

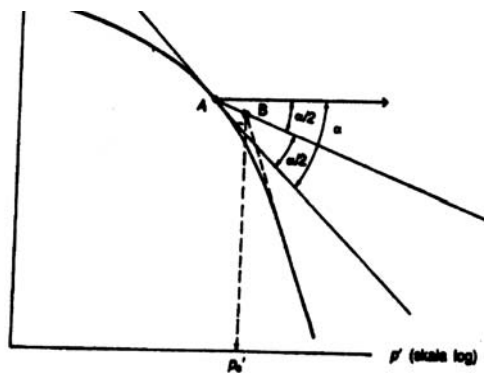
Pertemuan IX , X

**VI. Konsolidasi ( Lanjutan )**

**VI.1 Tekanan Prakonsolidasi ( $p_c'$ )**

Tekanan prakonsolidasi ditentukan (Casagrande, 1936) pada Grafik  $e - \log p'$ .

- Pilih dengan pandangan mata titik berjari – jari minimum (puncak kurva) misal titik A.
- Gambarkan garis lurus // absis dengan melalui titik A
- Gambarkan garis singgung pada kurva dengan melalui titik A
- Bagi dua sudut yang dibuat oleh kedua garis diatas.
- Perpanjang bagian lurus kurva pemampatan asli sampai memotong garis bagi sudut diatas. Titik potong (B), proyeksi titik B ke absis diperoleh tekanan prakonsolidasi ( $p_c'$ ).



**Gambar VI.1** Cara menentukan  $p_c'$  (Casagrande)

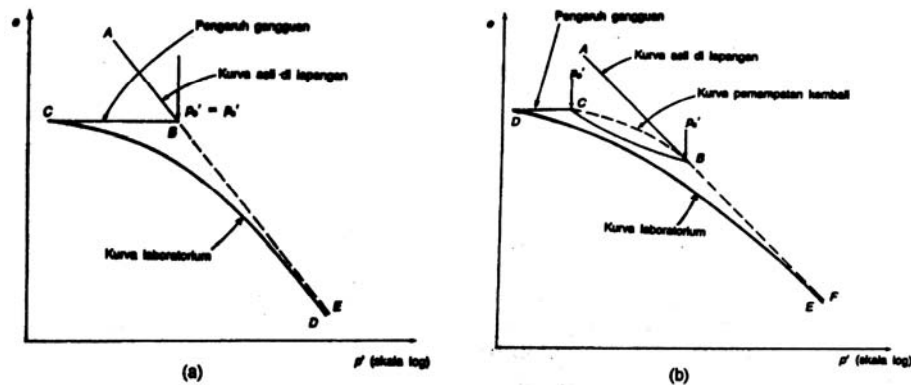
**VI.2 Pengaruh Gangguan pada Benda Uji pada Grafik  $e - \log p'$**

Kondisi tanah dilaboratorium tidak sama dengan dilapangan, bedanya adalah karena sudah terjadi gangguan pada tanah saat uji konsolidasi, maka untuk mengetahui hubungan  $e - \log p'$  kondisi lapangan, diperlukan koreksi terhadap hasil pengujian laboratorium.

Gangguan tersebut berupa saat tanah dilapangan, tanah dipengaruhi oleh tegangan efektif vertikal ( $\sigma_z'$ ) dan tegangan efektif horizontal ( $\sigma_x' = k_o \sigma_z'$ ). Karena tanah diambil dengan pengeboran, tekanan efektif horizontal hilang, akibatnya tanah jenuh tersebut mengembang, kondisi ini ditahan oleh tekanan air pori negatif ( $- \mu$  akibat kapiler), jika udara tidak keluar maka volume tidak berubah, dan tegangan kekang efektif ( $\sigma_x' = - \mu$ ). Jika nilai ( $\sigma_x' / \sigma_z' = k_o$ ) berubah maka regangan yang timbul akan merusak benda uji.

**Gambar VI.2a** menunjukkan tanah lempung normally consolidated, pemampatan asli lapangan dilihat garis lurus AB ( $p_o' = p_c'$ ), jika beban bertambah, terjadi perubahan angka pori ( $e$ ) menurut garis putus-putus BE (perpanjangan garis AB). Jika tanah diambil pada

kedalaman tertentu dan diuji laboratorium, tekanan konsolidasi efektif berkurang, walaupun  $e$  tetap. Jika sampel dibebani kembali di laboratorium, kurva konsolidasi ditunjukkan kurva CD.



Gambar VI.2 Pengaruh gangguan terhadap pemampatan.

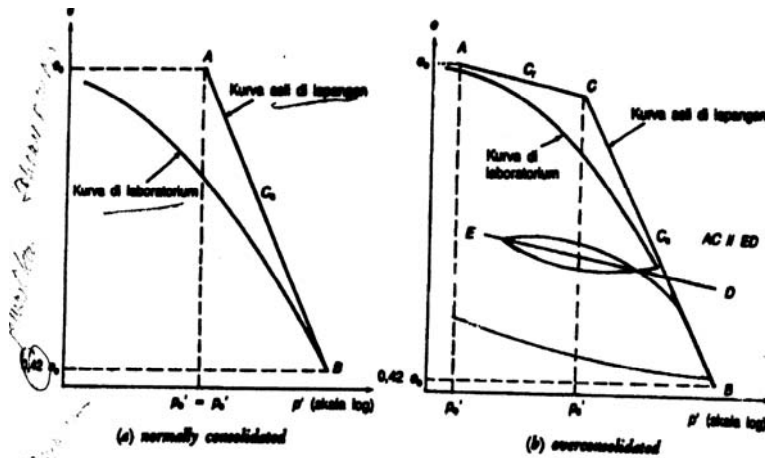
**Gambar VI.2b** menunjukkan tanah lempung over consolidated, sejarah tegangan saat tanah dilapangan ditunjukkan garis AB (saat  $p_c'$  tercapai), karena sesuatu hal terjadi diwaktu lampau, tanah diatas terbongkar dan beban berkurang sampai tekanan overburden ( $p_o'$ ), Kurva penuh BC memperlihatkan hubungan  $e - \log p'$  dilapangan saat pengurangan beban. Jika beban dilapangan bertambah, akan mengikuti kurva CB dengan garis putus-putus, jika beban melampaui tekanan prkonsolidasi ( $p_c'$ ), kurva akan terus kebawah mengikuti garis lurus BF. Bila tanah pada kedudukan C diambil untuk diuji laboratorium, maka tekanan efektif tereduksi pada angka pori yang konstan, jika tanah diuji laboratorium, kurva akan mengikuti garis penuh DE, jadi gangguan terhadap benda uji mengakibatkan kurva laboratorium bergeser kekiri.

