

Studi Preloading Dengan Kolom Pasir Sebagai Drainase Tanah Lunak (Studi Kasus Tanah Bojonegoro)

Mohammad Zainul Ikhwan

Universitas Bojonegoro

E-mail: zaeny.ikhwan@gmail.com

Abstrak

Tanah di daerah Bojonegoro sebagian besar merupakan tanah berbutir halus atau yang sering di sebut dengan tanah lempung (tanah kohesif), yaitu merupakan tanah yang mempunyai koefisien permeabilitas (k) yang kecil dibandingkan tanah non kohesif (pasir dan kerikil). Tanah lunak berasal dari pelapukan kerak bumi yang sebagian besar tersusun oleh Silika dan Aluminium Oktahendra, Tanah lempung akan menjadi gumpalan-gumpalan yang sangat keras pada saat musim kemarau dan akan menjadi sangat liat, basah, dan lengket pada saat musim penghujan tiba. Metode untuk menanggulangi penurunan yang besar dan waktu penurunan yang lama adalah dengan menggunakan sistem Preloading. Preloading atau pemberian beban di awal di lakukan dengan cara memberikan beban yaitu berupa timbunan sehingga menyebabkan tanah lempung akan termampatkan sebelum konstruksi di dirikan. Dilakukannya sebuah penelitian ini bertujuan untuk mempercepat proses penurunan yang akan terjadi pada tanah lunak bila diberi drainase vertikal kolom pasir. Penurunan akan cepat terjadi apabila dipasang suatu sistem drainase vertikal untuk memperpendek jarak yang ditempuh air terdisipasi. Tanah lempung (clay) dengan kolom pasir setelah pemberian beban seberat 25 kg terjadi pemampatan dengan penurunan 72 ml selama 21 hari. Dari kadar air optimum atau OMC (optimum moisture content) yang didapatkan dari uji pemadatan tanah (proctor standart) diperoleh dengan penambahan air sebanyak 100 ml (5%) sehingga di dapatkan hasil sebanyak 35,98 %. Pada saat dilakukannya pemadatan tanah dalam uji pemodelan drainase vertikal sebelum pengujian di peroleh nilai sebesar 81,31% pada saat dilakukan penelitian penurunan kadar air tanah setelah pengujian diperoleh hasil sebesar 77,38 %, sehingga rata rata penurunan kadar air sebelum dan sesudah didapatkan hasil sebesar 3,93%.

Kata Kunci : Tanah lempung, Drainase Vertikal, Kolom Pasir

Abstract

Most of the soil in the Bojonegoro area is fine-grained soil or what is often called clay (cohesive soil), which is a soil that has a small permeability coefficient (k) compared to non-cohesive soil (sand and gravel). Soft soil comes from weathering of the earth's crust which is mostly composed of Silica and Aluminum Oktahendra. Clay soil will become very hard lumps during the dry season and will become very clayey, wet and sticky when the rainy season arrives. The way to deal with large losses and long unloading times is to use the Preloading system. Preloading or giving the load at the beginning is done by giving a load, namely in the form of an embankment so that the clay soil will be compressed before construction is erected. The purpose of this study was to speed up the settlement process that would occur in soft soils when given vertical sand column drainage. Settlement will occur quickly if a vertical drainage system is installed to shorten the distance traveled by the dissipated air. Clay soil (clay) with a column of sand after giving a load weighing 25 kg occurs compression with a decrease of 72 ml for 21 days. From the optimum water content or OMC (optimum moisture content) obtained from the soil compaction test (standard proctor) obtained by adding 100 ml (5%) of water to obtain a yield of 35.98%. When the soil compaction was carried out in the vertical drainage

modeling test before testing, the acquisition value was 81.31%, when the research was carried out to reduce the soil water content after the test, the results were 77.38%, so that the average decrease in water content before and after the results were obtained by 3.93%.

Keywords : Clay soil, Vertical drainage, Sand column

PENDAHULUAN

Tanah di daerah Bojonegoro sebagian besar merupakan tanah berbutir halus atau yang sering di sebut dengan tanah lempung (tanah kohesif), yaitu tanah yang mempunyai koefisien permeabilitas (k) yang kecil dibandingkan tanah non kohesif (pasir dan kerikil). Tanah lunak berasal dari pelapukan kerak bumi yang sebagian besar tersusun oleh Silika dan Alumunium Oktahendra, Tanah lempung akan menjadi gumpalan-gumpalan yang sangat keras pada saat musim kemarau dan akan menjadi sangat liat, basah, dan lengket pada saat musim penghujan tiba. Jenis tanah ini merupakan jenis tanah yang memiliki sifat kurang menguntungkan secara teknis untuk mendukung suatu pekerjaan konstruksi karena plastisitasnya dan kembang susut yang tinggi serta daya dukung yang rendah.

Tanah lunak ini juga memiliki kandungan air yang tinggi dan sulit terdrainasi karena sifat permeabilitas tanahnya yang relatif rendah serta kompresibilitas yang besar sehingga menyebabkan tanah ini mengalami penurunan yang besar dan dalam waktu yang sangat lama. Hal tersebut sering menjadi kendala dalam pelaksanaan suatu pekerjaan konstruksi sehingga banyak kasus kegagalan bangunan atau kegagalan konstruksi yang terjadi saat pembangunan konstruksi di atas tanah lunak.

Pasir merupakan salah satu material butiran yang terdiri dari partikel batuan dan mineral yang terpecah halus. ukuran pasir lebih halus dari krikil dan lebih kasar dari lanau. Pasir juga bisa mengacu pada suatu kelas tekstur dari tanah atau jenis tanah: yaitu, tanah yang mengandung lebih dari 85 persen partikel berukuran pasir berdasarkan massa. Selain itu pasir juga memiliki premeabilitas tinggi, sehingga dalam sebuah pembangunan konstruksi, pasir sangat berperan penting dan selalu di perlukan. Sifat yang dimiliki pasir ialah memungkinkan untuk menjadi struktur bawah karena sifatnya kuat terhadap tekanan sehingga diperkirakan mampu memikul seluruh beban kontruksi bangunan. Pertimbangan yang digunakan untuk bahan pasir yaitu bahan ini mudah di temukan diindonesia dan terhitung murah untuk dibeli. Metode ini terhitung ekonomis dan efesien karena dapat di cari dan di beli dengan serta dapat di temukan di mana saja.

