

Jurnal TEKNIK SIPIL

Indra Suharyanto

Angelina Eva Lianasari

Suharjanto

Wulfram I. Ervianto,
Naryo Widodo

S S Purwanto

JF. Soandrijanie L

Shofia Rawiana,
Teti Handayani

Sumiyati Gunawan

Bambang E. Yuwono,
Mufti Saily

Analisis Penambahan Jam Kerja/Lembur Terhadap Efisiensi Biaya Sewa Alat- Alat Berat Pada Proyek Konstruksi

Pengaruh Perawatan Uap Air (*Steam Curing*) Pada Kuat Tekan Beton Dengan Bahan Tambah Abu Sekam Padi (*Rice Husk Ash*)

Kajian Pengaku Badan (*Web-Stiffener*) Untuk Mengatasi *Web-Post Buckling* Pada Balok Baja Cellular Tampang-I

Studi Faktor Penyebab Terjadinya Keterlambatan Dan Kesuksesan Proyek Di Daerah Istimewa Yogyakarta

Silika Fume Dapat Menetralisir Penggunaan Air Rawa Pada Pengadukan Beton Mutu K 225

Pengaruh Lama Penyimpanan Aspal Terhadap Nilai Marshall Beton Aspal

Kajian Kolom Batu Apung Terhadap Perilaku Beban Sentris Pada Model Arsitektur Tradisional Sasak

Analisis Konsolidasi Pada Tanah Lunak Di Piyungan Bantul DIY

Kinerja Pengembang Sebelum Keharusan Penerapan Konsep Bangunan Ramah Lingkungan

Jurnal TEKNIK SIPIL

Jurnal Teknik Sipil adalah wadah informasi bidang Teknik Sipil berupa hasil penelitian, studi kepustakaan maupun tulisan ilmiah terkait. Terbit pertama kali tahun 2000. Frekuensi terbit tiga kali setahun pada bulan Oktober, Pebruari dan Juni. (ISSN 1411-660X).

DAFTAR ISI

Analisis Penambahan Jam Kerja/Lembur Terhadap Efisiensi Biaya Sewa Alat-Alat Berat Pada Proyek Konstruksi <i>Indra Suharyanto</i>	1 - 10
Pengaruh Perawatan Uap Air (<i>Steam Curing</i>) Pada Kuat Tekan Beton Dengan Bahan Tambah Abu Sekam Padi (<i>Rice Husk Ash</i>) <i>Angelina Eva Lianasari</i>	11 - 18
Kajian Pengaku Badan (<i>Web-Stiffener</i>) Untuk Mengatasi <i>Web-Post Buckling</i> Pada Balok Baja Cellular Tampang-I <i>Suharjanto</i>	19 - 28
Studi Faktor Penyebab Terjadinya Keterlambatan Dan Kesuksesan Proyek Di Daerah Istimewa Yogyakarta <i>Wulfram I. Ervianto, Naryo Widodo</i>	29 - 36
Silika Fume Dapat Menetralisir Penggunaan Air Rawa Pada Pengadukan Beton Mutu K 225 <i>S S Purwanto</i>	37 - 48
Pengaruh Lama Penyimpanan Aspal Terhadap Nilai Marshall Beton Aspal <i>JF. Soandrijanie L</i>	49 - 60
Kajian Kolom Batu Apung Terhadap Perilaku Beban Sentris Pada Model Arsitektur Tradisional Sasak <i>Shofia Rawiana, Teti Handayani</i>	61 - 68
Analisis Konsolidasi Pada Tanah Lunak Di Piyungan Bantul DIY <i>Sumiyati Gunawan</i>	69 - 78
Kinerja Pengembang Sebelum Keharusan Penerapan Konsep Bangunan Ramah Lingkungan <i>Bambang E. Yuwono, Mufti Saily</i>	79 - 84

Pemimpin Redaksi	: Pranawa Widagdo
Wakil Pemimpin Redaksi	: J. Dwiyoiko Anusanto
Anggota Redaksi	: Angelina Eva Lianasari Cilcia Kusumastuti Ag. Padma Laksitaningtyas
Tata Usaha	: L. Isdhianto Wiko Retnanto G. Hugo Priyo Nugroho

Alamat Redaksi :

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik - Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Jl. Babarsari No. 44 Yogyakarta 55281