### VI.3 Koreksi Indeks Pemampatan ( $C_c$ ) pada grafik $e - \log p'$ .

Akibat pengaruh pengujian laboratorium, benda uji sedikit terganggu, kerusakan benda uji menghasilkan pengurangan kemiringan dari garis pemampatan ( $C_c$ ) asli lapangan, karenanya diharapkan kemiringan garis kompresi ( $C_c$ ) lapangan sedikit lebih besar dari hasil yang diperoleh di laboratorium.

Penggambaran kurva asli lapangan secara pendekatan seperti yang diusulkan Schmertmann (1953), garis kemiringan  $C_c$  uji laboratorium dianggap memotong garis asli lapangan pada nilai pori  $e$  mendekati 0,42 angka pori awal ( $e_0$ ).

Lempung normally consolidated (**Gambar VI.3a**) dimana  $p_0' = p_c'$ , pemampatan asli lapangan menurut garis AB, titik A ( $p_0'$ ,  $e_0$ ) dan titik B dimana  $e$ -nya = 0,42  $e_0$ .



Gambar VI.3 Kurva asli lapangan.

Lempung over consolidated (**Gambar VI.3b**), titik A ( $p_0'$  ,  $e_0$ ) . Kurva pembebanan kembali digambarkan garis AC sejajar dengan garis pembebanan kembali ( $C_r$ ) hasil laboratorium, sedangkan kurva pemampatan  $C_c$  dibuat dengan menarik garis BC , dimana titik B kurva laboratorium ditarik dari angka pori 0,42  $e_0$ , dan C perpotongan kurva pembebanan kembali dilapangan dengan garis vertikal ditarik lewat  $p_c'$  .

#### VI.4 Faktor yang Mempengaruhi Penentuan Tekanan Prakonsolidasi ( $p_c'$ )

Pengaruh gangguan benda uji menyebabkan kurva pemampatan asli bergeser ke-kiri, sehingga tekanan prakonsolidasi juga bergeser kekiri. Pada uji konsolidasi ada istilah LIR, yaitu ratio penambahan beban yang diterapkan saat pengujian. LIR adalah tambahan tegangan dibagi tegangan awal atau ;

$$LIR = \frac{\Delta p}{p_a'}$$

Jika LIR = 1, maka tambahan beban sama dengan beban sebelumnya. Untuk lempung sensitif LIR < 1 untuk meminimalisir pengaruh gangguan tanah. Faktor lain adalah lamanya waktu penambahan beban.

#### VI.5 Hitungan Penurunan Konsolidasi.

Tanah lempung jenuh dengan tebal awal H, akibat beban lapisan tanah menerima tambahan beban sebesar  $\Delta p$  (tegangan lateral = 0), akhir konsolidasi tambahan tegangan vertikal  $\Delta p$  akibat tambahan tegangan dari  $p_0'$  ke  $p_1'$ . ( $p_1' = p_0' + \Delta p$ ) dan terjadi pengurangan angka pori dari  $e_0$  ke  $e_1$ . Hubungan perubahan volume dengan angka pori adalah

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta V}{V} = \frac{e_1 - e_0}{1 + e_0} = \frac{\Delta e}{1 + e_0}$$

Penurunan tanah sebesar  $dh$  dapat dinyatakan ;

$$dS_c = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} dh = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} \frac{p_1' - p_0'}{p_1' - p_0'} dh = m_v \Delta p dh$$

Jika  $m_v$  dan  $\Delta p$  dianggap sama pada sembarang kedalaman maka penurunan konsolidasi primer total ;

$$S_c = m_v \Delta p H$$

Jika tanah berlapis ;

$$S_c = \sum m_{vi} \Delta p_i H_i$$

Persamaan umum adalah ;

$$S_c = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} H = \frac{\Delta e}{1 + e_0} H$$

Bila  $p_1' = p_0' + \Delta p$  maka ;

a. Lempung normally consolidated ( $p_c' = p_0'$ )

$$S_c = C_c \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{p_1'}{p_0'}$$

b. Lempung over consolidated ( $p_c' > p_0'$ )

$$1. \text{ Jika } p_1' < p_c' \text{ maka } S_c = C_r \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{p_1'}{p_0'}$$

$$2. \text{ Jika } p_1' > p_c' \quad S_c = C_r \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{p_c'}{p_0'} + C_c \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{p_1'}{p_c'}$$

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log p'} \quad \text{pada kurva penambahan beban pada } p' > p_c'$$

$$C_r = \frac{\Delta e}{\Delta \log p'} \quad \text{pada kurva penambahan beban pada } p' < p_c'$$

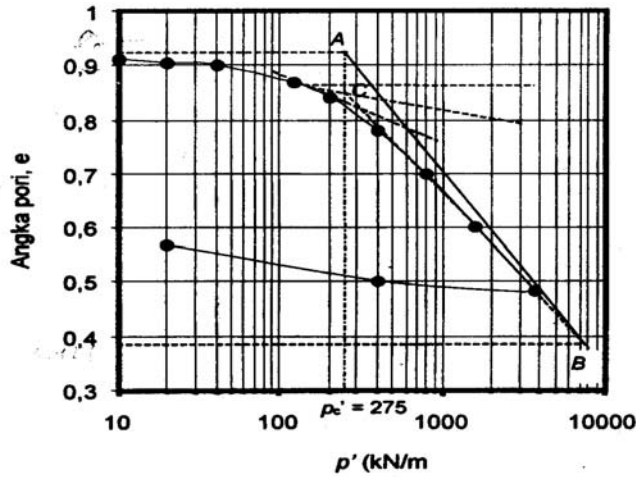
### Contoh soal

Hasil uji konsolidasi pada tanah lempung seperti tergambar pada **Gambar CVI.1**

Contoh tanah lempung diambil pada kedalaman 20 m dimana tekanan overburden efektif  $p_0' = 275 \text{ kN/m}^2$ ,  $e_0 = 0,91$ , tentukan ;

a. Kemiringan kurva asli lapangan dengan cara Schmertmann

b. Hitung penurunan konsolidasi pada lempung akibat beban fondasi dan tekanan overburden, dimana tekanan pertambah menjadi  $p_1' = 800 \text{ kN/m}^2$  termasuk overburden, tebal lapisan lempung  $H = 10 \text{ m}$ .



