lengkap dengan rangka penahan *box* beban. Tong terbuat dari rangka besi profil siku dan diberi multiplex setebal 3 cm sebagai penutup sisinya (Gambar 3), (2) Tanah lunak (lempung) yang diambil dari Kasongan Bantul dan Pasir lolos saringan nomor 4 tertahan nomor 40 sebagai *double drain*. (3) Beban-bekan dari tanah yang dibungkus dengan karung dengan berat 25 kg per karung. (4) *Box* Beban dengan ukuran $80 \times 80 \times 50 \text{ cm}^3$ yang terbuat dari multiplex setebal 3 cm. (5) Dial dengan ketelitian 0,01 mm. (6) Pipa dengan diameter 2,5 cm. (7) Ijuk dari pohon aren. (8) Sampah botol plastik dengan ukuran $\pm 1 \text{ cm}^2$

CARA PEMBEBANAN

Penelitian ini akan dilakukan dengan cara membebani tanah lunak yang telah disiapkan dalam bak uji dengan beban yang diletakkan dalam *box* beban dengan ukuran $80 \times 80 \times 50 \text{ cm}^3$ (Gambar 4). Sebelum dilakukan pembebanan, bak uji yang berukuran $100 \times 100 \times 80 \text{ cm}^3$

dimasukkan pasir yang sudah disaring setebal 10 cm, lalu sampel tanah lunak yang diambil dari lapangan dimasukkan sedikit demi sedikit kedalam bak uji, kemudian diinjak-injak agar lebih padat sambil sesekali diberi air. Tanah lunak yang dimasukkan setebal 50 cm, dan setelah itu dimasukkan lagi pasir setebal 10 cm. Setelah tanah disiapkan, dilakukan penjenuhan selama 7 hari. Sebelum dilakukan pengujian, berat volume dan kadar air tanah yang ada di bak di uji sebagai pembandingan untuk percobaan selanjutnya.

Percobaan pembebanan yang akan dilakukan meliputi: (1) Sampel Tanah Lunak Tanpa Drainase Vertikal. (2) Sampel Tanah Lunak dengan Drainase Vertikal Pasir. (3) Sampel Tanah Lunak dengan Drainase Vertikal Ijuk. (4) Sampel Tanah Lunak dengan Drainase Vertikal Plastik. Setelah penjenuhan selesai, pengujian dapat dimulai. Pengujian dilakukan dengan memberi pembebanan secara bertahap.

Untuk pembebanan dilakukan dengan beban 0,25 ton; 0,50 ton; 1,0 ton; 2,0 ton. Untuk setiap tahap pembebanan dilakukan selama 10×24 jam pengamatan.

Setelah pengujian tanpa drainase vertikal selesai, tanah sampel yang ada di dalam bak uji di bongkar, lalu dimasukkan kembali selapis demi selapis dengan diberi air sedikit demi sedikit. Setelah tanah lunak dimasukkan, tanah tersebut dilubangi dengan pipa berdiameter 2,5 cm dengan jarak 18,75 cm (Gambar 3), lubang tersebut sebagai drainase vertikal.

Setelah tanah dilubangi, ijuk atau pasir atau plastik dimasukkan sampai penuh dengan dipadatkan. Setelah drainase vertikal siap, pasir di letakkan diatasnya kembali dengan tebal 15 cm lalu dilakukan penjenuhan. Setelah penjenuhan selesai, maka pengujian dapat dimulai seperti yang sudah dijelaskan di atas pada percobaan tanpa drainase vertikal.

PEMBACAAN DIAL

Untuk setiap percobaan angka yang dicatat pada dial adalah angka penurunan yang terjadi. Beban yang digunakan dalam pengujian ini adalah: beban 0,25 ton; 0,50 ton; 1,0 ton; 2,0 ton, untuk setiap tahap pembebanan dilakukan selama 10×24 jam pengamatan. Prosedur pem-

bebanan untuk semua pengujian sama. Prosedur pembebanannya sebagai berikut: (1) Pertama-tama sampel tanah dalam bak uji di bebani 0,25 ton dan dilakukan pencatatan penurunan (mm) terhadap waktu yang dinyatakan dalam menit masing-masing untuk waktu 0,1; 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 4; 6; dan seterusnya dengan waktu yang diakarkan hasilnya bulat selama 10 hari (14400 menit). (2) Langkah selanjutnya adalah pembebanan menjadi 0,50 ton setelah pengamatan selama 10 hari. Dan seterusnya sama sampai dengan beban 2,0 ton. (3) Setelah pembebanan 2,0 ton selesai, beban dibongkar lalu dilanjutkan pada pengujian dengan bahan pengisi drainase vertikal yang lain.

