

PENGARUH POLA PADA DRAINASE VERTIKAL SATU ARAH MENGGUNAKAN KOLOM PASIR PADA TANAH LUNAK

Elang Fajar Kurniawan^{1,a)} Bambang Setiawan^{2,b)} and Raden Harya Dananjaya^{2,3)}

¹⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik, Prodi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

²⁾ Staff pengajar Fakultas Teknik, Prodi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

^{a)} elang.11a4.8@gmail.com

^{b)} bbstw88@yahoo.co.id

^{c)} dananjaya.harya@gmail.com

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524

Abstract

Soft soil was a low bearing capacity soil, a high index of soil plasticity, and a long process of soil settlement. The settlement often uneven depends on the burden received by the soil. There were several methods that developed to solve these problems, one of them is a vertical drain method. Vertical drain served to accelerate the process of the discharge of water in soft soil. Vertical drain installation method in the field could be done in 2 ways, called triangular and rectangular patterns. The study was to see differences in the behavior of vertical drain installation with triangular pattern and rectangular pattern on soft soils which were viewed for 4 weeks or 28 days. The biggest results occurred in model triangular pattern + load with the C_c and C_r values of 0.810 and 0.071 cm^2/sec . The decrease at the surface that occurred in model triangular pattern + load was the fastest, which was 14.82% and 6.90% bigger than model without vertical drain + load and model rectangular pattern + load.

Key words: vertical drain, sand column, installation pattern.

Abstrak

Tanah lunak merupakan tanah yang memiliki daya dukung yang rendah, indeks plastisitas tanah yang tinggi, dan proses penurunan tanah yang cukup lama. Penurunan tanah yang terjadi sering kali tidak merata, tergantung dari beban yang diterima oleh tanah tersebut. Ada beberapa metode yang sudah dikembangkan untuk mengatasi masalah tersebut, salah satunya adalah metode drainase vertikal. Drainase vertikal berfungsi untuk mempercepat proses dari keluarnya air yang ada di dalam tanah lunak. Metode pemasangan drainase vertikal di lapangan dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu dengan pola segitiga dan pola segiempat. Penelitian ditujukan untuk melihat perbedaan perilaku pemasangan drainase vertikal dengan pola segitiga dan pola segiempat pada tanah lunak yang dilihat selama 4 minggu atau 28 hari. Pengujian diantaranya konsolidasi dan penurunan. Hasil terbesar terjadi pada model uji pola segitiga + beban dengan nilai C_c dan C_r sebesar 0,810 dan 0,071 cm^2/detik . Penurunan yang terjadi pada model uji pola segitiga + beban paling cepat yaitu lebih besar 14,82 % dan 6,90 % dari model uji tanpa drainase vertikal + beban + beban dan model uji pola segiempat + beban.

Kata kunci: drainase vertikal, kolom pasir, pola pemasangan.

PENDAHULUAN

Tanah lunak memiliki kapasitas dukung yang rendah, indeks plastisitas tanah yang tinggi, dan proses penurunan tanah yang cukup lama. Penurunan tanah merupakan akibat dari proses konsolidasi yaitu proses keluarnya air dalam tanah lunak. Air yang keluar menyebabkan tanah lunak menjadi semakin mampat. Tanah lunak yang permukaannya turun sering kali tidak merata, tergantung dari beban yang diterima oleh tanah tersebut. Ada beberapa metode yang sudah dikembangkan untuk mengatasi masalah tersebut, salah satunya adalah metode drainase vertikal. Drainase vertikal berfungsi untuk mempercepat proses dari keluarnya air yang ada di dalam tanah lunak. Metode pemasangan drainase vertikal di lapangan dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu dengan pola segitiga dan pola segiempat.

LANDASAN TEORI

Prastyo dkk (2017) melakukan penelitian tentang pengaruh kedalaman drainase vertikal satu arah menggunakan kolom pasir terhadap kecepatan penurunan dan perubahan kadar air tanah lunak. Penelitian tersebut dilakukan dengan membebani tanah lunak dengan beban seberat 40 kg selama 21 hari dan dilakukan pengambilan data tiap harinya. Data dari penelitian tersebut dapat ditarik kesimpulan semakin dalam drainase maka penurunan yang terjadi akan semakin besar.

