

Perbandingan Perhitungan Konsolidasi Menggunakan Metode Cassagrande dan Taylor vs Parallel Rebound dan Asaoka

Pramono¹⁾, Kukuh Prihatin²⁾, Vicka Devira Septhia³⁾

E-Mail : pram_smile@yahoo.co.id¹⁾; kukuhprihatin70@gmail.com²⁾; vickadevira@gmail.com³⁾;

Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Samarinda

Jl. Dr. Cipto Mangunkusumo Kampus Gunung Lipan, Samarinda, 75131, Indonesia

Koresponden naskah : vickadevira@gmail.com

ABSTRACT

Consolidation Settlement is a problem that is often encountered in construction work on soft soil. Land subsidence that occurs is closely related to the time of loading, the load applied, and the state and characteristics of the soil. Land whose decline is not taken into account because of parameters that are not precise and not suitable will cause damage to a construction. In this study, pre-consolidated pressure (P_c) calculations will be compared using the Cassagrande versus Parallel Rebound method. In calculating the value of the consolidation coefficient (C_v) using the Time Root method (Taylor) versus Asaoka (1978). Of the 10 samples analyzed, 7 showed that the Parallel Rebound method resulted in a greater decrease in consolidation. So that when subsidence occurs in the field, planners can take appropriate steps in planning construction on soft soil. And the value of the consolidation coefficient (C_v) in the Asaoka method produces more.

Keyword – Settlement, Consolidation Coefficient, Consolidation Settlement, Pre-consolidation, Cassagrande, Taylor, Parallel Rebound, Asaoka

ABSTRAK

Penurunan tanah merupakan permasalahan yang sering dihadapi pada pekerjaan konstruksi di atas tanah lunak. Penurunan tanah yang terjadi berhubungan erat dengan waktu pembebanan, beban yang diberikan, keadaan dan karakteristik tanahnya. Tanah yang penurunannya tidak diperhitungkan pada nilai parameter yang kurang tepat dan tidak sesuai akan terjadi kerusakan pada suatu konstruksi. Dalam penelitian ini akan dibandingkan perhitungan tekanan pra-konsolidasi (P_c) menggunakan metode Cassagrande versus Parallel Rebound. Pada perhitungan nilai koefisien konsolidasi (C_v) menggunakan metode Akar Waktu (Taylor) versus Asaoka (1978). Dari 10 sampel yang di analisis, 7 sampel menunjukkan pada metode Parallel Rebound menghasilkan penurunan konsolidasi yang lebih besar penurunannya. Sehingga ketika penurunan terjadi di lapangan, perencana dapat mengambil langkah-langkah yang tepat dalam perencanaan konstruksi di atas tanah lunak. Dan nilai koefisien konsolidasi (C_v) pada metode Asaoka menghasilkan lebih lama waktu penurunan dibandingkan dengan metode Taylor.

Kata Kunci – Penurunan, Tanah, Koefisien Konsolidasi, Pra-konsolidasi, Cassagrande, Taylor, Parallel Rebound, Asaoka

1. PENDAHULUAN

Konsolidasi adalah keluarnya air dari pori-pori tanah yang menyebabkan perubahan volume pada tanah lempung. Penyesuaian volume ini akan menyebabkan penurunan muka tanah yang erat hubungannya dengan pembangunan dan perencanaan struktur struktur. Penumpukan struktur desain struktural dan pengembangan pada tanah di bawahnya membuat tanah mengalami perubahan bentuk yang fleksibel dalam jangka waktu yang lama. Waktu pembebanan, beban yang diterapkan, kondisi tanah, dan karakteristiknya semuanya berperan dalam penurunan muka tanah.

Pekerjaan konstruksi pada tanah lunak sering menghadapi masalah penurunan tanah. Penurunan karena siklus pemadatan tidak akan terjadi secara merata, hal ini disebabkan oleh tekanan yang tidak sama dan bergeser pada setiap titik di tanah. Jika substruktur telah dibangun, subsidensi yang tidak diperhitungkan dapat menimbulkan tantangan yang signifikan. Tanah yang penurunannya tidak ditentukan dengan nilai batas yang keliru dan tidak tepat akan merugikan suatu pembangunan yang akan dibangun. Sebagai aturan umum, teknik Cassagrande (1936) dan Taylor (1948) digunakan untuk menentukan kualitas P_c' dan C_v .

Dalam penelitian ini akan dibandingkan perhitungan tekanan prakonsolidasi (P_c') menggunakan metode Cassagrande versus Parallel Rebound. Pada perhitungan nilai koefisien konsolidasi (C_v) menggunakan metode Akar Waktu (Taylor) versus Asaoka (1978). Penggunaan metode Casagrande dan Taylor memiliki hasil yang berbeda beda satu orang dengan orang lainnya, karena perkiraan untuk menentukan titik awal grafik didapat pun tidak konstan. Untuk menghasilkan nilai titik awal yang sama digunakan metode Asaoka dan Parallel Rebound (Cahyadi & Tjie Liong, 2015).

2. TINJAUAN PUSAKA

A. Tanah

Tanah dicirikan sebagai bahan yang terdiri dari total (butiran) mineral kuat yang tidak terbentuk (terikat secara sintesis) satu sama lain dan bahan alami yang membusuk (yang memiliki partikel kuat) yang digabungkan oleh cairan dan gas yang menempati ruang-ruang tersebut (Das, 1995).

1. Klasifikasi Tanah

Pada Sistem *Unified*, tanah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomor 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan nomor 200.