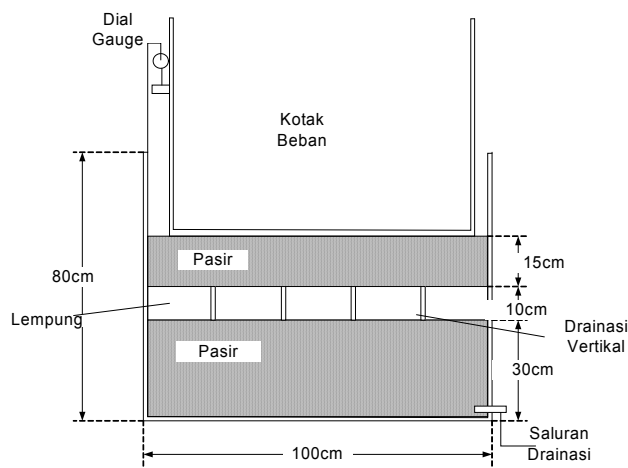
HASIL DAN ANALISA

DATA TEKNIS TANAH

Sampel tanah yang diambil di daerah Kasongan bantul, Yogyakarta kemudian diuji parameter-nya di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik UAJY.

Hasil pengujian parameter tanah asli adalah sebagai berikut:

Kadar air (ω)	= 42,31 %
Berat jenis (G)	= 2,5989 gr/cm ³
Berat vol basah (γ_b)	= 1,63 gr/cm ³
Berat vol kering (γ_k)	= 1,08 gr/cm ³
Liquid limit (LL)	= 54 %
Plastis limit (PL)	= 35,41 %
Plastis indeks (PI)	= 18,59 %
Angka Pori awal	= 1,384273



Gambar 3. Bak Uji

HASIL TES PEMBEBANAN

Hasil pembebanan disajikan dalam bentuk grafik hubungan antara penurunan (mm) dan waktu (menit).

Konsolidasi Tanah Asli Lapangan Pengujian Laboratorium

Dari pembebanan yang dilakukan di laboratorium, disajikan dalam bentuk Gambar 5 dan Tabel 1 dibawah ini.

Dari hasil pengujian konsolidasi di laboratorium, tanah asli lapangan mempunyai nilai: C_v rata-rata = 0,000194 cm²/detik.

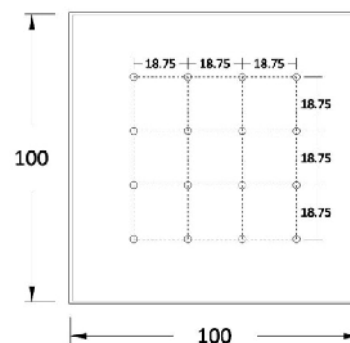
Konsolidasi Tanah Bak Pengujian Laboratorium

Dari pembebanan yang dilakukan di laboratorium, disajikan dalam bentuk Gambar 6 dan Tabel 2.

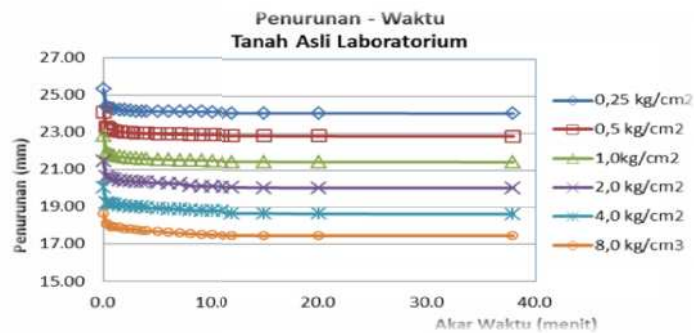
Dari hasil pengujian konsolidasi di laboratorium sampel tanah bak, tanah pada bak mempunyai nilai: C_v rata-rata = 0,000194 cm²/detik.

