

# **ANALISA PENURUNAN PADA BANGUNAN BERTINGKAT (Studi Literatur)**



## **TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat  
Ujian Sarjana

Oleh :

**SUGIMAN**  
NIM : 00.811.0021



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA M E D A N**  
**2005**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 22/7/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat rahmat dan karunia-Nya yang telah melindungi dan membimbing penulis dalam penyusunan Skripsi ini dengan judul **“Analisa Penurunan pada Bangunan Bertingkat”**. Skripsi ini disusun berdasarkan kumpulan dari beberapa buku yang merupakan hasil pemikiran para ilmuwan yang ternama. Dengan berdasarkan buku inilah dapat kita jadikan sebagai acuan pembuatan skripsi yang dapat dijadikan sebagai pedoman yang direalisasikan.

Penulisan Skripsi ini dilakukan guna memenuhi persyaratan perolehan Gelar Sarjana Teknik dari Fakultas teknik Jurusan Sipil Universitas Medan Area. Dalam penulisan skripsi ini penulis telah berupaya dengan segala kemampuan yang ada, namun penulis menyadari bahwa seperti ungkapan *“tiada gading yang tidak retak”*, untuk itu dengan rendah hati penulis bersedia menerima saran serta kritik yang konstruktif sebagai sumbangan pikiran dari pembaca demi kesempurnaan skripsi ini.

Selama penulisan Skripsi ini penulis telah banyak menerima bantuan moril maupun materil dari berbagai pihak, dan pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya :

1. Ibu Yayasan Pendidikan H. Agus Salim (YPHAS) Universitas Medan Area
2. Bapak Zulkarnain Lubis, MS, selaku Rektor Universitas Medan Area
3. Bapak Drs. Dadan Ramdan, Meng, Msc, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
4. Bapak Ir. H. Edy Hermanto, selaku Kepala Program Studi Jurusan Sipil

5. Bapak Ir. Zainal Arifin, MSc, selaku Dosen Pembimbing A yang memberikan petunjuk dan pengarahan dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Ibu Ir. Rio Ritha Sembiring, selaku Dosen Pembimbing B yang memberikan petunjuk dan pengarahan dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Seluruh Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil dan Khususnya dan seluruh Staf Pengajar Fakultas Teknik pada umumnya, yang telah membekali ilmu pengetahuan kepada penulis selama di bangku perkuliahan.
8. Rekan-rekan Mahasiswa dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis dengan Tulus hati mengharapkan saran serta kritik yang konstruktif agar Penulis masa yang akan datang dapat berbuat lebih baik dan semoga Tugas Akhir ini dapat berguna.

Demikianlah Skripsi ini Penulis perbuat semoga dapat bermanfaat bagi kita semua. Amien ya rabbal'alamien.

Medan, Februari 2005  
Penulis

(SUGIMAN)  
00.811.0021

## ABSTRAK

Penulisan tugas akhir ini adalah mengenai komposisi tanah, yaitu salah satu materi yang penting dalam ilmu mekanika tanah.

Konsolidasi merupakan suatu penurunan lapisan tanah yang tergantung kepada waktu, akibat bekerjanya tegangan terhadap tanah-tanah berbutir halus yang jenuh ataupun hampir jenuh.

Jangka waktu terjadinya konsolidasi ini tergantung kepada bagaimana cepatnya tekanan pori yang berlebihan akibat beban yang bekerja dapat dihilangkan. Karena itu koefisien permabilitas merupakan faktor penting.

Pada bab pendahuluan umum diuraikan mengenai jenis-jenis penurunan dan sebab-sebab konsolidasi menjadi suatu materi yang penting untuk dipelajari.

Dalam bab kedua diuraikan mengenai proses konsolidasi settlement (penurunan) kelompok tiang pancang, teori Terzhagi untuk konsolidasi suatu dimensi, cara menghitung besar dan lamanya konsolidasi, juga dilengkapi dengan penurunan dan pemecahan rumus.

Selanjutnya dalam bab ketiga diuraikan secara singkat mengenai penyebaran tegangan dalam tanah dengan cara Boussinesq, Newmark dan Westergaard, untuk mengetahui besarnya tegangan-tegangan tanah, sehingga dapat diketahui proses konsolidasi tanah pada kedalaman yang diinginkan.

Dalam bab keempat dijelaskan mengenai percobaan laboratorium, peralatan yang dipakai, persiapan benda uji, prosedur percobaan, dan cara perhitungan serta menggambarkan kurva hasil percobaan.

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 22/7/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber  
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (Repository.uma.ac.id)22/7/24

Dalam bab kelima diberikan sebuah contoh soal sebagai aplikasi dari teori bab-bab sebelumnya. Sehingga penulisan tugas akhir ini semakin lengkap dan mudah dimengerti.

Dalam bab penutup diutarakan beberapa kesimpulan sehubungan dengan masalah konsolidasi tersebut.

Demikianlah penulisan mengenai konsolidasi ini diuraikan dalam bab per bab. Adapun selain konsolidasi masih ada jenis-jenis penurunan lainnya yang memberi pengaruh pada bangunan, seperti penurunan rangkak (penurunan sekunder), tetapi tidak diuraikan lebih lanjut pada penulisan tugas akhir ini.



Dalam bab kelima diberikan sebuah contoh soal sebagai aplikasi dari teori bab-bab sebelumnya. Sehingga penulisan tugas akhir ini semakin lengkap dan mudah dimengerti.

Dalam bab penutup diutarakan beberapa kesimpulan sehubungan dengan masalah konsolidasi tersebut.

Demikianlah penulisan mengenai konsolidasi ini diuraikan dalam bab per bab. Adapun selain konsolidasi masih ada jenis-jenis penurunan lainnya yang memberi pengaruh pada bangunan, seperti penurunan rangkak (penurunan sekunder), tetapi tidak diuraikan lebih lanjut pada penulisan tugas akhir ini.



## ABSTRACTION

Writing of this final duty is to regarding land;ground composition, that is one of the important items in land;ground mechanics.

Consolidation represent degradation of depended geology to time, effect of working of tension to granulous land;grounds saturated refinement and or saturated almost.

Duration the happening of this consolidation depended to how quickly it[him] abundant pore pressure effect of laboring burden can be eliminated. In consequence permabilitas koefesien represent important factor.

At chapter antecedent of placenta public concerning degradation types and consolidation causes become a[n] important items to be studied.

In elaborated second chapter to regarding consolidation process of settlement of piling group, theory of Terzhagi for consolidation a[n] dimension, way of calculating big and the duration consolidation, also provided with degradation and resolving of formula.

Hereinafter in outlined third chapter to regarding spreading of tension in land;ground by Boussinesq, Newmark and of Westergaard, to know the level of land;ground tensions, so that can know land;ground consolidation process wanted deepness.

In explained fourth chapter to attempt of laboratory, equipments weared, preparation of test object, attempt procedure, and way of calculation and also depict curve result of attempt.

In given fifth chapter a problem example as application of previous other chapters theory. So that writing of this complete final duty progressively understood easy and.

In chapter phrased some conclusion referring to problem of consolidation.

The above is true writing concerning this consolidation elaborated in chapter per chapter. As for besides degradation type consolidation there still be other which give influence building, like degradation crawl (degradation of secondary) but not be elaborated furthermore writing of this final duty.

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 22/7/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)22/7/24

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>ABSTRAK</b> .....	iii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	viii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Umum .....	1
1.2 Latar Belakang .....	2
1.3. Maksud dan Tujuan .....	3
1.4. Permasalahan .....	3
1.5. Pembatasan Masalah .....	4
1.6. Metodologi .....	4
<b>BAB II KONSOLIDASI TANAH SATU DIMENSI</b> .....	5
2.1 Proses Konsolidasi .....	5
2.2 Settlement (Penurunan) kelompok tiang pancang .....	8
2.3 Teori Rezaghi Tentang Konsolidasi Satu Dimensi .....	10
2.4 Besarnya Penurunan Konsolidasi .....	13
2.4.1. Hubungan Void Ratio Dengan Tebal Contoh Tanah .....	13
2.4.2. Indeks Tekanan (Cuma-Cuma) .....	14
2.4.3. Rumus Besarnya Penurunan .....	17

UNIVERSITAS MEDAN AREA

Analisa Penurunan pada Bangunan Bertingkat dengan Tanah Konsolidasi

Document Accepted 22/7/24

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)22/7/24



2.5.1. Koefesien Kompresibilitas $a_v$ .....	18
2.5.2. Koefesien Volume Tekanan $m_v$ .....	19
2.5.3. Perumusan Koefesien Konsolidasi $c_v$ .....	20
2.5.4. Pemecahan Persamaan Konsolidasi .....	21
2.6. Metode Untuk Memperoleh Waktu Yang Diinginkan Guna Menghitung $c$ .....	30
2.6.1. Penggambaran Semilong .....	31
2.6.2. Penggambaran Akar Waktu .....	33
2.7. Konsolidasi Pada Media Berlapis .....	35
<b>BAB III PENYEBARAN TEGANGAN DALAM TANAH</b> .....	<b>36</b>
3.1. Cara Boussinesq .....	36
3.1.1. Beban Titik .....	37
3.1.2. Beban Garis .....	41
3.1.3. Daerah Lingkaran Dibebeani Merata .....	43
3.1.4. Daerah Persegi Dibebeani Merata .....	45
3.1.5. Daerah Persegi Dibebeani Merata .....	50
3.1.6. Bagan Pengaruh Newmark .....	51
3.2. Cara Westergaard .....	54
3.3. Perbandingan Antara Persamaan Boussinesq dan Westergaard .....	60
<b>BAB IV TEST LABORATORIUM</b> .....	<b>61</b>
4.1 Alat-alat Yang Dipakai Dan Kegunaannya .....	61
4.2 Persiapan Benda Uji .....	62
<b>UNIVERSITAS MEDAN AREA</b> Prosedur Percobaan .....	<b>62</b>