Gambar CVL.1 Hasil uji konsolidasi

**Penyelesaian :**

- a. Tentukanlah tekanan prakonsolidasi ( $p_c'$ ) dengan cara Casagrande, diperoleh  $p_c' = 275$  kN/m<sup>2</sup>, sama dengan tekanan overburden ( $p_o'$ ) tanah berupa Normally Consolidated. Gambarkan garis mendatar melewati  $e_o = 0,91$ , garis memotong garis vertikal dari C dititi A. Titik B diperoleh dengan memperpanjang kurva dan berpotongan dengan garis mendatar melalui titik 0,42  $e_o$ . Hubungkan titik A dan titik B, diperoleh kurva pemampatan asli lapangan.
- b. Penurunan konsolidasi ;  
Lempung merupakan normally consolidated dimana  $p_o' = p_c'$

$$S_c = C_c \frac{H}{1 + e_o} \log \frac{p_o' + \Delta p}{p_o'}$$

Pada kurva pemampatan asli lapangan diperoleh ;

$$p_1' = 900 \text{ kN/m}^2 \quad e_1 = 0,71$$

$$p_2' = 2000 \text{ kN/m}^2 \quad e_2 = 0,58$$

Indeks pemampatan lapangan  $C_c$  adalah ;

$$C_c = \frac{0,71 - 0,58}{\log 2000 - \log 900} = 0,38$$

Maka penurunan konsolidasi  $S_c$  adalah ;

$$S_c = \frac{0,38}{1 + 0,91} (10) \log \frac{800}{275} = 0,92m$$

**VI.6 Kecepatan Penurunan Konsolidasi.**

**a. Derajad penurunan konsolidasi**

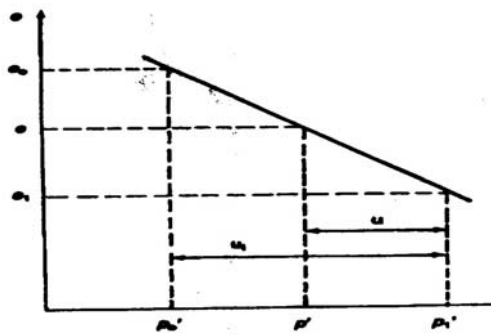
Pada elemen tanah kedalaman  $z$ , perkembangan proses konsolidasi dinyatakan ;

$$U = \frac{e_0 - e}{e_0 - e_1}$$

dengan ;

- U = derajat konsolidasi pada saat tertentu dimana U antara (0 – 100)%
- $e_0$  = angka pori awal sebelum terjadi konsolidasi
- $e_1$  = angka pori akhir konsolidasi
- e = angka pori pada waktu saat perhitungan

Besarnya derajat konsolidasi ini dapat ditentukan dari kurva hubungan  $e - p'$ .



Gambar VI.4 Hubungan  $e-p'$

Andai hubungan  $e-p'$  berupa linier maka persamaan derajat konsolidasi (U) dapat dinyatakan ;

$$U = \frac{p_1' - p_0'}{p_1' - p_0'}$$

Pada grafik dapat dihitung

$$p_1' = p_0' + \mu_i = p' + \mu$$

sehingga ;

$$U = \frac{p_1' - \mu - p_0'}{p_1' - p_0'} = \frac{p_0' + \mu_i - \mu - p_0'}{p_0' + \mu_i - p_0'} = \frac{\mu_i - \mu}{\mu_i} = 1 - \frac{\mu}{\mu_i}$$

dengan :

- $\mu$  = kelebihan tekanan air pori pada waktu tertentu
- $\mu_0$  = tekanan air pori awal
- $\mu_i$  = kelebihan tekanan air pori yang terjadi sesudah kenaikan tegangan

### b. Teori konsolidasi satu dimensi

Menurut terzaghi (1925) dengan anggapan ;

- a. Tanah homogen

- b. Tanah lempung jenuh sempurna
- c. Partikel pada dan air tidak mudah mampat
- d. Arah pemampatan dan aliran air pori vertikal
- e. Regangan kecil
- f. Berlaku hukum Darcy
- g. Koefisien permeabilitas (k) dan koefisien perubahan volume ( $m_v$ ) konstan
- h. Ada hubungan khusus antara angka pori dan tegangan efektif.

Hubungan koefisien konsolidasi dengan permeabilitas ditentukan ;

$$C_v = \frac{k}{\gamma_w m_v}$$

Faktor waktu adalah ;

$$T_v = \frac{C_v t}{H^2}$$

dimana ,

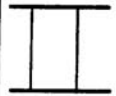


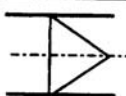
H = lintasan drainase terpanjang

T<sub>v</sub> = faktor waktu

**Tabel VI.1** Hubungan vaktor waktu (T<sub>v</sub>) & derajat konsolidasi

Derajat konsolidasi (U%)	Faktor waktu (T <sub>v</sub> )		
	Kasus 1a dan 1b	Kasus 2	Kasus 3
0	0	0	0
10	0,008	0,048	0,050
20	0,031	0,090	0,101
30	0,071	0,115	0,157
40	0,126	0,207	0,220
50	0,197	0,281	0,294
60	0,287	0,371	0,384
70	0,403	0,488	0,501
80	0,567	0,652	0,665
90	0,848	0,933	0,946
100	∞	∞	∞

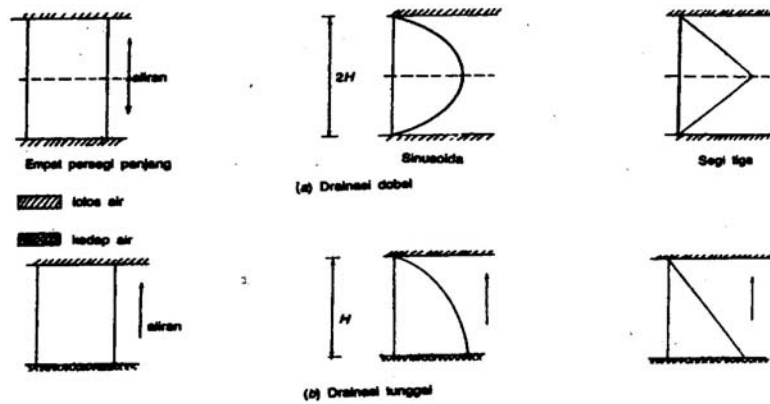
			
<b>Kasus 1</b>	<b>Kasus 2</b>	<b>Kasus 3</b>	<b>Kasus 3</b>

**Kasus 1**

Nilai – nilai hubungan U dan T<sub>v</sub> dalam kondisi tekanan air pori awal (u<sub>i</sub>) sama besar diseluruh lapisannya,

**Kasus 2 dan kasus 3**

Tekanan air pori tidak sama besar diseluruh lapisannya.