Konsolidasi Tanah Tanpa Drainase Vertikal

Hasil dari pembebanan yang dilakukan pada bak uji pada perbaikan tanah lunak tanpa drainase vertikal disajikan dalam Gambar 7 dan Tabel 3. Dari hasil pengujian konsolidasi sampel tanah di bak tanpa drainase vertikal, maka nilai: C_v rata-rata = 0,000195 cm²/detik.



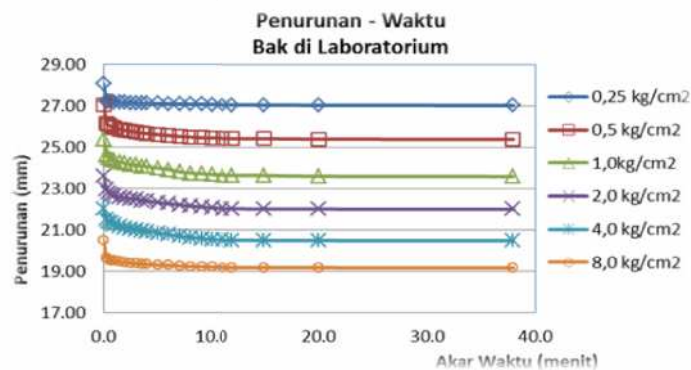
Gambar 4. Pola Susunan Drainase



Gambar 5. Grafik Penurunan Vs Waktu (Tanah Asli Laboratorium)

Tabel 1. Nilai Cv tanah asli pada pengujian konsolidasi laboratorium

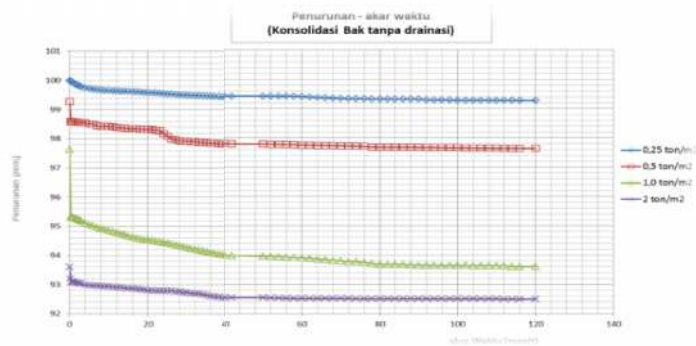
Beban kg/cm ²	Tebal sampel (cm)	$\sqrt{t_{90}}$ (menit)	t_{90} (menit)	t_{90} (detik)	Cv cm ² /detik)
0,25	2,53062	10,7500	115,5625	6933,7500	0,000195804
0,5	2,53062	10,7500	115,5625	6933,7500	0,000195804
1	2,53062	10,8960	118,7228	7123,3690	0,000190592
2	2,53062	11,0400	121,8816	7312,8960	0,000185652
4	2,53062	10,7500	115,5625	6933,7500	0,000195804
8	2,53062	10,6500	113,4225	6805,3500	0,000199498
Rata-rata					0,000193859



Gambar 6. Grafik Penurunan Vs Waktu (Sampel bak di laboratorium)

Tabel 2. Nilai Cv Tanah Bak Pada Pengujian Konsolidasi Laboratorium

Beban kg/cm ²	Tebal sampel (cm)	$\sqrt{t_{90}}$ (menit)	t_{90} (menit)	t_{90} (detik)	Cv (cm ² /detik)
0,25	2,805	11,8900	141,3721	8482,3260	0,000196647
0,5	2,805	11,9400	142,5636	8553,8160	0,000195003
1	2,805	11,9400	142,5636	8553,8160	0,000195003
2	2,805	12,5300	157,0009	9420,0540	0,000177071
4	2,805	11,7400	137,8276	8269,6560	0,000201704
8	2,805	11,7400	137,8276	8269,6560	0,000201704
Rata2					0,000194522



Gambar 7. Grafik Penurunan Vs Waktu (Tanpa Drainase vertikal di Bak Uji)

Tabel 3. Nilai C_v Konsolidasi Bak Tanpa Drainase

Beban ton/m ²	Tebal sam- pel (cm)	t_{50} (menit)	t_{50} (detik)	C_v (cm ² /detik)
0,25	10	420,0000	25200,0000	0,000195437
0,5	10	415,0000	24900,0000	0,000197791
1	10	425,0000	25500,0000	0,000193137
2	10	420,0000	25200,0000	0,000195437
Rata-rata				0,000195450

Konsolidasi Tanah dengan Drainase Vertikal Pasir

Hasil dari pembebanan yang dilakukan pada bak uji pada perbaikan tanah lunak dengan drainase vertikal pasir disajikan dalam Gambar 8 dan Tabel 4.