Penelitian tersebut mengacu pada pernyataan Abadi (2004) yaitu penggunaan drainase vertikal telah sejak lama dilakukan orang. Pasir menjadi bahan utama pengisi drainase vertikal pada saat itu. Tujuan utamanya adalah mempercepat proses penurunan yang akan terjadi pada suatu lapisan tanah tertentu. Penurunan akan cepat terjadi apabila dipasang suatu sistem drainase vertikal untuk memperpendek jarak yang ditempuh air terdisipasi.

Penelitian kali ini melanjutkan penelitian dari Prastyo dkk (2017) dengan melakukan beberapa penggantian variasi terhadap pola pemasangan dari drainase vertikal satu arah menggunakan kolom pasir. Pola pemasangan yang

digunakan yaitu pola segitiga dan segiempat. Pembebanan dilakukan selama 21 hari dan pelepasan beban selama 7 hari, beban yang digunakan seberat 40 kg. Variasi yang dipakai mengacu pada penelitian Riswan (2006) yang membandingkan pola segitiga dan segiempat pada drainase vertikal.

Dasar Teori

Tanah lunak

Tanah lunak yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada pernyataan Toha (1989) yaitu sifat umum tanah lunak adalah memiliki kadar air 80-100%, batas cair 80-110%, batas plastis 30-45%, saat dites *sieve analysis*, maka butiran yang lolos oleh saringan no 200 akan lebih besar dari 90% serta memiliki kuat geser 20-40 kN/m².

Pasir

Pasir yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada pernyataan Terzaghi dan Peck (1993) mengatakan pasir dan kerikil merupakan agregat tak berkoheisi yang tersusun dari fragmen-fragmen *sub-angular* atau *angular*, agaknya berasal dari batuan atau mineral dari batuan atau mineral yang belum mengalami perubahan. Partikel berukuran sampai 1/8 inci dinamakan pasir dan yang berukuran 1/8 sampai 6 atau 8 inci disebut kerikil. Fragmen-fragmen bergaris-tengah lebih besar dari 8 inci dikenal sebagai bongkah (*boulders*).

Konsolidasi

Konsolidasi adalah proses dimana tekanan air pori berlebih akibat peningkatan tegangan pada lapisan tanah sehingga air pori terdisipasi dari dalam tanah. Nilai permeabilitas tanah yang semakin tinggi, maka waktu konsolidasinya juga semakin cepat dan sebaliknya. Tanah kohesif memiliki waktu konsolidasi yang sangat panjang karena memiliki sifat permeabilitas yang rendah.

Nilai koefisien konsolidasi (C_v) dapat diperoleh dari persamaan (1) Hardiyatmo (2003) berikut:

$$C_v = \frac{T_v H^2}{t} \quad (1)$$

dengan :

T_v = faktor waktu yang tergantung derajat konsolidasi (U) (bilangan tak berdimensi)

t = waktu untuk mencapai derajat konsolidasi $U\%$ (detik)

C_v = koefisien konsolidasi (cm²/detik)

H = tebal tanah (cm)

Nilai indeks pemampatan (C_c) dapat diperoleh dari persamaan (2) Hardiyatmo (2003) berikut:

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log p'} = \frac{e_1 - e_2}{\log p'_2 - \log p'_1} \quad (2)$$

dengan :

p'_1 = tekanan efektif pada tanah *compressible* awal pengujian (kg/cm²)

p'_2 = tekanan efektif pada tanah *compressible* akhir pengujian (kg/cm²)

e_1 = besarnya angka pori pada tegangan p'_1

e_2 = besarnya angka pori pada tegangan p'_2

Sebelum digunakan untuk menghitung penurunan, nilai indeks pemampatan (C_c) perlu dikoreksi dengan persamaan (3) Hardiyatmo (2003) berikut:

$$C_{c \text{ lap}} = \frac{e_0 - 0,42e_0}{\log \sigma'_1 - \log \sigma'_c} \quad (3)$$

dengan :