Gambar VI.5 Variasi kondisi aliran air pori

Casagrande dan Taylor mengusulkan hubungan antara  $U$  dan  $T_v$

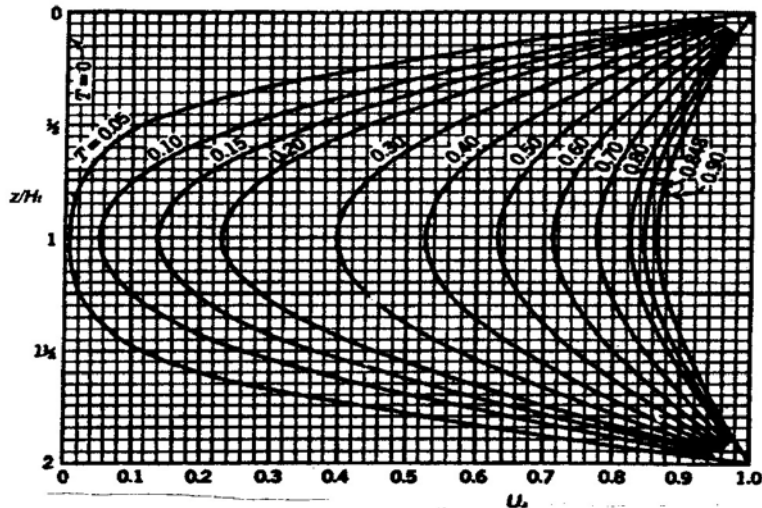
$$U < 60\% \text{ maka } T_v = (\pi/4)U^2$$

$$U > 60\% \text{ maka } T_v = -0,933 \log (1-U) - 0,085 \text{ atau}$$

$$T_v = 1,781 - 0,933 \log (100 - U)$$

Ketinggian  $H$  yang digunakan untuk menentukan faktor waktu adalah ;

- Seluruh tebal lapisan tanah untuk drainase tunggal
- Setengah dari tebal lapisan untuk drainase double



Gambar VI.6 Hubungan derajat konsolidasi ( $U_z$ ) dengan faktor waktu  $T_v$

### VI.6 Koefisien konsolidasi ( $C_v$ )

Kecepatan penurunan konsolidasi dapat dihitung dengan menggunakan koefisien konsolidasi  $C_v$ , derajat konsolidasi pada sembarang waktu dapat ditentukan dengan menggambar grafik penurunan vs waktu untuk satu beban tertentu.



Penentuan besaran  $C_v$  dapat ditentukan dengan 2 metode yaitu ;

**1). Metode kecocokan Log-Waktu**

Prosedur penentuan  $C_v$  diusulkan oleh Casagrande dan Fadum (1940). Prosedur sebagai berikut ;

- a. Gambarkan grafik penurunan terhadap log waktu untuk beban yang diterapkan
- b. Titik awal kurva ditentukan (mendekati parabola). Tentukan dua titik yaitu pada saat  $t_1$  (titik P) dan  $4t_1$  (titik Q). Jarak vertikal PQ diukur (misalnya  $x$ ). Kedudukan  $R = R_0$  digambar dengan mengukur jarak  $x$  vertikal diatas titik P.
- c. Titik  $U = 100\%$ , atau  $R_{100}$  diperoleh dari titik potong dua bagian linier kurva, yaitu titik potong bagian lurus konsolidasi primen dan sekunder.
- d. Titik  $U = 50\%$  ditentukan dengan

$$R_{50} = (R_0 + R_{100})/2$$

Dari sini diperoleh  $t_{50}$ . Nilai  $T_v$  sehubungan dengan  $U = 50\%$  adalah 0,197 (**Tabel VI.1**) sehingga  $C_v$  dinyatakan dalam persamaan ;

$$C_v = \frac{0,197 H_t^2}{t_{50}}$$

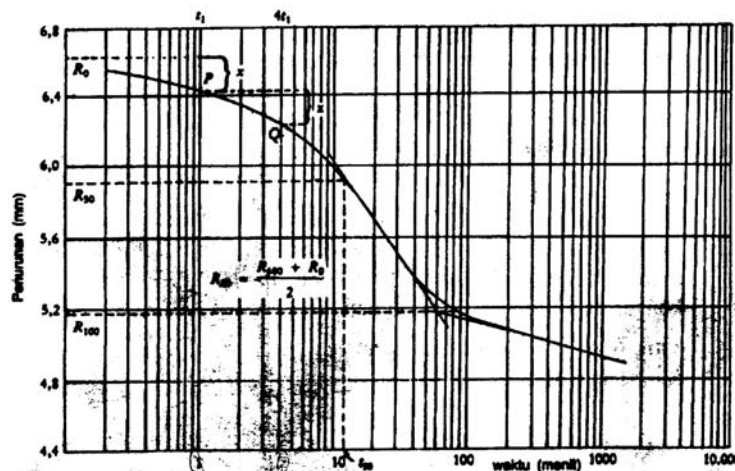
dengan ;

$C_v$  = koefisien konsolidasi ( $m^2/dt$ )

$H_t$  = tinggi rata – rata sampel (m)

$t_{50}$  = waktu untuk derajat konsolidasi 50% (dt)

Pada uji konsolidasi dengan drainase atas bawah (dobel), nilai  $H$  diambil  $\frac{1}{2}$  dari tebal rata-rata benda uji, jika drainase satu arah saja maka  $H_t = H$ .