Dari hasil pengujian konsolidasi di bak uji, dengan drainase vertikal pasir mempunyai nilai: C_v rata-rata = 0,000312 cm²/detik.

Konsolidasi Tanah dengan Drainase Vertikal Ijuk

Hasil dari pembebanan yang dilakukan pada bak uji pada perbaikan tanah lunak dengan

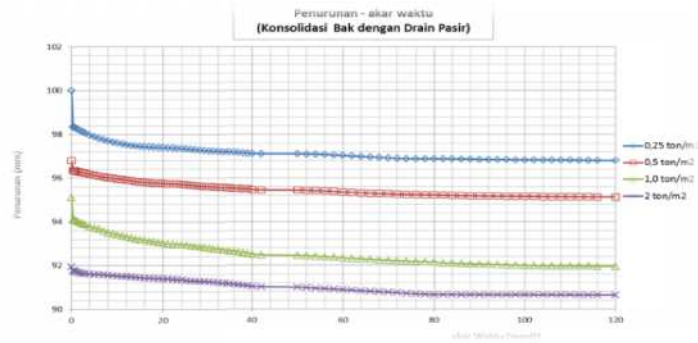
drainase vertikal Ijuk disajikan dalam Gambar 9 dan Tabel 5.

Dari hasil pengujian konsolidasi di bak uji dengan drainase vertikal ijuk mempunyai nilai : C_v rata-rata = 0,000673 cm²/detik.

Konsolidasi Tanah dengan Drainase Vertikal Plastik

Hasil dari pembebanan yang dilakukan pada bak uji pada perbaikan tanah lunak dengan drainase vertikal plastik disajikan dalam Gambar 9 dan Tabel 6.

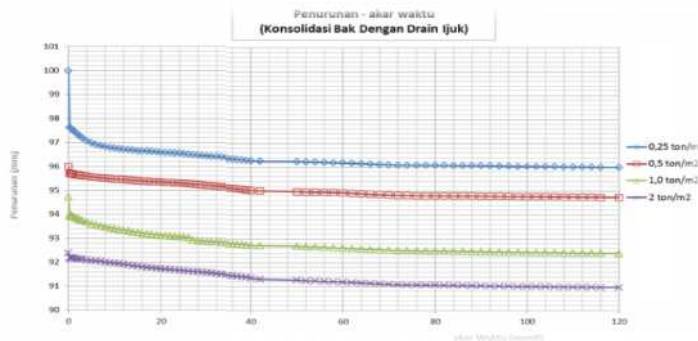
Dari hasil pengujian konsolidasi di bak uji dengan drainase vertikal plastik mempunyai nilai: C_v rata-rata = 0,000821 cm²/detik.



Gambar 8. Grafik Penurunan Vs Waktu (drainase Vertikal Pasir di Bak Uji).

Tabel 4. Nilai C_v Konsolidasi Bak Uji dengan Drainase Vertikal Pasir

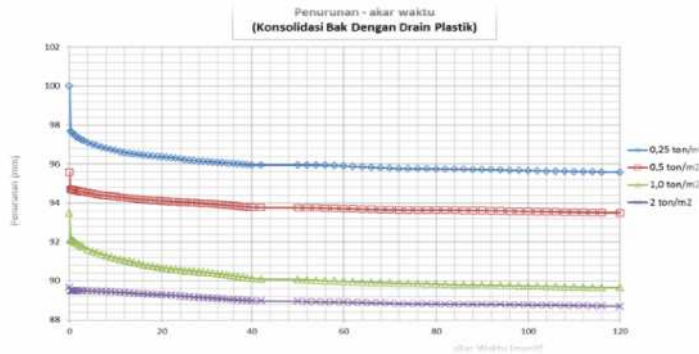
Beban ton/m ²	Tebal sam- pel (cm)	t_{50} (menit)	t_{50} (detik)	C_v (cm ² /detik)
0,25	10	260,0000	15600,0000	0,000315705
0,5	10	265,0000	15900,0000	0,000309748
1	10	267,0000	16020,0000	0,000307428
2	10	260,0000	15600,0000	0,000315705
Rata-rata				0,000312147