Telp. (0274) 487711 psw. 2169 Fax.(0274)487748

E-mail : jurnalsipil@mail.uajy.ac.id

Homepage : <http://jurnal.uaiv.ac.id/its/>

ANALISIS KONSOLIDASI PADA TANAH LUNAK DI PIYUNGAN BANTUL DIY

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: The physical properties of soil can be improved by lowering the water content. A method of drainage is made for different land a job, if the expected water in the soil/soil water content is reduced/out. In the soft subgrade a compressible foundation can be repaired, one way to accelerate improvements include installing drainage consolidation with vertical, so hopefully gained a more solid ground with a greater shear strength. Currently we have been familiar with the use of sand and palm trees and palm of the results of previous studies as a vertical drainage which has been shown to accelerate consolidation. Rowe consolidation test with pore rock above and below, with vertical drainage installed in the middle, resulting in either direction is vertical consolidation coefficient (C_v) and horizontal (C_r), calculated the distance column vertical drainage column required for 85% reduction within 2 months. From the results, shows the results of vertical consolidation coefficient wrap jute fibers $4.065 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$ average, average sand $2.34 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$ and that without the vertical drainage of $9.53 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$. The result of average horizontal consolidation coefficient fibers wrapped in burlap $2.296 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$ and average sand $1.37 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$. While the vertical drainage distance of 4.45 m for fibers in wrapped and 3.60 m for sand.

Keywords: consolidation, vertical drainage, the coefficient of consolidation, vertical drainage distance

Abstrak: Sifat-sifat fisik tanah dapat diperbaiki dengan menurunkan kadar air. Suatu metode drainase dibuat untuk berbagai macam keperluan pekerjaan tanah, bila diharapkan air dalam tanah/kadar air tanah berkurang/keluar. Pada tanah dasar pondasi lunak yang termampatkan dapat diperbaiki, salah satu cara perbaikan antara lain dengan mempercepat konsolidasi dengan memasang drainase vertikal, sehingga diharapkan diperoleh tanah yang lebih padat dengan kuat geser yang lebih besar. Saat ini kita telah mengenal penggunaan pasir dan serta ijuk dari pohon aren dari hasil penelitian sebelumnya sebagai drainase vertikal yang telah terbukti dapat mempercepat konsolidasi. Uji Konsolidasi Rowe dengan batu pori di atas dan di bawah, dengan drainase vertikal yang dipasang di tengah-tengah, menghasilkan koefisien konsolidasi baik arah vertikal (C_v) dan horisontal (C_r), dihitung pula jarak kolom drainase vertikal yang diperlukan untuk 85% penurunan dalam jangka waktu 2 bulan. Hasil, memperlihatkan hasil koefisien konsolidasi arah vertikal ijuk bungkus goni rerata $4,065 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{dt}$, pasir rerata $2,34 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{dt}$ dan yang tanpa drainase vertikal sebesar $9,53 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{dt}$. Hasil koefisien konsolidasi arah horisontal ijuk dibungkus goni rerata $2,296 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{dt}$ dan pasir rerata $1,37 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{dt}$. Sedangkan dari hitungan jarak drainase vertikal 4,45 m untuk ijuk dibungkus goni dan 3,60 m untuk pasir.

Kata kunci: konsolidasi, drainase vertikal, koefisien konsolidasi, jarak drainase vertikal

PENDAHULUAN

Sifat-sifat fisik dari tanah dapat diperbaiki dengan menurunkan kadar air dalam tanah. Suatu metode drainase dibuat untuk berbagai macam keperluan pekerjaan tanah, bila diharapkan air dalam tanah/kadar air tanah berkurang/keluar. Bertambahnya daya dukung tanah karena keluarnya air tanah akibat konsolidasi dapat mengubah sifat fisik tanah dari sudut gesernya (ϕ), kohesi (c) dan berat volumenya (γ) karena bertambahnya kerapatan rongga tanah. Pada tanah dasar lunak yang termampatkan pada umumnya sebagian besar terdiri dari butir-butir sangat kecil yang memiliki kemampuan besar dengan koefisien permeabilitas yang kecil.