4.4	Data Percobaan .....	64
4.5	Perhitungan .....	64
4.6	Penggambaran Kurva Hasil Percobaan dan Gambar Set Alat Konsolidasi .....	72
<b>BAB V</b>	<b>APLIKASI / CONTOH SOAL</b> .....	<b>75</b>
<b>BAB IV</b>	<b>KESIMPULAN</b> .....	<b>78</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	.....	<b>80</b>



## DAFTAR NOTASI

$a_v$	= koefesien kompresibilitas (coefficient of compressibility)
$A$	= luas ; konstanta
$c_v$	= koefesien konsolidasi (coefficient of consolidation)
$c$	= konstanta
$c_c$	= indeks tekanan (compression index)
$c_s$	= indeks ekspansi (expansion or swelling index)
$d$	= diameter ; jalur drainase
$D$	= diformasi
$e$	= angka pori (void ratio)
$e_0$	= angka pori (void ratio) mula-mula
$A_e$	= perubahan angka pori (void ratio)
$f$	= fungsi dari
$G$	= berat jenis tanah
$h$	= tinggi/tebal tanah
$\Delta h$	= perubahan tinggi / tebal tanah
$i$	= gradien hidrolis
$l$	= influence value
$k$	= koefesien permeabilitas (rembesan)
$N_B$	= faktor pengaruh Boussinesq
$N_c$	= faktor pengaruh Westergaard
$n, n, N$	= bilangan bulat
$\alpha$	= koefesien volume tekanan (coefficient of volume change)
$\Sigma$	= jumlah unit area di bawah area pembebanan
$\sigma$	= tekanan
$\sigma$	= beban, gaya
$q$	= beban merata
$Q$	= beban titik

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 22/7/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)22/7/24

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Umum

Studi mekanik telah merupakan studi yang penting dalam teknik sipil, karena hampir seluruh pekerjaan teknik sipil selalu berkaitan dengan sifat-sifat tanah, apakah tanah itu dipergunakan sebagai bahan konstruksi ataupun sebagai sarana di mana suatu struktur di tempatkan di atasnya.

Salah satu masalah yang penting menjadi perhatian dalam ilmu mekanik tanah adalah masalah penurunan tanah. Penurunan terjadi karena tanah mendapat regangan setelah mengalami tegangan. Regangan ini disebabkan oleh gulingan, geseran, atau menggelincir dan terkadang juga kehancuran partikel-partikel tanah pada titik-titik kontak. Akumulasi statistik dari deformasi pada arah yang ditinjau ini adalah merupakan suatu regangan. Integrasi dari regangan (deformasi per satuan panjang) sepanjang dalam pengaruh panjang total disebut penurunan. Metode pengadaaan penurunan seperti ini sebagian besar tidak dapat mengembalikan tanah pada keadaan semula apabila tegangan ditiadakan, oleh karena pengurangan angka pori yang permanen telah dihasilkan.

Regangan-regangan pada tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus yang kering atau jenuh sebagian akan terjadi dengan segera sesudah bekerjanya tegangan. Ini disebut dengan penurunan seketika.

Bekerjanya tegangan terhadap tanah-tanah berbutir halus yang jenuh dan hampir jenuh akan menghasilkan regangan-regangan yang tergantung kepada waktu. Penurunan yang dihasilkan akan tergantung juga kepada waktu dan disebut penurunan konsolidasi.

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 22/7/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)22/7/24

Setelah terbentuknya penurunan konsolidasi, masih dapat terjadi lagi penurunan. Penurunan jenis ini disebut penurunan rangkak yang terutama terjadi pada tanah organis.

Banyak masalah-masalah pada bangunan, timbunan jalan dan sebagainya yang timbul oleh karena kurang menyadari bahwa penurunan konsolidasi merupakan proses yang lambat laun dapat berlangsung sampai bertahun-tahun lamanya hingga terjadinya penurunan akhir total yang besar. Seperti halnya kemiringan menara Pisa di Italia yang terjadi karena penurunan konsolidasi yang berbeda selama 700 tahun. Candi Borobudur sesudah berumur  $\pm$  1100 tahun sewaktu diukur tahun 1967 masih menunjukkan penurunan yang berlangsung terus (penurunan sekunder). Penurunan lainnya terjadi di daerah Mexico City sebanyak 5 meter dalam jangka waktu 50 tahun. Penurunan ini disebabkan oleh kombinasi tegangan dan akibat pemompaan air maupun minyak dari lapisan yang dapat tertekan. Pada jalan raya, benjolan-benjolan dapat pula terjadi karena konsolidasi tanah di bawahnya, walaupun sebagian besar benjolan-benjolan itu merupakan akibat dari kurang sempurnanya pemadatan.

Konsolidasi yang terjadi pada bangunan mengakibatkan terjadinya retakan-retakan, kesulitan dalam menutup pintu dan jendela, bahkan bisa mengakibatkan keruntuhan.

## 1.2 Latar Belakang

Untuk memperbaiki konstruksi-konstruksi yang mengalami penurunan, sampai saat ini belum diperoleh metode yang dapat menanggulangnya. Sehingga

### UNIVERSITAS MEDAN AREA

perencanaan penurunan pada perencanaan suatu konstruksi merupakan dokumen yang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

penting dan perlu diperhatikan, terutama pada bangunan yang nilai sejarah ataupun nilai materialnya tinggi.

Perkiraan penurunan konsolidasi pada tahap perencanaan biasanya tidak akan meleset jauh dengan kenyataan di lapangan. Kemungkinan melesetnya perkiraan tersebut lebih besar terjadi pada tanah organis atau tanah-tanah gambut, karena pada tanah jenis ini sering terjadi penurunan sekunder atau bisa disebut penurunan rangkak.

### 1.3 Maksud dan Tujuan

Adapun maksud dan tujuan “ANALISIS PENURUNAN PADA BANGUNAN BERTINGKAT”, yaitu untuk mengetahui besar dan lama terjadinya konsolidasi yang akan terjadi pada suatu lapisan tanah akibat beban bangunan di atasnya. Sehingga akibat yang merusak dari penurunan itu dapat dihindarkan.

### 1.4 Permasalahan

Masalah-masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah : proses konsolidasi, besarnya penurunan konsolidasi, lamaterjadinya konsolidasi, tingkat konsolidasi, konsolidasi pada media berlapis, juga masalah penyebaran tegangan dalam tanah.

Karena luasnya permasalahan mengenai konsolidasi ini, maka perlu diadakan pembatasan masalah agar pembahasan masalah lebih terarah. Untuk itu dalam pembahasan konsolidasi pada tugas akhir ini, dibatasi mengenai :

1. Konsolidasi yang dibahas adalah konsolidasi primer dalam ruang satu dimensi (konsolidasi satu dimensi)
2. Mengingat bangunan bertingkat pada umumnya dipakai pondasi dalam antara lain: tiang pancang, maka penurunan tiang panjang yang akan dibahas dalam tugas akhir ini.
3. Penyebaran tegangan dalam tanah adalah hanya untuk melengkapi perhitungan konsolidasi. Sehingga hanya diuraikan secara garis besar saja.
4. Pada penulisan skripsi ini, jenis bangunan bertingkat yang berada di atasnya tidak dibahas untuk membatasi pokok permasalahan agar lebih terfokus.

## 1.6 Metode

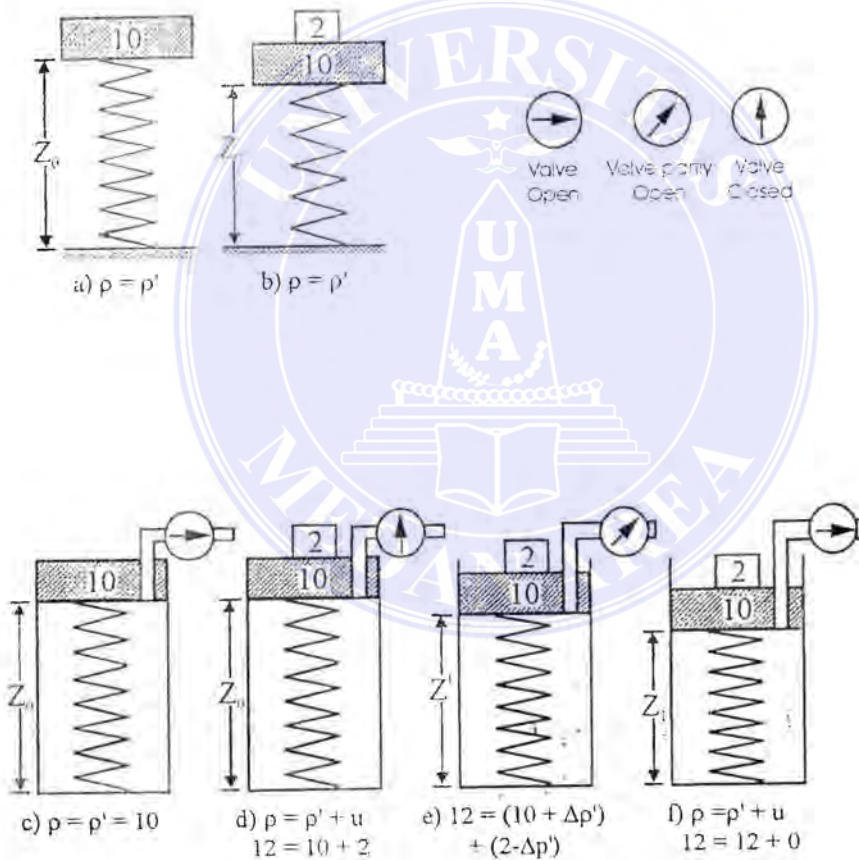
Dalam penulisan tugas akhir ini, metode yang digunakan adalah berupa studi perpustakaan/literature yaitu berdasarkan bahan-bahan tulisan yang diambil dari buku-buku yang dapat dilihat pada halaman daftar pustaka.