Pemasalahan stabilisasi tanah lunak sebagai lapisan tanah dasar sebuah bangunan dapat diperbaiki dengan menggunakan vertikal drain (PVD), penggunaan PVD sudahbanyak digunakan pada pembangunan proyek-proyek besar pada tanah yang luas seperti rumah, gedung dan lainnya. Pada kali ini peneliti membuat suatu ide gagasan untuk menggunakan kolom-kolom pasir sebagai penyerap air yang ada didalam tanah lunak sehingga pada saat ingin membangun sebuah bangunan tidak perlu lagi menggunakan PVD dikarenakan membutuhkan biaya yang cukup mahal dari segi ekonominya maupun dari segi praktisnya.

Salah satu metode untuk menanggulangi penurunan yang besar dan waktu penurunan yang lama adalah dengan menggunakan sistem Preloading. Preloading atau pemberian beban di awal di lakukan dengan cara memberikan beban yaitu berupa timbunan sehingga menyebabkan tanah lempung akan termampatkan sebelum konstruksi di dirikan. Tanah dasar yang di gunakan dalam penelitian ini tergolong tanah yang lunak atau tanah yang di kategorikan tanah kompresible, sehingga bila ada beban diatasnya akan terjadi pemampatan yang akan menyebabkan kerusakan konstruksi di atasnya. Untuk itu di lakukan pembebanan awal yang akan berfungsi mereduksi penurunan yang akan terjadi serta pembebanan awal yang juga meningkatkan daya dukung tanah dasar tersebut.

Dilakukannya sebuah penelitian ini bertujuan untuk mempercepat proses penurunan yang akan terjadi pada tanah lunak bila diberi drainase vertikal kolom pasir. Penurunan akan cepat terjadi apabila dipasang suatu sistem drainase vertikal untuk memperpendek jarak yang ditempuh air terdisipasi. Oleh karena itu harus dilakukan usaha perbaikan tanah agar tidak terjadi penurunan konsolidasi kembali saat konstruksi bangunan mulai dibangun bahkan

setelah selesai dibangun struktur di atasnya sekalipun, sehingga resiko kerusakan struktur bangunan karena penurunan tanah yang terlalu besar dapat dihindari.

Dikutip dari penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Herizki Trisatria, Bambang Setiawan, Noegroho Djarwanti (2018) dalam penelitiannya yang berjudul "Pengaruh variasi kolom pasir sebagai drainase vertikal dua arah pada tanah lunak". Metode penelitian yang dilakukan yaitu menggunakan metode eksperimental laboratorium dalam skala kecil. Hasil dari penelitian ini adalah penambahan drainase vertikal dengan variasi kolom kelompok meningkatkan kecepatan penurunan sebesar 3,99 mm, sedangkan drainase vertikal dengan kolom tunggal meningkatkan kecepatan penurunan sebesar 3,03 mm, penambahan drainase vertikal dapat mempercepat penurunan tanah, Drainase vertikal dengan variasi kolom kelompok memiliki kecepatan 31,54 % lebih cepat dibanding drainase vertikal dengan variasi kolom tunggal, dalam penggunaan drainase vertikal kolom kelompok penurunan semakin cepat.

METODE

Penelitian ini penulis menggunakan Metode Eksperimen untuk pengambilan datanya. Penelitian pembuatan beserta pengujian dilakukan di laboratorium Teknik Sipil Universitas Bojonegoro. Pada penelitian ini data primer berupa data sifat-sifat bahan yang didapatkan material tanah di lingkungan Universitas Bojonegoro dan material pasir dari Desa Ledok Kecamatan Bojonegoro hasil dari penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Bojonegoro. Kemudian data sekunder Pada penelitian ini data primer berupa data sifat-sifat bahan yang didapatkan material tanah di lingkungan Universitas Bojonegoro dan material pasir dari Desa Ledok Kecamatan Bojonegoro hasil dari penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Bojonegoro, Populasi keseluruhan pada penelitian ini adalah pembebanan (preloading) dengan kolom pasir sebagai drainase, Sampel yang dipilih dalam penelitian ini menggunakan teknik simple random sampling, dengan pembagian yang terdiri dari pengujian penurunan, uji kadar air, uji pemampatan, dan uji sifat-sifat tanah pada pembebanan (preloading) dengan menggunakan kolom pasir. Data pengujian yang didapat dianalisis menggunakan metode eksperimental laboratorium teknik sipil universitas bojonegoro dalam skala kecil, yaitu dilakukan dengan menggunakan sampel tanah yang dimasukkan ke dalam drum plastik/box kemudian diberi beban sesuai dengan beban rencana. Selanjutnya dibuat beberapa grafik dari data dan hasil analisis data, menjawab permasalahan, dan kemudian dapat ditarik sebuah kesimpulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Berat Jenis tanah (SNI 1964:2008)

Pengujian berat jenis tanah merupakan suatu perbandingan berat butir tanah dengan volume butir tanah pada suatu suhu tertentu. Hasil berat jenis tanah asli dapat dilihat pada Tabel berikut :

Tabel 1 Pengujian berat jenis tanah

Nomor contoh dan kedalaman			
Nomor piknometer		122	128
Berat piknometer + contoh	W2 (gram)	80,41	81,16
Berat piknometer	W1 (gram)	55,39	56,06
Berat tanah	Wt (gram)	25,02	25,1
Temperatur °C		27°	
Faktor Koreksi Suhu (A)		0,9989	
Berat piknometer + air + tanah pada suhu 27° C	W3 (gram)	168,05	168,77

Berat piknometer + air pada suhu 27° C	W4 (gram)	154,15	154,72
W5 = Wt + W4	(gram)	179,17	179,82
Isi Tanah	(cm ³)	11,12	11,05
Berat jenis T1 (Gs T1)		2,25	2,27
Berat jenis (Gs) = Gs T1 x A		2,25	2,27
Rata – rata		2,26	

