

HUBUNGAN EMPIRIS PARAMETER KOEFISIEN KONSOLIDASI c_v , DAN KONSOLIDASI c_h (STUDI KASUS: TANAH PESISIR PROVINSI RIAU)

Sayful Rahman¹⁾, Ferry Fatnanta²⁾, M. Yusa²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode 28293

Email : sayful.rahman5799@student.unri.ac.id

ABSTRACT

The rapid development of infrastructure in Riau Province has an impact on increasing land needs, especially in coastal areas which are dominated by soft soils. Soft soil will experience a large settlement if it is given a construction load for a long time. This is caused by the discharge of pore water in the soil causing damage to the construction structure. The preloading method on soft soil with vertical drain system is one of the most popular methods used to increase the shear strength of soft soil and control the settlement that occurs after construction. The permeability rate of soft soil is very low so that the time for consolidation to achieve the optimum shear strength will take more time. Generally, consolidation occurs only in the vertical direction, whereas in this study horizontal consolidation is obtained by modifying the consolidation test, namely by using a membrane to limit the movement of pore water when compressed by loading so that the water moves radially towards the vertical hole that filled with sand. This study aims to analyze the relationship between the vertical consolidation coefficient and the horizontal consolidation coefficient on the physical properties of the soil through laboratory tests. Soil samples used in this study were taken in undisturbed conditions. The results of this study obtained differences in the decline that occurred in various types of soil from the coastal areas of Riau Province. The largest land subsidence for vertical consolidation and horizontal consolidation is on the Pakning River. Based on the results of testing that has been done, the correlation coefficient c_v and coefficient c_h , is obtained by means of linear regression. Correlation of coefficient c_v and coefficient c_h obtained empirical correlation value in an equation $c_h = 11.088c_v + 0.0005$.

Keywords : Soft Soil, Vertical Drain, Vertical Consolidation, Horizontal Consolidation, Square Root of Time Method.

A. PENDAHULUAN

Pesatnya pembangunan infrastruktur yang terjadi di Indonesia berdampak pada peningkatan kebutuhan lahan. Provinsi Riau adalah salah satu daerah yang didominasi oleh tanah lunak khususnya di daerah pesisir. Ketebalan tanah lunak pada wilayah tersebut dapat mencapai 30 m (Tim

Pusat Litbang Prasarana Transportasi,1999). Tanah pada wilayah ini dipengaruhi oleh endapan yang berasal dari laut, selat, dan rawa pasang surut yang dekat dengan sungai. Pembangunan konstruksi dapat dilakukan setelah tanah diperbaiki. Metode pembebanan awal (*preloading*) pada tanah lunak dengan drainase

vertikal (*vertical drain*) merupakan salah satu metode yang paling populer digunakan untuk meningkatkan kekuatan geser tanah lunak dan mengontrol penurunan yang terjadi pasca konstruksi (*post-construction settlement*).

Pada perbaikan tanah dengan metode pembebanan awal, masalah yang timbul adalah lamanya proses waktu penurunan. Hal ini sering terjadi pada lapisan tanah yang cukup dalam dan mempunyai permeabilitas yang rendah. Untuk mempercepat konsolidasi dan menghemat waktu penurunan timbunan pada tanah lunak, cara yang digunakan adalah membuat saluran vertikal yang mempunyai permeabilitas tinggi, yaitu drainase vertikal. Drainase vertikal hanya mempercepat konsolidasi primer saja, karena pengaliran air yang signifikan hanya terjadi pada saat konsolidasi primer. Konsolidasi sekunder hanya mengalirkan jumlah air yang sangat sedikit dari tanah dan seperti penurunan sekunder tidak dipercepat oleh drainase vertikal. Drainase vertikal efektif terutama terhadap deposit lempung yang mengandung banyak lapisan horizontal pasir atau lanau tipis yang sedikit (lapisan mikro).

Pada umumnya pengujian konsolidasi akan berlangsung dalam satu arah saja, yaitu arah vertikal, hal ini dikarenakan lapisan yang terkena tambahan beban tidak dapat bergerak dalam jurusan horizontal akibat ditahan oleh tanah di sekelilingnya, sehingga pengaliran air akan berjalan dalam jurusan vertikal saja. Ini disebut konsolidasi satu jurusan (*one dimensional consolidation*) dan perhitungan konsolidasi hampir selalu berdasarkan teori *one dimensional*

consolidation. Pada waktu konsolidasi berlangsung, konstruksi di atas lapisan tersebut akan mengalami penurunan (*settlement*). Dalam bidang teknik sipil hal yang diperhatikan terhadap penurunan konsolidasi, yaitu besarnya penurunan dan kecepatan penurunan yang terjadi (Terzaghi, 1925).

Teori konsolidasi akibat aliran air pori dalam arah horizontal menuju *vertical drain* didasarkan terhadap asumsi bahwa, setiap *vertical drain* mempunyai daerah pengaruh yang berbentuk silinder. Lama waktu konsolidasi dalam perencanaan *vertical drain* sangat tergantung pada parameter tanah, terutama sekali nilai c_h . Pada umumnya nilai c_h diambil berdasarkan pada nilai c_v . Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbedaan penurunan terhadap konsolidasi horizontal dan konsolidasi vertikal pada tanah di daerah pesisir Provinsi Riau, dan mencari hubungan atau korelasi empiris antara koefisien c_v dengan koefisien c_h . Korelasi c_v dan koefisien c_h diperoleh dengan cara regresi linier.