## BAB II

### KONSOLIDASI TANAH

#### 2.1. Proses konsolidasi (Analogi pegas)

Mekanisme konsolidasi didemonstrasikan oleh Terbagi dengan piston dan analog pegas.



Gambar 2.1  
Analogi Pegas



$p$  = tekanan total

$p'$  = tekanan pada pegas

$Z_0$  = panjang pegas pada tekanan 10 unit

$Z_1$  = panjang pegas pada tekanan 12 unit

$Z'$  = panjang pegas pada saat perpindahan tekanan 2 unit yang dipikul semua oleh air ke pegas

$u$  = tekanan pada air

$\Delta p'$  = tekanan perpindahan dari air ke pegas dengan mengeluarkan sejumlah air.



Gambar 2.1 memperlihatkan sebuah pegas dengan sebuah piston di atasnya. Panjang pegas dimisalkan  $Z_0$  pada tekanan 10 unit. Jika tekanan ditambah hingga 12 unit, maka pegas akan tertekan hingga panjangnya berubah menjadi  $Z_1$ . Penambahan beban akan menghasilkan perpendekan pegas. Dalam batas elastis, kurva beban dan defleksi akan merupakan garis lurus.

Jika pegas dan piston ditempatkan pada sebuah silinder berisikan air sampai batas bawah piston, dan sebuah katup dibuat pada bagian bawahnya, air tidak akan tertekan dan seluruh beban hanya dipikul oleh pegas. Jika tekanan pada piston meningkat hingga 12 unit dan katup dalam keadaan tertutup, pegas tidak akan berubah bentuk karena air tidak dapat dimanfaatkan. Karenanya tambahan tekanan 2 unit dipikul semuanya oleh air. Jika  $p$  merupakan tekanan total,  $p'$  merupakan tekanan pada pegas dan  $u$  adalah tekanan pada air (tekanan pori), maka gambar 2.1 dapat diberikan dengan persamaan :

$$12 = 10 + 2$$

$$p = p' + u \dots\dots\dots (2.1)$$

Sekarang, katup dibuka sedikit jadi air lolos sedikit dan kemudian katup ditutup. Sehubungan dengan lolosnya sedikit air, piston bergerak turun dan pegas tertekan, karena itu tekanan dari 2 unit yang sebelumnya dipikul semua oleh air sekarang berpindah ke pegas. Jadi untuk keadaan ini, persamaan tekanan menjadi :

$$12 = (10 + \Delta p') + (2 - \Delta p') \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana  $\Delta p'$  adalah tekanan pindahan dari air ke pegas dengan mengeluarkan sejumlah air. Jika katup sepenuhnya dibuka, sejumlah air akan keluar hingga panjang pegas mengalami perpendekan menjadi  $Z_1$ . Jadi seluruh tekanan 2 unit

telah berpindah dari air ke pegas, air telah bebas dari tekanan dan pegas sepenuhnya menahan seluruh tekanan. Pada keadaan ini persamaan tekanan menjadi :

$$12 = 12 + 0$$

$$p = p' + u \dots\dots\dots (2.3)$$

Jadi, bila tekanan bertambah seluruh tekanan mula-mula dipikul oleh air.

Sejalan dengan keluarnya air dari sistem, beban berpindah dari air ke pegas hingga pegas tertekan oleh seluruh tambahan tekanan. Analogi ini dapat mewakili proses konsolidasi massa tanah yang menjelaskan sistem air tanah. Struktur butiran tanah diwakili oleh pegas, sedangkan pori yang penuh air diwakili oleh silinder. Katup yang terbuka mewakili permeabilitas massa tanah, dan besar beban yang berpindah dari air ke tanah tergantung kepada permeabilitas tanah. Tekanan yang timbul pada tekanan pori sehubungan dengan pertambahan beban pada tanah disebut sebagai kelebihan tekanan pori. Kelebihan tekanan pori ini hilang berangsur-angsur dan massa tanah akan berkurang volumenya. Berkurangnya volume tanah akibat penekanan ke luar air dari pori-pori tanah dinamakan konsolidasi primer. Tetapi bahkan setelah kelebihan tekanan pori berkurang hingga titik 0 (nol), beberapa pemampatan tanah masih terjadi dalam tingkat yang sangat lambat. Ini dikenal dengan konsolidasi sekunder atau rangkak.

## 2.2 Settlement (Penurunan) kelompok tiang pancang

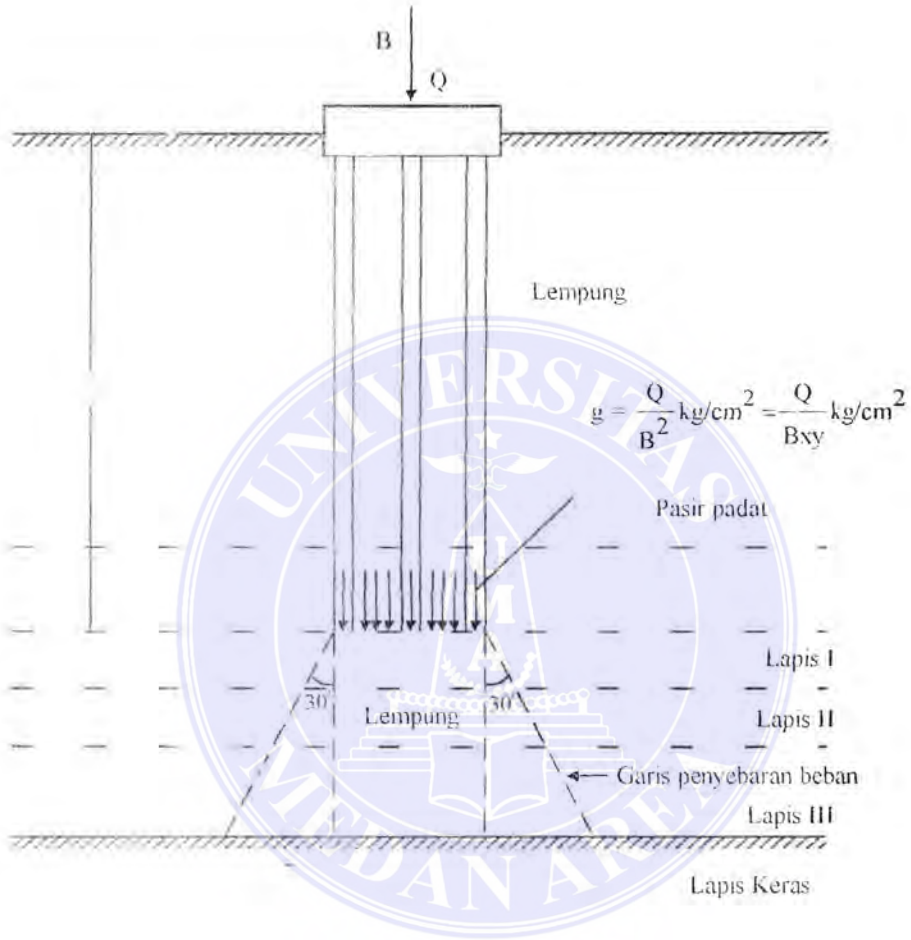
Penurunan kelompok tiang umumnya lebih besar dari penurunan tiang

pancang tunggal. Untuk memperkecil penurunan ini, maka jarak (spacing) antara

lain diperbesar. Pada jarak 6D (D = diameter tiang) Document Accepted 22/7/24

- 1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
  - 2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
  - 3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
- Access From (repository.uma.ac.id)22/7/24

maka penurunan kelompok tiang akan mendekati penurunan tiang pancang tunggal.



$$P = S = \left[ \frac{H \cdot C_c}{1 + e_0} \log_{10} \frac{\tau_0 + \Delta \tau}{\tau_0} \right]$$

dimana:  $P = S$  penurunan

$H =$  tebal lapisan yang ditinjau

$e_0$  = void ratio

$\tau_v = \gamma \cdot z$

= tekanan vertikal efektif sebelum ada bangunan

$$\Delta\tau = \frac{Q}{(B + H_i \operatorname{tg} 30^\circ)^2}$$

= tambahan tekanan vertikal sesudah ada bangunan

$H_i$  = tebal lapisan yang ditinjau berikutnya

Catatan: Biasanya garis kerja penyebaran beban berada 2/3 terhitung dari permukaan tanah.

### 2.3 Teori Terzaghi tentang konsolidasi satu dimensi

Apabila penekanan suatu lapisan tanah tergantung pada waktu, pengaruhnya disebut konsolidasi. Teori konsolidasi pada awalnya dikembangkan oleh Terzaghi selama tahun 1920 – 1924.

Teori konsolidasi Terzaghi membuat asumsi-asumsi berikut :

1. Tanah adalah homogen dan jenuh ( $S_r = 100$  persen). Penurunan konsolidasi dapat diperoleh buat tanah yang tidak jenuh, tetapi ramalan waktu terjadinya penurunan sangat tidak dapat dipercaya.
2. Air dan butir-butir tanah tidak dapat ditekan.
3. Terdapat hubungan linear di antara tekanan yang bekerja dan perubahan volume.
4. Koefisien permeabilitas “k” merupakan suatu konstanta.
5. Hukum Darcy dianggap berlaku ( $v = k \cdot i$ )

UNIVERSITAS MEDAN AREA

.....terhadap temperatur yang konstan. Perubahan temperatur dari sekitar 10

Document Accepted 22/7/24

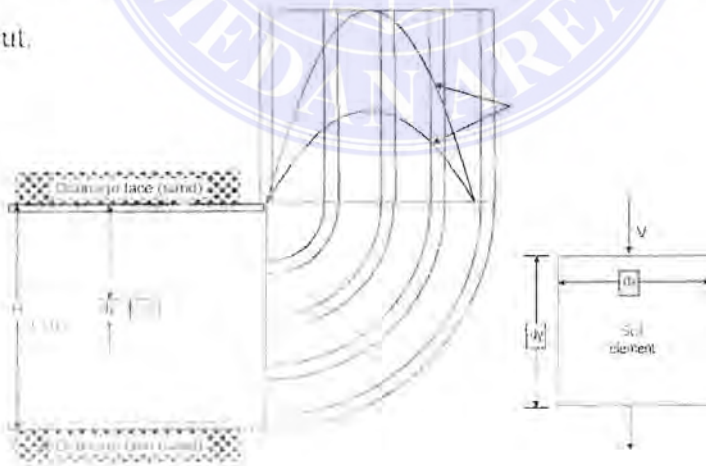
© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber  
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
Access From (repository.uma.ac.id)22/7/24

laboratorium) menghasilkan sekitar 30 persen perubahan dalam viskositas air. Pentinglah bahwa percobaan di laboratorium dilakukan pada temperatur yang diketahui besarnya paling baik sama dengan temperatur di lapangan.