Sumber : Pengujian di Laboratorium teknik sipil Universitas Bojonegoro, 2022 Perhitungan :

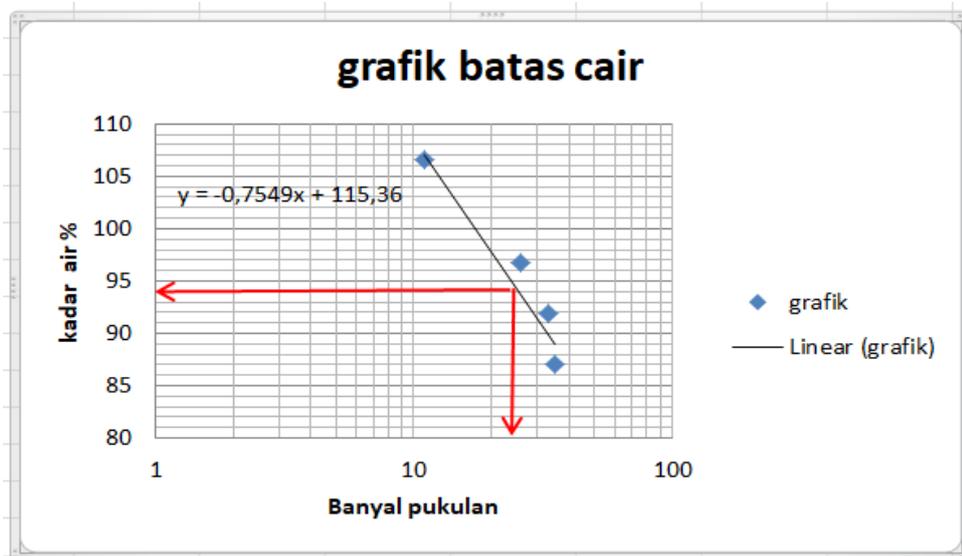
Hasil Pengujian Atterberg Limit (SNI 1966:2008)

Pengujian atterberg limit berguna untuk menentukan batas-batas konsistensi tanah. Terdapat dua pengujian yang harus dilakukan dalam pengujian atterberg limit yaitu pengujian batas cair (LL) dan batas plastis (PL). Kadar air tanah pada batas cair dan plastis yang disebut batas cair (LL). Sedangkan batas plastis (PL) didefinisikan sebagai kadar air pada keadaan antara plastis dan semi padat, yaitu presentasi air yang diserap dengan tanah diameter silinder 3,2 mm mulai mengalami keretakan ketika digulung (Hardiyatmo, 2006) sehingga di dapat indeks platisitas yang merupakan selisih antara batas cair dan batas plastis dari suatu sampel tanah. Hubungan antara keduanya dapat dilihat dari tabel berikut :

Tabel 2 Hasil Perhitungan Atterberg Limit

CATATAN	LL%	PL%	PI%
contoh dalam keadaan: tanah lolos saringan No. 40 dan bebas udara	94	39,24	54,76

Sumber : Pengujian di Laboratorium teknik sipil Universitas Bojonegoro, 2022



Gambar 1 Grafik pengujian Atterberg

Sumber : pengujian di laboratorium teknik sipil Universitas Bojonegoro, 2022 Hasil pengujian batas cair (LL) dilihat dari grafik jumlah pukulan ke-25 didapat kan kadar air 94 dengan batas plastis (PL) 39,24. Indeks platisitas(IP) 24,59.

Pengujian Hidrometer (AASHTO - T - 193 - 81 / SNI 3423 : 2008)

Maksud dari pengujian hidrometer ini adalah untuk menentukan pembagian ukuran butir

(gradasi) dari tanah yang lewat saringan no.10 (2,00 mm) berdasarkan proses sedimentasi tanah.

Pengujian hidrometer

Di dalam analisis hidrometer, contoh tanah yang akan diuji dilarutkan di dalam air, dan dalam keadaan jatuh bebas butir-butir tanah turun mengendap ke dasar tabung tempat larutan tanah air itu ditempatkan. Dalam hal ini dibutuhkan contoh tanah antara lain 100 gram atau 50 gram yang lolos saringan No.10 (2,00 mm). Kecepatan mengendap dari butir-butir tanah akan berbeda-beda, tergantung dari ukuran butir tanah tersebut. Ukuran butir yang lebih besar dan lebih berat akan mengalami sedimentasi (mengendap) terlebih dahulu dengan kecepatan mengendap lebih besardari butiran yang lebih kecil dan lebih ringan. Agar gumpalan tanah cepat terurai maka digunakan bahan dispersi. Penggunaan yang berkaitan dengan bahan kimia sesuai dengan AASHTO R 16.

Analisis saringan

Analisis saringan fraksi yang tertahan saringan No.10 (2,00 mm) Sejumlah contoh tanah 500 gram yang tertahan saringan No.10 (2,00 mm) akan ditentukan jumlah dan distribusi butirnya, dipisahkan dalam rangkaian susunan ukuran saringan 75 mm; 50 mm; 25 mm; 9,5 mm dan 4,75 mm (3 inci, 2 inci, 1 inci, 3/8 inci dan No.4). Saringan dengan ukuran lubang besar diletakkan di atas saringan yang mempunyai ukuran lubang lebih kecil. Penggunaan saringan lainnya mungkin saja diperlukan, tergantung contoh dan spesifikasi bahan yang di uji. Saringan No.10 (2,00 mm) harus digunakan, bila contoh dipersiapkan sesuai dengan AASHTO T146. Analisis saringan fraksi yang lolos saringan No.10 (2,00 mm) Contoh tanah yang lolos saringan No.10 (2,00 mm) sebanyak 100 gram atau 50 gram dilakukan analisis hidrometer terlebih dahulu. Setelah langkah terakhir pengujian hidrometer selesai maka tanah kering yang tertahan pada saringan No.200 (0,075 mm) tersebut ditentukan jumlah dan distribusi butirnya dengan menggunakan serial saringan No.40 (0,425 mm)sampai dengan saringan No.200 (0,075 mm).