Meskipun intensitas beban kurang dari daya dukung kritis, dalam jangka waktu yang lama besarnya penurunan akan terus meningkat, sehingga mengakibatkan permukaan tanah di sekeliling konstruksi naik atau turun. Maka perbaikan tanah dasar pondasi sangat diperlukan, banyak cara yang dapat dilakukan antara lain: prakompresi, metode getar, pengadukan encer dan drainase vertikal (Bowless, 1981). Dari hasil yang diperoleh masing-masing metode, cara drainase vertikal menghasilkan perbaikan tanah dasar pondasi yang tidak berdampak, dampak yang dimaksud adalah terjadinya *liquefaction* dan terjadi kenaikan permukaan tanah.

Berdasarkan uraian tersebut di atas, tujuan analisis ini diharapkan dapat digunakan pada lokasi tinjauan, yaitu Daerah Piyungan Bantul di bagian selatan Daerah Istimewa Yogyakarta. Hasil akhir penelitian ini diharapkan bermanfaat bagi pekerjaan tanah yang menggunakan metode drainase.

Permasalahan dalam penelitian ini sangat luas, sehingga apabila akan dilakukan penelitian secara keseluruhan akan memerlukan waktu pengamatan yang sangat lama dan tentunya juga membutuhkan biaya yang tidak sedikit. Untuk itu dilakukan pembatasan sebagai berikut ini.

1. Tanah dengan Tanah lempung yang tidak terganggu (*undisturbed sample*).
2. Pengujian dilakukan dengan uji konsolidasi Rowe dengan batu pori di atas dan di bawah, dengan drainase vertikal yang dipasang di tengah-tengah.
3. Perencanaan drainase vertikal menggunakan kolom pasir dan ijuk dibungkus goni.
4. Analisis stabilitas dan penurunan tanah.

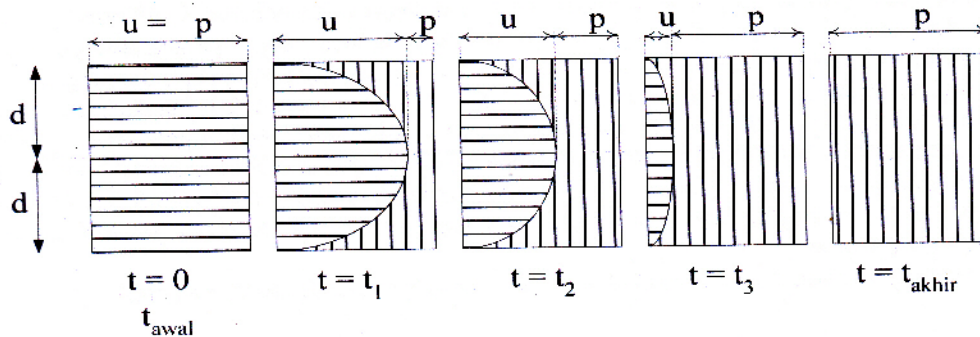
TINJAUAN PUSTAKA

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.

Nilai Koefisien Konsolidasi Arah Vertikal (C_v)

Menurut Terzaghi, pada drainase 2 arah (batu pori diletakkan di atas dan di bawah sampel), pada saat pembebanan Δp 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 Gambar 1.



Gambar 1. Tekanan eksese

Besarnya tekanan eksese berubah menurut waktu dan kedalaman, maka tekanan eksese/tekanan pori/tekanan hidrostatis (u) dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut ini.

$$u = h \cdot \gamma_w \quad (1)$$

atau tinggi tekanan (h) dapat dinyatakan:
$$h = \frac{u}{\gamma_w} \quad (2)$$

Nilai Koefisien Konsolidasi Arah Horizontal (C_r)

Kondisi dengan anggapan hanya terjadi konsolidasi dan penurunan tanah akibat air mengalir ke drainase vertikal saja, maka hubungan antara derajat konsolidasi arah radial U_r dan waktu t , dapat dinyatakan dalam faktor waktu T_r sebagai berikut ini.