7. Konsolidasi merupakan konsolidasi satu dimensi (vertikal), sehingga tidak terdapat aliran air lateral ataupun pergerakan tanah. Ini benar-benar terjadi dalam percobaan di laboratorium dan pada umumnya juga berlaku di lapangan.
8. Contoh-contoh merupakan contoh tidak terganggu. Ini merupakan masalah utama sebab bagaimanapun telitinya contoh itu diambil, ia sebenarnya telah tidak terbebani lagi oleh tanah yang berada di atasnya, pada keadaan di lapangan. Di samping itu muka air statis tekanan pori akan hilang. Dalam tanah-tanah yang peka, kesalahan-kesalahan besar mungkin akan diperbuat ; dalam tanah-tanah lainnya pengaruhnya mungkin akan lebih kurang. Interpretasi data yang diteliti akan dapat mengurangi kesalahan pengambilan contoh tersebut.



Gambar 2.2

UNIVERSITAS MEDAN AREA Konsolidasi satu dimensi

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 22/7/24

Sumber: DR. P. R. M. N. MIA "SOIL MECHANICS AND FOUNDATIONS"

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)22/7/24

Gambar 2.2. menunjukkan lapisan lempung dengan tebal H, lapisan-lapisan tanah di antara dua lapisan pasir yang merupakan permukaan drainase.

Saat lapisan dikenakan dengan pertambahan tekanan  $\Delta p$ , kelebihan tekanan hydrostatic terjadi pada lapisan lempung. Pada waktu  $t_0$ , saat pemakaian tekanan, seluruh tekanan konsolidasi  $\Delta p$  adalah dipikul oleh air pori. Jadi kelebihan tekanan hydrostatic mula-mula  $\mu_0$  adalah sama dengan  $\Delta p$ , dan ditunjukkan oleh garis lurus  $\mu_0 = \Delta p$  pada diagram distribusi tekanan. Garis lurus CED menghubungkan level air di tube piezometric mewakili distribusi ini. Bersamaan dengan keluarnya air dari tanah, kelebihan tekanan hydrostatic pada batas sebelumnya turun sampai 0 dan tetap begitu setiap waktu. Sesudah waktu yang lama  $t_f$ , seluruh kelebihan tekanan hydrostatic menghilang sedemikian hingga  $\mu = 0$ , yang ditunjukkan oleh garis AGB.

Pada tingkat waktu sembarang Total, tekanan konsolidasi  $\Delta p$  sebagian dipikul oleh air dan sebagian lagi oleh tanah, dan hubungan berikut diperoleh :

$$\Delta p = p' + u \dots\dots\dots (2.4)$$

Distribusi kelebihan tekanan hydrostatic  $\mu$  pada sembarang waktu Total ditunjukkan oleh kurva AFB menghubungkan level air pada tube piezometric, kurva ini dikenal sebagai isochrone, dan sejumlah isochrone dapat digambar pada beberapa variasi interval waktu  $t_1, t_2, t_3$  dan seterusnya. Kelandaian isochrone pada sembarang point pada waktu yang diberikan ditunjukkan oleh tingkat perubahan  $\mu$  dengan kedalaman.

Karakteristik-karakteristik konsolidasi (atau gambar parameter-paramater) suatu tanah adalah indeks tekanan (compression index  $C_c$ ) dari koefisien konsolidasi

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 22/7/24

Indeks tekanan berhubungan dengan berapa besarnya konsolidasi atau

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

penurunan yang akan terjadi. Koefisien konsolidasi berhubungan dengan berapa lama konsolidasi tersebut terjadi.

### 2.4 Besarnya penurunan konsolidasi

Selain indeks tekanan, perlu diketahui hubungan antara void ratio dengan tebal contoh tanah. Hubungan ini akan melengkapi rumus konsolidasi baik untuk besarnya penurunan maupun lama terjadinya penurunan konsolidasi.

#### 2.4.1 Hubungan perubahan void ratio (angka pori) dengan perubahan tebal contoh tanah

$$e_0 = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V - V_s}{V_s} = \frac{V}{V_s} - 1$$

$$e_0 = \frac{h \cdot A}{W_s / \gamma_s} - 1$$

$$e_0 = \frac{h \cdot A \cdot \gamma_s}{W_s} - 1$$

$$e_0 = \frac{h \cdot A \cdot G \cdot \gamma_w}{W_s} - 1 \tag{2.5}$$

$$1 + e_0 = \frac{h \cdot A \cdot G \cdot \gamma_w}{W_s} \tag{2.6}$$

$$\frac{1 + e_0}{h} = \frac{A \cdot G \cdot \gamma_w}{W_s} \tag{2.7}$$

Persamaan (2.5) dideferensiasikan menjadi :

$$\Delta e = \frac{A \cdot G \cdot \gamma_w}{W_s} \cdot \Delta h \tag{2.8}$$

Dari persamaan (2.7) dan (2.8) diperoleh :



#### 2.4.2 Indeks tekanan ( $C_c$ )

Jika sebuah contoh tanah remould (yang dibentuk kembali mengikat ke samping dalam sebuah konsolidometer), yang berarti dari sebuah ring metal, beserta batu pori yang ditempatkan pada permukaan atas dan bawah, dan pemampatan atau konsolidasi dari contoh tanah terjadi pada saat sebuah tekanan vertikal diberikan pada bagian atas batu pori. Batu pori yang memungkinkan drainase yang bebas waktu air dan udara keluar ataupun masuk ke contoh tanah. Pada tekanan tambahan yang diberikan, penurunan akhir dan keseimbangan angka pori dicapai pada suatu waktu tertentu. Pada tingkat keseimbangan, tekanan yang diberikan menjadi tekanan efektif  $p'$  pada tanah. Tekanan kemudian dapat bertambah dan sebuah keseimbangan baru dari angka pori tercapai. Karenanya, sebuah hubungan dapat dihasilkan antara tekanan efektif  $p'$  dan keseimbangan angka pori  $e$  (yang biasanya disebut 'angka pori' saja). Dalam bentuk grafik dapat dilihat pada gambar 2.3, jika pada tingkat selanjutnya (titik B pada gambar), tekanan sudah sepenuhnya dipindahkan, contoh tanah mengembang seperti diperlihatkan oleh kurva BC. Saat pengembangan itu contoh tanah tidak pernah mencapai angka pori yang asli, karena beberapa tekanan terhadap sepenuhnya bergantung kepada orientasi yang tidak dapat berubah yang dialami pertikel tanah di bawah tekanan. Jika tanah kembali diletakkan di bawah tekanan, sebuah kurva rekompresi seperti CD dihasilkan, angka pori pada D selalu lebih kecil daripada B pada tekanan yang sama. Pada penambahan tekanan selanjutnya, kurva DE dihasilkan. Bagian AB dari grafik menggambarkan pemampatan tanah yang mana sebelumnya tidak pernah dikenakan dengan tekanan yang lebih besar daripada

### UNIVERSITAS MEDAN AREA

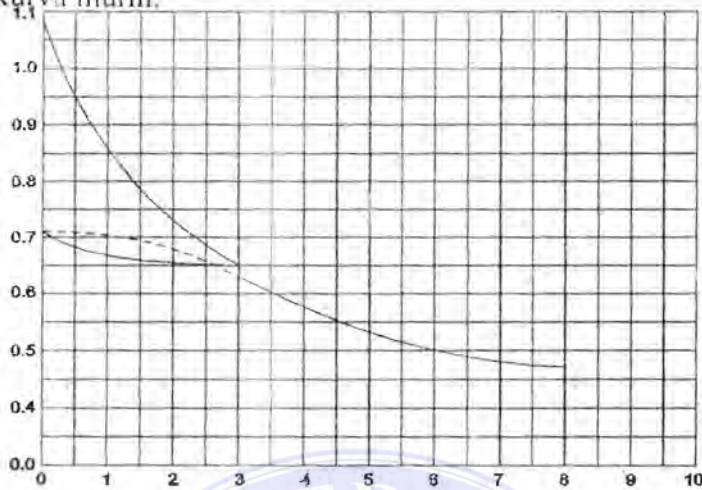
© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 22/7/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
Access From (repository.uma.ac.id)22/7/24

yang diberikan. Kurva ini disebut sebagai kurva pemampatan murni. Kurva DE juga merupakan kurva murni.



Gambar 2.3

Kurva tekanan efektif vs angka pori untuk contoh remold

Sumber : DR. B. C. PUNNIA "SOIL MECHANICS AND FOUNDATIONS"

Jika kurva tekanan vs angka pori diplotkan dengan semi logaritma, dengan  $p'$  sebagai absis pada skala logaritma dan angka pori sebagai ordinat pada skala aritmatika, kurva murni berubah menjadi garis lurus seperti terlihat pada gambar 2.4.