Tabel 3 pengujian Analisis saringan

No. Saringan	Lubang Saringan	Berat Tertahan	Jumlah Berat Tertahan	Persen Tertahan	Persen Lolos
	(mm)	(gr)	(gr)	(%)	(%)
4	4,750	0,00	0,000	0,000	100,00%
10	2,000	40,30	40,300	7,463	92,54%
20	0,850	84,50	124,800	23,111	76,89%
40	0,425	90,30	215,100	39,833	60,17%
60	0,250	106,30	321,400	59,519	40,48%
140	0,106	108,70	430,100	79,648	20,35%
200	0,075	59,30	489,400	90,630	9,37%
PAN	-	50,00	539,400	99,889	0,11%
Berat total w1			539,400		

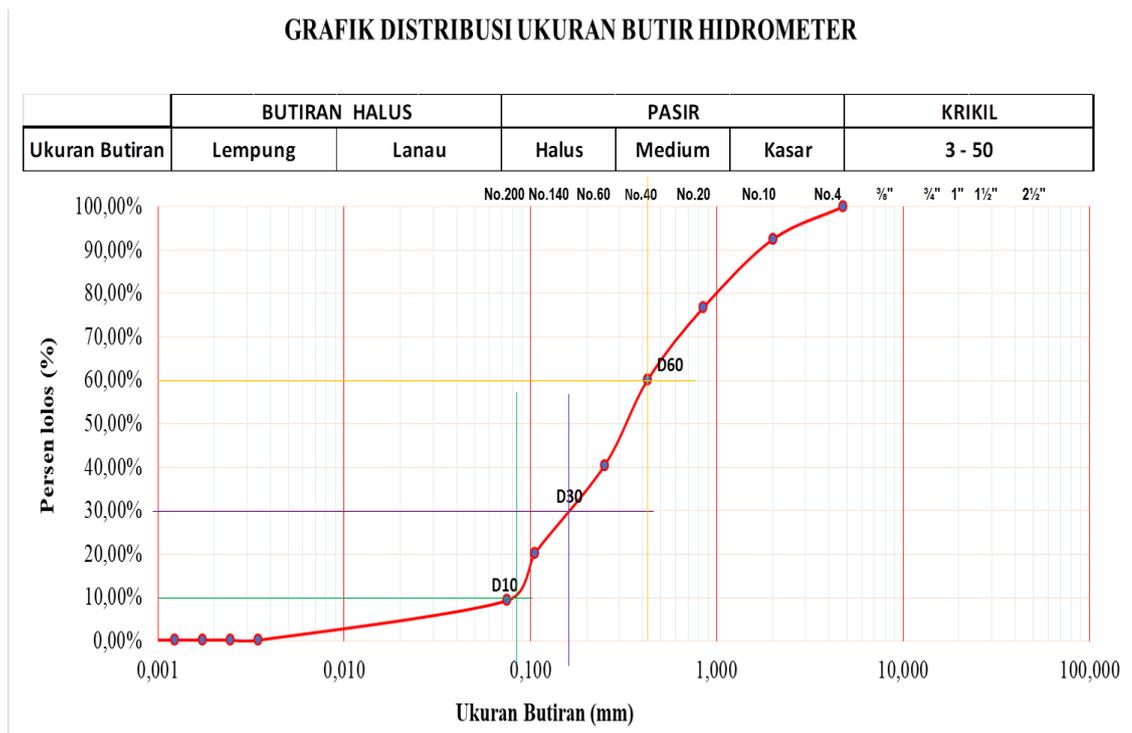
Sumber: pengujian di laboratorium teknik sipil Universitas Bojonegoro, 2022Perhitungan :

Tabel 4 Pengujian Analisis Hidrometer

Waktu Percobaan (t)	Pembacaan Hidrom	Faktor Koreksi	Koreksi Pembacaan Rca =	Pembacaan Hidrom	L	K Dari	$\frac{L}{D} = K$	% Butiran Halus - a.Rca/Ws	Persen Lolos Kombin
---------------------	------------------	----------------	-------------------------	------------------	---	--------	-------------------	----------------------------	---------------------

	meter (R)	Temperatur (Fc)	R+Ft-Fz	meter Aktual Rc1=R+Fm	(mm)	Tabel (K)	t (mm)	x100 (%)	asi (N')
(menit)									
0	0								
0,25	28	2,50	23,50	29,00	11,50	0,0511864	0,0035	2,715%	0,254%
0,5	28		23,50	29,00	11,50		0,0025	2,715%	0,254%
1	28		23,50	29,00	11,50		0,0017	2,715%	0,254%
2	28		23,50	29,00	11,50		0,0012	2,715%	0,254%
4	28		23,50	29,00	11,50		0,0009	2,715%	0,254%
8	28		23,50	29,00	11,50		0,0006	2,715%	0,254%
15	28		23,50	29,00	11,50		0,0004	2,715%	0,254%
30	28		23,50	29,00	11,50		0,0003	2,715%	0,254%
60	28		23,50	29,00	11,50		0,0002	2,715%	0,254%
120	27		22,50	28,00	11,70		0,0002	2,600%	0,244%
240	27		22,50	28,00	11,70		0,0001	2,600%	0,244%
480	26		21,50	27,00	11,90		0,0001	2,484%	0,233%
1440	25		20,50	26,00	12,00		0,0000	2,368%	0,222%
2880	25		20,50	26,00	12,00		0,0000	2,368%	0,222%

Sumber: pengujian di laboratorium teknik sipil universitas bojonegoro, 2022



Gambar 4.2 grafik analisis hidrometer

Sumber : pengujian dilaboratorium teknik sipil Universitas Bojonegoro, 2022

Pengujian Triaxial Test (SNI 03-4813-1998 4)

Pengujian triaxial adalah pengujian benda uji tanah kohesif berbentuk silinder yang di bungkus karek kedap air yang diberi tekanan aksial sampai terjadi longoran. Salah satu cara menentukan parameter kekuatan gesertanah (kohesi c, dan sudut sudut geser ϕ) adalah uji