**Gambar VI.7** Grafik kecocokan log – waktu (Casagrande, 1940)

**2). Metode akar waktu**

Metode ini digunakan untuk menentukan nilai Cv dengan menggambarkan grafik hubungan akar waktu terhadap penurunan. Kurva biasanya linier sampai dengan 60% konsolidasi. Kurva ini untuk menentukan derajat konsolidasi U = 90%, dimana disini absis OR akan sama dengan 1,15 kali absis OQ. Untuk memperoleh derajat konsolidasi U = 90% adalah sebagai berikut ;

Gambarkan grafik hubungan penurunan vs akar waktu dari data hasil uji konsolidasi

Titik U = 0% diperoleh dengan memperpanjang garis dari bagian awal kurva yang lurus sehingga memotong ordinat di titik P dan absisi dititik Q

Garis lurus PR digambar dengan absis OR = 1,15 x absis OQ. Perpotongan PR dengan kurva merupakan titik R90 pada absis. dari sini diperoleh  $\sqrt{t_{90}}$

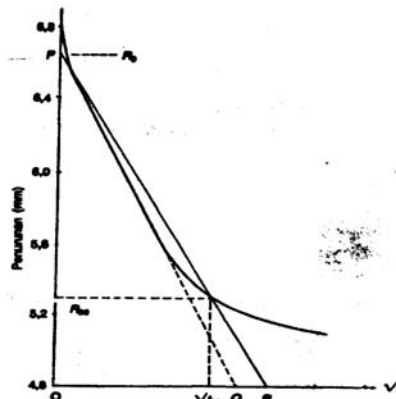
Tv untuk konsolidasi U = 90% adalah 0,848 dan koefisien konsolidasi Cv dinyatakan dengan persamaan ;

$$C_v = \frac{0,848 H_t^2}{t_{90}}$$

Cv = koefisien konsolidasi (m<sup>2</sup>/dt)

H<sub>t</sub> = tinggi rata – rata sampel (m)

t<sub>50</sub> = waktu untuk derajat konsolidasi 90% (dt)



**Gambar VI.8** Metode akar waktu (Taylor, 1948)

Jika menghitung batas konsolidasi primer (U = 100%), titik R100 pada kurva dapat diperoleh dengan perbandingan kedudukannya.

**Contoh Soal - 1**

Pada uji konsolidasi pada penambahan tekanan dari 50 kN/m<sup>2</sup> sampai 100 kN/m<sup>2</sup> diperoleh data hubungan waktu dan penurunan seperti ;

**Tabel CVI.1**

Waktu (menit)	Tebal Contoh (cm)
0	1,9202
0,25	1,9074
1	1,8819
2,25	1,8655
4	1,8510
6,25	1,8423
9	1,8366
12,25	1,8320
16	1,8288
20,25	1,8278
40	1,8251
120	1,8199
400	1,8177
1440	1,8123

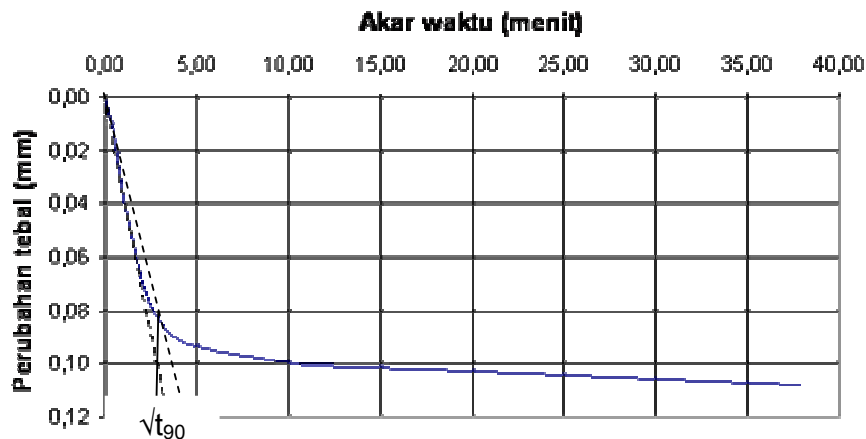
Hitunglah koefisien konsolidasi ( $C_v$ ) dengan cara ;

- Taylor
- Casagrande

**Penyelesaian ;**

**a. Taylor**

Buat grafik hubungan  $\sqrt{t}$  dan perubahan ketebalan ( $\Delta H$ )



**Gambar CVI.2** Hubungan penurunan dengan akar waktu

Dari kurva diperoleh  $\sqrt{t_{90}} = 2,6$  menit, diperoleh  $t_{90} = 2,6^2 = 6,76$  menit

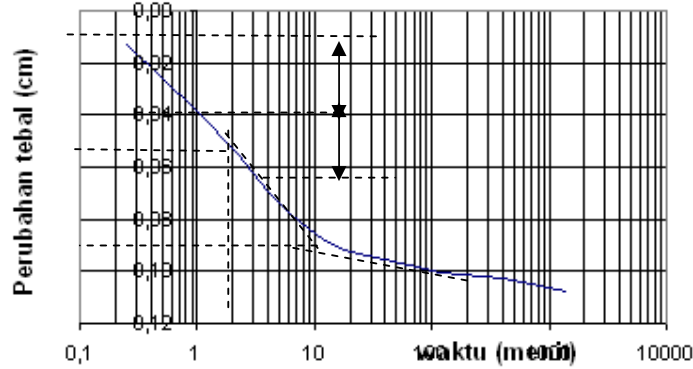
H rata-rata =  $\frac{1}{2}(1,9202 + 1,8123) = 1,8663$  cm

Drainase dua arah,  $H_t = \frac{1}{2} \times 1,8663 = 0,9331$  cm

$$C_v = \frac{0,848Ht^2}{t_{90}} = \frac{0,848 \times 0,9331^2}{6,76 \times 60} = 18,20 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 / \text{dt}$$

**b. Casagrande**

Buat kurva hubungan penurunan dengan log t



**Gambar CVI. 3** Hubungan penurunan dengan log waktu

Dari kurva diperoleh  $t_{50} = 1,7$  menit

$$C_v = \frac{0,197H_i^2}{t_{50}} = \frac{0,197 \times 0,9331^2}{1,7 \times 60} = 17 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 / \text{dt}$$