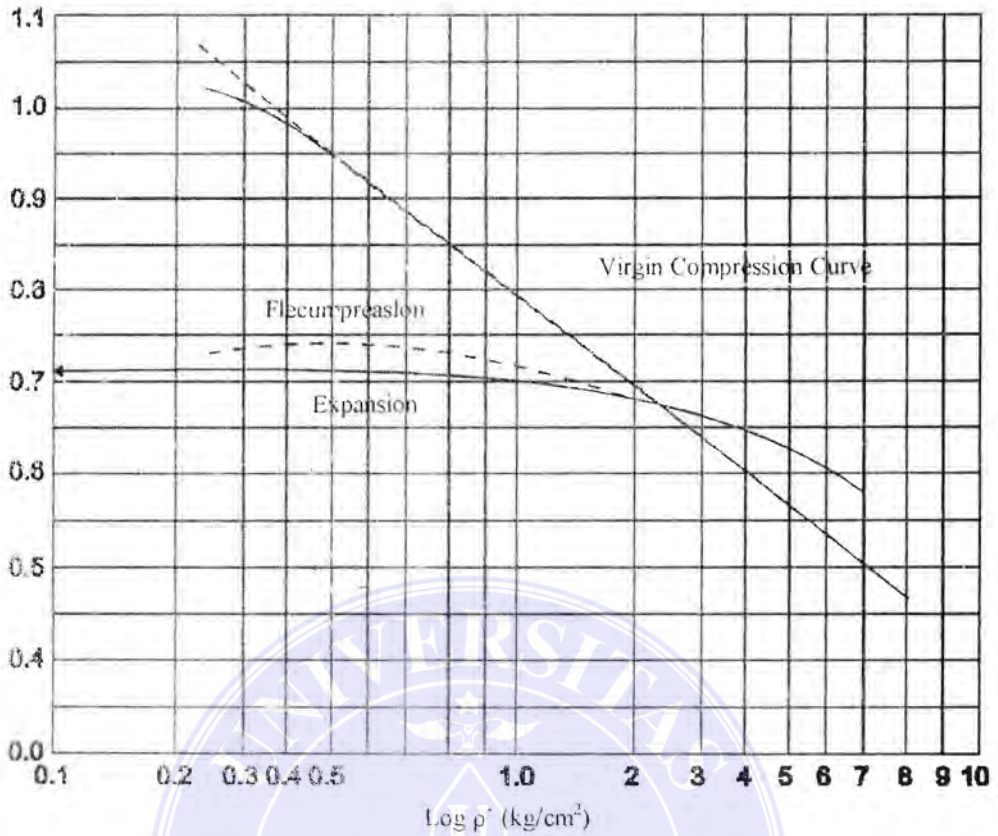
Bagian lurus pada kurva murni ditulis oleh Terzaghi dengan rumus empiris berikut :

$$e = e_0 - C_c \log \frac{p'}{p_0'} \quad (2.10)$$

dimana  $e_0$  = angka pori mula-mula sehubungan dengan tekanan mula-mula  $p_0'$ .

$E$  = angka pori pada tekanan tambahan  $p'$

$C_c$  = index tekanan (tidak bersatuan)



Gambar 2.4  
Penggambarkan hubungan tekanan efektif dan void ratio dalam semilog

Sumber : DR. B. C. PUNNIA "SOIL MECHANICS AND FOUNDATIONS"

Index tekanan mewakili kelandaian dari bagian lurus kurva tekanan vs angka pori, dan tetap konstan dalam jarak yang besar dari variasi tekanan. Maka dari persamaan 2.10,

$$C_c = \frac{e_0 - e}{\log(p'/p_0')}$$

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log p'} \tag{2.11}$$

Persamaan 2.11 dapat ditulis sebagai :

$$\Delta e = C_c \log \frac{p_0' + \Delta p'}{p_0'} \tag{2.12}$$

Kurva ekspansi juga merupakan sebuah garis lurus pada penggambaran semilog, dan ditulis sebagai :

$$e_0 = e + C_s \log (p'/p_0') \tag{2.15}$$

dimana  $C_s$  = Indeks ekspansi. Yaitu sebuah ukuran dari pertambahan volume sehubungan dengan perpindahan tekanan.

Skempton (1944) dengan memperhatikan tingkah laku sejumlah contoh tanah dalam percobaan konsolidasi, memberikan persamaan indeks tekanan berikut untuk contoh tekanan remould :

$$C_c = 0,007 (w_L - 10\%) \dots\dots\dots (2.14)$$

Terzaghi dan peck (1976) berdasarkan penyelidikan terhadap lempung yang tidak terganggu dengan sensitivitas rendah sampai sedang, dan bersumberkan persamaan yang diusulkan Skempton, menganjurkan pemakaian rumus berikut yang besarnya sama dengan 1,3 kali besarnya  $C_c$  untuk tanah remould.

$$C_c = 0,009 (w_L - 10\%) \dots\dots\dots (2.15)$$

### 2.4.3 Rumus besarnya penurunan

Penurunan  $\Delta H$  dari setiap massa tanah yang mengalami tegangan  $\delta p$  terdiri dari penurunan segera, konsolidasi dari rangkai. Dalam bentuk persamaan, penurunan ialah :

$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_e + \Delta H_s \dots\dots\dots (2.16)$$

Dalam beberapa tanah  $\Delta H_e$ ,  $\Delta H_s$  dapat mendekati nol dan dalam tanah yang lain  $\Delta H_1$  dapat mendekati nol.

Dalam bentuk penulisan tugas akhir ini difokuskan mengenai  $\Delta H_e$  dari perbandingan di persamaan (2.9) :

$$\frac{\Delta H_e}{H} = \frac{\Delta e}{1 + e_0} \dots\dots\dots (2.17)$$

$$\Delta H_C = H \cdot \Delta e = \frac{\Delta e}{1 + e_0} \dots\dots\dots (2.18)$$

dimana  $\Delta e = C_c \log \frac{p'}{p_0'}$  ..... (2.19)

Persamaan (2.19) dapat juga ditulis sebagai :

$$\Delta H_C = \frac{H \cdot C_c}{1 + e_0} \cdot \log \frac{p^{or} + \Delta p}{p_0'} \dots\dots\dots (2.20)$$

**2.5 Lama terjadinya konsolidasi**

Tingkat penurunan dapat diperkirakan dengan memakai koefesien konsolidasi  $c_v$ . Kemampuan perkiraan tingkat tingkat penurunan suatu struktur adalah penting, supaya apabila perkiraan penurunan total cukup besar, dapat diperkirakan bila bagian yang penting dari penurunan itu akan terjadi. Tetapi apabila penurunan totalnya kecil, tingkat penurunan biasanya tidak terlalu penting.

Untuk mendapatkan koefesien konsolidasi  $C_v$ , perlu diketahui terlebih dahulu hubungan void ratio dengan tebal contoh tanah, koefesien kompresibilitas  $a_v$  dan koefesien volume tekanan  $m_v$ , hubungan void ratio dengan tebal contoh tanah sudah diuraikan pada lembaran sebelumnya, sedangkan koefesien  $a_v$  dan koefesien  $m_v$  diuraikan berikut ini.

**2.5.1 Koefesien kompresibilitas  $a_v$**

Koefisien kompresibilitas didefinisikan sebagai pengurangan dalam void ratio per unit tambahan tekanan :

$$A_v = \frac{-\Delta e}{\Delta p}$$

$$A_v = - \frac{e_0 - e}{p' - p_0'} \dots\dots\dots (2.21)$$

Untuk setiap perubahan tekanan, besarnya nilai koefisien kompresibilitas akan berkurang untuk setiap penambahan tekanan.

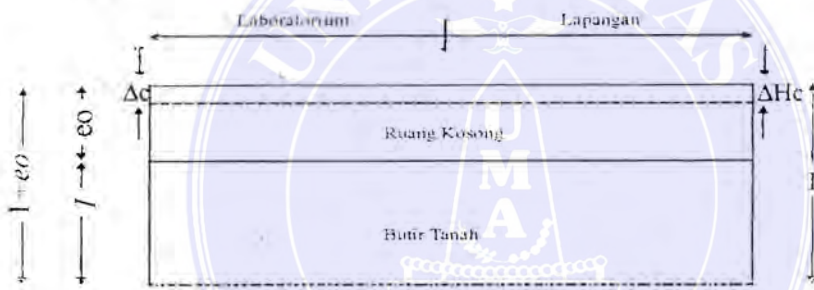
2.5.2 Koefesien volume tekanan  $m_v$

Koefesien :

$$m_v = \frac{e_0 - e}{1 + e_0} \cdot \frac{1}{p'} \dots\dots\dots (2.22)$$

Substitusi  $-\frac{\Delta e}{\Delta p'} = a_{v,s}$  diperoleh :

$$m_v = \frac{a_v}{1 + e_0} \dots\dots\dots (2.23)$$



Gambar 2.5

Penurunan dari suatu contoh tanah atau lapisan tanah setelah H di lapangan

Dengan melihat gambar 2.5 dan persamaan (2.17) yang menjelaskan hubungan antara void ratio dan tebal contoh, maka persamaan (2.22) dapat ditulis sebagai :

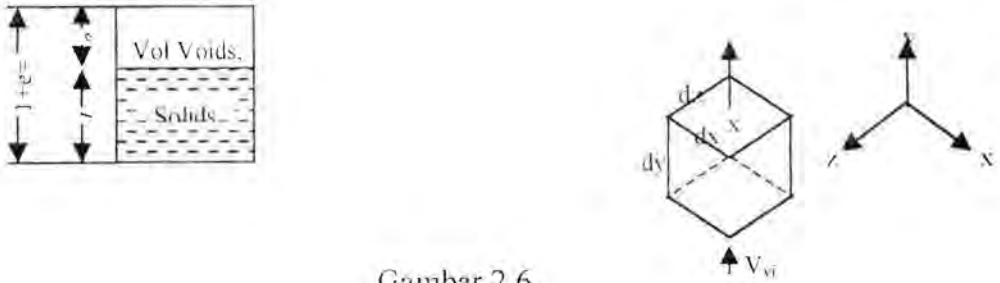
$$m_v = \frac{1}{\Delta p'} \cdot \frac{\Delta h}{h} \dots\dots\dots (2.24)$$

maka perubahan ketebalan  $\Delta h$  sehubungan dengan penambahan tekanan adalah :

$$\Delta H_c = \Delta h = m_v \cdot h \cdot \Delta p' \dots\dots\dots (2.25)$$

Tanda minus pada persamaan di atas menunjukkan bahwa void ratio atau ketebalan berkurang sejalan dengan bertambahnya tekanan).