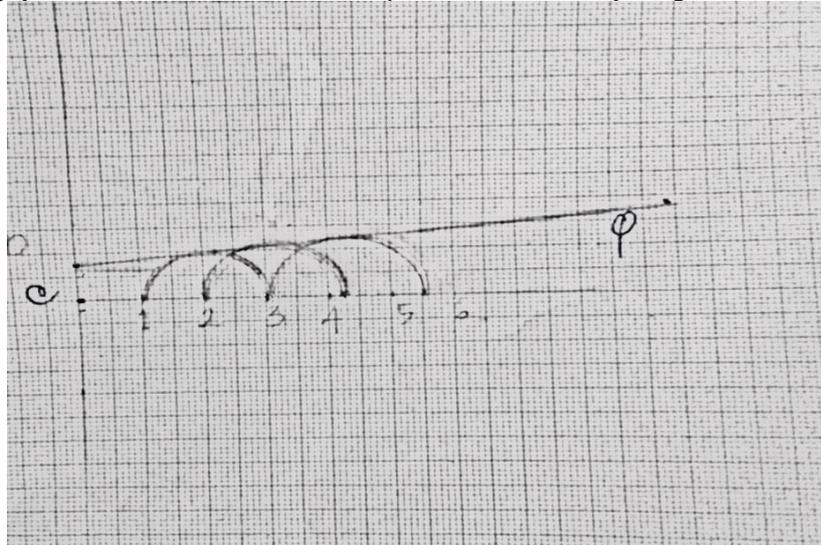
triaxial. Pada pengujian triaxial, contoh tanah dibebani pada ketiga sumbunya (sumbu cartesius) dengan beban tekanan σ_1 , σ_2 , dan σ_3 . Pengujian ini bertujuan untuk mensimulasikan kondisi yang sebenarnya dilapangan, yaitu bahwa suatu elemen tanah menerima beban tekan dari atas (vertikal) yang terdiri dari beban tanah di atasnya atau overburden pressuredan beban lainnya (σ_1), serta tekanan tanah dari arah radial yang mengekang (atau menghampiri) elemen tanah tersebut (σ_2 dan σ_3). Berikut adalah hasil dari perhitungan yang di dapat berdasarkan pengujian laboratorium.

Tabel 12 Pengujian triaxsial pada pengujian trakhir 3

time (minut e)	deformati on dial ΔL (mm)	strain	correted area (cm ²)	dial load proving ring	deviator load	deviator stress	cell pessure	pore pressure u (Kg/cm ²)	σ
	0	0	9,6211275 02	0	0	0	0		0
	0,5	0,007142 86	9,6903442 46	4	9,92	1,0236994 42	1		2,02369 9
	1	0,014285 71	9,7605641 32	4	9,92	1,0163346 98	1		2,01633 5
	1,5	0,021428 57	9,8318091 26	4	9,92	1,0089699 54	1		2,00897 0
	2	0,028571 43	9,904101 84	4	9,92	1,001605 21	1		2,00160 5
	2,5	0,035714 29	9,9774655 57	6	14,88	1,4913606 98	1		2,49136 1
	3	0,042857 14	10,051924 26	6	14,88	1,4803135 82	1		2,48031 4
	3,5	0,05	10,127502 63	6	14,88	1,4692664 66	1		2,46926 6
	4	0,057142 86	10,204226 14	6	14,88	1,4582193 49	1		2,45821 9
	4,5	0,064285 71	10,282120 99	5	12,4	1,2059768 61	1		2,20597 7
	5	0,071428 57	10,361214 23	5	12,4	1,1967709 31	1		2,19677 1
	5,5	0,078571 43	10,441533 72	5	12,4	1,187565	1		2,18756 5
	6	0,085714 29	10,52310 82	5	12,4	1,178359 07	1		2,17835 9
	6,5	0,092857 14	10,605967 32	4	9,92	0,9353225 12	1		1,93532 3
	7	0,1	10,690141 67	4	9,92	0,9279577 68	1		1,92795 8
	7,5	0,107142 86	10,77566 28	4	9,92	0,9205930 24	1		1,92059 3
	8	0,114285 71	10,862563 31	4	9,92	0,9132282 79	1		1,91322 8
	8,5	0,121428 57	10,950876 83	3	7,44	0,6793976 51	1		1,67939 8
	9	0,128571 43	11,040638 12	3	7,44	0,6738740 93	1		1,67387 4

	9,5	0,135714 29	11,131883 06	3	7,44	0,6683505 35	1		1,66835 1
	10	0,142857 14	11,224648 75	3	7,44	0,6628269 77	1		1,66282 7
	10,5	0,15	11,318973 53	3	7,44	0,6573034 19	1		1,65730 3

Sumber : Pengujian di laboratorium teknik sipil Universitas Bojonegoro, 2022



Gambar 2 untuk menentukan sudut geser dan kohesi

Sumber: pengujian dilaboratorium teknik sipil Universitas Bojonegoro, 2022 Untuk menentukan sudut geser langkah pertama yang harus dilakukan adalah dengan menghitung nilai σ (tegangan), dimana tegangan tersebut didapat dari hasil deviator stress dikurangi dengan hasil cell pressure, sehingga nilai yang diperoleh dari nilai tegangan sebesar 8. sedangkan untuk menentukan nilai kohesinya yaitu dengan menghitung jarak antara tegangan dengan sudut kemiringannya sehingga didapatkan nilai sebesar 0,8 kg/cm³

Tabel 13 perhitungan untuk mencari nilai sudut geser dan kohesi

Uraian	uji 1	uji 2	uji 3
piece No	1	2	3
H (cm)	7	7	7
D (cm)	3,5	3,5	3,5
A (cm ³)	38,485	38,485	38,485
V (cm ³)	134,628	134,628	134,628

weight of wet soil, gr	104,04	103,31	101,92
weight of dry soil, gr	36,85	32,65	32,97
weight of water, gr	67,19	70,66	68,95
water content (%)	78,03	89,21	76,97
average water content (%)	81,403		
Porosity, n(%)			
degree of saturation, sr (%)			
y wet gram/cm ³			
yd gram/cm ³			