**Contoh soal -2**

Uji konsolidasi pada tanah lempung normally consolidated untuk kenaikan tegangan dari 100 kN/m<sup>2</sup> ke 200 kN/m<sup>2</sup>, dicapai  $t_{50} = 15$  menit. Tinggi benda uji rata-rata 1,903 cm. Pada saat  $p_1' = 100$  kN/m<sup>2</sup> diperoleh  $e_1 = 1$  dan saat  $p_2' = 200$  kN/m<sup>2</sup> diperoleh  $e_2 = 0,91$ , tentukan nilai  $C_v$  dan koefisien permeabilitas ( $k$ )

**Penyelesaian ;**

$$C_v = \frac{0,197H_i^2}{t_{50}} = \frac{0,197 \times \left[ \left( \frac{1}{2} \right) (1,903) \times 10^{-2} \right]^2}{15 \times 60} = 1,97 \times 10^{-8} \text{ m}^2 / \text{dt}$$

$$C_v = \frac{k}{\gamma_w m_v} \text{ dimana } m_v = \frac{\Delta e}{\Delta p'(1+e)} = \frac{1-0,91}{(200-100)(1+0,955)} = 0,00046 \text{ m}^2 / \text{kN}$$

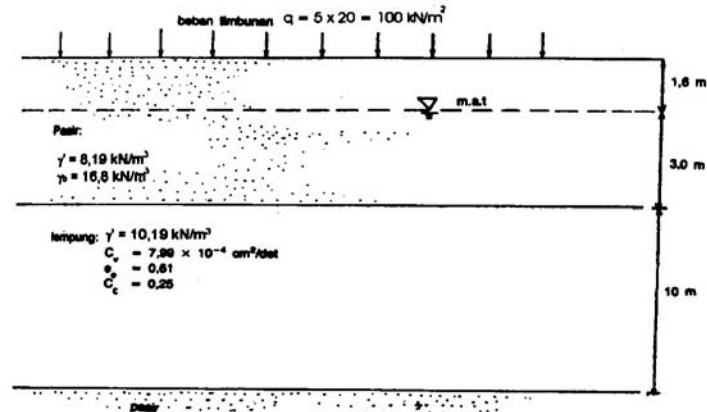
Dimana nilai  $e$  disini diambil rata-rata yaitu  $e = \frac{1}{2}(1 + 0,91) = 0,955$

Sehingga ;

$$k = C_v \partial w \cdot m_v = (1,97 \times 10^{-8})(9,81)(0,00046) = 8,9 \times 10^{-11} \text{ m/dt}$$

**Contoh soal – 3**

Lapisan lempung homogen tebal 10 m terletak ditengah-tengah lapisan pasir kerikil seperti tergambar ;



Gambar CVI. 4 Kondisi lapisan tanah pada soal

Koefisien konsolidasi rata-rata  $C_v = 7,99 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{dt}$

- Hitunglah derajat konsolidasi tanah lempung saat 7 tahun sesudah beban bekerja penuh, dihitung pada ketebalan lempung 2, 4, 6, 8 dan 10 meter.
- Bila tanah timbunan dengan tebal 5 m dihamparkan pada tanah yang sangat luas diatas pasir dengan berat volume 20 kN/m<sup>3</sup>, perkirakan kelebihan tekanan air pori yang tersisa pada lempung pada kedalaman 2,4,6,8 dan 10 m
- Hitung waktu yang dibutuhkan untuk terjadinya penurunan sebesar 0,20 m, bila lempung normally consolidated

**Penyelesaian ;**

- Menghitung derajat konsolidasi,

$$T_v = \frac{C_v t}{H_t^2} = \frac{7,99 \times 10^{-8} (7 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60)}{(0,5 \times 10)^2} = 0,71 \quad \text{satuan } C_v \text{ dijadikan } \text{m}^2/\text{dt}$$

$$H_t = \frac{1}{2} 10 = 5 \text{ m}$$

**Tabel CVI. 2**

z (m)	z/Ht	U <sub>z</sub> (%) (Gambar II.13)	μ <sub>z</sub> (kn/m <sup>2</sup> ) = (1-U <sub>z</sub> )μ <sub>i</sub>
2	0,4	87	13
4	0,8	79	21
6	1,2	79	21
8	1,4	87	13
10	2	100	0

- Beban tambahan akibat timbunan  $\Delta p = \partial h = 20 \times 5 = 100 \text{ kN/m}^2$

dalam waktu jangka pendek ( t = 0 ) dengan beban 1 dimensi maka

$$\Delta p = \Delta \mu = 100 \text{ kN/m}^2$$

Dari derajat konsolidasi  $U_z = \frac{u_i - u}{u_i}$  diperoleh  $\mu = (1 - U_z)\mu_i$

dengan ;

$\mu$  = kelebihan tekanan air pori saat  $t = t_i$

$\mu_i$  = kelebihan tekanan air pori awal = 100 kN/m<sup>2</sup>

Perhitungan selanjutnya kolom 4 tabel diatas.

c. Waktu yang dibutuhkan bila penurunan konsolidasi 0,20 m

$$\text{Lempung normally } S_c = C_c \frac{H}{1 + e_o} \log \frac{p_o' + \Delta p}{p_o'}$$

Tekanan overburden efektif ditengah lempung

$$\begin{aligned} p_o' &= 1,6 \times 16,8 + 3 \times 8,19 + 5 \times 10,19 \\ &= 102,4 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Karena areal beban terbagi rata sangat luas maka faktor pengaruh = 1, sehingga

$$\Delta p = qI = 100 \times 1 = 100 \text{ kN/m}^2$$

Sehingga

$$S_c = 0,25 \frac{10}{1 + 0,61} \log \frac{102,4 + 100}{102,4} = 0,46m$$

Derajat konsolidasi

$$U = \frac{S_t}{S_c} = \frac{0,20}{0,46} = 0,435 < 60\% \text{ maka berlaku persamaan,}$$

$$T_v = (\pi/4)U^2 = 1/4 (3,14)(0,435)^2 = 0,149$$

Dari persamaan

$$t = \frac{T_v H t^2}{C_v} = \frac{0,149 \times 500^2}{7,99 \times 10^{-4}} = 46620776 \text{ dt} = 1,478 \text{ tahun}$$

#### Contoh soal – 4

Uji konsolidasi pada contoh tanah 20 mm yang diberi tegangan 100 s/d 200 kN/m<sup>2</sup>, diperoleh hasil ;