Elemen butiran tanah dimisalkan  $dx, dy, dz$ . Kecepatan air pada saat memasuki elemen adalah  $v$ . Kecepatan pada saat keluar akan sama dengan  $v_y + (\delta v_y / \delta y) dy$ .



Gambar 2.6

Idealisasi dari tanah dan aliran fluida untuk Pembentukan teori konsolidasi satu dimensi

Banyaknya air yang memasuki elemen tanah =  $v_x \cdot dx \cdot dz$

Banyaknya air yang keluar dari elemen tanah

$$= [v_y + (\delta v_y / \delta y) dy] \cdot dx \cdot dz$$

$$\text{Maka, } Q \text{ masuk} - Q \text{ keluar} = (\delta v / \delta y) \cdot dx \cdot dy \cdot dz \dots\dots\dots (i)$$

Pengurangan volume tanah adalah sama dengan volume air yang tertekan keluar.

Maka dari persamaan (2.25),

$$\Delta h = -m_v \cdot h_0 \cdot \Delta p'$$

dimana pada penurunan satu dimensi, perubahan ketinggian  $\Delta h$  dari ketinggian awal  $h_0$  adalah sama dengan perubahan volume  $\Delta V$  dari volume awal  $V_0$ , yang dapat ditulis dalam bentuk :

$$\frac{\Delta h}{h_0} = \frac{\Delta V}{V_0}$$

$$\text{maka : } \Delta V = -m_v \cdot V_0 \cdot p' \dots\dots\dots (ii)$$

dimana  $V_0$  (= volume elemen tanah pada waktu  $t_0$ ) =  $dx \cdot dy \cdot dz$  maka perubahan

$$\frac{\delta(\Delta V)}{\delta t} = -m_v \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot \frac{\delta(\Delta p')}{\delta t} \dots\dots\dots (iii)$$

Dengan menyamakan persamaan (i) dan (iii), diperoleh :

$$\frac{\delta(\Delta V)}{\delta t} = -m_v \cdot \frac{\delta(\Delta p')}{\delta t} \dots\dots\dots (iv)$$

Karena  $\Delta p = \Delta p' + u$ , dan  $\Delta p$  adalah konstanta, maka :

$$\frac{\delta(p')}{\delta y} = -\frac{\delta u}{\delta t} \dots\dots\dots (v)$$

Dari hukum Darcy, kecepatan air ialah  $v = k \cdot i$ ,  $k$  adalah koefisien permeabilitas dalam satuan cm/dtk dan  $i$  adalah gradien hidrolik. Untuk aliran satu dimensi gradien hidrolik  $I_y = \delta h / \delta y$ , dimana tinggi tekan total  $h = u / \gamma_w$ , sehingga

$$v = k \cdot \delta h / \delta y$$

$$\frac{\delta V_y}{\delta y} = \frac{k}{\delta w} \cdot \frac{\delta^2 u}{\delta y^2} \dots\dots\dots (vi)$$

Dengan menyamakan persamaan (iv) dan (vi) diperoleh :

$$\frac{\delta u}{\delta t} = \frac{k}{m_v \cdot \gamma_w} \cdot \frac{\delta^2 u}{\delta y^2} \dots\dots\dots (2.26)$$

Yang dapat ditulis sebagai :

$$\frac{\delta u}{\delta t} = C_v \cdot \frac{\delta^2 u}{\delta y^2} \dots\dots\dots (2.27)$$

$$\text{Dimana } C_v = \frac{k}{m_v \cdot \gamma_w} = \frac{k(1+e)}{a_v \cdot \delta_w} \dots\dots\dots (2.28)$$

( $C_v$  = koefisien konsolidasi dengan satuan  $\text{cm}^2/\text{dtk}$ )

#### 2.5.4 Pemecahan persamaan konsolidasi



Pemecahan persamaan differensial konsolidasi diperoleh dengan "Fourier series". Pemecahannya mesti memenuhi kondisi batas hidrolik berikut (gambar 2.2 a):

(i) Pada  $t = 0$ , pada semua jarak  $y$ ,  $u = u_0 = \Delta p$  (konstanta)

(ii) Pada  $t = \infty$  pada semua jarak  $y$ ,  $u_0 = 0$

(iii) Pada  $t = t$ , pada  $y = 0$ ,  $u = 0$

dan ..... pada  $y = h$ ,  $u = 0$

Jika  $u$  diambil sebagai produk dari fungsi  $y$  dan  $t$ , maka dapat ditulis sebagai :

$$u = f_1(y) \cdot f_2(t) \tag{1}$$

Persamaan (2.27) kemudian dapat ditulis sebagai :

$$f_1(y) \cdot \frac{\delta}{\delta t} [f_2(t)] = c_v \cdot f_2(t) \cdot \frac{\delta^2}{\delta y^2} [f_1(y)]$$

atau 
$$\frac{\delta^2}{\delta y^2} [f_1(y)] = \frac{\delta}{\delta t} [f_2(t)] \cdot \frac{1}{c_v \cdot f_2(t)} \tag{2}$$

Ruas sebelah kiri tidak mengandung "t", karena itu tetap konstan bila "t" merupakan variabel. Sama halnya dengan ruas sebelah kanan, akan konstan jika "y" merupakan variabel. Karena setiap ruas harus sama dengan sebuah konstanta (sebut :  $-A^2$ ) maka dapat ditulis dengan hubungan berikut:

$$\frac{\delta^2}{\delta y^2} [f_1(y)] = -A^2 \cdot f_1(y) \tag{3}$$

Persamaan (3) dan (4) dipenuhi berturut-turut dengan pernyataan berikut:

$$f_1(y) = C_1 \cos Ay + C_2 \sin Ay \dots\dots\dots (5)$$

dan  $f_2(t) = C_3 \varepsilon^{-\Lambda^2 \cdot C_V \cdot t} \dots\dots\dots (6)$

dimana  $C_1, C_2, C_3 =$  konstanta

$\varepsilon =$  dasar hiperbolik atau logaritma Napierian

$$= 2,718$$

Substitusi persamaan di atas, maka persamaan (1) menjadi :

$$u = (C_4 \cos Ay + C_5 \sin Ay) \varepsilon^{-\Lambda^2 \cdot C_V \cdot t} \dots\dots\dots (7)$$

Pemecahan dari persamaan (7) harus memenuhi pernyataan kondisi batas pada

persamaan (2.29), maka :

Pada waktu  $t$ , saat  $y = 0$ ,  $u = 0$ , maka  $C_4 = 0$

(catatan :  $\sin 0^0 = 0$ ,  $\cos 0^0 = 1$ )

Karenanya persamaan (7) berkurang menjadi :

$$u = C_5 (\sin Ay) \varepsilon^{-\Lambda^2 \cdot C_V \cdot t} \dots\dots\dots (8)$$

juga pada waktu  $t$ , pada  $y = h$ ,  $u = 0$

$$0 = C_5 (\sin Ah) \varepsilon^{-\Lambda^2 \cdot C_V \cdot t} \dots\dots\dots (9)$$

Persamaan (9) dipenuhi jika  $Ah = n \pi$ , dimana adalah bilangan bulat sembarang,

maka,

$$u = C_5 \left( \sin \frac{n\pi y}{h} \right) \varepsilon^{(-n^2 \pi^2 / h^2) \cdot C_V \cdot t} \dots\dots\dots (2.30)$$

Persamaan di atas dapat ditulis dalam bentuk berikut :

$$u = B_1 (\sin \pi y/h) \varepsilon^{(-\pi^2 / h^2) \cdot C_V \cdot t} + B_2 (\sin 2\pi y/h) \varepsilon^{(-4\pi^2 / h^2) \cdot C_V \cdot t}$$

$$\text{atau } u = \sum_{n=1}^{n=\infty} B_n (\sin n\pi y/h) \varepsilon^{(-n^2 \pi^2 / h^2) C_V t} \dots\dots\dots (2.31)$$

Saat  $t = 0$ ,  $\varepsilon^{(-n^2 \pi^2 / h^2) C_V t} = 1$ , dan  $u = u_0$

$$\text{Maka, } u_0 = \sum_{n=1}^{n=\infty} B_n (\sin n\pi y/h) \dots\dots\dots (2.32)$$

Hubungan berikut digunakan untuk menentukan nilai  $B_n$  dalam Ekspansi Fourier (Pers. 2.32) :

$$\int_0^\pi \sin mx, \sin nx \, dx = 0 \dots\dots\dots (10)$$

$$\text{dan } \int_0^\pi \sin^2 nx \, dx = \pi/2 \dots\dots\dots (11)$$

(dimana,  $m$  dan  $n$  adalah bilangan bulat yang berbeda)

pernyataan di atas (Pers. 10 dan 11) jika variabel  $x$  diganti dengan  $(\pi y/h)$ ,  $dx$  menjadi  $(\pi/h) dy$ , dan batasan integral menjadi 0 ke  $h$ . Maka persamaan 10 dan 11 menjadi :

$$\int_0^h \sin (m\pi y/h), \sin (n\pi y/h) \, dy = 0 \dots\dots\dots (12)$$

$$\text{dan } \int_0^h \sin^2 (n\pi y/h) \, dy = h/2 \dots\dots\dots (13)$$

Kalikan kedua ruas persamaan (2.32) dengan  $\sin (n\pi y/h)$  dan kemudian integralkan diantara batas 0 ke  $h$  :

$$\begin{aligned} \int_0^h \sin (n\pi y/h) \, dy &= \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq n}}^{m=\infty} B_m \int_0^h \sin (m\pi y/h) \cdot \sin (n\pi y/h) \, dy \\ &+ B_n \int_0^h \sin^2 (n\pi y/h) \, dy \dots\dots\dots (14) \end{aligned}$$