Tabel 1. Kelompok Tanah Berdasarkan USCS

Jenis Tanah	Prefiks	Subkelompok	Sufiks
Kerikil	G	Gradasi Baik	W
Pasir	S	Gradasi Buruk	P
Lanau	M	Berlanau	M
Lempung	C	Berlempung	C
Jenis	Prefiks	Subkelompok	Sufiks

Tanah

Organia	O	WL < 50%	L
Gambut	Pt	WL > 50%	H

2. Pengujian Sifat Fisik Tanah

a) Kadar Air Tanah

Pengujian ini diharapkan dapat menentukan kadar air tanah. Perbandingan antara berat kering tanah dengan berat air yang terkandung dalam tanah dalam satuan satuan disebut kadar air tanah (SNI 1965:, 2008). Kadar air tanah dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$w = \frac{w_w}{w_s} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan :

w = kadar air tanah (%)

w_w = berat air (gram)

w_s = berat tanah kering (gram)

b) Berat Jenis/*specific gravity*

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan berat jenis tanah. Gravitasi khusus tanah adalah perbandingan antara berat partikel tanah dan berat air sulingan dalam volume udara yang sama (SNI 1964:, 2008). Berat Jenis tanah dapat dihitung, yaitu sebagai berikut:

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (2)$$

Keterangan :

G_s = berat jenis tanah

γ_w = berat volume air (gram/cm³)

γ_s = berat volume butiran (gram/cm³)

c) Batas Konsistensi Tanah (*Atterberg*)

1) Batas Cair (LL)

Kadar air tanah pada keadaan batas cair dan plastis merupakan batas cairnya. Nilai batas cair tanah dinyatakan dalam persen yang ditentukan dari 25 pukulan pada saat pengujian batas cair (SNI 1967:, 2008).

2) Batas Plastis (PL)

Batas plastis dicirikan sebagai kadar air dalam keadaan antara plastis dan semi padat. Keadaan batas plastis tanah ditentukan oleh kondisi tanah pada saat digulung dengan telapak tangan sampai diameter retakan kurang dari 3 milimeter.

3) Indeks Plastisitas (PI)

Indeks plastisitas merupakan selisih antara nilai batas cair (LL) dan batas plastis (PL). karena itu, indeks plastisitas menunjukkan nilai keplastisitan tanahnya. Jika tanah mempunyai PI tinggi, maka tanah mengandung banyak butiran lempung. Jika PI rendah, seperti lanau, sedikit pengurangan kadar air berakibat tanah menjadi kering (SNI 1966:, 2008).

d) Distribusi Ukuran Butiran (Analisa Saringan)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan persentase ukuran butir tanah pada benda uji yang tertahan saringan no. 200 (SNI 6371:, 2015). Dengan ayakan ukuran lain yang dibutuhkan untuk penentuan gradasi ukuran butir, yaitu No. 4 (4,75 mm), No. 10

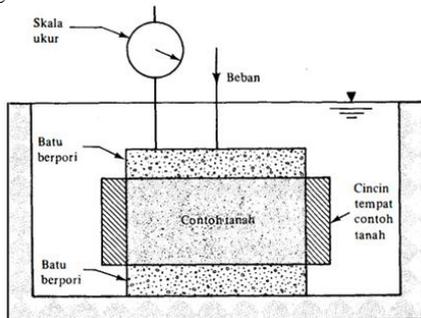
(2,00 mm), No. 40 (0,425 mm), dan No. 200 (0,075 mm).

B. Konsolidasi

Proses pengaliran air dari pori tanah yang mengakibatkan tanah jenuh sempurna mengalami penyusutan secara perlahan disebut konsolidasi. Proses konsolidasi akan selesai ketika tekanan air pori yang melimpah telah dihilangkan. Tekanan terjadi ketika timbunan diletakkan di atas permukaan tanah dan menyebabkan lapisan tanah menjadi padat (Hardiyatmo, 2002).

C. Konsep Umum Uji Konsolidasi Satu-Dimensi

Prosedur untuk melakukan uji konsolidasi satu-dimensi pertama-tama diperkenalkan oleh Terzhagi. Uji tersebut dilakukan di dalam sebuah konsolidometer. Skema konsolidometer ditunjukkan dalam **Gambar 1**. Contoh tanah diletakkan di dalam cincin logam dengan dua buah batu berpori ukuran contoh tanah yang digunakan biasanya adalah: diameter 2,5 inci (63,5 mm) dan tebal 1 inci (25,4 mm). Pembebanan pada contoh tanah dilakukan dengan cara meletakkan beban pada ujung sebuah balok datar. Contoh tanah selalu direndam air selama percobaan. Tiap-tiap beban biasanya diberikan selama 24 jam. Setelah itu, beban dinaikkan sampai dengan dua kali lipat beban sebelumnya. Pada saat percobaan selesai, berat kering dari contoh tanah ditentukan.



Gambar 1. Konsolidometer

Sumber : (SNI 2812:, 2011)

Berikut ini rumus-rumus hitungan dalam percobaan konsolidasi (Head, 1982) :

1. Koefisien konsolidasi pada U90%

$$Cv = \frac{0,848 H_{dr}^2}{t_{90}} \quad (3)$$

2. Menghitung tinggi butiran padat (H_s)

$$H_s = \frac{Wk}{G_s \cdot A \cdot \gamma_w} \quad (4)$$

Keterangan:

Wk = berat tanah kering (gr)

H_s = tebal benda uji pada akhir setelah beban (mm)

G_s = berat jenis

A = luas benda uji (mm²)

3. Menghitung angka pori semula

$$e_0 = \frac{(H - H_s)}{H_s} \quad (5)$$

Keterangan:

H = tebal awal (mm)

H_s = tebal benda uji pada akhir setelah beban (mm)

4. Menghitung Indeks Kompresi (C_c) dan Indeks Rekompresi (C_r)

$$C_r = \frac{e_0 - e_1}{\log \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_0} \right)} \quad (6)$$