$C_{c \text{ lap}}$ = Indeks kompresi, dari hasil uji konsolidasi

e_0 = Angka pori awal tanah

σ_0 = Tekanan vertikal tanah (biasanya = tekanan *overburden* efektif)

σ'_1 = Tekanan vertikal tanah

σ'_c = Tekanan prakonsolidasi efektif

Nilai penurunan konsolidasi (S_p) dapat diperoleh dari persamaan (4) Hardiyatmo (2003) berikut:

$$S_p = C_c \frac{H_0}{1+e_0} \log \frac{\sigma_0 + \Delta \sigma}{\sigma_0} \quad (4)$$

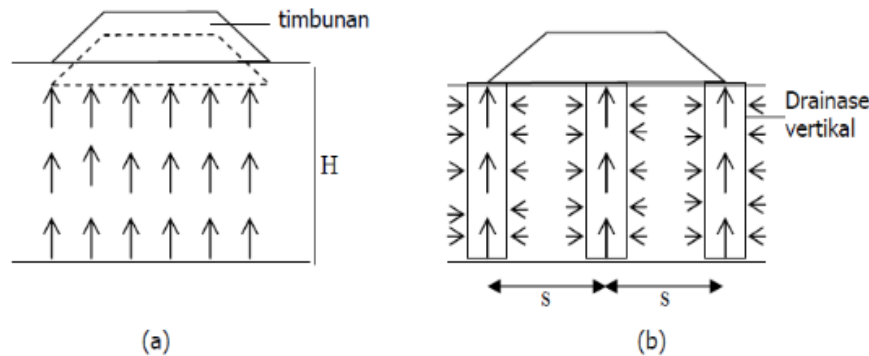
dengan :

S_p = Penurunan konsolidasi

- C_c = Indeks kompresi, dari hasil uji konsolidasi
 H = Tebal awal lapisan tanah yang terkonsolidasi
 e_0 = Angka pori awal tanah
 σ_0 = Tekanan vertikal tanah (biasanya = tekanan *overburden* efektif)
 $\Delta\sigma$ = Pertambahan tekanan vertikal (tekanan akibat beban)

Pengaplikasian drainase vertikal

Metode drainase vertikal ini sering diterapkan bersama dengan metode pemberian beban awal (*preloading*). Drainase vertikal untuk perbaikan tanah pada penelitian ini menggunakan kolom pasir (*sand column*).



Gambar 1. Dua kondisi tanah lunak yang mengalami konsolidasi (Hardiyatmo, 2015) (a) tanpa drainase vertikal, (b) dengan drainase vertikal

Perhitungan desain drainase vertikal

Jarak dari drainase vertikal tergantung pada macam dan permeabilitas tanah. Praktek dilapangan, jarak drainase pasir di antara 1 sampai 3 m dari pusat ke pusat kolom drainase. Hubungan antara jarak drainase vertikal (S) dengan diameter pengaruh drainase (D)