$\int_0^h \sin (n\pi y/h) \, dy$ , ruas kanan persamaan (2.32) menjadi

dan merupakan rangkaian dari semua term, selain n term, yang mana merupakan bentuk dari persamaan (12) dihilangkan (karena sama dengan 0), Maka :

$$\int_0^h u_0 \cdot \sin(n\pi y/h) dy = B_n \cdot (H/2)$$

atau  $B_n = (2/H) \cdot \int_0^h u_0 \cdot \sin(n\pi y/h) dy$  ..... (15)

Substitusikan persamaan (15) ke persamaan (2.31), diperoleh :

$$U = \sum_{n=1}^{n=\infty} \left[ (2/h) \cdot \int_0^h u_0 \cdot \sin(n\pi y/h) dy \right]$$

$$(\sin n\pi y/h) e^{-(n^2\pi^2/h^2) c_v t}$$

atau  $\sum_{n=1}^{n=\infty} \left[ \frac{2 \cdot \Delta p}{n\pi} \cdot (1 - \cos n\pi) \cdot (\sin n\pi y/h) e^{-(n^2\pi^2/h^2) c_v t} \right]$  ..... (16)

Jika n = genap,  $1 - \cos n\pi = 0$

N = ganjil,  $1 - \cos n\pi = 2$

Substitusi  $n = 2N + 1$ , dimana N adalah bilangan bulat, persamaan (16) menjadi :

$$u = \frac{4}{\pi} \Delta p \sum_{N=1}^{N=\infty} \left[ \frac{1}{2N+1} \right] \cdot \left[ \sin \frac{(2N+1)\pi y}{h} \right] e^{-(2N+1)^2 \pi^2 / h^2] c_v t}$$
 ..... (2.33)

Persamaan (2.33) memberikan variasi dari kelebihan tekanan hydrostatic u dengan kedalaman y pada term pemberian tekanan konsolidasi  $\Delta p$ .

Penurunan konsolidasi  $\Delta H_{(y,t)}$ , atau pergerakan menurun dari permukaan lapisan yang berkonsolidasi, pada sembarang waktu t dalam proses konsolidasi dapat dilihat pada persamaan (2.25) dan (2.33).

$$\Delta H_{(y,t)} = m_v \cdot \Delta p' \cdot dy$$

dimana  $\Delta p'$  pertambahan tekanan efektif pada waktu t

Maka,  $\Delta H_{C(t)} = m_v \cdot (\Delta p - u) dy$

Integrasikan antara batasan 0 k h, penurunan dari seluruh ketebalan lempung pada waktu t diberikan oleh :

$$H_{C(t)} = \int_0^h m_v \cdot (\Delta p - u) dy$$

$$= m_v \left[ \Delta p \cdot h - \int_0^h u dy \right]$$

Substitusi u dari persamaan (2.33) dan integrasikan,

$$H_{C(t)} = m_v \cdot \Delta p \cdot h \left[ 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{N=0}^{N=\infty} \frac{1}{(2N+1)^2} e^{-[(2N+1)^2 \pi^2 / h^2] C_v \cdot t} \right] \dots \dots \dots (2.34)$$

Pada  $t = v$ , ketika proses konsolidasi selesai, hasil atau final konsolidasi  $H_{C(f)}$ , diberikan oleh :

$$H_{C(f)} = m_v \cdot \Delta p \cdot \Delta h \dots \dots \dots (2.35)$$

Perbandingan penurunan dalam waktu t dengan penurunan setelah selesai ( $t=v$ ) ditulis dalam persentase, adalah merupakan term dari tingkat konsolidasi U :

$$U (\%) = \frac{H_{C(t)}}{H_{C(f)}} \cdot 100 \dots \dots \dots (2.36)$$

atau 
$$U (\%) = \left[ 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{N=0}^{N=\infty} \frac{1}{(2N+1)^2} e^{-[(2N+1)^2 \pi^2 / h^2] C_v \cdot t} \right] \cdot 100 \dots \dots \dots (2.37)$$

Dibuat suatu parameter yang tidak berdimensi, dinamakan faktor waktu  $T_v$  didefinisikan dengan persamaan berikut :

$$T_v = \frac{C_v \cdot t}{d^2} \dots \dots \dots (2.38)$$

dimana  $d$  = jalur drainase (jalur drainase mewakili jarak maksimum yang dilewati partikel air untuk mencapai lapisan bebas drainase. Untuk kasus drainase dengan dua permukaan atau yang disebut double drainase,  $d = H/2$ ).

Persamaan (2.37) dapat ditulis sebagai :

$$U (\%) = \left[ 1 - \frac{B}{\pi^2} \sum_{N=0}^{N=\infty} \frac{1}{(2N+1)^2} e^{-\frac{(2N+1)^2 \pi^2}{4} T_v} \right] \cdot 100 \dots\dots\dots (2.39)$$

atau  $U (\%) = f(T_v) \dots\dots\dots (2.40)$

Persamaan (2.39) dapat juga ditulis dalam bentuk :

$$U = 1 - \frac{8}{\pi^2} \left[ \varepsilon^{-\frac{\pi^2}{4} T_v} + (1/9) \varepsilon^{-\frac{9\pi^2}{4} T_v} + (1/25) \varepsilon^{-\frac{25\pi^2}{4} T_v} \dots \right] \dots\dots\dots (2.41)$$

Jadi, derajat konsolidasi adalah fungsi dari faktor waktu. Faktor waktu mengandung konstanta fisik dari lapisan tanah yang mempengaruhi lamanya waktu berkonsolidasi.

Persamaan (2.38) dapat juga ditulis sebagai :

$$T_v = \frac{k}{m_v \cdot \gamma_w} \cdot \frac{t}{d^2} = \frac{k \cdot (1 + e_0)}{a_v \cdot \gamma_w} \cdot \frac{t}{d^2} \dots\dots\dots (2.42)$$

Faktor waktu, dan juga derajat konsolidasi bergantung kepada: (i) ketebalan lapisan lempung, (ii) banyaknya permukaan drainase, (iii)  $k$ , (iv)  $c_v$ , dan (v) besarnya tekanan konsolidasi dan sifat dari distribusinya melewati tebal lapisan.

Persamaan (2.39) atau (2.41) dapat diwakili dengan persamaan empiris berikut, yang hasilnya mendekati.

- Menurut buku : DR. B.C. PUNMIA, "Soil Mechanics and Foundations"

$$\text{Saat } U < 60\%, T_v = \left[ \frac{100}{U} \right]^2 \dots\dots\dots (2.43)$$

$$\text{Saat } U > 60\%, T_v = -0,9332 \log \left[ 1 - \frac{U\%}{100} \right] - 0,0851 \dots \dots \dots (2.44)$$

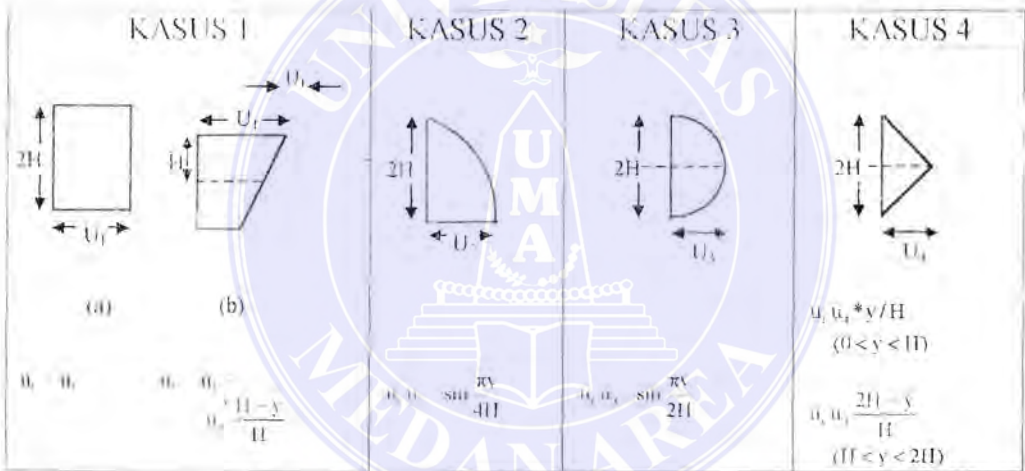
- Menurut buku : G.A. LEONARDS. "Foundation Engineering"  
(Rumus oleh : Terzaghi)

$$\text{Saat } U\% < 53\%, T_v = \frac{\pi}{4} \left[ \frac{U\%}{100} \right]^2 \dots \dots \dots (2.45)$$

$$\text{Saat } U\% > 53\%, T_v = -0,781 - 0,933 \log (100 - U\%) \dots \dots \dots (2.46)$$

TABEL 2.1  
Hasil dari Teori Konsolidasi Terzaghi

A. Empat kasus dari distribusi kelebihan tekanan pori initial dengan double drainase



Sumber : G.A. LEONARDS, "FOUNDATION ENGINEERING"

Gambar dari kasus 1, 2, 3, 4, di atas adalah gambar dari bentuk distribusi kelebihan tekanan pori initial dalam keadaan double drainase. Distribusi kelebihan tekanan pori dapat berbentuk seperti gambar-gambar kasus di atas ataupun dapat berupa kombinasi dari gambar-gambar kasus tersebut. Contoh :







0,004	7,35	6,49	0,98	0,85
0,008	10,38	8,62	1,95	1,62
0,012	12,48	10,49	2,92	2,41
0,020	15,98	13,67	4,81	4,00
0,028	18,89	16,38	6,67	5,60
0,036	21,41	18,76	8,50	7,20
0,048	24,64	21,96	11,17	9,50
0,060	27,64	24,81	13,76	11,98
0,072	30,28	27,43	16,28	14,36
0,083	32,33	29,67	18,52	16,46
0,100	35,62	32,88	21,87	19,76
0,125	39,89	36,54	26,54	24,42
0,150	43,70	41,12	30,93	28,86
0,175	47,18	44,73	35,07	33,06
0,200	50,41	48,09	38,95	37,04
0,250	56,22	54,17	46,03	44,32
0,300	61,32	59,50	52,30	50,78
0,350	65,82	64,21	57,83	56,49
0,40	69,73	68,36	62,73	61,54
0,50	76,40	76,28	70,88	69,94
0,60	81,56	80,69	77,25	76,52
0,70	85,59	84,91	84,91	81,65
0,80	88,74	88,21	86,11	85,66
0,90	91,19	90,79	89,15	88,80
1,00	93,13	92,80	91,52	91,25
1,50	98,00	97,90	97,53	97,45
2,00	99,42	99,39	99,28	99,26

Sumber : G.A. LEONARDS, "FOUNDATION ENGINEERING" dan WILLIAM H. PERLOFF, Ph.d., "SOIL MECHANICS, PRINCIPLES AND APPLICATIONS".