σ_3

1

2

3

$\sigma_1 - \sigma_3 = P/A$	1,031	0,183	0,208
$\sigma_1 = DEV + \sigma_3$	1,031	4,243	5,491
$\sigma_{avg} = (\sigma_1 + \sigma_3)/2$	2,994	3,121	4,246
$R = (\sigma_1 - \sigma_3)/2$	1,994	1,121	1,246
Angle of shearing resistance	ϕ	8	
apperen cohesion (kg/cm ³)	C	0,8	kg/cm ³

Sumber : pengujian dilaboratorium teknik sipil Universitas Bojonegoro, 2022 Perhitungan :

Pengujian permeabilitas (uji kelulusan air dengan tekanan tetap)

Permeabilitas adalah kualitas tanah untuk meloloskan air atau udara yang diukur berdasarkan besarnya aliran melalui satuan tanah yang telah dijenuhi terlebih dahulu per satuan waktu tertentu. Pengujian ini bertujuan untuk memperoleh parameter koefisien kelulusan air dan gradien hidraulik, yang akan digunakan untuk keperluan analisis rembesan suatu bangunan timbuan atau untuk mengetahui karakteristik atau koefisien kelulusan air dengan tekanan tetap.

Tabel 13 perhitungan uji kelulusan air dengan tekanan tetap

UJI KELULUSAN AIR DENGAN TEKANAN TETAP					
			sifat fisik tanah		
kedalaman (m)			jenis tanah		lempung (fat clay)
ukuran benda uji			warna		
diameter ϕ (m)	7,9	kadar air		76,645	
panjang L	13	berat volume γ_n (gr/ (cm ³)		1,332	
luas A	48,99	spesifik grav. Gs (-)		2,26	
volume (cm ³)	:48,9919				
			tinggi tekanan air		
			h1 (cm)		72
			h2 (cm)		10
			gradien hidraulika $i = (h_1 - h_2)/L$		4,8
waktu dari pemulaan uji t (menit)	selang waktu Δt (menit)	volume air terukur V(ml)	debit air rata-rata $q = Q/t$ (cm ³ /menit)	i/\sqrt{t}	keterangan
60	60	10	0,1667	0,2819	
120	60	9	0,1500	0,1994	
180	60	8	0,1333	0,1628	
240	60	8	0,1333	0,1410	kondisi aliran tetap
300	60	8	0,1333	0,1261	$q = 0,1333$ cm ³ /s
360	60	7	0,1167	0,1151	
420	60	7	0,1167	0,1066	
480	60	6	0,1000	0,0997	
540	60	6	0,1000	0,0940	

Sumber : pengujian dilaboratorium teknik sipil Universitas Bojonegoro, 2022 Contoh Perhitungan :

Pengujian batas susut (shrinkage limit)

Istilah batas susut, dinyatakan dalam sebagai kadar air dalam persen, yang khusus diasumsikan unuk menyatakan sejumlah air yang diperlukan untuk mengisi rongga-rongga suatu tanah kohesif pada angka pori minimum yang berbentuk lewat pengeringan (biasanya oven), karena itu konsep batas susut dapat digunakan untuk mengevaluasi potensi susut atau kemungkingna pengembangan **SNI 3422-2008** atau juga, retakan-retakan dalam pengerjaan-pengerjaan tanah pada tanah-tanah kohesif.

Tabel 14 pengujian batas susut (shrinkage limit)

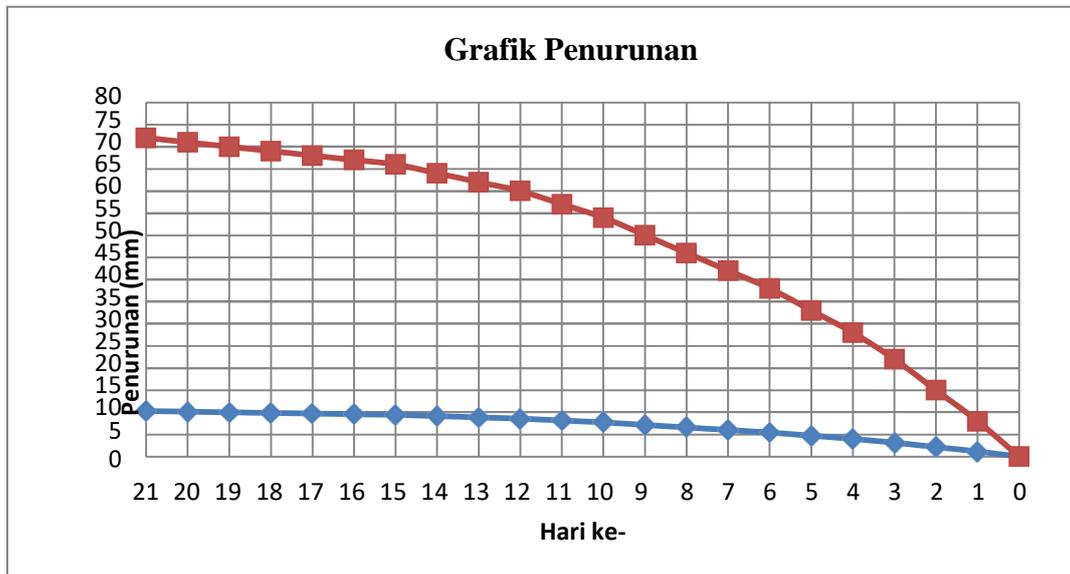
Nomor Percobaan	1	2	3
-----------------	---	---	---

berat cawan	(g)	65,06	69,18	73,07
berat cawan + contoh tanah basah	(g)	79,36	90,59	95,26
berat cawan + contoh tanah kering	(g)	67,59	79,84	80,89
Berat Air (Ww)	(g)	11,77	10,75	14,37
berat contoh tanah basah (W)	(g)	14,3	21,41	22,19
berat contoh tanah kering (Wo)	(g)	2,53	10,66	7,82
Volume contoh tanah basah (V)	(cm ³)	16,60	15,83	19,44
Volume contoh tanah kering (Vo)	(cm ³)	5,67	5,57	5,42
kadar air awal atau semula	(%)	465,22	100,84	183,76
berat jenis	(-)	0,01	0,05	0,03
rasio susut (R)	(%)	0,45	1,91	1,44
batas susut (S)	(%)	33,12	4,58	4,56
		221,14	30,40	47,42
Perubahan Voume (VC)	(%)	192,77	184,34	258,38
Susut Linier (LS)	(%)	30,10	29,41	34,65
Rata-rata			31,4	