**Tabel CVL.3**

Waktu (menit)	Tebal contoh (mm)
0,25	19,80
1	19,63
2,25	19,50
4	19,42
9	19,26

16	19,11
25	19,01
36	18,85
49	18,69
64	18,53
81	18,41
100	18,27
121	18,20
144	18,10
169	18,03
196	18,00

Sesudah 24 jam contoh menjadi 17,62 mm,

- Gambarkan diagram penurunan terhadap akar waktu
- Tentukan besarnya koefisien konsolidasi
- Jika perubahan volume ( $m_v$ ) tanah  $0,0001 \text{ m}^2/\text{kN}$ , tentukan koef permeabilitas
- Berapa waktu yang dibutuhkan lapisan tanah di lapangan setebal 3 m agar tanah ini mencapai 50% konsolidasi total

**Penyelesaian ;**

- Diagram hubungan penurunan dengan akar waktu

**Tabel CVI.4**

Waktu (menit)	Tebal contoh (mm)	Akar waktu
0,25	19,8	0,5
1	19,63	1
2,25	19,5	1,5
4	19,42	2
9	19,26	3
16	19,11	4
25	19,01	5
36	18,85	6
49	18,69	7
64	18,53	8
81	18,41	9
100	18,27	10
121	18,2	11
144	18,1	12
169	18,03	13
196	18	14



**Gambar CVI. 5** Curva hubungan akar waktu dengan penurunan

b. Koefisien konsolidasi

dari diagram diperoleh  $\sqrt{t_{90}} = 13$  menit, maka  $t_{90} = 169$  menit

$$H_t = \frac{1}{2} (20 + 17,62)/2 = 9,405 \text{ mm}$$

$$C_v = \frac{0,848 H_t^2}{t_{90}} = \frac{0,848 \times 9,405^2}{169 \times 60} = 7,4 \times 10^{-3} \text{ mm}^2 / dt = 7,4 \times 10^{-9} \text{ m}^2 / dt$$

c.  $k = C_v \partial w \cdot mv = 7,4 \times 10^{-9} \cdot 9,81 \cdot 0,0001 = 7,26 \times 10^{-12} \text{ m/dt}$

d.  $t_{50} = \frac{0,197 H_t^2}{C_v} = \frac{0,197 \times 1,5^2}{7,4 \times 10^{-9}} = 0,06 \times 10^9 \text{ dt} = 1,90 \text{ tahun}$

### Contoh – 5

Lapisan lempung dibebani oleh fondasi dan mengalami penurunan konsolidasi 30 mm dalam waktu 360 hari. Dari uji konsolidasi laboratorium, penurunan tersebut merupakan penurunan 25% konsolidasi totalnya. Tentukan estimasi hubungan waktu terhadap penurunan untuk periode 10 tahun, jika drainase 2 arah.

### Penyelesaian

Pada  $U = 25\%$  yang terjadi pada 360 hari, penurunan konsolidasi yang terjadi  $S_t = U S_c = 30$  mm,

$$S_c = S_t / U = 30 / 0,25 = 120 \text{ mm}$$

Untuk  $U < 60\%$ , berlaku ;



$$T_v = (\pi/4)U^2$$

$$U = \sqrt{\frac{4 T_v}{\pi}} = 1,13\sqrt{T_v} = 1,13\sqrt{\frac{C_v t}{Ht^2}} = 1,13\sqrt{\frac{C_v \times 360}{Ht^2}} = 25\%$$

Lanjutan dari perhitungan diatas diperoleh ;

$$\sqrt{\frac{C_v}{Ht^2}} = 0,012$$

Sehingga untuk  $U < 60\%$  berlaku ;

$$U = \sqrt{\frac{4 T_v}{\pi}} = 1,13\sqrt{\frac{C_v t}{Ht^2}} = 1,13 \cdot \sqrt{t} \cdot 0,012 \text{ atau}$$

$$t = 5439 U^2 \text{ hari}$$

$U > 60\%$  maka  $T_v = -0,933 \log (1-U) - 0,085$

$$t = Ht^2/C_v \times T_v = (1/0,012)^2 \times T_v = 6944,44 T_v \text{ hari}$$

$$t = 6944,44 \times (-0,933 \log (1-U) - 0,085) \text{ hari}$$

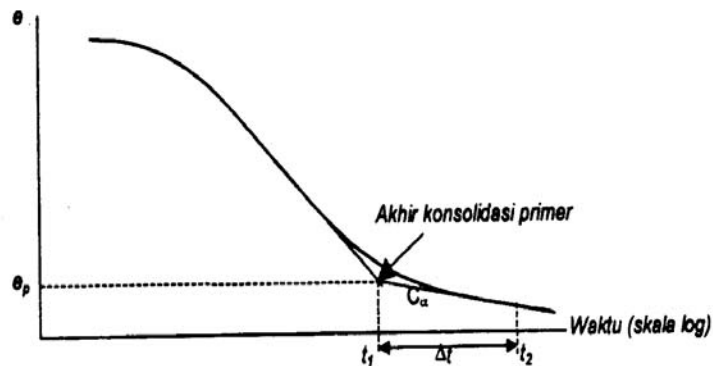
Perhitungan secara tabelaris,

**Tabel CVL.5**

U	T <sub>v</sub>	t = $\frac{T_v Ht^2}{C_v}$		Penurunan pada waktu t St = U Sc (mm)
		hari	tahun	
0,00	-	0	0,00	0
0,20	-	218	0,60	24
0,25	-	340	0,93	30
0,50	-	1360	3,73	60
0,60	0,287	1988	5,45	72
0,70	0,403	2798	7,67	84
0,80	0,567	3938	10,79	96
0,90	0,848	5889	16,13	108

#### IV. 16 Konsolidasi Sekunder.

Konsolidasi sekunder terjadi jika konsolidasi primer sudah selesai, merupakan kemiringan bagian akhir pada kurva-kurva diatas. Untuk memperoleh kemiringan sekunder pada kurva perlu memperpanjang pengamatan di laboratorium, ini akan mempermudah hitungan kemiringan kurva kompresi sekunder  $C_\alpha$  (lihat gambar).