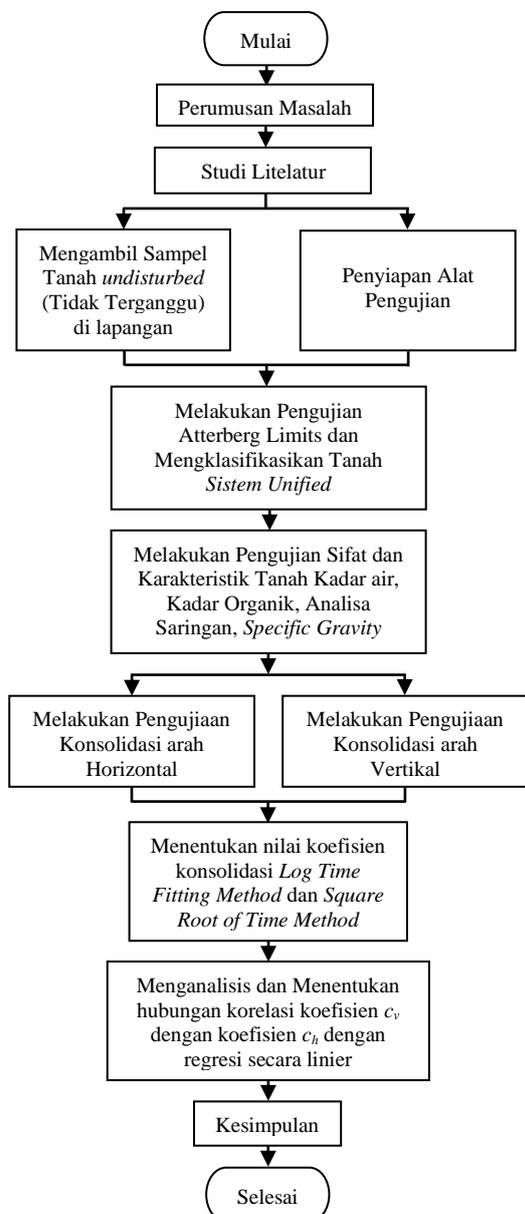
B. METODOLOGI

Metode penelitian yaitu terdiri dari studi literatur dan melakukan eksperimen yaitu melakukan pengujian sesuai standar dalam memperoleh data yang diinginkan. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan Fakultas Teknik Universitas Riau.

B.1. Tahapan Penelitian

Sampel tanah penelitian di dapatkan dari titik lokasi pengambilan sampel yang telah ditentukan, sampel diambil dalam kondisi tidak terganggu (*undisturbed*) dengan menggunakan pipa PVC. Sampel yang telah didapatkan selanjutnya di bawa ke

laboratorium untuk menguji *properties* tanah, pengujian *properties* tanah mengacu pada persyaratan SNI. Setelah mendapatkan data *properties* tanah, selanjutnya melakukan pengujian konsolidasi dengan menggunakan alat *oedometer*, pengujian konsolidasi dilakukan dengan dua prosedur pelaksanaan berbeda, baik untuk pengujian konsolidasi vertikal dan konsolidasi horizontal mengacu pada persyaratan SNI.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Menentukan nilai koefisien konsolidasi dengan *Log Time Fitting Method* dan *Square Root Fitting Method*. Membandingkan hasil pengujian konsolidasi vertikal dan konsolidasi horizontal. Menentukan korelasi empiris antara koefisien c_v dengan koefisien c_h yang diperoleh dengan cara regresi linier. Bagan alir tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

B.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Perlengkapan alat pengujian kadar air.
2. Perlengkapan alat pengujian organik.
3. Perlengkapan alat pengujian analisis saringan, ayakan saringan #200.
4. Perlengkapan alat pengujian berat jenis.
5. Perlengkapan alat pengujian batas batas atterberg.
6. Satu set alat Oedometer, alat oedometer terdiri dari atas beberapa kelompok peralatan. Kelompok peralatan tersebut meliputi peralatan pembebanan aksial, peralatan ukur, peralatan pengontrol tekanan, sel konsolidasi dan peralatan lain
7. Timbangan, dan perlengkapan lainnya.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Tanah Lempung Plastisitas Tinggi (CH) yang berasal dari Kabupaten Rokan Hilir Bagan Siapi api, Kecamatan Batu Hampar, Riau.
2. Tanah Lempung Plastisitas Tinggi (CH) yang berasal dari Kota Dumai, Kecamatan Medang Kampai, Riau.
3. Tanah Lanau Plastisitas Tinggi (MH) yang berasal dari Kabupaten Bengkalis Sungai Pakning, Kecamatan Bukit Batu, Riau.

Sampel pasir yang digunakan untuk mengisi saluran *vertical drain* berasal dari Laboratorium Mekanika Tanah. Sampel pasir tersebut sudah dicuci bersih dan diuji saringan dengan ukuran butiran 0,425 mm atau tertahan di ayakan no. 40.

B.3. Metode Pengambilan Sampel

Sampel tanah lunak yang akan digunakan dalam penelitian ini diambil dari daerah pesisir Provinsi Riau. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini diambil dalam kondisi tidak terganggu (*undisturbed sample*), sampel diambil dari permukaan hingga kedalaman yang diperlukan dengan cara menekan pipa PVC ke dalam lokasi titik pengambilan sampel tanah, kemudian permukaan atas dan bawah sampel di lapisi dengan paraffin agar kadar air asli pada tanah tetap terjaga, hal yang perlu diperhatikan dalam pengambilan sampel adalah menghindari lokasi yang terdapat banyak akar bakau, kotoran, dan bahan lainnya.