$$U_r = f(T_r) \quad (7)$$

$$T_r = \frac{C_r}{(2R)^2} t \quad (8)$$

digunakan persamaan pendekatan sebagai berikut:

$$U_r = 1 - e^{-\frac{8T_r}{y}} \quad (9)$$

$$T_r = -\frac{y}{8} \ln(1 - U_r) \quad (10)$$

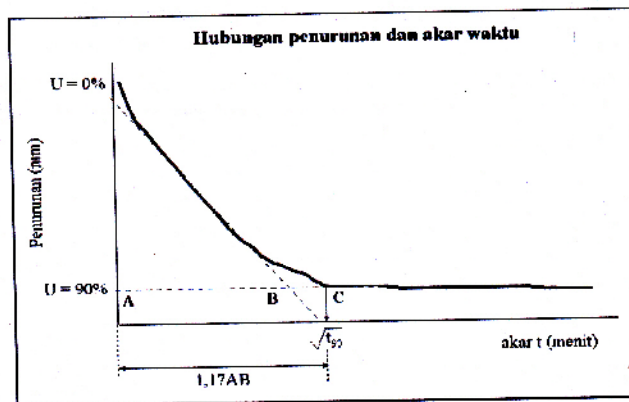
$$y = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln n - \frac{3n^2 - 1}{4n^2} \quad \text{atau} \quad n = \frac{R}{r} \quad (11)$$

dengan:

R = jari-jari pengaruh, nilai $R = 0,564$ a untuk susunan bujur sangkar dan $R = 0,525$ a untuk susunan segitiga

r = jari-jari drainase vertikal

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



Gambar 4. Hubungan penurunan dan akar waktu (C_r)

Bagian grafik dengan nilai $U = 0\%$ 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), diperoleh $AC = 1,17 AB$. Sehingga nilai koefisien konsolidasi arah horisontal C_r dapat ditentukan dengan persamaan di bawah ini.

$$C_r = \frac{T_r (2R)^2}{t_{90}} \quad (12)$$

Berdasarkan ukuran sampel tanah dengan diameter 6 inchi = 15,24 cm dan diameter drainase vertikal 0,8 cm, diperoleh nilai $T_r = 0,635$ untuk $U_r = 90\%$, maka nilai koefisien konsolidasi arah horisontal (C_r):

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

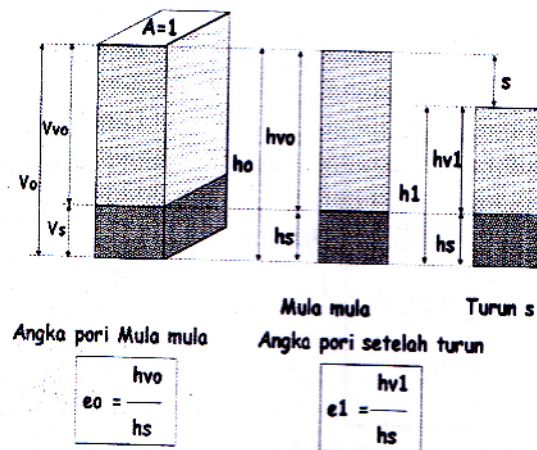
Derajat konsolidasi gabungan arah vertikal dan arah horisontal/ radial

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 dapat dihitung dengan persamaan:

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

Penurunan pondasi pada tanah normal

Berdasarkan hasil percobaan konsolidasi tanah (*normally consolidated*) yang disajikan pada Gambar 5 kondisi tanah dapat dinyatakan sebagai berikut ini, besarnya penurunan $s = h_0 - h_1 = h_{v0} - h_{v1}$; tebal tanah awal $h_0 = h_s + h_{v0}$; angka pori mula-mula $e_0 = h_{v0}/h_s$ dan angka pori setelah turun $e_1 = h_{v1}/h_s$.



Gambar 5. Blok diagram Tanah

Penurunan tanah dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut

$$s = \frac{C_c}{(1+e_0)} H \log \frac{P_0 + \Delta P}{P_0} \quad (15) \text{ atau}$$

$$s = H m_v \Delta P \quad (16)$$

Drainase vertikal untuk mempercepat proses konsolidasi

Jika dikehendaki mempercepat proses konsolidasi maka dapat dipasang konstruksi drainase vertikal ke dalam lempung lunak. Drainase vertikal dapat berupa tiang-tiang pasir, pita-pita geotekstil atau ijuk dibungkus goni yang di masukkan dalam lempung, kemudian di atasnya diberikan urugan pasir dengan tebal yang beratnya hampir sama dengan berat konstruksi yang akan dibangun. Jarak dan ukuran drainase vertikal ini direncanakan sedemikian hingga dalam waktu 2-6 bulan, konsolidasi telah mencapai 80%-85% dan sisa penurunan tinggal 2-3 cm.