$$D = 1,13 S \text{ (pola segiempat)} \quad (5)$$

$$D = 1,05 S \text{ (pola segitiga)} \quad (6)$$

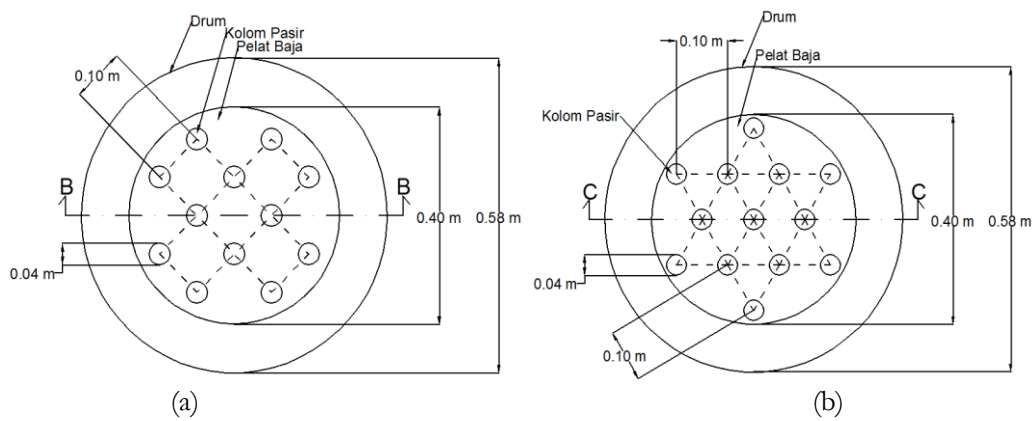
Luas zona yang terdrainase oleh satu buah drainase vertikal adalah sama dengan $1/4 \pi D^2$

METODE PENELITIAN

Data-data untuk hasil penelitian didapatkan menggunakan berbagai macam pengujian. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini meliputi, model uji tanpa drainase vertikal + beban, model uji pola segitiga + beban, dan model uji pola segiempat + beban dengan pengujian penurunan permukaan dan pengujian konsolidasi. Sampel tanah diambil dari dusun Seneng, Kelurahan Girimargo, kecamatan Miri, kabupaten Sragen, Jawa Tengah. Peralatan yang digunakan pada penelitian ini berupa drum besi sebagai media utama pemodelan menggunakan bantuan jangka sorong untuk mengukur penurunan permukaan tanah dan alat bantu lainnya untuk menguji pengujian konsolidasi.

Tahap Persiapan

Tanah lunak di keringkan hingga kadar air 0% kemudian dicampur dengan air lagi menggunakan *mixer* hingga kadar air mencapai 95%. Pasir dikeringkan hingga kadar air 0% kemudian diambil pasir yang lolos saringan no. 4 dan tertahan no. 200. Tanah lunak yang sudah diperam dimasukkan ke dalam drum dengan ketebalan 25 cm secara bertahap. Setelah ketebalan tanah lunak tercapai, kemudian tanah dilubangi menggunakan pipa berdiameter 4 cm sesuai dengan pola yang di inginkan.



Gambar 2. Pola penempatan drainase vertikal (a) pola segiempat (b) pola segitiga

Lubang yang sudah dibuat kemudian diisi dengan pasir, lalu menambahkan lapisan pasir pada permukaan tanah setebal 3 cm. Pelat baja kemudian dipasang untuk meratakan beban, di atasnya ditaruh beban seberat 40 kg dan balok kayu untuk acuan pengukuran penurunan permukaan tanah.

Tahap Pengujian

Pengujian konsolidasi dilakukan untuk mendapatkan nilai koefisien konsolidasi (C_v) dan nilai indeks pemampatan (C_c) yang dilakukan sebelum dan setelah pembebanan. Pengukuran penurunan dilakukan selama 28 hari dan diamati setiap hari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Klasifikasi Tanah

Pengujian klasifikasi tanah memberikan hasil bahwa tanah memiliki G_s sebesar 2,66, nilai batas cair (*liquid limit*) sebesar 91,44 % dan batas plastis (*plastic limit*) sebesar 47,67 %, memiliki persentase lolos saringan nomor 200 sebesar 98,27% dan kadar air saat pengujian adalah 95 %, dari data tersebut maka tanah memenuhi syarat sebagai tanah lunak.

Pengujian Konsolidasi

Pengujian konsolidasi ini bertujuan mendapatkan nilai koefisien konsolidasi (C_v), indeks pemampatan (C_c), serta nilai yang dibutuhkan untuk menghitung penurunan konsolidasi (S_p). Pengujian konsolidasi dilakukan pada sampel tanah sebelum pembebanan dan juga setelah dilakukan pembebanan baik dari sampel model uji tanpa drainase vertikal + beban, model uji pola segitiga + beban, dan model uji pola segiempat + beban ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil peengujian konsolidasi