B.4. Persiapan Benda Uji

Sampel tanah yang telah didapatkan untuk pengujian konsolidasi selanjutnya dikeluarkan dari dalam pipa PVC. Sebelum memindahkan sampel tanah kedalam ring konsolidasi, sampel tanah harus terlebih dahulu dimasukkan ke dalam ring yang terbuat dari besi yang memiliki dimensi dengan diameter 15 cm dan tinggi 2 cm. Hal ini guna mendapatkan tinggi sampel tanah dan berat sampel tanah yang telah direncanakan dalam penelitian. Penggunaan ring juga memudahkan proses pemindahan sampel tanah dari dalam pipa PVC sehingga kondisi tanah tetap dalam kondisi tidak terganggu, namun dalam proses memindahkan sampel tanah dari pipa PVC harus dilakukan secara hati-hati. Pastikan

permukaan sampel tanah tersebut tidak cembung maupun cekung tetapi permukaannya harus datar seperti yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Sampel konsolidasi vertikal cv

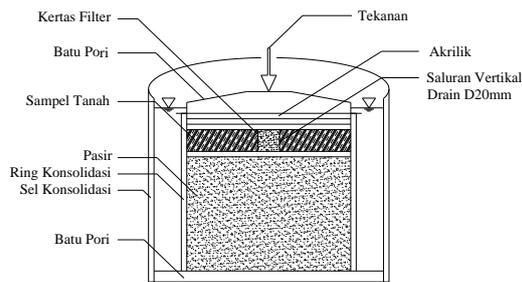
Pada pembuatan sampel konsolidasi arah horizontal, sampel terlebih dahulu ditimbang untuk mendapatkan berat tanah dengan ring, untuk membuat lubang *vertical drain* dilakukan di dalam ring konsolidasi hal ini dikarenakan sampel yang sangat jenuh air dan apabila sampel diberi lubang diluar maka sampel akan runtuh, pada Gambar 3 menunjukkan proses pembuatan lubang *vertical drain* di tengah sampel.



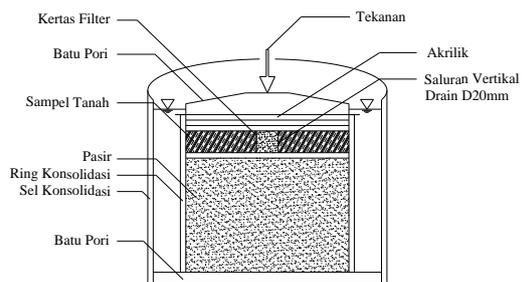
Gambar 3. Sampel konsolidasi horizontal ch

Dinding lubang *vertical drain* kemudian dilapisi dengan kertas filter yang bertujuan agar sampel tanah dan pasir *vertical drain* tidak tercampurkan. Pasir yang digunakan untuk *vertical drain* lolos saringan no.40 dan dicuci terlebih dahulu sebelum dimasukkan kedalam lubang *vertical drain*.

Selanjutnya timbang berat sampel dengan ring konsolidasi dan Siapkan mal konsolidasi sesuai dengan standar pengujian konsolidasi lalu isi mal konsolidasi dengan pasir sampai $\frac{3}{4}$ bagian dari tinggi mal konsolidasi. Masukkan sampel tanah kedalam mal konsolidasi seperti yang terlihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Potongan Sampel Konsolidasi vertikal



Gambar 5. Potongan Sampel Konsolidasi horizontal

B.5. Metode Square Root of Time

Koefisien konsolidasi ditentukan dari hubungan deformasi waktu yang diperoleh pada uji konsolidasi. Metoda *Square Root of Time* didasarkan pada waktu untuk mencapai derajat konsolidasi 90% konsolidasi primer

dimana harga c_v dihitung berdasarkan waktu untuk derajat konsolidasi 90%, sehingga didapatkan nilai T_v , untuk derajat konsolidasi 90% yaitu, $T_v = 0.848$, maka:

$$c_{v90} = \frac{T_v \times H^2}{t_{90}}$$

Jadi,

$$c_{v90} = \frac{0,848 \times H^2}{t_{90}}$$

Pada log-waktu, kurva akar waktu yang terjadi memanjang melampaui titik 100 % ke dalam daerah konsolidasi sekunder. Metode akar waktu membutuhkan pembacaan penurunan (kompresi) dalam periode waktu yang lebih pendek dibandingkan dengan metode log-waktu. Tetapi kedudukan garis lurus tidak selalu diperoleh dari penggambaran metode akar-waktu.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

C.1. Sifat Fisik Tanah

Data yang didapat kemudian direkapitulasi dalam 1 tabel agar dapat dianalisis sifat fisik pada setiap tanah dengan lebih sistematis. Hasil dari pengujian sifat fisik dan *properties* tanah dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian *Properties* Tanah

Tanah	Titik	Kadar Air %	Kadar Organik %
Bagan	1	82,57	6,57
	2	82,94	6,61
Dumai	1	121,27	14,46
	2	119,19	14,67
Sungai Pakning	1	132,73	12,27
	2	131,76	12,67

Tanah	Titik	Analisa Saringan #200		
		Kadar Air %	Kadar Organik %	
Bagan	1	0,43	2,59	1,64
	2	0,26	2,60	1,68
Dumai	1	1,39	2,44	2,53
	2	1,07	2,45	2,52
Sungai Pakning	1	0,33	2,38	2,62
	2	0,36	2,39	2,62

Hasil dari pengujian batas-batas Atteberg Limit dapat dilihat pada

rekapitulasi Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Hasil Atteberg Limit