Berdasarkan persamaan (5), maka nilai t (waktu konsolidasi) dapat dinyatakan sebagai berikut ini.

$$t = \frac{T_v d^2}{C_v} \quad (17)$$

Untuk memperkecil nilai t , diusahakan nilai d (lintasan drainase) diperkecil.

Dengan adanya drainase vertikal, konsolidasi menjadi 3 dimensi, yaitu ke arah vertikal (z) dan ke arah horisontal (x dan y). Analisis hasil pengujian disederhanakan dengan anggapan 2 dimensi, yaitu drainase arah vertikal (z) dan arah radial horisontal (x dan y).

Susunan bujur sangkar

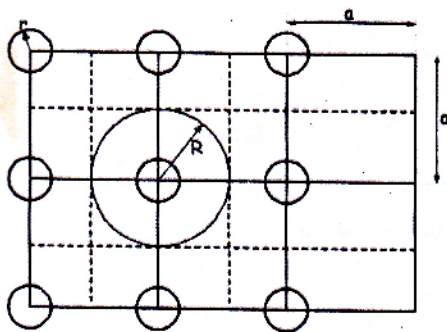
Satu tiang dengan jari-jari r , jarak antar tiang a , jari-jari pengaruh R :
luas lingkaran = luas segi empat, maka $\pi R^2 = axa$, diperoleh nilai R :

$$R = 0,564a \quad (18)$$

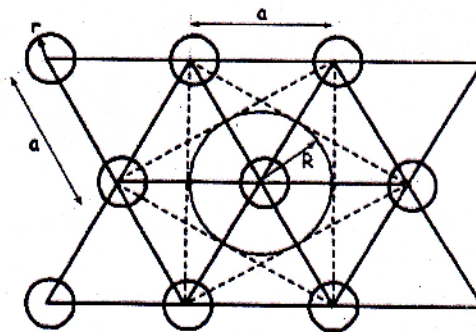
Susunan segitiga sama sisi

Satu tiang dengan jari-jari r , jarak antar tiang a , jari-jari pengaruh R :
luas lingkaran = 2 x luas segi tiga, maka $\pi R^2 = \frac{1}{2} a^2 \sqrt{3}$, diperoleh nilai R :

$$R = 0,525a \quad (19)$$



Gambar 6. Susunan drainase vertikal bujur sangkar



Gambar 7. Susunan drainase vertikal segitiga

METODOLOGI PENELITIAN

Contoh tanah lempung yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari daerah Piyungan Bantul di bagian selatan Daerah Istimewa Yogyakarta. Contoh tanah yang diambil adalah tanah lempung yang tidak terganggu (*undisturbed sample*), yang diambil pada kedalaman $\pm 2,5$ m dengan menggunakan tabung pralon yang mempunyai diameter dalam 25,3 cm dan diameter luar 26,75 cm serta tinggi tabung 30 cm. Pada pembuatan contoh tanah di laboratorium menggunakan cetakan khusus dari plat baja yang mempunyai diameter dalam 6 inchi ($\phi 15,24$ cm) dan tinggi 3,5 cm, serta cetakan khusus untuk membuat lubang drainase vertikal dengan diameter 0,8 cm yang sesuai dengan alat yang akan digunakan yaitu sel Konsolidasi Rowe.

Penelitian dengan sel konsolidasi Rowe (diameter 6 inchi) ini dilakukan sebanyak 6 kali dengan 2 macam *vertical drain* (pasir dan ijuk dibungkus karung goni) dan untuk perbandingan tanpa *vertikal drain*, masing-masing 2 contoh.

Hasil pengujian di Laboratorium akan diperoleh Indeks kompresi/indeks pemampatan (C_c) dan koefisien konsolidasi (C_v dan C_h)

Data yang diperoleh dari uji laboratorium selanjutnya digunakan untuk perencanaan drainase vertikal menggunakan kolom pasir dan kolom ijuk dibungkus goni.

Analisis konsolidasi perlu dilakukan dalam perencanaan suatu bangunan terutama pekerjaan konstruksi, dengan tujuan untuk mengetahui keamanan konstruksi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil parameter tanah lempung yang didapat dapat dilihat dalam Tabel 2.