Gambar 9. Grafik Penurunan Vs Waktu (Drainase Vertikal Ijuk di Bak Uji)

Tabel 5. Nilai C_v Konsolidasi Bak Uji Dengan Drainase Vertikal Ijuk

Beban ton/m ²	Tebal sam- pel (cm)	t_{50} (menit)	t_{50} (detik)	C_v (cm ² /detik)
0,25	10	123,0000	7380,0000	0,000667344
0,5	10	122,0000	7320,0000	0,000672814
1	10	121,0000	7260,0000	0,000678375
2	10	122,0000	7320,0000	0,000672814
Rata-rata				0,000672837



Gambar 10. Grafik Penurunan Vs Waktu (Drainase Vertikal Plastik di Bak Uji).

Tabel 6. Nilai C_v Konsolidasi Bak Uji Dengan Drainase Vertikal Plastik)

Beban (ton/m^2)	Tebal sampel (cm)	t_{50} (menit)	t_{50} (detik)	C_v (cm^2/detik)
2	10	99,0000	5940,0000	0,000829125
0,25	10	101,0000	6060,0000	0,000812706
0,5	10	102,0000	6120,0000	0,000804739
1	10	98,0000	5880,0000	0,000837585
			Rata-rata	0,000821039

ANALISA HASIL PENELITIAN

Dari hasil penurunan akibat pembebanan dan akar waktu diperoleh koefisien konsolidasi arah vertikal yang dapat dibandingkan dalam Tabel 7. Dari hasil perbandingan Tabel 7 terlihat bahwa drainase vertikal dengan menggunakan Plastik dan Ijuk mempunyai koefisien konsolidasi arah vertikal yang lebih besar dibandingkan dengan yang menggunakan pasir bersih. Dan perbandingan penurunan total dari hasil pembebanan dapat dilihat dalam Tabel 8.

Dari perbandingan penurunan juga terlihat bahwa drainase vertikal yang menggunakan Plastik dan Ijuk mengalami penurunan yang lebih besar dibandingkan dengan drainase vertikal yang menggunakan pasir, tentu saja juga terhadap sampel yang tanpa diberikan drainase vertikal.

Dari perhitungan indeks kompresi tanah dan hasil perhitungan parameter tanah maka didapat: (1) Indeks kompresi (C_c) rata rata sebesar 0,325. (2) Berat volume tanah (γ_b) rata rata sebesar $1,63 \text{ gr/cm}^3$. (3) Angka pori (e_o) rata rata sebesar 1,38. Yang nanti selanjutnya hasil ini akan di gunakan pada contoh hitungan.

Contoh soal di Lapangan

Direncanakan suatu konstruksi jalan raya di atas tanah lempung kompresif setebal 2,0 m yang berada di tengah tengah lapisan pasir dengan tebal masing masing 2,0 m (Gambar 11). Badan jalan dianggap cukup luas sehingga memberikan tambahan tekanan rata pada lempung sebesar $\Delta p = 0,2 \text{ kg/cm}^2$. Direncanakan pemasangan *vertical drain* dengan diameter 30 cm, jarak antara *vertical drain* 3,0 m dengan susunan bujur sangkar.

Tabel 7. Perbandingan Koefisien Konsolidasi

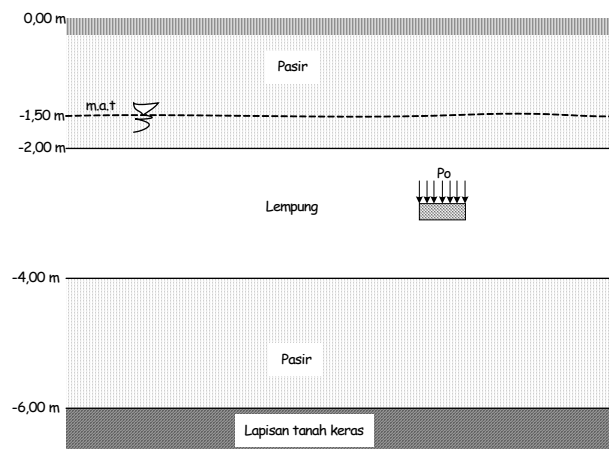
Drainase Vertikal	Koefisien konsolidasi arah vertikal C_v (cm^2/dt)
Tanah Asli di laboratorium	$0,000194 = 1,94 \cdot 10^{-4}$
Tanah Bak di laboratorium	$0,000194 = 1,94 \cdot 10^{-4}$
Tanah Bak tanpa drainase vertikal	$0,000195 = 1,95 \cdot 10^{-4}$
Tanah Bak dengan drainase Pasir	$0,000312 = 3,12 \cdot 10^{-4}$
Tanah Bak dengan drainase Ijuk	$0,000673 = 6,73 \cdot 10^{-4}$
Tanah Bak dengan drainase Plastik	$0,000821 = 8,21 \cdot 10^{-4}$