Tanah	Titik	Atteberg Limit									
		LL			Rata-rata	PL		Rata-rata	PI		Rata-rata
		1	2	1		2	1		2		
Bagan	1	60,72	60,61	60,67	28,41	28,47	28,44	32,31	32,14	32,23	
Siapi Api	2	60,42	60,85	60,64	28,50	28,60	28,55	31,92	32,25	32,09	
Dumai	1	64,51	64,36	64,44	30,19	29,96	30,08	34,32	34,40	34,36	
	2	64,40	64,20	64,30	30,21	30,04	30,13	34,19	34,16	34,18	
Sungai	1	61,48	61,44	61,46	36,44	36,64	36,54	25,04	24,80	24,92	
Pakning	2	61,37	61,20	61,29	36,63	36,76	36,70	24,74	24,44	24,59	

Klasifikasi Tanah Berdasarkan hasil pengujian nilai Atteberg Limit, didapatkan nilai batas cair (*Liquid Limit*), batas plastis (*Plastic Limit*) dan indeks plastisitas (*Plasticity Index*). dari nilai yang telah didapatkan selanjutnya diplot kedalam grafik hubungan batas cair (*Liquid Limit*) dan indeks plastisitas (*Plasticity Index*).

C.2. Perilaku Konsolidasi Tanah

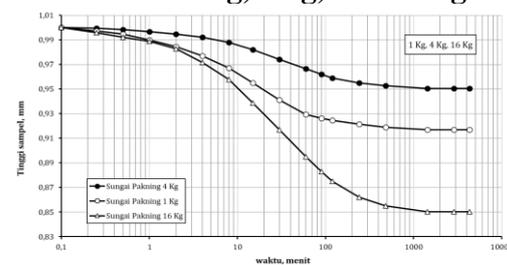
Pengujian konsolidasi vertikal dan konsolidasi horizontal memiliki tujuan berbeda, kedua pengujian menghasilkan perbedaan perilaku konsolidasi pada tanah. Konsolidasi pada tanah adalah suatu proses pengecilan volume tanah secara perlahan-lahan pada tanah jenuh sempurna dengan permeabilitas rendah akibat pengaliran sebagian air pori. Proses tersebut berlangsung terus sampai kelebihan tegangan air pori yang disebabkan oleh kenaikan tegangan total telah benar-benar hilang (Craig,1994).

Pada umumnya konsolidasi berlangsung satu arah saja, yaitu arah vertikal, dikarenakan ketika beban ditempatkan pada awalnya beban tersebut akan didukung oleh air pori sehingga terjadi tekanan air pori berlebih. Pada tanah yang tidak *permeable* penurunan tekanan air pori berlebih tersebut akan berkurang secara

perlahan karena air pori hanya mampu mengalir ke arah vertikal, sedangkan pada arah horizontal pengalirannya sangat panjang sehingga kondisinya diabaikan.

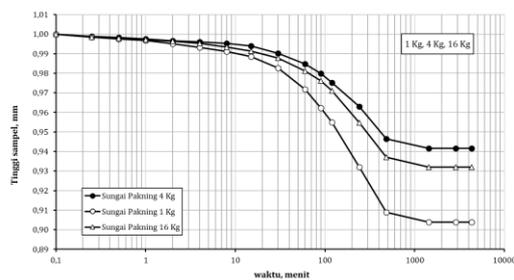
Berbeda dengan konsolidasi vertikal, konsolidasi horizontal dengan drainase vertikal hanya mempercepat konsolidasi primer saja, karena pengaliran air yang signifikan hanya terjadi pada saat konsolidasi primer. Konsolidasi sekunder hanya mengalirkan jumlah air yang sangat sedikit dari tanah dan seperti penurunan sekunder tidak dipercepat oleh drainase vertikal. Berikut analisis perbedaan perilaku konsolidasi pada tanah penelitian untuk daerah Bagan Siapi api, Dumai dan Sungai Pakning.

C.2.1. Perilaku Konsolidasi Arah Vertikal dan Horizontal Untuk Beban 1 kg, 4 kg, dan 16 kg



Gambar 6. Hubungan Tinggi Terhadap Waktu Pada Konsolidasi Vertikal beban 1 kg, 4 kg, dan 16 kg

Gambar 6. merupakan perilaku penurunan tinggi terhadap waktu pada pembebanan 1 kg, 4 kg, dan 16 kg sampel tanah Sungai Pakning untuk pengujian konsolidasi vertikal. Pada pembebanan 1 kg penurunan yang terjadi pada tanah relatif besar bila dibandingkan dengan penurunan yang terjadi pada pembebanan 4 kg, pada pembebanan 4 kg sampel tanah tidak mengalami penurunan yang berarti apabila dibandingkan dengan pembebanan sebelumnya 1 kg, namun pada pembebanan 16 kg penurunan sampel tanah mengalami peningkatan dan juga merupakan penurunan yang paling besar. Hal ini berhubungan dengan angka pori yang terdapat pada sampel tanah dan juga tekanan yang diberikan, air yang mengisi ruang pori tanah ketika pembebanan awal 1 kg menyebabkan air pori keluar secara signifikan yang diikuti dengan penurunan pada sampel tanah, sedangkan untuk pembebanan selain 16 kg, tidak terlalu berdampak dan penurunan yang terjadi tidak terlalu besar karena air pori yang mengisi ruang pori sampel tanah keluar dalam jumlah yang tidak begitu besar.