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

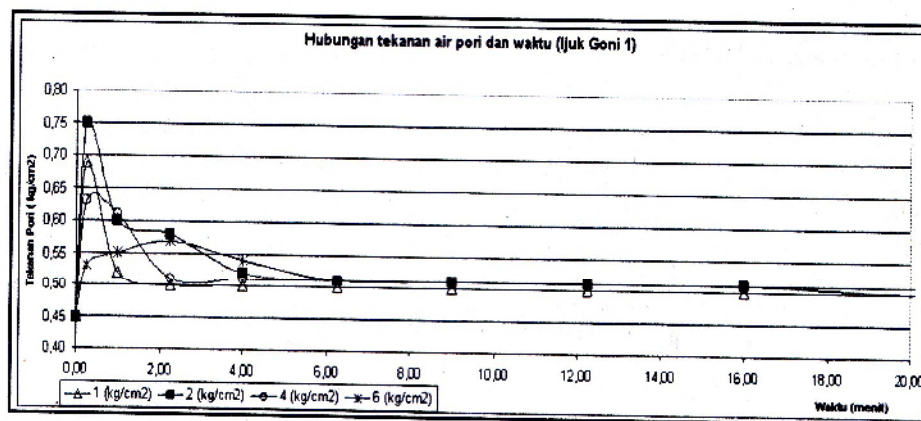
Hasil percobaan konsolidasi di laboratorium akan diperoleh beberapa hubungan yang akan digunakan untuk memperoleh parameter-parameter tanah yang diinginkan, antara lain sebagai berikut ini.

1. Hubungan antara penurunan (mm) dan akar waktu (menit), dari hubungan ini akan diperoleh nilai koefisien konsolidasi.
2. Hubungan antara angka pori (tanpa satuan) dan beban (kg), dari hubungan ini diperoleh nilai indeks kompresi (C_c).
3. Hubungan antara tekanan air pori (kg/cm²) dan waktu (menit), yang menunjukkan bahwa konsolidasi primer telah selesai.

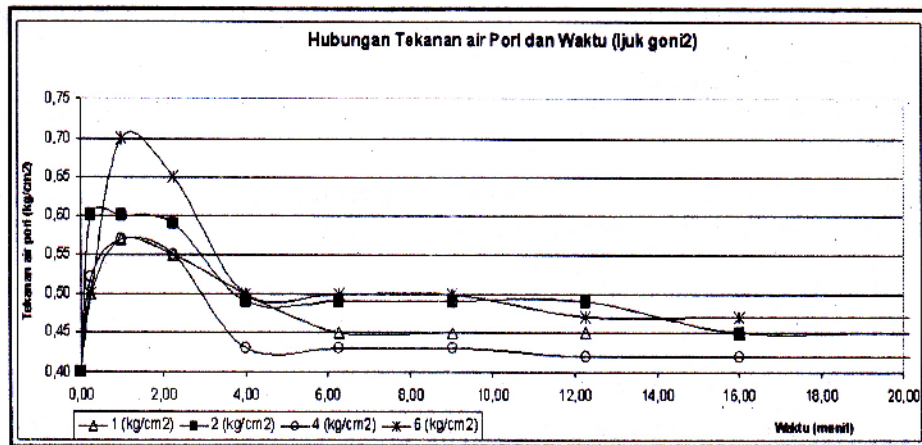
Berdasarkan hasil pengujian penurunan tanah akibat pembebanan dan akar waktu, diperoleh koefisien konsolidasi arah vertikal dan horisontal sebagai berikut ini.

1. Ijuk dibungkus goni rata-rata $C_v = 4,065 \times 10^{-4}$ cm²/dt; $C_h = 2,295 \times 10^{-2}$ cm²/dt.
2. Pasir rata-rata $C_v = 2,24 \times 10^{-4}$ cm²/dt; $C_h = 1,37 \times 10^{-2}$ cm²/dt.