Tabel 8. Perbandingan Penurunan total

Drainase Vertikal	Penurunan total (Cm)
Tanah Bak tanpa drainase vertikal	0,7507
Tanah Bak dengan drainase Pasir	0,9037
Tanah Bak dengan drainase Ijuk	0,9363
Tanah Bak dengan drainase Plastik	1,1301

Tabel 9. Konsolidasi gabungan Drainase Vertikal Pasir

Hari	t (dt)	T_v	$U_v \leq 60\%$	$U_v \geq 60\%$	T_r	U_r	U_{gab}
2,578	222739	0,0017	0,0470		0,0121	0,0556	0,1000
6,543	565315	0,0044	0,0749		0,0308	0,1352	0,2000
11,380	983232	0,0077	0,0988		0,0536	0,2233	0,3000
17,175	1483920	0,0116	0,1214		0,0809	0,3171	0,4000
24,210	2091744	0,0163	0,1441		0,1140	0,4158	0,5000
32,970	2848608	0,0222	0,1682		0,1552	0,5191	0,6000
44,440	3839616	0,0299	0,1953		0,2093	0,6272	0,7000
60,800	5253120	0,0410	0,2284		0,2863	0,7408	0,8000
89,140	7701696	0,0601	0,2765		0,4197	0,8618	0,9000
406,000	35078400	0,2736	0,5902		1,9118	0,9999	0,10000

**Gambar 11.** Lapis tanah di bawah badan jalan

Diketahui: (a) Indeks kompresi Lempung (C_c)= 0,325; (b) Berat volume tanah (γ_b) lempung= 1,63 gr/cm³; (c) Berat volume tanah (γ_b) pasir= 1,90 gr/cm³; (d) Angka pori (e_o) lempung= 1,38; (e) Angka pori (e_o) pasir= 0,6; (f) Berat jenis lempung $G = 2,6$; (g) Berat jenis pasir $G = 2,7$; (h) Berat volume terendam air: Lempung $\gamma'_{\text{Lempung}} = 0,67 \text{ gr/cm}^3$, Pasir $\gamma'_{\text{pasir}} = 1,063 \text{ gr/cm}^3$; (i) Tekanan lapangan mula mula ditengah lapisan lempung (15); (j) Besarnya penurunan

$$P_o = 1,5 \cdot 1,9 + 0,5 \cdot 1,063 + 1,0 \cdot 0,67 = 4,054 \text{ gr/cm}^3 \quad (15)$$

$$S_{\max} = \frac{C_c}{1+e_o} \cdot H \cdot \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} = 46,481 \text{ m} \quad (16)$$

Pasir sebagai drainase vertikal

Dari hasil percobaan di laboratorium $C_v = 3,12 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{dt}$; Ch (dimisalkan $20 \times C_v$) = $6,24 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{dt}$

Konsolidasi vertikal

$$T_v = \frac{C_v}{d^2 \cdot t} = \frac{3,12 \cdot 10^{-4} \cdot t}{200^2} = 0,78 \cdot 10^{-8} \cdot t$$

Untuk $U_v < 60\%$ digunakan

$$T_v = \frac{\pi}{4} U_v^2$$

Ijuk sebagai drainase vertikal

Dari hasil percobaan di laboratorium $C_v = 6,73 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{dt}$; Ch (dimisalkan $20 \times C_v$) = $1,346 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{dt}$