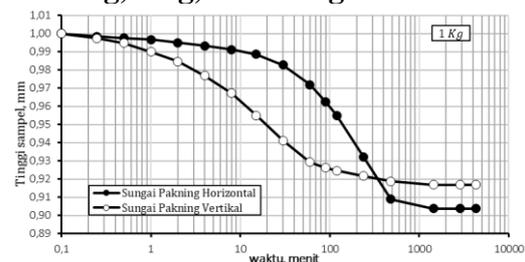


Gambar 7. Hubungan Tinggi Terhadap Waktu Pada Konsolidasi Horizontal beban 1 kg, 4 kg, dan 16 kg

Perilaku penurunan sampel tanah Sungai Pakning untuk semua pembebanan dari 1 kg, 4 kg dan 16 kg pada pengujian konsolidasi horizontal

seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. memiliki perilaku penurunan yang sama dengan konsolidasi vertikal untuk jenis sampel yang sejenis. Pada pembebanan 1 kg tanah mengalami penurunan yang cukup besar akibat berkurangnya air pori dalam jumlah besar akibat sampel tanah baru saja mengalami pembebanan, lalu dilanjutkan dengan pembebanan 4 kg, dan 16 kg, penurunan yang terjadi meningkat secara konstan

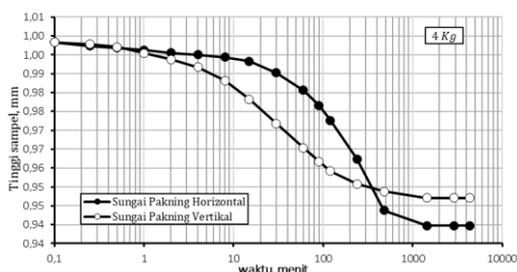
C.2.2. Perilaku Konsolidasi Arah Vertikal Dengan Konsolidasi Arah Horizontal Untuk Beban 1 kg, 4 kg, dan 16 kg



Gambar 8. Penurunan Konsolidasi Vertikal dan Konsolidasi Horizontal Pada Tanah Sungai Pakning Beban 1 kg

Sesuai Gambar 8 penurunan pada konsolidasi arah vertikal dan arah horizontal pada tanah Sungai Pakning untuk beban 1 kg dapat dianalisis. Fase prakonsolidasi konsolidasi vertikal pada sampel tanah berlangsung lebih cepat sedangkan pada pengujian konsolidasi horizontal fase prakonsolidasi yang terjadi lebih lambat, fase prakonsolidasi pada pengujian konsolidasi vertikal lebih curam dan singkat sedangkan untuk pengujian konsolidasi horizontal dengan sumur *vertical drain* lebih landai dan memakan waktu yang lama. Hal ini dikarenakan air yang mengisi ruang pori yang terdapat pada sampel tanah, pada pengujian konsolidasi vertikal bergerak dengan bebas apabila sampel tanah ditekan dengan beban 1

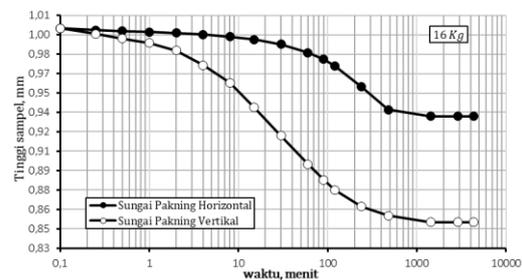
kg, sedangkan pada pengujian konsolidasi horizontal air yang mengisi ruang pori tanah membutuhkan waktu lebih lama untuk keluar dari dalam sampel tanah dikarenakan air tidak dapat bergerak dengan bebas karena pada pengujian konsolidasi horizontal pergerakan air dihambat dengan menggunakan plastik akrilik dan *grease* sehingga memaksa air bergerak secara horizontal menuju lubang saluran yang berisi pasir yang telah disiapkan.



Gambar 9. Penurunan Konsolidasi Vertikal dan Konsolidasi Horizontal Pada Tanah Sungai Pakning Beban 4 kg

Dapat dilihat pada Gambar 9 penurunan konsolidasi vertikal dan konsolidasi horizontal untuk sampel tanah Sungai Pakning pembebanan 4 kg dengan tekanan 22,205 kPa. Penurunan yang terjadi untuk kedua pengujian cukup besar, namun pada pengujian konsolidasi horizontal tanah kembali mengalami penurunan lebih besar bila dibandingkan dengan pengujian konsolidasi vertikal. Besarnya penurunan pada konsolidasi horizontal dapat dikarenakan pendeknya lintasan aliran air pori, sehingga penurunan yang terjadi pada konsolidasi horizontal relatif lebih besar, dan tanah memiliki persentase kadar air yang besar, serta berat jenis tanah yang kecil sehingga air lebih banyak keluar. Kecilnya penurunan yang terjadi pada konsolidasi vertikal dikarenakan penambahan tekanan yang diberikan masih dapat ditahan butiran tanah sehingga pori

tanah mengalirkan air dalam jumlah yang lebih kecil.



Gambar 10. Penurunan Konsolidasi Vertikal dan Konsolidasi Horizontal Pada Tanah Sungai Pakning Beban 16 kg