No.	Sampel Uji	C_v	C_c	$C_{c\ lup}$	S_p	
1	model uji tanpa pembebanan	0,064	cm ² /det	0,607	-	
2	model uji tanpa drainase vertikal + beban	0,068	cm ² /det	0,728	1,093	34,82 mm
3	model uji pola segitiga + beban	0,071	cm ² /det	0,810	1,464	41,29 mm
4	model uji pola segiempat + beban	0,076	cm ² /det	0,756	1,201	35,16 mm

Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai C_v pada sampel tanah sebelum dilakukan pembebanan adalah sebesar 0,064 cm²/det. Nilai C_v dari sampel model uji tanpa drainase vertikal + beban adalah sebesar 0,068 cm²/det, lalu untuk sampel model uji pola segitiga + beban memiliki nilai C_v sebesar 0,071 cm²/det, kemudian untuk model uji pola segiempat + beban memiliki nilai C_v sebesar 0,076 cm²/det. Nilai C_c pada sampel tanah sebelum dilakukan pembebanan adalah sebesar 0,607. Nilai Koefisien kompresi (C_c) setelah pembebanan pada sampel model uji tanpa drainase vertikal + beban adalah sebesar 0,728, lalu untuk sampel model uji pola segitiga + beban memiliki nilai C_c sebesar 0,810, kemudian untuk model uji pola segiempat + beban memiliki nilai C_c sebesar 0,756. Hasil dari nilai

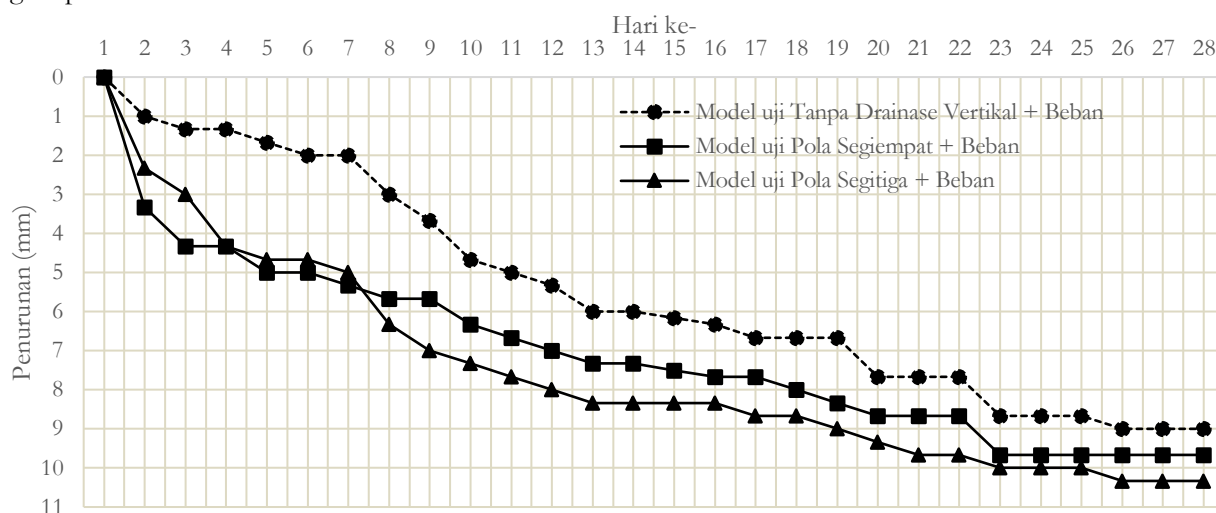
C_c di atas menunjukkan bahwa pada sampel model uji pola segitiga + beban telah mengalami pemampatan yang terbesar sehingga memiliki nilai C_c tertinggi.