Sumber : pengujian dilaboratorium teknik sipil Universitas Bojonegoro perhitungannya

**Analisis Hasil Pengujian Penurunan
Pengujian penurunan kolom pasir**

hasil penurunan muka tanah dari variasi pemodelan dengan perkuatandrainase vertikal dapat di lihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 4 grafik penurunan kolom pasir

Sumber : pengujian dilaboratorium teknik sipil Universitas Bojonegoro, 2022

Gambar 4 Menunjukkan data penurunan tanah akumulatif setiap hari dalam pengujian. Pengujian pada drainase vertikal pada hari ke -1 hingga ke-8 memperlihatkan penurunan yang cukup besar dengan rata-rata percepatanpenurunan sebesar 6,571 mm. Penurunan pada hari ke-8 hingga ke-14memiliki percepatan penurunan per hari lebih besar dari sebelumnya dengan rata-rata sebesar 9,142 mm. Penggunaa drainase vertikal pada

penurunan harike-14 hingga ke-21 memiliki besar percepatan penurunan akhir sebesar 10,142 mm. penambahan pasir pada uji kolom pasir berpengaruh padabesarnya total penurunan dengan selisih 1,238 mm, selama 21 hari. Sehingga tanah lunak termampatkan

Pengujian kadar air pasir dalam drum uji *drainase vertikal*

Hasil pengujian kadar air pada kolom pasir yang di peroleh selama peng ujian memperlihatkan kan kadar air pengujian sesudah pengujian.

Tabel 16 Kadar air pasir sesudah pengujian

nomor cawan	satuan	64	7	27	68	2	24	14
berat cawan	(gram)	14,61	14,26	14,42	14,07	14,38	14,37	14,17
Berat cawan + Pasir basah	(gram)	36,36	38,06	39,17	36,25	37,07	36,16	36,75
Berat cawan + pasir kering	(gram)	35,38	36,98	38,19	35,19	36,15	35,03	35,54
Berat pasir basah (B1)	(gram)	21,75	23,8	24,75	22,18	22,69	21,79	22,58
Berat pasir kering (B2)	(gram)	20,77	22,72	23,77	21,12	21,77	20,66	21,37
$B1-B2$	(gram)	4,72	4,75	4,12	5,02	4,23	5,47	5,66
Kadar air = $\frac{\quad}{B2} \times 100$								
RATA-RATA				4,85				

Sumber : pengujian dilaboratorium teknik sipil Universitas Bojonegoro Contoh Perhitungan :

Kadar air sebelum pengujian menunjukkan angka sebesar 2,87 %, sedangkan hasil kadar air sesudah pengujian menunjukkan angka sebesar 4,85 % dimana rata-rata kadar air sesudah pengujian dan sebelum pengujian di peroleh nilai sebesar 3,86 %.

Pengujian kadar air tanah dalam drum uji *drainase vertikal*

Dari hasil menunjukkan nilai kadar air tanah mengalami penurunan selama pengujian drainase vertikal.

Tabel 17 kadar air tanah sesudah pengujian

Nomor cawan			60	20	24
Berat cawan	(W3)	(gr)	14,79	14,26	14,47
Berat cawan + contoh basah	(W1)	(gr)	35,9	34,81	35,53
Berat cawan + contoh kering	(W2)	(gr)	26,94	25,46	26,51
massa air	(W1-W2)	(gr)	8,96	9,35	9,02
Berat contoh kering	(W2-W3)	(gr)	12,15	11,2	12,04
Kadar Air	(w)	(%)	73,74	83,48	74,92
Kadar air rata-rata		(%)	77,38		

Sumber : pengujian dilaboratorium teknik sipil Universitas Bojonegoro

Kadar air tanah pada kolom pasir dengan kedalam 20 cm memiliki kadar air yang menurun dari hasil awal 81,31% dan mengalami penurunan sebesar 77,38%.

Jumlah Sampel kadar air tanah yang digunakan dalam uji pemodelan drainase vertikal berjumlah 21 sampel dengan jumlah kolom sebanyak 7 kolom, dan di ambil masing-masing 3 sampel tanah yang terdiri dari sampel tanah atas,tengah,bawah untuk setiap kolomnya.

Analisis Perbandingan kadar air pasir dan kadar air tanah

Dari hasil pengujian pengamatan pada pemodelan drainase vertikal didapatkan penurunan kadar air pasir yang dilakukan sebelum uji pemodelan drainase vertikal diperoleh hasil sebesar 2,87% sedangkan pada hasil setelah dilakukannya uji pemodelan drainase vertikal diperoleh hasil sebesar 4,85 %. Penurunan kadar air pasir pada sesudah pengujian mengalami peningkatan, Hal ini dikarenakan kadar air pasir mengalami penyerapan air selama 21 hari lamanya pengujian. Pada penurunan kadar air untuk hasil sebelum uji pemodelan drainase vertikal diperoleh hasil sebesar 81,31 % sedangkan hasil setelah uji pemodelan drainase vertikal diperoleh hasil sebesar 77,38%.