Dengan cara yang sama, maka dilihat pada Tabel 10

Sampah Plastik sebagai drainase vertikal

Dari hasil percobaan di laboratorium $C_v = 8,21 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{dt}$; Ch (dimisalkan $20 \times C_v$) = $1,642 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{dt}$

$$U_v = \sqrt{\frac{4 \times 0,78 \cdot 10^{-8} \cdot t}{\pi}} = \sqrt{0,993 \cdot 10^{-8} \cdot t}$$

Untuk $U_v \geq 60\%$ digunakan

$$T_v = -0,933 \cdot \log(1 - U_v) - 0,085$$

$$\log(1 - U_v) = -\frac{T_v + 0,085}{0,933}$$

$$U_v = 1 - 10^{(-0,84 \cdot 10^{-8} \cdot t - 0,0911)}$$

Konsolidasi Horisontal

$$T_R = \frac{C_r}{(2R)^2} \cdot t = \frac{6,24 \cdot 10^{-3}}{(2,0564 \cdot 300)^2} \cdot t = 0,545 \cdot 10^{-7} \cdot t$$

Bila

$$n = \frac{R}{r} = \frac{0,564 \cdot 300}{15} = 11,28$$

$$y = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln n - \frac{3n^2 - 1}{4n^2} = 1,69$$

Maka :

$$U_r = 1 - e^{-8 \frac{T_r}{y}} = 1 - e^{-2,57 \cdot 10^{-7} \cdot t}$$

Konsolidasi konsolidasi gabungan vertikal dan horisontal

$$(1 - U_{\text{gab}}) = (1 - U_v) \cdot (1 - U_r)$$

Selanjutnya dapat lihat pada Tabel 9.

Dengan cara yang sama, maka lihat pada Tabel 11.

Tanpa Drainase Vertikal

Dari hasil percobaan di laboratorium $C_v = 1,95 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{dt}$

Dengan cara yang sama, maka lihat pada Tabel 12.

Perbandingan Waktu dan Proses Konsolidasi

Dari hasil di atas kita lihat perbandingan waktu dan proses konsolidasi dalam Gambar 12.

Tabel 10. Konsolidasi gabungan Drainase Vertikal ijuk

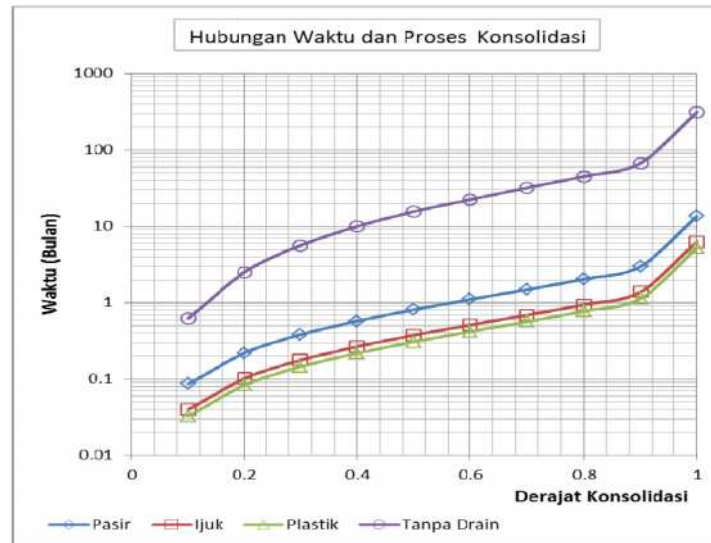
Hari	t (dt)	Tv	Uv ≤ 60%	Uv ≥ 60%	Tr	Ur	Ugab
1,194	103162	0,0017	0,0470		0,0121	0,0556	0,1000
3,030	261792	0,0044	0,0749		0,0308	0,1352	0,2000
5,270	455328	0,0077	0,0988		0,0535	0,2233	0,3000
7,955	687312	0,0116	0,1213		0,0808	0,3171	0,4000
11,210	968544	0,0163	0,1440		0,1138	0,4158	0,5000
15,270	1319328	0,0222	0,1681		0,1551	0,5192	0,6000
20,580	1778112	0,0299	0,1952		0,2090	0,6273	0,7000
28,160	2433024	0,0409	0,2283		0,2860	0,7409	0,8000
41,270	3565728	0,0600	0,2764		0,4191	0,8618	0,9000
188,000	16243200	0,2733	0,5899		1,9092	0,9999	0,10000