Gambar VI.9 Penentuan indeks pemampatan sekunder

Dari gambar diperoleh **Indeks pemampatan sekunder** ( $C_{\alpha}$ ) ;

$$C_{\alpha} = \frac{\Delta e}{\log(t_2 / t_1)}$$

**Rasio pemampatan sekunder**

$$C_{\alpha e} = \frac{C_{\alpha}}{1 + e_p}$$

**Penurunan konsolidasi sekunder**

$$S_s = H \frac{C_{\alpha}}{1 + e_p} \log \frac{t_2}{t_1}$$

dengan ;

$e_p$  = angka pori saat konsolidasi primer selesai

$H$  = tebal benda uji awal atau tebal lapisan tanah yang ditinjau.

$t_2$  =  $t_1 + \Delta t$

$t_1$  = waktu saat konsolidasi primer selesai

Penurunan akibat konsolidasi sekunder dihitung terpisah, nilai yang diperoleh ditambahkan dengan nilai penurunan konsolidasi primernya dan penurunan segera. Nilai  $C_{\alpha}$  dapat diperoleh dari grafik hubungan angka pori ( $e$ ) terhadap waktu ( $t$ ) (**Gambar VI.9**).

Menurut Terzaghi (1948), faktor yang mempengaruhi terjadinya konsolidasi sekunder ;

- a. Pengurangan volume tanah pada tegangan efektif konstan
- b. Regangan vertikal akibat gerakan tanah secara lateral dibawah strukturnya

Sedangkan penelitian dari Ladd (1971), Raymond dan Wahls (1976) menyimpulkan sbb ;

- a.  $C_{\alpha}$  tidak tergantung dari waktu
- b.  $C_{\alpha}$  tidak tergantung dari tebal lapisan tanah
- c.  $C_{\alpha}$  tidak tergantung dari LIR selama konsolidasi primer terjadi

d. Nilai banding  $C\alpha/C_c$  secara pendekatan adalah konstan kebanyakan lempung terkonsolidasi normal.

Besarnya nilai dari  $C\alpha/C_c$  seperti didalam tabel dibawah ini ;

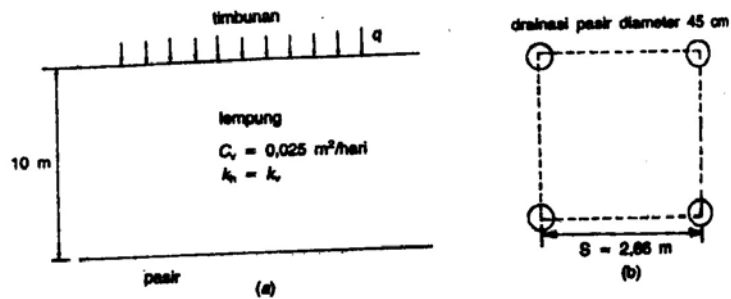
**Tabel VI.2** Nilai  $C\alpha/C_c$  untuk berbagai tanah (Mesri & Goldlewski)

Macam Tanah	$C\alpha/C_c$
Lanau Organik	0,035-0,06
Gambut <i>amorphous</i> dan <i>fibrous</i>	0,035-0,085
Muskeg Kanada	0,09-0,10
Lempung Leda (Kanada)	0,03-0,06
Lempung Swedia <i>post-glacial</i>	0,05-0,07
Lempung biru lunak (Victoria, B.C.)	0,025
Lanau dan lempung organik	0,04-0,06
Lempung sensitif, Portland, ME	0,025-0,055
Mud Teluk San Francisco	0,04-0,06
Lempung <i>varved</i> New Liskeard (Kanada)	0,03-0,06
Lempung Mexico City	0,03-0,035
Lanau Hudson River	0,03-0,06
Lanau lempung organik New Hagen	0,04-0,075

**Contoh soal**

Suatu timbunan dihampar diatas tanah lempung. Untuk mempercepat penurunan digunakan drainase vertikal . diperkirakan penurunan terjadi 30 cm. Drainase pasir diameter 45 cm sejarak 2,66m, disusun secara bujur sangkar. Hitung penurunan konsolidasi lempung akibat ranah timbunan pada waktu-waktu  $t = 0; 0,25; 0,5; 0,75$  tahun.

Penyelesaian ;



**Gambar CVI.6** Kondisi tanah menurut soal

Drainase vertikal berlaku rumus ;

$$T_v = \frac{C_v t}{H_i^2} \quad T_r = \frac{C_h t}{4R^2} \quad t = \frac{D^2}{8C_h} F(n) \ln\left(\frac{1}{1-U_r}\right) \quad U_r = 1 - e^{-[8T / FF(n)]}$$

$$(1-U) = (1-U_v)(1-U_r) \text{ atau } U = 1 - (1-U_v)(1-U_r)$$

dengan ;

$$F(n) = \ln(D/d) - 0,75$$

D = diameter silinder yang dipengaruhi drainase vertikal

d = diameter drainase pasir

Ur = derajat konsolidasi rata-rata arah horizontal

t = waktu yang dibutuhkan untuk mencapai Ur

Ch = koefisien konsolidasi arah horizontal

Uv = derajat konsolidasi rata-rata akibat drainase arah vertikal

Faktor waktu untuk drainase vertikal ;

$$T_v = \frac{C_v t}{H^2} = \frac{0,025 \times 365 t}{5^2} = 0,365 t \text{ tahun}$$

Jari-jari ekuivalen untuk susunan bujur sangkar

$$R = 0,564 s = 0,564 \times 2,66 = 1,5 \text{ m}$$

$$D = 2 R = 2 \times 1,5 = 3 \text{ m}$$

Karena  $k_v = k_h$ , maka  $C_v = C_h$

$$T_r = \frac{C_h t}{4R^2} = \frac{0,025 \times 365 t}{4 \times 1,5^2} = 1,05 t \text{ tahun}$$

Drainase arah vertikal dengan menganggap  $U_v < 60\%$ , maka berlaku

$$U_v = \sqrt{\frac{4T_v}{\pi}}$$

Arah radial

$$U_r = 1 - e^{[-8T / FF(n)]}$$

$$F(n) = \ln(D/d) - 0,75 = \ln(3/0,45) - 0,75 = 1,15$$

Hitungan selanjutnya berupa tabelaris ;

**Tabel CVI. 6**

t tahun	Tv	Uv	Tr	Ur	U	St = U x 30 ( cm )
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	<b>0,00</b>
0,25	0,091	0,341	0,263	0,839	0,894	<b>26,82</b>
0,50	0,183	0,482	0,525	0,974	0,987	<b>29,60</b>
0,75	0,274	0,591	0,788	0,996	0,998	<b>29,95</b>