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log \left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \right)} \quad (7)$$

5. Menghitung Waktu Penurunan Konsolidasi 90%

$$Tv = \frac{Cv \cdot t}{H^2 \cdot dr} \quad (8)$$

Derajat Konsolidasi, U90% maka $Tv = 0,848$

6. Menghitung Tekanan Efektif Overburden

$$Po' = (\gamma_{sat} - \gamma_w) \times \left(H \times \frac{1}{2} \right) \quad (9)$$

7. Menghitung Besar Penurunan

$$SC = \left(\frac{Cr \times Ho}{1 + e_0} \right) \left(\log \frac{Pc'}{Po'} \right) + \left(\frac{Cc \times Ho}{1 + e_0} \right) \left(\log \frac{Po' + \Delta p}{Pc'} \right) \quad (10)$$

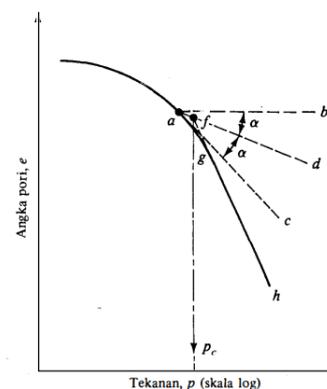
D. Metode Perhitungan Konsolidasi

1. Tekanan Prakonsolidasi (Pc')

- a) Cara Casagrande

Casagrande menyarankan suatu cara yang mudah untuk menentukan besarnya tekanan prakonsolidasi (p_c), dari grafik e versus $\log p$ yang digambar dari hasil percobaan konsolidasi di laboratorium. Prosedurnya adalah sebagai berikut:

- 1) Dengan melakukan pengamatan secara visual, tentukan titik a di mana grafik e versus $\log p$ mempunyai jari-jari kelengkungan yang paling minimum.
- 2) Gambar garis datar ab .
- 3) Gambar garis singgung ac pada titik a .
- 4) Gambar garis ad yang merupakan garis bagi sudut bac .
- 5) Perpanjang bagian grafik e versus $\log p$ yang merupakan garis lurus hingga memotong garis ad di titik f . Absis untuk titik f adalah besarnya tekanan prakonsolidasi. Dapat dilihat pada **Gambar 2**.



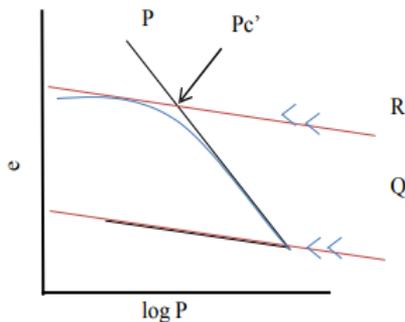
Gambar 2. Grafik tekanan prakonsolidasi metode Casagrande

Sumber : (Das, 1995)

- b) Cara Parallel Rebound

Metode ini diperkenalkan oleh (Tjie-Liong, 2021), untuk mendapatkan nilai Pc' yang lebih konstan. Penggunaan metode ini tidak harus melihat titik puncak dari sebuah kurva, melainkan hanya melihat titik perpotongannya. Prosedurnya adalah sebagai berikut:

- 1) Data hasil uji pada saat pembebanan dan pelepasan beban dapat di plot dalam grafik hubungan antara void ratio (e) versus $\log p$.
- 2) Teruskan garis linier pada saat unloading (Garis Q).
- 3) Buat garis sejajar garis Q pada saat kondisi loading (Garis R).
- 4) Teruskan garis linier pada kondisi sesaat sebelum melengkung dari titik akhir loading (garis P).
- 5) Titik potong antara garis P dan R merupakan nilai dari Pc' . Dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Grafik tekanan prakonsolidasi metode Parallel Rebound

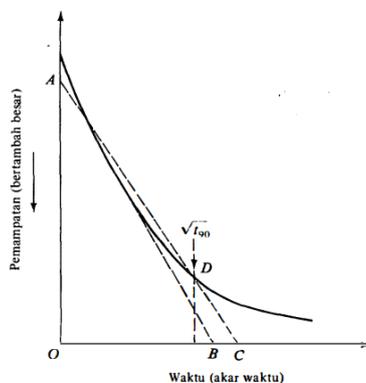
Sumber : (Cahyadi & Tjie Liong, 2015)

2. Koefisien Konsolidasi

a) Cara Akar Waktu (Taylor)

Metode akar waktu didasarkan pada waktu untuk mencapai derajat konsolidasi 90%. Kelebihan dari metode ini adalah bahwa t_{90} dapat ditentukan tanpa harus mencapai nilai t_{100} . Cara untuk menentukan harga c_v yang diperlukan berdasarkan (SNI 2812:, 2011) sebagai berikut:

- 1) Gambar suatu garis AB melalui bagian awal dari kurva.
- 2) Gambar suatu garis AC sehingga $OC = 1,15 OB$. Absis titik D, yang merupakan perpotongan antara garis AC dan kurva konsolidasi, memberikan harga akar waktu untuk tercapainya konsolidasi 90% ($\sqrt{t_{90}}$). Dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Grafik koefisien konsolidasi metode Taylor

Sumber : (Das, 1995)

b) Cara Asaoka (1978)