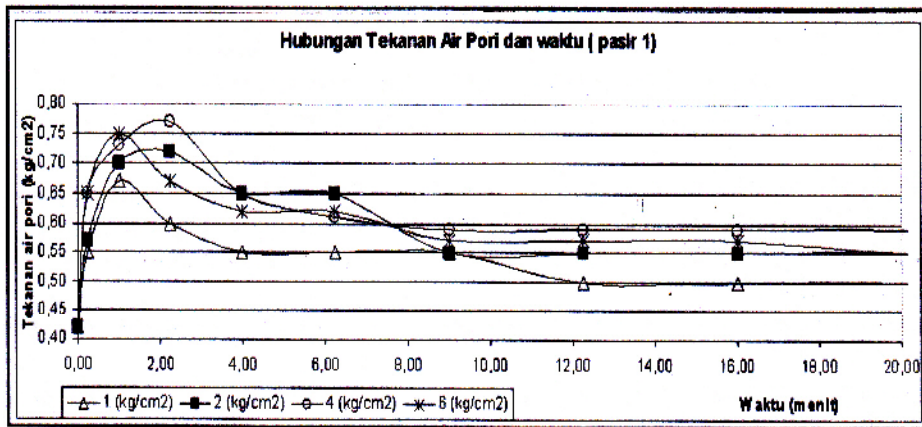
Dari perhitungan indeks kompresi tanah dan hasil perhitungan parameter tanah maka didapat: (a) Indeks kompresi (C_c) rata rata sebesar 0,75; (b) Berat volume tanah (γ_b) rata rata sebesar 1,64 gr/cm³; (c) Angka pori (e_c) rata rata sebesar 1,34. Hasil ini selanjutnya di gunakan pada contoh hitungan perencanaan



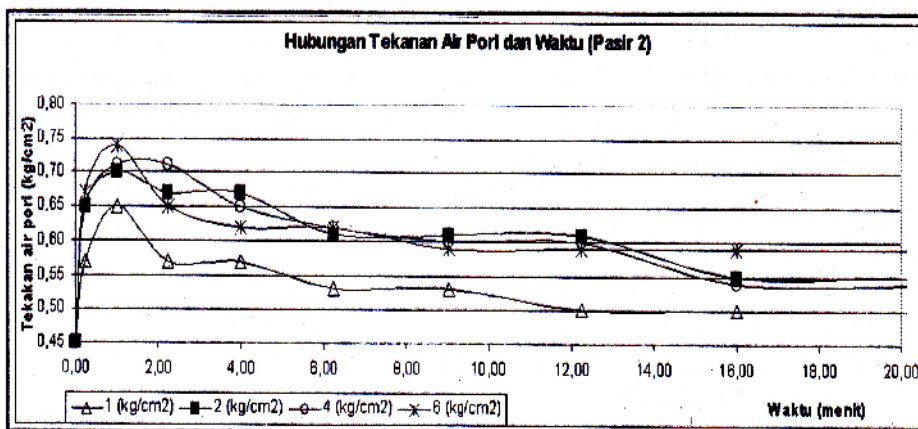
Gambar 8. Hasil analisis konsolidasi ijuk goni 1



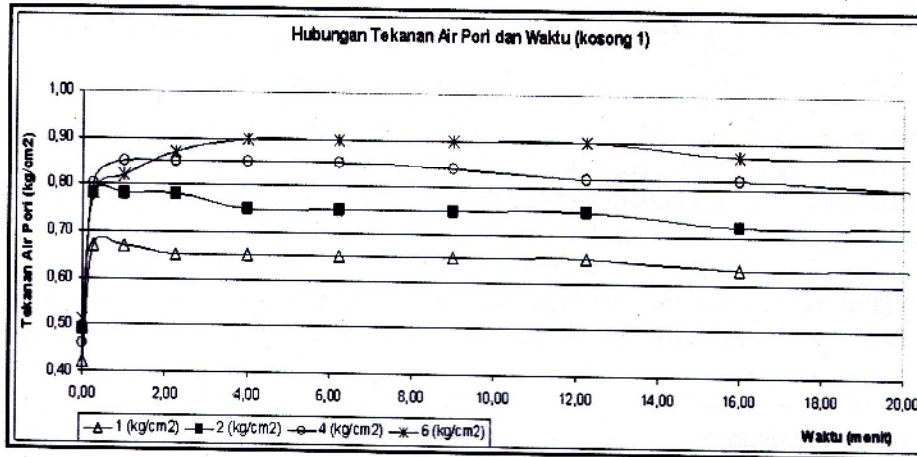
Gambar 9. Hasil analisis konsolidasi ijuk goni 2