Dapat dilihat pada Gambar 10 penurunan konsolidasi vertikal dan konsolidasi horizontal untuk sampel tanah Sungai Pakning pembebanan 16 kg dengan tekanan 88,821 kPa. Penurunan yang terjadi untuk kedua pengujian cukup besar, pada pengujian konsolidasi horizontal tanah mengalami perubahan penurunan dimana tanah mengalami penurunan lebih kecil bila dibandingkan dengan pengujian konsolidasi vertikal yang lebih besar. Besarnya penurunan pada konsolidasi vertikal dapat dikarenakan pada tekanan sebelumnya tanah mengalirkan air dalam jumlah kecil, sehingga penambahan tekanan yang diberikan mengakibatkan air yang sebelumnya mengalir dalam jumlah kecil, mengalir dalam jumlah besar. Pada pengujian konsolidasi horizontal kecilnya penurunan yang terjadi dikarenakan pada tekanan sebelumnya tanah telah cukup banyak mengalami penurunan setelah kehilangan air dalam pori tanah dalam jumlah besar, sehingga penurunan tanah sedikit lebih kecil dikarenakan butiran tanah mampu menahan tekanan yang diberikan. Pada pengujian konsolidasi horizontal tanah membutuhkan waktu relatif lebih lama

bila dibandingkan dengan pengujian konsolidasi vertikal, hal ini disebabkan pada pengujian konsolidasi horizontal bertujuan untuk menfokuskan arah aliran air secara horizontal dengan menghambat atau menutup lintasan air yang akan mengalir secara vertikal, yang mengakibatkan air dalam volume tanah membutuhkan waktu yang lebih lama dalam mengalirkan air keluar.

C.3. Analisis Square Root Of Time Method

Data hasil pengujian pembebanan diplot dalam bentuk grafik penurunan vs akar waktu (t_{90}) *Square Root of Time Method*. Berikut rekapitulasi waktu penurunan menggunakan metode akar waktu dapat dilihat pada Tabel 3.

Data waktu penurunan derajat konsolidasi 90% pada Tabel 3 memperlihatkan perbedaan waktu yang cukup jauh, ketika sampel tanah telah terkonsolidasi 90%. Pengujian konsolidasi vertikal cenderung menghasilkan waktu konsolidasi 90% lebih cepat dibandingkan dengan waktu yang diperoleh pengujian konsolidasi horizontal ketika tanah mengalami derajat konsolidasi 90%, hal ini dapat disebabkan karena luasan dan panjang lintasan yang terdapat pada pengujian konsolidasi vertikal lebih luas dan lebih pendek sehingga menyebabkan air dengan mudah dapat keluar dari dalam pori-pori tanah ketika tanah mengalami pemampatan akibat beban yang diberikan. Panjang lintasan pengaliran air sangat mempengaruhi lama nya waktu yang diperlukan tanah dalam mengalirkan air keluar dari pori tanah.

Pada konsolidasi horizontal waktu yang dibutuhkan tanah lebih lama dalam mengalami konsolidasi, hal ini disebabkan karena ruang air keluar dan

lintasan air lebih kecil dan lebih panjang, sehingga tanah membutuhkan waktu yang lebih lama dalam mengalirkan air keluar dari dalam pori tanah. Berikut pada Tabel 4 Rekapitulasi Nilai Koefisien Konsolidasi untuk semua sampel.

Tabel 3. Rekapitulasi Waktu Penurunan Metode Akar Waktu

Jenis Tanah Pengujian Beban (Kg)	Bagan Siapi Api 1		Bagan Siapi Api 2	
	c_v	c_h	c_v	c_h
	min		min	
1	10,24	585,64	32,15	640,09
2	11,16	533,61	75,69	576,48
4	43,96	576,00	86,86	564,54
8	34,81	529,00	70,56	570,25
16	53,29	566,44	46,24	576,00

Jenis Tanah Pengujian Beban (Kg)	Dumai 1		Dumai 2	
	c_v	c_h	c_v	c_h
	min		min	
1	72,93	146,41	70,56	211,70
2	83,72	488,41	73,96	561,69
4	85,75	533,61	79,21	477,86
8	67,08	466,56	54,76	724,69
16	60,84	388,09	38,44	533,61

Jenis Tanah Pengujian Beban (Kg)	Sungai Pakning 1		Sungai Pakning 2	
	c_v	c_h	c_v	c_h
	min		min	
1	30,36	533,61	61,62	484,00
2	46,24	809,40	141,61	826,56
4	67,24	637,56	166,41	707,56
8	62,73	605,16	120,12	737,12
16	45,70	577,44	33,06	812,25

Pengujian konsolidasi horizontal bertujuan untuk menfokuskan arah aliran air secara horizontal dengan menghambat atau menutup lintasan air yang akan mengalir secara vertikal dengan menggunakan membran akrilik dan dilapisi *grease*, yang mengakibatkan air dalam volume tanah membutuhkan waktu yang lebih lama dalam mengalirkan air keluar.

Tabel 4. Rekapitulasi Nilai Koefisien Konsolidasi untuk semua sampel

Jenis Tanah Pengujian Beban (Kg)	Bagan Siapi Api 1		Bagan Siapi Api 2	
	c_v	c_h	c_v	c_h
	min		min	
1	0,0776	0,0013	0,0230	0,0012
2	0,0649	0,0013	0,0082	0,0011
4	0,0154	0,0011	0,0066	0,0010
8	0,0179	0,0011	0,0073	0,0009
16	0,0103	0,0009	0,0094	0,0008

Jenis Tanah Pengujian Beban (Kg)	Dumai 1		Dumai 2	
	c_v	c_h	c_v	c_h
	min		min	
1	0,0103	0,0052	0,0102	0,0036
2	0,0077	0,0013	0,0078	0,0012
4	0,0069	0,0011	0,0068	0,0013
8	0,0077	0,0011	0,0086	0,0007
16	0,0068	0,0011	0,0104	0,0008

Jenis Tanah Pengujian Beban (Kg)	Sungai Pakning 1		Sungai Pakning 2	
	c_v	c_h	c_v	c_h
	min		min	
1	0,0103	0,0052	0,0102	0,0036
2	0,0077	0,0013	0,0078	0,0012
4	0,0069	0,0011	0,0068	0,0013
8	0,0077	0,0011	0,0086	0,0007
16	0,0068	0,0011	0,0104	0,0008

Tabel 4 menunjukkan hasil koefisien antara konsolidasi vertikal dan konsolidasi horizontal. Dimana dapat dianalisa nilai koefisien untuk konsolidasi vertikal lebih besar jika dibandingkan dengan konsolidasi horizontal. Hasil ini dipengaruhi oleh tinggi rata-rata tanah (Hdr) sampel dan waktu tanah tersebut mencapai derajat konsolidasi 90%. (t_{90}) Analisa ini berlaku untuk semua jenis sampel tanah dan semua pembebanan yang dilakukan pada tanah sampel.