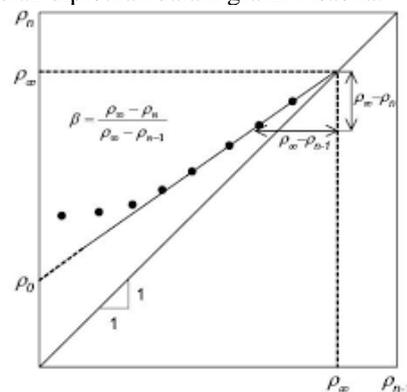
Metode Asaoka selain untuk memprediksi penurunan akhir (*final settlement*), juga dapat memperoleh parameter-parameter konsolidasi yang lebih akurat. Dengan menggunakan metode Asaoka data penurunan yang didapatkan kemudian dianalisis dengan *curve fitting*. Langkah-langkah perhitungan prediksi penurunan tanah merode Asaoka berdasarkan (Rahmaniar & Priadi, n.d.) adalah :

- 1) Mengumpulkan data hasil uji $\Delta H(t_i)$ dalam satuan cm, sesuai dengan interval waktu yang telah ditentukan.
- 2) Data hasil uji dapat diplot pada grafik hubungan p_n vs p_{n-1} . Dengan p_n sebagai penurunan tanah yang terjadi pada hari ke- n , dan p_{n-1} adalah penurunan tanah yang terjadi pada hari $n-1$.
- 3) Pada grafik yang sama ditarik garis yang membentuk 45° .
- 4) Titik perpotongan antara plot data dengan garis 45° . Titik perpotongan dapat dicari dengan menggunakan persamaan garis linier.
- 5) Nilai prediksi penurunan tanah dapat diketahui dari titik perpotongan kedua garis tersebut. Dapat dilihat pada **Gambar 5**.

Dari metode Asaoka maka didapat nilai dari penurunan akhir tanah tersebut, dan dari penurunan akhir ini (S_{100}) maka dapat diketahui juga nilai S_{90} .

$$S_{90} = S_{100} \times 90\%$$

Setelah mendapat nilai dari S_{90} , maka bisa didapat juga nilai dari t_{90} dengan cara menginterpolasi nilai S_{90} pada tabel data besar $\Delta H(t_i)$ dan interval waktu yang telah diplotkan dalam grafik Asaoka.



Gambar 5. Grafik koefisien konsolidasi metode Asaoka

Sumber : (Rahmaniar & Priadi, n.d.)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Politeknik Negeri Samarinda. Penelitian dilakukan secara bertahap, diantaranya terdiri atas pengujian sifat fisik tanah dan pengujian konsolidasi.

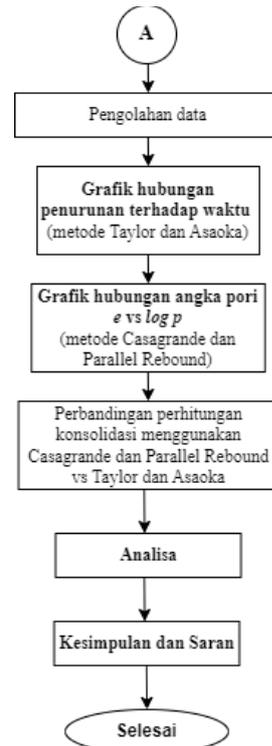
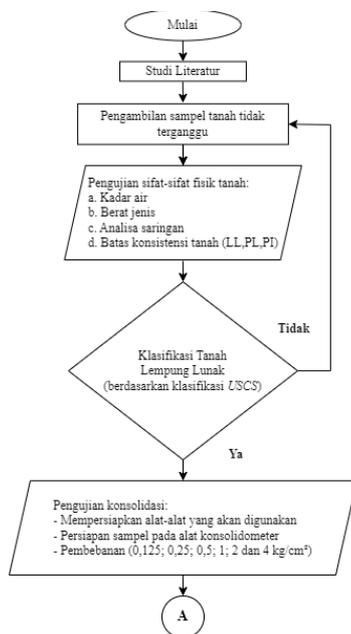
Pengambilan sampel tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. BH 01 – UDS 2m ; BH 02 – UDS 2m ; BH 03 – UDS 2m ; BH 03 – UDS 5m, Tenggarong Sebrang
2. BH 01 – UDS 2m ; BH 03 – UDS 4m, Jl. Ampera, Samarinda Sebrang.

3. BH 01 – UDS 3m ; BH 02 – 3m ; BH 03 – 3m ;
BH 04 – 3m, BLKI

Tabel 2. Metode Pengujian Tanah Asli

No	Jenis Pengujian	Standar	Jumlah Pengujian (kali)	Sampel Tanah
Pengujian Sifat Fisik				
1	a	Kadar Air (SNI 1965:2008)	2	10
	b	Berat Jenis (SNI 1964:2008)	2	10
	c	Analisa Saringan (SNI 3423:2008)	1	10
	d	Batas Cair (SNI 7658:2010)	1	10
	e	Batas Plastis (SNI 7658:2010)	2	10
Sifat Mekanik Tanah Asli				
2	Konsolidasi (SNI 2812:2011)		2	10



Gambar 6. Diagram Alur Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengujian Kadar Air Tanah Lunak

Pengujian kadar air dilakukan untuk mendapatkan nilai kadar air tanah lempung asli yang dilakukan sesuai SNI 1965: 2008. Kadar air diperoleh dengan membandingkan antara berat air dengan berat butiran dan dinyatakan dalam persen. Data hasil pengujian pemeriksaan kadar air asli dapat dilihat pada **Tabel 3** berikut.