Perhitungan penurunan (S_p) dengan teori Terzaghi dapat dilakukan setelah mengkonversi hasil nilai $C_{c\ lab}$ ke dalam nilai $C_{c\ lap}$. Nilai S_p pada sampel model uji tanpa drainase vertikal + beban adalah sebesar 34,82 mm, lalu untuk sampel model uji pola segitiga + beban memiliki nilai S_p sebesar 41,29 mm, kemudian untuk model uji pola segiempat + beban memiliki nilai S_p sebesar 35,16 mm. Hasil dari nilai S_p di atas menunjukkan bahwa pada sampel model uji pola segitiga + beban telah mengalami pemampatan yang terbesar sehingga memiliki nilai S_p terbesar yaitu 41,29 mm.

Pengujian konsolidasi menghasilkan nilai C_p terbesar pada model uji pola segiempat + beban dengan nilai 0,076 cm²/det. Hasil berbeda didapat pada nilai C_c dan nilai penurunan (S_p) di mana model uji pola segitiga + beban menghasilkan nilai C_c dan nilai penurunan (S_p) paling besar yakni 0,810 dan 41,29 mm. Hasil yang berbeda ini bisa disebabkan berbagai hal, salah satunya adalah posisi dari kolom pasir yang menyentuh dasar dari drum uji sehingga penurunan dari tanah lunak tertahan oleh kolom pasir itu sendiri.

Pengujian Penurunan

Pengujian penurunan dilakukan pada sampel tanah sebelum pembebanan dan juga setelah dilakukan pembebanan baik dari sampel model uji tanpa drainase vertikal + beban, model uji pola segitiga + beban, dan model uji pola segiempat + beban.



Gambar 3. Perbandingan penurunan tanah ketiga model

Penurunan yang terjadi pada model uji tanpa drainase vertikal + beban mengalami penurunan selama 21 hari pembebanan dan 7 hari *unloading* sebesar 9,00 mm, model uji pola segitiga + beban mengalami penurunan sebesar 10,33 mm, model uji pola segiempat + beban mengalami penurunan sebesar 9,67 mm.

Ketiga model kemudian dibandingkan, dapat dilihat bahwa pada awal waktu penurunan terbesar dialami oleh model uji pola segiempat + beban, kemudian model uji pola segitiga + beban, dan terakhir adalah model uji tanpa drainase vertikal + beban. Pencapaian fase asimtot dari ketiga model cukup mirip, yaitu pada hari ke-13. Penurunan yang terjadi pada model uji tanpa drainase vertikal + beban adalah sebesar 9,00 mm, lebih kecil 0,024 mm atau 7,41 % dari penurunan yang terjadi pada model uji pola segiempat + beban. Model uji pola segitiga + beban memiliki penurunan sebesar 0,369 mm, lebih besar 0,048 mm atau 14,82 % dari model uji tanpa drainase vertikal + beban dan juga lebih besar 0,024 mm atau 6,90 % dari model uji pola segiempat + beban. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan drainase vertikal meningkatkan kecepatan penurunan dari tanah lunak. Pemasangan pola segitiga drainase vertikal pada model uji memiliki kecepatan penurunan yang lebih besar dibandingkan dengan pemasangan drainase vertikal dengan pola segi empat pada jarak antar sumbu kolom yang sama.

Penurunan yang terjadi pada model uji pola segitiga + beban lebih besar dan lebih cepat dari model uji pola segiempat + beban dikarenakan daerah pengaruh dari kolom pasir memiliki area irisan yang lebih banyak. Hal

tersebut mengakibatkan jalur air untuk keluar dari tanah lunak lebih pendek sehingga air pori mampu keluar lebih cepat saat terjadi pemampatan.

Perbandingan Penurunan Hasil Pengamatan dengan Hasil Analisis

Analisa perhitungan penurunan dengan teori Terzaghi dilakukan untuk membandingkan data hasil penurunan dari pengamatan langsung dengan hitungan teori. Hasil perbandingan perhitungan penurunan dengan analisis teori dan nilai penurunan akumulatif dengan pengamatan langsung untuk masing-masing model ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Penurunan tiap model dengan pengamatan dan analisa hitungan

No	Sampel	Besarnya penurunan (mm)		
		Pengamatan	Analisa Terzaghi	Selisih
1	Model uji tanpa drainase vertikal + beban	9,00	34,82	25,82 74,15%
2	Model uji pola segitiga + beban	10,33	41,29	30,96 74,98%
3	Model uji pola segiempat + beban	9,67	35,16	25,49 72,50%