Tabel 11. Konsolidasi gabungan Drainase Vertikal Sampah Plastik

Hari	t (dt)	Tv	Uv ≤ 60%	Uv ≥ 60%	Tr	Ur	Ugab
0,978	84499	0,0017	0,0470		0,0121	0,0556	0,1000
2,484	214618	0,0044	0,0749		0,0308	0,1352	0,2000
4,320	373248	0,0077	0,0988		0,0535	0,2233	0,3000
6,520	563328	0,0116	0,1213		0,0808	0,3171	0,4000
9,190	794016	0,0163	0,1440		0,1139	0,4159	0,5000
12,515	1081296	0,0222	0,1681		0,1550	0,5191	0,6000
16,870	1457568	0,0299	0,1952		0,2090	0,6273	0,7000
23,080	1994112	0,0409	0,2283		0,2859	0,7408	0,8000
33,830	2922912	0,0600	0,2764		0,4191	0,8618	0,9000
154,900	13383360	0,2747	0,5914		1,9190	0,9999	0,10000

Tabel 12. Konsolidasi Tanpa Drainase Vertikal

Hari	t (dt)	Tv	Uv ≤ 60%	Uv ≥ 60%
18,650	1611360	0,0331	0,1000	
74,600	6445440	0,1323	0,2000	
167,800	14497920	0,2976	0,3000	
298,400	25781760	0,5292	0,4000	
466,200	40279680	0,8267	0,5000	
671,300	58000320	1,1905	0,6000	
956,500	82641600	1,6962		0,7000
1346.500	116337600	2,3878		0,8000
2013.000	173923200	3,5698		0,9000
9326.000	805766400	16,5384		0,10000



Gambar 12. Grafik Hubungan Waktu dan derajat Konsolidasi

KESIMPULAN

Dari grafik diatas terlihat bahwa tanah lunak dengan drainase vertikal plastik mempunyai waktu konsolidasi yang paling cepat dibandingkan dengan tanah lunak dengan drainase vertikal ijuk dan pasir. Contoh pada hasil Gambar 12. Pada t (waktu) = 30 hari. (1) Tanah lunak tanpa Drainase mencapai derajat konsolidasi 5,32% dari penurunan total. (2) Tanah lunak dengan pasir sebagai drainase vertikal mencapai derajat konsolidasi 56,87% dari penurunan total. (3) Tanah lunak dengan ijuk sebagai drainase vertikal mencapai derajat konsolidasi 81,87% dari penurunan total. (4) Tanah lunak dengan sampah plastik sebagai drainase vertikal mencapai derajat konsolidasi 87,21%.

Contoh pada hasil grafik Gambar 12. Pada t (waktu) = 60 hari. (1) Tanah lunak tanpa Drainase mencapai derajat konsolidasi 17,94% dari penurunan total. (2) Tanah lunak dengan pasir sebagai drainase vertikal mencapai derajat konsolidasi 79,60% dari penurunan total. (3) Tanah lunak dengan ijuk sebagai drainase vertikal mencapai derajat konsolidasi 96,25% dari penurunan total. (4) Tanah lunak dengan sampah plastik sebagai drainase vertikal mencapai derajat konsolidasi 98,11%.

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, T. C., 2004, Uji Laboratorium Pemanfaatan Serabut Kelapa dan Ijuk sebagai Bahan Drainase Vertikal Tanpa Filter, *Jurnal Penelitian*, Institut Teknologi Nasional, Bandung.
- Das, B. M., 1998, *Mekanika Tanah (prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- G. Sumiyati, 2011, *Studi Perbandingan Prefabricated Drain dan Ijuk Sebagai Drainase Vertikal*, 2011.
- Juleha, 2001, Analisa Drainase Vertikal untuk Mempercepat Konsolidasi pada Tanah Lunak, *Jurnal Penelitian*, Universitas Riau, Riau.
- Mahmudi. A 2007, Pengaruh Pola Susunan Sand Drain terhadap Kecepatan Pemampatan Konsolidasi pada Sistem Vertical Sand Drain, *Jurnal Penelitian*, Universitas Bhayangkara, Surabaya.
- Wahyu, 2007, melakukan penelitian tentang penurunan tanah organik menggunakan metode sand drain pada kondisi double drain dengan pemodelan axisymmetric.