C.4. Korelasi Koefisien Konsolidasi Vertikal (c_v) dengan Koefisien Konsolidasi Horizontal (c_h)

Total sampel tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah 3 sampel tanah yang berasal dari lokasi

berbeda pada tanah pesisir Provinsi Riau. Pengujian konsolidasi terdiri dari 2 metode berbeda, pengujian konsolidasi vertikal dan konsolidasi horizontal. Waktu yang dibutuhkan selama pelaksanaan pengujian dengan alat oedometer adalah berkisar 8-10 hari. Pengujian dilakukan di laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Riau. Dalam mencari c_v dan c_h , diperlukan 2 metode grafis yaitu metode *Log fitting* dan metode *Square Root Fitting*.

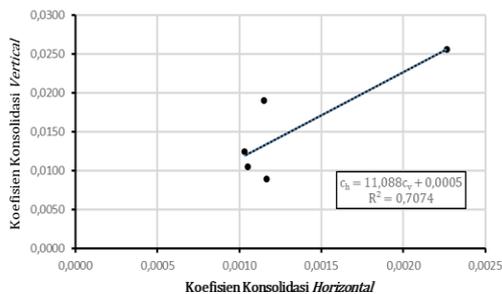
Analisis yang digunakan untuk menentukan hubungan antara koefisien c_v dengan koefisien c_h dengan langkah-langkah sebagai berikut: hasil perhitungan koefisien c_v dan koefisien c_h terhadap tekanan direkap dalam sebuah tabel, selanjutnya nilai koefisien terhadap tekanan di rata-rata kan dan kemudian diplot ke dalam grafik. Hubungan korelasi koefisien c_v dengan koefisien c_h , diperoleh dengan cara meregresi secara linier, sehingga didapatkan hubungan korelasi koefisien c_v dengan koefisien c_h dalam sebuah persamaan. Berikut pada Tabel 5 rekapitulasi Nilai c_v dan c_h pada Tanah Pesisir Provinsi Riau.

Tabel 5 menunjukkan nilai c_v dan c_h untuk masing-masing tekanan yang diberikan pada tanah pesisir Provinsi Riau. Nilai koefisien menunjukkan c_v (koefisien konsolidasi vertikal) untuk semua tekanan memiliki angka yang lebih besar dibandingkan dengan c_h (koefisien konsolidasi horizontal). Hal ini dapat dikarenakan waktu penurunan pada saat tanah terkonsolidasi 90% memakan waktu yang relatif lebih cepat, sebaliknya koefisien konsolidasi arah horizontal memiliki nilai yang lebih kecil hal ini dikarenakan ketika tanah dibebani lintasan air untuk keluar

dari pori-pori tanah cukup panjang sehingga membutuhkan waktu yang lama.

Tabel 5. Rekapitulasi Nilai c_v dan c_h pada Tanah Pesisir Provinsi Riau

Tanah	Daerah	Koefisien	Tekanan				
			5,551 cm ² /dtk	11,103 cm ² /dtk	22,205 cm ² /dtk	44,411 cm ² /dtk	88,821 cm ² /dtk
Pesisir Provinsi Riau	Bagan Siapi Api	c_v	0,0499	0,0386	0,0121	0,0145	0,0123
	Dumai	c_v	0,0098	0,0087	0,0080	0,0101	0,0117
	Sungai Pakning	c_v	0,0172	0,0097	0,0067	0,0071	0,0133
		Rata - rata	0,0256	0,0190	0,0089	0,0105	0,0124
	Bagan SiapiApi	c_h	0,0012	0,0013	0,0012	0,0012	0,0011
	Dumai	c_h	0,0043	0,0014	0,0014	0,0011	0,0013
	Sungai Pakning	c_h	0,0014	0,0008	0,0010	0,0009	0,0008
		Rata - rata	0,0023	0,0012	0,0012	0,0011	0,0010



Gambar 11. Kurva Korelasi Nilai Koefisien c_v Terhadap c_h Tanah Pesisir Provinsi Riau

Dengan menggunakan kurva regresi linear untuk mengetahui hubungan antara c_v untuk semua tekanan memiliki angka yang lebih besar dibandingkan dengan c_h pada sampel tanah Sungai Pakning berdasarkan kurva grafik Gambar 11. Kurva yang terbentuk adalah berupa garis lurus yang menghasilkan sebuah persamaan yang dapat dituliskan $c_h = 11,088c_v + 0,0005$.

D. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian konsolidasi vertikal (c_v) dan pengujian konsolidasi

horizontal (c_h) dengan menggunakan metode *Square root of time* menghasilkan beberapa perbedaan karakteristik penurunan. Secara garis besar waktu penurunan pengujian konsolidasi vertikal (c_v) berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan pengujian konsolidasi horizontal (c_h), hal ini dapat dikaitkan dengan lintasan yang dilalui air yang mengisi ruang pori pada sampel tanah konsolidasi vertikal (c_v), akibat lintasan yang dilalui oleh aliran air lebih pendek maka akan menyebabkan tanah lebih mudah mengalami penurunan dalam waktu yang lebih singkat. Lintasan aliran yang pendek juga akan menyebabkan fase akhir konsolidasi membutuhkan waktu yang lebih singkat, sehingga koefisien konsolidasi (c_v) pada pengujian konsolidasi vertikal (c_v) bernilai lebih besar. Sebaliknya kurva pada pengujian konsolidasi horizontal (c_h) berbentuk lebih landai, hal ini dapat diartikan bahwa lintasan aliran air pada sampel tanah konsolidasi horizontal (c_h) lebih panjang sehingga pada fase pemampatan awal (prakonsolidasi) penurunan pada angka pori berlangsung pelan dan membutuhkan

- waktu yang cukup lama, sehingga koefisien konsolidasi horizontal (c_h) bernilai lebih kecil.
2. Hasil pengujian perbandingan penurunan yang terjadi pada masing-masing tanah sangat dipengaruhi oleh sifat fisik tanah. Pada tanah Sungai Pakning dengan nilai volume solid $97,80 \text{ cm}^3$, volume void $255,63 \text{ cm}^3$, dan nilai angka pori tanah 2,62, tanah memiliki nilai angka pori yang relatif besar, sehingga penurunan yang terjadi pada tanah lebih besar.
 3. Hasil pengujian hubungan empiris parameter koefisien konsolidasi c_v , dengan konsolidasi c_h pada tanah pesisir Provinsi Riau didapat nilai korelasi empiris dengan persamaan $c_h = 11,088c_v + 0,0005$.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian, B. (2016). Penurunan (*Settlement*) Konsolidasi Pada Tanah Lempung Desa Pare, Godean, Sleman, Yogyakarta Dengan Metode *Vertical Drains*. Tugas Akhir.
- Ardana, d. H. (2008). Kombinasi *Preloading* Dan Penggunaan *Pre-Fabricated Vertical Drains* Untuk Mempercepat Konsolidasi Tanah Lempung Lunak (Studi Kasus Tanah Lempung Suwung Kangin). *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil* Vol.12, 2.
- ASTM C 136-06. (2006). In *Dalam Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. United States of America: Annual Book of ASTM.*
- ASTM D 2435-90. (2004). In *Dalam Test method for one dimensional consolidation properties of soils. United States of America: Annual Book of ASTM.*
- ASTM D 2974-87. (1993). In *Dalam Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils. United States of America: Annual Book of ASTM.*
- ASTM D2216-19. (2019). In *Dalam Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass. West Conshohocken, PA: ASTM International.*
- ASTM D4318. (1992). In *Dalam Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soil. United States of America: Annual Book of ASTM Standards sec, volume 04 08 Eastern MD.*
- ASTM D854. (2000). In *Dalam Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer. United States of America: Annual Book of ASTM.*
- Barimbing, F. R. (2017). Analisis Penurunan dan Waktu Konsolidasi Tanah lunak Menggunakan Metode *Preloading* dan *Pre-Fabricated Vertical Drain*. Tugas Akhir, Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1* Terjemahan oleh Noor Endah dan Indrasurya B Mochtar. Erlangga, Jakarta.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. (2004). *In Perencanaan Konstruksi Timbunan Jalan di Atas Gambut dengan Metode Prapembebanan.* Jakarta, Indonesia: Pedomannya Konstruksi dan Bangunan.
- Hardiyatmo. (2002). *Mekanika Tanah I. Edisi Ketiga, Gajah Mada University Press.* Yogyakarta.

- Hardiyatmo. (2003). Mekanika Tanah II. Edisi Ketiga, Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hartanto, D. (2017). Hubungan Koefesien Konsolidasi (*Coefficient of Consolidation*) arah Vertikal (C_v) dengan arah Horizontal (C_h). Tugas Akhir, Universitas Katolik Soegijapranata.
- Herwanto, W. (2015). Studi Analisis Metode Perbaikan Tanah Lunak dengan Metoda Prefabricated Vertical Drain pada Berbagai Konstitutif Model (Studi Kasus PT. Wilmar Nabati). Jurnal Teknis, Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Lesmana. (2016). Studi Perilaku dan Mekanisme Interaksi Penggabungan *Prefabricated Vertical Drain* dan *Deep Cement Mixing* untuk Perbaikan Tanah Lunak. Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil, Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Panduan Geoteknik 4 Desain dan Konstruksi. (2001). In Panduan Geoteknik Indonesia Timbunan Jalan Pada Tanah Lunak. Bandung. Indonesia: Pusat Litbang Prasarana Transportasi.
- Pentagon. (2018). Percepatan Konsolidasi Dengan Menggunakan *Horizontal Drain*. Jurnal Tekno, no 70, Universitas Sam Ratulangi.
- Rumintha, F. (2018). Analisis Penurunan dan Waktu Konsolidasi Tanah Lunak Menggunakan Metode *Preloading* dan *Pre-Fabricated Vertical Drain* (Studi Kasus Proyek Pembangunan Jalan Bebas Hambatan Medan - Kualanamu STA 35+950).
- Sianipar, H. J. (2010). Analisa Perhitungan Penurunan dan Waktu Konsolidasi Pada Tanah Di Apron Bandara Kualanamu Secara Analitik dan Program Plaxis. Tugas Akhir. (Tidak diterbitkan), Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Sutrianingsih, N. W. (2018). Konsolidasi Deposit Tanah Lunak Dengan Menggunakan *Horizontal Drain*. Jurnal sipil static, Universitas Sam Ratulangi Manado. vol.6 no 12.