Bore Hole No.	1		2		3		3	
Depth	2 meter		2 meter		2 meter		5 meter	
Nomor Cawan	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2
Berat Cawan + Tanah Basah	gr 39,70	34,97	23,53	22,09	19,42	24,81	27,40	28,18
Berat Cawan + Tanah Kering	gr 29,24	26,36	19,36	18,74	15,94	20,28	23,00	23,94
Berat Cawan	gr 8,73	8,90	8,84	10,00	6,00	6,50	9,60	10,11
Berat Air	gr 10,46	8,61	4,17	3,35	3,48	4,53	4,40	4,24
Berat Tanah Kering	gr 20,51	17,46	10,52	8,74	9,94	13,78	13,40	13,83
Kadar Air	% 51,00	49,31	39,64	38,33	35,01	32,87	32,84	30,66
Kadar Air Rata-rata	% 50,16		38,98		33,94		31,75	

Tabel 3. Pemeriksaan Kadar Air Asli Sampel Tenggarong Sebrang

2. Pengujian Analisa Saringan

Dari pengujian ini dapat diketahui klasifikasi tanah dimana berdasarkan sistem klasifikasi *USCS* (*Unified Soil Classification System*), tanah bisa dikatakan lempung jika tanah tersebut lolos saringan No. 200 sebanyak minimal 50% dari berat contoh tanah tersebut. Berikut ini adalah hasil dari pengujian analisis saringan sampel tanah Tenggarong Sebrang, dapat dilihat pada **Tabel 4** berikut.

No. Saringan	Diameter Saringan (mm)	Berat Tertahan (gram)	Jumlah Berat Tertahan (gram)	% Kumulatif	
				Tertahan	Lolos
4	4,75	0	0	0,00	100,00
10	2	0,24	0,24	0,08	99,92
40	0,425	16,2	16,44	5,22	94,78
100	0,15	3,55	19,99	6,34	93,66
200	0,075	2,19	22,18	7,04	92,96
Pan		292,91	315,09	100,00	0,00

Tabel 4. Analisis saringan sampel tanah BH 03 – 2 meter Tenggarong Sebrang

3. Pengujian Batas-batas Atterberg (*Atterberg Limit*)
a) Pengujian Batas Cair (LL)

Pukulan	18	22	26	31				
Nomor Cawan	2.1	2.2	1.1	1.2	4.1	4.2	3.1	3.2
Berat Cawan (gram)	15,21	15,09	15,23	15,2	15,17	15,14	15,26	15,3
Bera Cawan + tanah basah (gram)	22,20	25,34	25,07	21,25	20,13	21,16	19,72	21,19
Bera Cawan + tanah kering (gram)	19,91	21,89	21,85	19,29	18,53	19,2	18,28	19,38
Berat tanah kering (gram)	4,7	6,8	6,62	4,09	3,36	4,06	3,02	4,08
Berat Air (gram)	2,29	3,45	3,22	1,96	1,60	1,96	1,44	1,81
Kadar air (%)	48,72	50,74	48,64	47,92	47,62	48,28	47,68	44,36
Kadar air rata-rata (%)	49,73		48,28		47,95		46,02	

Tabel 5. Hasil Pengujian Batas Cair Sampel BH 03 - 2m Tenggarong Sebrang

b) Pengujian Batas Plastis (PL)

Tabel 6. Pengujian batas plastis pada sampel BH 03 - 2m Tenggarong Sebrang

Nomor Cawan	5.1	5.2
Berat Cawan (gram)	15,21	15,1
Bera Cawan + tanah basah (gram)	15,59	15,42
Bera Cawan + tanah kering (gram)	15,49	15,38
Berat tanah kering (gram)	0,28	0,28
Berat Air (gram)	0,1	0,04
Kadar air (%)	35,71	14,29
Kadar air rata-rata (%)	25,00	

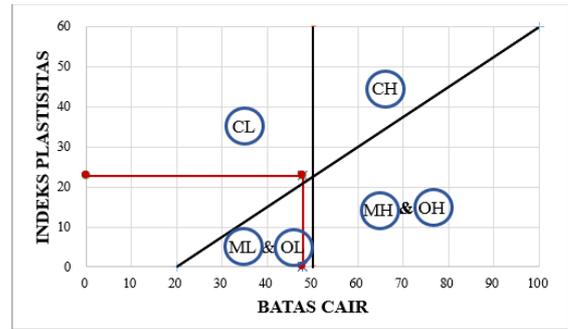
c) Indeks Plastisitas (PI)

Tabel 7. Nilai Batas-batas Atterberg (Atterberg Limit) Pada Sampel BH 03 - 2m Tenggarong Sebrang

Batas Cair (LL)	Batas Plastis (PL)	Indeks Plastisitas (IP)
47,80	25,00	22,80

4. Klasifikasi Berdasarkan USCS

Dari hasil pengujian analisis saringan didapatkan persen lolos saringan No. 200 sebesar 92,96% > 50%. Dalam metode klasifikasi sistem USCS (*Unified Soil Classification System*) tanah yang dikatakan berbutir halus jika lebih dari 50% tanah lolos saringan No.200. Selain itu, pada pengujian batas *Atterberg* didapatkan nilai batas cair sebesar 47,80% dan nilai indeks plastisitas sebesar 22,80%.



Gambar 7. Grafik Plastisitas Identifikasi Jenis Tanah

5. Pengujian Berat Jenis

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai berat jenis tanah dimana berat jenis tanah atau *specific gravity* (Gs) merupakan perbandingan antara berat volume butiran padat dengan berat volume air yang dilakukan sesuai SNI 164: 2008. Berikut uraian contoh perhitungan pengujian berat jenis serta nilai dari hasil pengujian berat jenis tanah dapat dilihat pada **Tabel 8.**