Analisis Hasil Penelitian

Tanah lempung (clay) dengan kolom pasir setelah pemberian beban seberat 25 kg terjadi pemampatan dengan penurunan 72 ml selama 21 hari. Dari kadar air optimum atau OMC (optimum moisture content) yang didapatkan dari uji pemadatan tanah (proctor standart) diperoleh dengan penambahan air sebanyak 100 ml (5%) di peroleh hasil sebanyak 35,98 %. Sedangkan Pada saat dilakukannya pemadatan tanah dalam uji pemodelan drainase vertikal sebelum pengujian di peroleh nilai sebesar 81,31% sehingga pada penurunan kadar air tanah setelah pengujian diperoleh hasil sebesar 77,38 %, selisih antara penurunan

kadar air sebelum dan sesudah uji Drainase Vertikal diperoleh hasil sebesar 3,93%. Sehingga jika di bandingkan dengan kadar air dari OMC (optimum moisture content) yang didapatkan dari uji pemadatan tanah (proctor standart) dengan kadar air uji pemodelan drainase vertikal pada rata rata penurunan kadar air sebelum dan sesudah pengujian dapat di simpulkan bahwa tanah lunak mengalami pemampatan yang cukup besar setelah pengujian di laboratorium dalam uji pemodelan *drainase vertikal*. Sedangkan pada kadar air pasir mengalami peningkatan akibat perpindahan kadar air tanah ke pasir. kenaikan kadar air pasir diperoleh hasil sebesar 2,00 % dari uji pemodelan *drainase vertikal* tersebut.

SIMPULAN

Hasil dari penelitian yang telah dilakukan ,maka kesimpulan akhir hasil penelitian ini adalah sebagai berikut: Pengujian pada drainase vertikal pada hari ke -1 hingga ke-8 memperlihatkan penurunan yang cukup besar dengan rata-rata percepatan penurunan sebesar 6,571 mm. Penurunan pada hari ke-8 hingga ke-14 memiliki percepatan penurunan lebih besar dari sebelumnya dengan rata-rata sebesar 9,142 mm. Penggunaa drainase vertikal pada penurunan hari ke-14 hingga ke-21 memiliki besar percepatan penurunan akhir sebesar 10,142 mm. penambahan pasir pada uji Drainase Vertikal berpengaruh pada besarnya total penurunan dengan selisih 1,238 mm, selama 21 hari. sehingga tanah lunak termampatkan.

Tanah lempung (clay) dengan kolom pasir setelah pemberian beban seberat 25 kg terjadi pemampatan dengan penurunan 72 ml selama 21 hari. Dari kadar air optimum atau OMC (optimum moisture content) yang didapatkan dari uji pemadatan tanah (proctor standart) diperoleh dengan penambahan air sebanyak 100 ml (5%) sehingga di dapatkan hasil sebanyak 35,98 %. Pada saat dilakukannya pemadatan tanah dalam uji pemodelan Drainase Vertikal sebelum pengujian di peroleh nilai sebesar 81,31% sehingga pada penurunan kadar air tanah setelah pengujian diperoleh hasil sebesar 77,38 %, selisih antara penurunan kadar air sebelum dan sesudah didapatkan hasil sebesar 3,93%. Sehingga perbandingan kadar air dari OMC (*optimum moisture content*) yang didapatkan dari uji pemadatan tanah (proctor standart) dengan kadar air uji pemodelan *Drainase Vertikal* pada rata rata penurunan kadar air sebelum dan sesudah pengujian dapat di simpulkan bahwa tanah lunak mengalami pemampatan yang cukup besar setelah pengujian di laboratorium dengan menggunakan kolom pasir. Sedangkan pada kadar air pasir mengalami peningkatan akibat perpindahan kadar air tanah ke pasir. Kenaikan kadar air pasir diperoleh sebesar 2,00 % dari uji pemodelan *drainase vertikal* tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standartd Nasional (1998), 03-4813-1998 4 Cara Uji Penentuan Pengujian Triaxial
Badan Standartd Nasional (2008), SNI 1742:2008 Cara Uji Penentuan Pengujian Proctor

Standart.

- Badan Standartd Nasional (2008), SNI 1964:2008 Cara Uji Penentuan Pengujian Berat Jenis tanah.
- Badan Standartd Nasional (2008), SNI 1965:2008 Cara Uji Penentuan Pengujian Kadar Air
- Badan Standartd Nasional (2008), SNI 1966:2008 Cara Uji Penentuan Pengujian Atterberg Limit
- Badan Standartd Nasional (2008), SNI 3422:2008 Cara penentuan Pengujian Batas Susut (shrinkage limit).
- Badan Standartd Nasional (2008), SNI 3423:2008 Cara Uji Penentuan Pengujian Hidrometer.
- Das Braja M. 1995. Mekanika Tanah 1. Erlangga. Jakarta
- Das Braja M. 1998. Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis).
- Diterjemahkan Oleh Noor Endah dan Indrasurya B.Mochtar, Jakarta: Erlangga. Dimas, 2015. Pengaruh Variasi Diameter Kolom Campuran Pasir Kapur Terhadap Konsolidasi Tanah Lempung Lunak, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Gunawan, S., 2014. Percepatan Penurunan Sampah Plastik Sebagai Drainase Vertikal, Progam Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. 1992. Mekanika Tanah 1, Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama.
- Listyawan, A.B., Wiqoyah, Q., Renaningsih, dan Satriyana, 2015, Pengaruh Kolom Pasir Terhadap Konsolidasi Tanah Lempung Lunak, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Prastyo, B., Setiawan, B. dan Indrabaskara, R. H. D.H. 2018. Pengaruh Kedalaman Drainase Vertikal Satu Arah Menggunakan Kolom Pasir Terhadap Kecepatan Penurunan Dan Perubahan Kadar Air Tanah Lunak. Matriks Teknik Sipil. 6 (1): 79-84.
- Satryana, M. R. W., 2014, Tinjauan Jarak Pengambilan Sampel Pada Tanah Lempung Lunak Dari Ds. Jono Kec. Tanon Kab. Sragen Yang Di Stabilisasi Dengan Kolom Pasir, Progam Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Terzaghi, K dan R.B Peck, 1987, Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa Jiid 1, Penerbit Erlangga, Jakarta
- Sugiyono. 2006. Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D. Bandung: Alfabeta.
- Hardiyatmo, H. C. 2012, Mekanika Tanah 2 Edisi V. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta, Indonesia.
- Bowles, joseph e. 1991. Sifat-Sifat Fisis Dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah). Erlangga: Jakarta
- Sutarman, E. 2013. Konsep & Aplikasi Mekanika Tanah, Amdi, Yogyakarta.