Tabel 2 menunjukkan perbandingan antara data hasil penurunan dari pengamatan langsung dengan hitungan teori terdapat perbedaan yang cukup besar, hal ini dikarenakan pengamatan memiliki keterbatasan waktu selama 28 hari. Selisih antara data hasil penurunan dari pengamatan langsung dengan hitungan teori untuk model uji tanpa drainase vertikal + beban adalah sebesar 25,82 mm atau 74,15 % dari hasil hitungan teori. Model uji pola segitiga + beban adalah sebesar 30,96 mm atau 74,98 % dari hasil hitungan teori. Model uji pola segiempat + beban adalah sebesar 25,49 mm atau 72,50 % dari hasil hitungan teori. Hal tersebut menunjukkan selisih dari ketiga model tidak menunjukkan perbedaan yang terlalu jauh yaitu 74,15 %, 74,98 %, dan 72,50 %. Hasil ini menunjukkan adanya hubungan yang seragam antara penurunan hasil pengamatan dengan analisis hitungan dari ketiga model uji.

SIMPULAN

1. Model uji pola segitiga + beban nilai C_v sebesar 0,071 cm²/det, nilai C_c terbesar yaitu 0,810 lalu menghasilkan nilai S_p terbesar pula yaitu 41,29 mm. Nilai C_c semakin besar maka nilai penurunan atau pemampatan tanah lunak hasil analisis (S_p) yang terjadi juga akan semakin besar.
2. Penurunan yang terjadi pada model uji pola segitiga + beban paling cepat yaitu lebih besar 14,82 % dan 6,90 % dari model uji tanpa drainase vertikal + beban dan model uji pola segiempat + beban dikarenakan daerah pengaruh dari kolom pasir memiliki area irisan yang lebih banyak. Hal tersebut mengakibatkan jalur air untuk keluar dari tanah lunak lebih pendek sehingga air pori mampu keluar lebih cepat saat terjadi pemampatan.
3. Penurunan dari hasil pengamatan langsung dan analisis hitungan menunjukkan selisih dari ketiga model tidak menunjukkan perbedaan yang terlalu jauh yaitu 74,15 %, 74,98 %, dan 72,50 %. Hasil ini menunjukkan adanya hubungan yang seragam antara penurunan hasil pengamatan dengan analisis hitungan.

REKOMENDASI

1. Nilai C_c dan C_v dihitung melalui nilai penurunan dari pengamatan langsung, agar mendapat hasil yang mendekati kenyataan.
2. Mengganti material yang digunakan sebagai drainase vertikal selain pasir.
3. Penelitian bisa ditambahkan dengan penggunaan metode elemen hingga dengan bantuan *software*.

REFERENSI

- Abadi, T. C., 2004, Uji Laboratorium Pemanfaatan Serabut Kelapa dan Ijuk Sebagai Bahan Drainase Vertikal Tanpa Filter, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung.
- Das, B. M., 1995, Mekanika Tanah (Prinsip–Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid I, Erlangga, Jakarta
- Hardiyatmo, H. C., 1992. Mekanika Tanah. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, H. C., 2003. Mekanika Tanah II. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C., 2015. Geosintetik Untuk Rekayasa Jalan Raya: Perancangan Dan Aplikasi. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Peck, R. B., dan Terzaghi, K., 1967, *Soil Mechanics in Engineering Practice*, Wiley, New York

- Prastyo, B., Setiawan, B., Indrabaskara, R. H. D. H., 2017. Pengaruh Kedalaman Drainase Vertikal Satu Arah Menggunakan Kolom Pasir terhadap Kecepatan Penurunan dan Perubahan Kadar Air Tanah Lunak, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret.
- Riswan, 2006. Analisa Pengaruh Pemasangan Drainase Vertikal dengan Pola Segitiga dan Pola Segiempat pada Tanah Lempung Lunak, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Andalas.