Tabel 8. Berat Jenis Sampel Tanah BH 03 - 2m Tenggarong Sebrang

No.	Uraian	Satuan	Sample - 1	
1	Nomor Picnometer	-	A	B
2	Berat Picnometer (W1)	gram	166,12	150,27
3	Berat Picno + Air (W2)	gram	683,63	645,37
4	Berat Picno + Air + Tanah (W3)	gram	731,41	709,87
5	Suhu Ruangan	°		
6	Berat Picno + Tanah (W4)	gram	246,83	252,55
7	Berat Tanah (W5) = (W4 - W1)	gram	80,71	102,28
8	W6 = (W2 + W5)	gram	764,34	747,65
9	Isi Tanah (W7) = (W6 - W3)	gram	32,93	37,78
10	Berat Jenis (Gs) = (W5 / W7)		2,45	2,71
Berat Jenis rata-rata (Gs)			2,58	

6. Pengujian Konsolidasi

a) Koefisien Konsolidasi (Cv)

Kecepatan penurunan konsolidasi dapat dihitung dengan menggunakan Koefisien Konsolidasi (Cv). Pada pengujian ini, digunakan metode akar waktu (Taylor) dan Asaoka untuk menentukan nilai koefisien Konsolidasi (Cv).

1) Metode Akar Waktu (Taylor)

Sampel 1 (bh 03 – 2 meter Tenggarong Sebrang)

a. Untuk tekanan 0,125 kg/cm²

$$C_v = 0,848 \times H^2_{dr} / t_{90}$$

$$= 0,848 \times (1,242)^2 / (\sqrt{4,5}) \times 60$$

$$= 0,001077 \text{ cm}^2/\text{det}$$

b. Untuk tekanan 0,25 kg/cm²

$$C_v = 0,848 \times H^2_{dr} / t_{90}$$

$$= 0,848 \times (1,168)^2 / (\sqrt{7}) \times 60$$

$$= 0,000393 \text{ cm}^2/\text{det}$$

c. Untuk tekanan 0,5 kg/cm²

$$C_v = 0,848 \times H^2_{dr} / t_{90}$$

$$= 0,848 \times (1,122)^2 / (\sqrt{8,5}) \times 60$$

$$= 0,000246 \text{ cm}^2/\text{det}$$

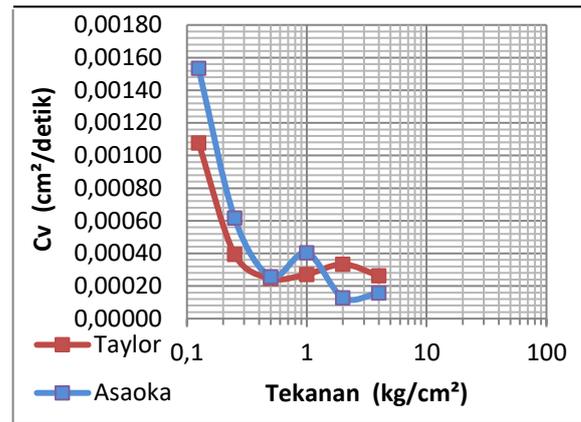
- d. Untuk tekanan 1 kg/cm²
 $C_v = 0,848 \times H^2_{dr}/t_{90}$
 $= 0,848 \times (1,068)^2/(\sqrt{7,7}) \times 60$
 $= 0,000272 \text{ cm}^2/\text{det}$
- e. Untuk tekanan 2 kg/cm²
 $C_v = 0,848 \times H^2_{dr}/t_{90}$
 $= 0,848 \times (1,014)^2/(\sqrt{6,6}) \times 60$
 $= 0,000333 \text{ cm}^2/\text{det}$
- f. Untuk tekanan 4 kg/cm²
 $C_v = 0,848 \times H^2_{dr}/t_{90}$
 $= 0,848 \times (0,956)^2/(\sqrt{7}) \times 60$
 $= 0,000264 \text{ cm}^2/\text{det}$

C_v rata-rata =
 $(0,001077+0,000393+0,000246+0,000272+0,000333+0,000264)$
 $= 0,0000431 \text{ cm}^2/\text{det}$

2) Metode Asaoka
Sampel 1 (BH 03 – 2meter, Tenggarong Sebrang)

1. Untuk tekanan 0,125 kg/cm²
 $C_v = 0,848 \times H^2_{dr}/t_{90}$
 $= 0,848 \times (1,242)^2/(1655 \times 60)$
 $= 0,000013 \text{ cm}^2/\text{det}$
2. Untuk tekanan 0,25 kg/cm²
 $C_v = 0,848 \times H^2_{dr}/t_{90}$
 $= 0,848 \times (1,168)^2/(10182 \times 60)$
 $= 0,000002 \text{ cm}^2/\text{det}$
3. Untuk tekanan 0,5 kg/cm²
 $C_v = 0,848 \times H^2_{dr}/t_{90}$
 $= 0,848 \times (1,122)^2/(1392 \times 60)$
 $= 0,000009 \text{ cm}^2/\text{det}$
4. Untuk tekanan 1 kg/cm²
 $C_v = 0,848 \times H^2_{dr}/t_{90}$
 $= 0,848 \times (1,068)^2/(2108 \times 60)$
 $= 0,000008 \text{ cm}^2/\text{det}$
5. Untuk tekanan 2 kg/cm²
 $C_v = 0,848 \times H^2_{dr}/t_{90}$
 $= 0,848 \times (1,014)^2/(2415 \times 60)$
 $= 0,000006 \text{ cm}^2/\text{det}$
6. Untuk tekanan 4 kg/cm²
 $C_v = 0,848 \times H^2_{dr}/t_{90}$
 $= 0,848 \times (0,956)^2/(48,91 \times 60)$
 $= 0,000010 \text{ cm}^2/\text{det}$

C_v rata-rata =
 $(0,000013+0,000002+0,000009+0,000008+0,000006+0,000010)$
 $= 0,000008 \text{ cm}^2/\text{det}$