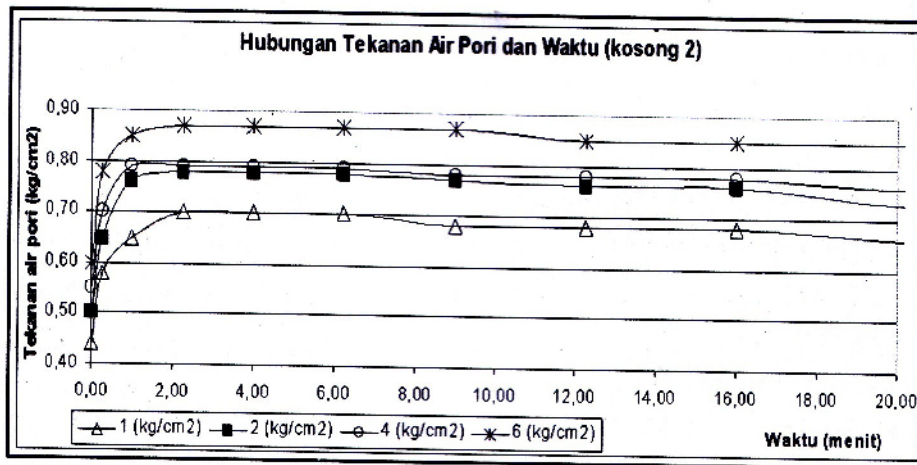
Gambar 10. Hasil analisis konsolidasi pasir 1



Gambar 11. Hasil analisis konsolidasi pasir 2



Gambar 12. Hasil analisis konsolidasi tanpa drainase 1



Gambar 13. Hasil analisis konsolidasi tanpa drainase 2

Analisis Drainase Vertikal

Tanah yang dibahas di atas digunakan untuk dasar jalan yang memberi tekanan merata pada tanah dasar sebesar 65 kN/m^2 . Ketebalan tanah lunak 10 m, maka penurunan $s_{maks} = 46,47 \text{ cm}$.

Direncanakan dipasang drainase vertikal dengan diameter 30 cm susunan bujur sangkar, diharapkan setelah 2 bulan penurunan yang terjadi mencapai 85 %, maka jarak yang diperlukan dapat diperiksa pada Tabel 3.

Tabel 3. Jarak yang diperlukan.

	Drainase Vertikal		Drainase Horisontal		Jarak kolom (m)
	Tv	Uv	Ur	n	
Ijuk dibungkus Goni	0,0021	0,0522	0,8417	16,7480	4,45
Pasir	0,0012	0,0388	0,8439	13,5800	3,60

KESIMPULAN

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

1. Pada hasil koefisien konsolidasi arah vertikal terlihat bahwa drainase vertikal dari ijuk yang dibungkus goni mempunyai nilai tertinggi yaitu rata rata $4,065 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{dt}$, kemudian pasir dengan nilai rata rata sebesar $2,34 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{dt}$ dan yang tanpa drainase vertikal rata rata sebesar $9,53 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{dt}$.
2. Dari hasil koefisien konsolidasi arah Horizontal terlihat bahwa drainase vertikal dari ijuk yang dibungkus goni mempunyai nilai tertinggi yaitu rata rata $2,296 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{dt}$, kemudian pasir dengan nilai rata rata sebesar $1,37 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{dt}$.
3. Penggunaan drainase vertikal untuk memperoleh penurunan 85% dalam waktu 2 bulan adalah 4,45 m untuk ijuk dibungkus goni dan 3,60 m untuk pasir.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Khafaji, A. W and Andersland, O., 1992, *Geotechnical Engineering and Soil Testing*, Saunders College Publishing, Florida.
- Cott, R. F., 1965, *Principle of Soil Mechanis*, Addison-Wesley Publishing Company, INC, London.
- Das, B.M., 1933, *Advance Soil Mechanics*. Hemisphere Publishing Corporation, Washington.
- Hardiyatmo, H. C., 1992, *Mekanika Tanah*, Penerbit PT. Gramedia Pustaka Umum, Jakarta.
- Karyasuparta, S. R., 1998, Perbaikan Tanah Dengan Vertikal Drain, Preloading da Monitoring, *Prosiding Kursus Singkat Geoteknik*, Bandung.
- Pranowo, S. 1981. Sand Drain Model, *Central Oedometer XICSMFE Stockholm 1981*, vol.1. pp 745-750.
- Sherly, L.H. 1987. *Penuntun Praktis Geoteknik dan Mekanika Tanah*. Penerbit Nova, Bandung.

Bowless, 1981

Terzaghi