Gambar 8. Perbandingan Nilai Koefisien Konsolidasi (C_v) dengan Kedua Metode

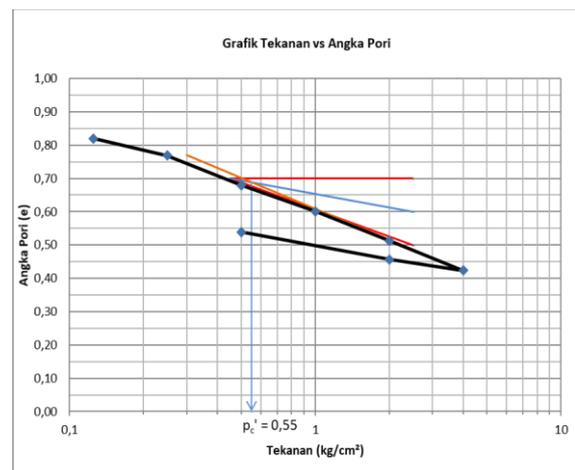
b) Tekanan Prakonsolidasi (P_c')

Dalam menentukan Tekanan Prakonsolidasi (P_c') digunakan cara Cassagrande dan Parallel Rebound yaitu dengan menggunakan gambar grafik hubungan e-log p'. Berikut ini adalah uraian perhitungan untuk menentukan tekanan prakonsolidasi:

Tabel 9. Perhitungan angka pori untuk menentukan tekanan prakonsolidasi pada tanah lempung asli (Sampel BH 03 – 2m Tenggarong Sebrang)

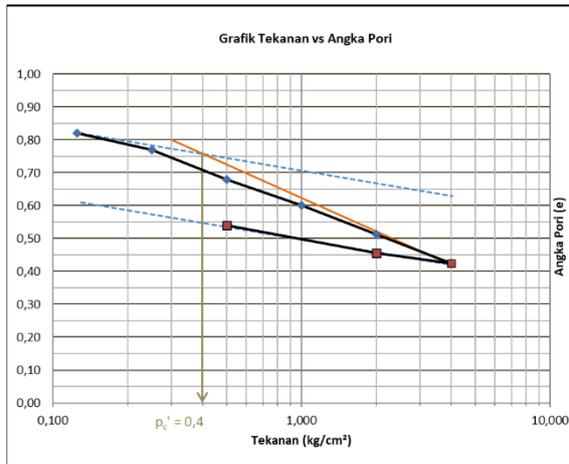
Tekanan (kg/cm ²)	Pembacaan Aritji (cm)	Penurunan kotor (cm)	Penurunan, ΔH (cm)	Δe = ΔH / Ht	e = e ₀ - Δe
0	1,000				
0,125	0,885	0,116	0,116	0,177	0,820
0,25	0,852	0,149	0,149	0,228	0,769
0,5	0,793	0,207	0,207	0,318	0,679
1	0,742	0,258	0,258	0,396	0,601
2	0,685	0,315	0,315	0,484	0,513
4	0,627	0,373	0,373	0,573	0,424
2	0,648	0,352	0,352	0,541	0,456
0,5	0,702	0,298	0,298	0,458	0,539
0	0,719	0,281	0,281	0,432	0,566

1) Metode Cassagrande



Gambar 9. Grafik Hubungan Tekanan dengan Angka Pori untuk Menentukan Tekanan Prakonsolidasi (P_c') Menggunakan Metode Cassagrande

2) Metode Parallel Rebound



Gambar 10. Grafik Hubungan Tekanan dengan Angka Pori untuk Menentukan Tekanan Prakonsolidasi (P_c') Menggunakan Metode Parallel Rebound

Berdasarkan analisa untuk grafik hubungan tekanan dengan angka pori pada **Gambar 8**, diperoleh nilai tekanan prakonsolidasi (P_c') dengan metode Cassagrande adalah sebesar $0,55 \text{ kg/cm}^2$ atau sebesar $53,937 \text{ kN/m}^2$. sedangkan pada Gambar 4.19, diperoleh nilai tekanan prakonsolidasi (P_c') dengan metode Parallel Rebound adalah sebesar $0,4 \text{ kg/cm}^2$ atau sebesar $39,227 \text{ kN/m}^2$.

Dari hasil analisa grafik pada kedua metode tersebut, dapat dilihat nilai tekanan prakonsolidasi (P_c') pada metode Cassagrande memiliki hasil yang lebih besar dibandingkan dengan metode Parallel Rebound.

7. Perhitungan Penurunan Konsolidasi

Berikut adalah uraian contoh perhitungan penurunan konsolidasi pada titik sampel BH 3 – 2m Tenggarong Sebrang, pada uraian ini digunakan nilai P_c' hasil dari analisa grafik metode Cassagrande.

Tabel 10. Rekapitulasi hasil perhitungan penurunan konsolidasi

No.	Sampel	Indeks Pemampatan (Cc)	Indeks Pengembangan (Cr)	Tegangan Overburden	Penambahan Tegangan	Penurunan Konsolidasi	Waktu, t	Waktu, t	Metode	
				(P_o')	(Δp)	(S_c)	hari	tahun		
				kN/m^2	kN/m^2	meter				
1.	BH 01 - 2m, Tenggarong Sebrang	0,34	0,04	9,14	98	0,116	95	0,26	Casagrande & Taylor	
						0,092	61	0,17	Parallel Rebound & Asaoka	
2.	BH 02 - 2m, Tenggarong Sebrang	0,32	0,09	10,99	98	0,176	120	0,33	Casagrande & Taylor	
						0,444	141	0,39	Parallel Rebound & Asaoka	
3.	BH 03 - 2m, Tenggarong Sebrang	0,30	0,06	10,39	98	0,117	228	0,62	Casagrande & Taylor	
						0,147	190	0,52	Parallel Rebound & Asaoka	
4.	BH 03 - 5m, Tenggarong Sebrang	0,27	0,03	22,80	98	0,943	349	0,96	Casagrande & Taylor	
						0,939	624	1,70	Parallel Rebound & Asaoka	
5.	BH 01 - 3m, BLKI	0,50	0,07	12,73	98	0,171	301	0,83	Casagrande & Taylor	
						0,332	579	1,59	Parallel Rebound & Asaoka	
6.	BH 02 - 3m, BLKI	0,31	0,08	11,43	98	0,491	110	0,30	Casagrande & Taylor	
						0,490	519	1,42	Parallel Rebound & Asaoka	
7.	BH 03 - 3m, BLKI	0,40	0,05	13,08	98	0,140	120	0,33	Casagrande & Taylor	
						0,151	276	0,76	Parallel Rebound & Asaoka	
8.	BH 04 - 3m, BLKI	0,42	0,06	13,66	98	0,191	767	2,10	Casagrande & Taylor	
						0,215	1275	3,49	Parallel Rebound & Asaoka	
9.	BH 01 - 2m, Samarinda Sebrang	0,39	0,11	6,43	98	0,124	134	0,37	Casagrande & Taylor	
						0,182	191	0,52	Parallel Rebound & Asaoka	
10.	BH 03 - 5m, Samarinda Sebrang	0,47	0,14	16,55	98	0,307	110	0,30	Casagrande & Taylor	
						0,498	656	1,80	Parallel Rebound & Asaoka	

Dari hasil perhitungan penurunan ini, perbandingan untuk masing-masing penurunan konsolidasi (S_c) pada 10 sampel tanah lempung didapatkan ada 7 sampel tanah dengan metode Parallel Rebound dan Asaoka yang memiliki hasil besar penurunan konsolidasi dan lama waktu penurunannya lebih besar, yaitu : BH 02 – 2 meter Tenggarong Sebrang; BH 03 – 2 meter Tenggarong Sebrang; BH 01 – 3 meter, BLKI; BH 03 – 3 meter, BLKI; BH 04 – 3 meter, BLKI; BH 01 – 2 meter, Samarinda Sebrang; BH 03 – 5 meter, Samarinda Sebrang.

Pada 3 sampel tanah lainnya yaitu titik sampel BH 01 – 2m Tenggarong Sebrang; BH 03 – 5m Tenggarong Sebrang; BH 02 – 3m, BLKI, menghasilkan penurunan konsolidasi lebih besar

ketika menggunakan parameter hasil analisa grafik metode Cassagrande. Pada parameter hasil analisa grafik Metode Taylor lama waktu penurunan terjadinya konsolidasi lebih cepat dibandingkan dari hasil perhitungan metode Asaoka

5. KESIMPULAN

Dari hasil analisa dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Penggunaan Parallel Rebound setiap orang yang menghitung hasilnya akan sama, sedang metode Cassagrande apabila digunakan untuk perhitungan penurunan akan berbeda-beda pada setiap penggunaanya.
2. Perhitungan lama waktu penurunan dengan dua metode berbeda yang dimana menunjukkan

bahwa metode Asaoka memberikan nilai koefisien konsolidasi (C_v) yang relatif lebih kecil

3. dibandingkan dengan metode Taylor. Yang dimana lama waktu yang dibutuhkan untuk mengalami penurunan metode Asaoka lebih lama.
4. Dari 10 sampel yang di analisis, 7 sampel menunjukkan pada metode Parallel Rebound menghasilkan penurunan konsolidasi yang lebih besar penurunannya. Sehingga akan lebih baik ketika penurunan terjadi di lapangan, hasil yang paling besar digunakan oleh perencana agar dapat mengambil langkah-langkah yang tepat dalam perencanaan konstruksi di atas tanah lunak.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Cahyadi, R., & Tjie Liong, G. (2015). *Analisa Perbandingan Nilai Parameter P_c dan C_v Pada Tanah Lempung Menggunakan Metode Alternatif*.
http://library.binus.ac.id/Collections/ethesis_detail.aspx?ethesisid=2015-2-02343-SP
- Das, M. B. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)* (Jilid 1, Vol. 1).
<https://perpushms.files.wordpress.com/2016/09/mekanika-tanah-jilid-1-oleh-braja-m-das.pdf>
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah 1* (Vol. 3).
<https://ebooktekniksipil.files.wordpress.com/2014/05/mekanika-tanah-i.pdf>
- Head, K. . (1982). *Manual Of Soil Laboratory Testing* (Vol. 2). Pentech Press Limited, Estover Road, Plymouth, Devon.
- Rahmaniar, Y., & Priadi, E. (n.d.). *Studi Analisis Konsolidasi Tanah Pada Area Modul 1 Di Area Perpanjangan Runway Bandara Supadio Pontianak*.
- SNI 1964: (2008). *Cara uji berat jenis tanah*. www.bsn.go.id
- SNI 1965: (2008). *Cara uji penentuan kadar air untuk tanah dan batuan di laboratorium*. www.bsn.go.id
- SNI 1966: (2008). *Cara uji penentuan batas plastis dan indeks plastisitas tanah*. www.bsn.go.id
- SNI 1967: (2008). *Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah*. www.bsn.go.id
- SNI 2812: (2011). *Cara uji konsolidasi tanah satu dimensi*. www.bsn.go.id
- SNI 6371: (2015). *Tata cara pengklasifikasian tanah untuk keperluan teknik dengan sistem klasifikasi unifikasi tanah*. www.bsn.go.id
- Tjie-Liong, G. (2021). *Soil Mechanics* (Vol. 3).