Koefisien konsolidasi ( $C_v$ ) jarang diperoleh dari persamaan (2.28), tetapi biasanya dihitung dari :

$$C_v = \frac{T \cdot H^2}{t_f} \quad (2.47)$$

dengan memakai  $t_f$  yang diperoleh dari kurva deformasi berbanding waktu. Nilai  $t_f = t_{50}$  (waktu laboratorium untuk terjadinya 50% deformasi primer) yang biasanya dipakai. Waktu dapat diperoleh baik dari penggambaran semilog (oleh Casagrande) ataupun dari akar waktu (oleh Taylor).

### 2.61. Penggambaran semilog

kurva penggambaran deformasi terhadap logaritma waktu terlihat pada gambar 2.7, untuk memperoleh waktu pada persentase konsolidasi tertentu dengan pertambahan tegangan tertentu. Kurva berbentuk sama juga akan diperoleh apabila kita menggambarkan deformasi sebagai :

Pembacaan penunjuk (dial)  
Regangan  $\epsilon$   
Angka pori  $e$  } terhadap log waktu

Perbedaan di antara pembacaan dial adalah berhubungan langsung dengan penurunan. Regangan merupakan persentase dari penurunan.

Pemakaian kurva deformasi lawan log waktu membutuhkan penentuan hasil nilai awal yang terlihat dari  $D_0$  pada  $t = 0$  yang tidak dapat diplot oleh karena  $\log 0 = \infty$ . Nilai deformasi awal  $D_0$  ini dapat sebarang diambil sebagai nilai actual pada  $t = 0$  untuk pertambahan beban tersebut. Walaupun demikian, sering ujung awal dari kurva deformasi lawan log waktu berbentuk parabolis dengan asal yang terlihat berbeda dari  $D_0$  yang actual. Perbedaan yang terlihat ini mungkin

### UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

butir tanah dengan cincin konsolidasi dan/atau batu pori, dan faktor-faktor lainnya.

Apabila ujung dari kurva tersebut berbentuk parabolis atau hampir parabolis, seperti terlihat dengan mata, deformasi awal yang terlihat  $D_0$  dapat diperoleh sebagai berikut :

1. Ditentukan waktu tertentu  $t_i$ , misalnya 0,1 atau 0,2 menit
2. Diambil waktu  $4 \cdot t_i$
3. Dapatkan offset vertikal dari  $t_i$  dan  $4 \cdot t_i$  sebagai  $\Delta y$ .
4. Kemudian dihamparkan jarak  $\Delta y$  di atas  $t_i$  untuk mendapatkan  $D_0$ .

Ini dapat diulangi satu atau beberapa kali, dan nilai rata-rata dari beberapa titik diambil sebagai  $D_0$ .

Untuk mendapatkan deformasi pada konsolidasi  $U = 100\%$  ( $D_{100}$ ), digambarkan suatu garis singgung terhadap cabang tengah dari kurva penurunan (cukup ditentukan dengan mata saja) dan garis singgung yang lainnya terhadap cabang akhir dari kurva tersebut. Perpotongan antara kedua garis singgung ini dianggap sebagai  $d_{100}$  dan suatu proyeksi ke kurva dan kemudian ke bawah menuju sumbu waktu diambil sebagai  $t_{100}$ . (Penentuan  $t_{100}$  belum mendapat kesesuaian universal, beberapa cara menyajikan penentuan  $t_{100}$  dengan cara langsung memproyeksikan ke skala waktu dari titik perpotongan tersebut).

Deformasi untuk  $D_{50}$  biasanya dipakai untuk mendapatkan  $t_{50}$ , dan diperoleh dari:

$$D_{50} = \frac{D_0 + D_{100}}{2} \dots\dots\dots (2.48)$$

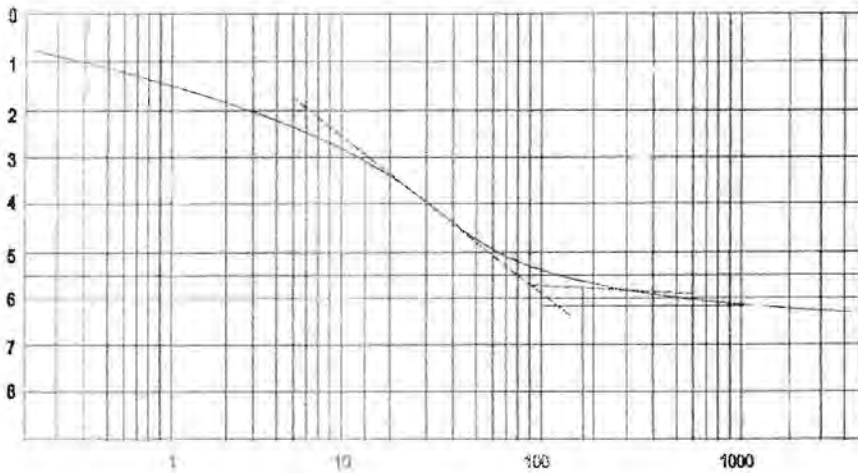
dan  $t_{50}$  dapat diperoleh dengan memasukkan  $D_{50}$  dan memproyeksikan ke kurva

UNIVERSITAS MEDAN AREA

serat ke bawah sumbu waktu, seperti terlihat pada gambar 2.7.

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber  
 2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah  
 3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area



Gambar 2.7.

Contoh bentuk penggambaran regangan lawan log waktu.

Penggambaran dari pembacaan dial atau angka pori akan memberikan kurva yang berbentuk sama.

Sumber : JOSEPH E BOWLES "SIFAT-SIFAT FISIS DAN GEOTEKNIS TANAH"

### 2.6.2. Penggambaran akar waktu

Penggambaran  $u = 2 \sqrt{CT/\pi}$  merupakan garis lurus pada tahap awal konsolidasi, sebelum melengkung menjadi asimtot pada  $u = 1$ . Depormasi lawan  $\sqrt{t}$  seperti terlihat pada gambar 2.8 yang mana digambarkan garis lurus menuju ordinat deformasi pada beberapa titik data yang pertama untuk menentukan titik A dan meneruskan garis lurus ini ke sumbu waktu untuk mendapatkan titik b. Oleh karena ini mengabaikan konstanta  $2/\sqrt{\pi}$ , maka digambarkan garis kedua Ac dari A yang 15% lebih besar dari jarak Ab. Titik d dimana kurva eksperimental memotong Ac adalah menunjukkan  $U \approx 0,9$  (lebih kurang mempunyai konsolidasi 90%). Setelah deformasi untuk konsolidasi 90% diketahui (jarak Ae pada gambar

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

sumbu waktu, dan  $t_{90} = N^2_{90}$ . Untuk menentukan deformasi pada konsolidasi 50% dianggap  $D_0$  terjadi pada titik A, dan  $5/9 A_e$  ialah deformasi yang berhubungan dengan  $t_{50}$ , maka memakai faktor-faktor T dari tabel 2.1B, diperoleh :

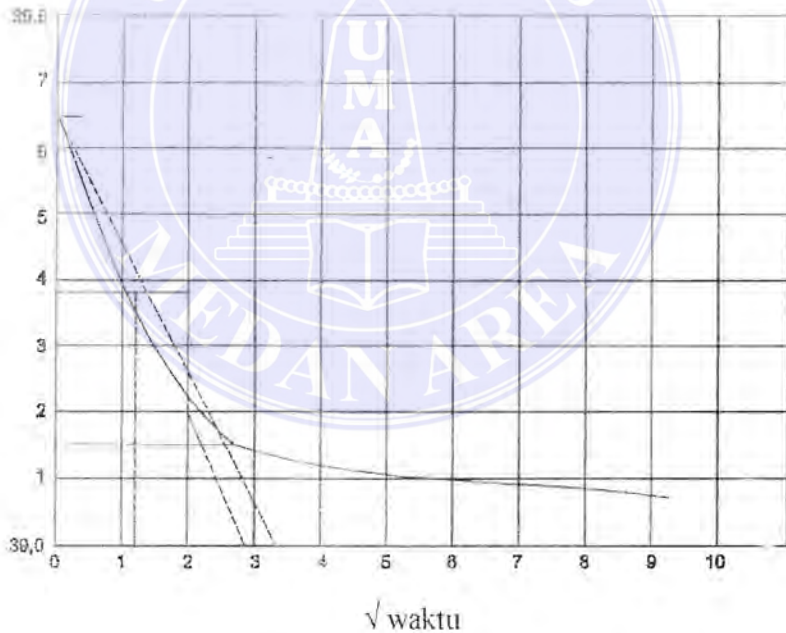
$$C_v = \frac{0,848 \cdot H^2}{t_{90}} \dots \dots \dots (2.49)$$

atau  $C_v = \frac{0,196 \cdot H^2}{t_{50}} \dots \dots \dots (2.50)$

Dengan dihitungnya nilai  $C_v$ , maka waktu konsolidasi di lapangan dapat diperkirakan sebagai :

$$t_i (\text{lapangan}) = \frac{T_i \cdot H^2 \text{ lapangan}}{C_v} \dots \dots \dots (2.51)$$

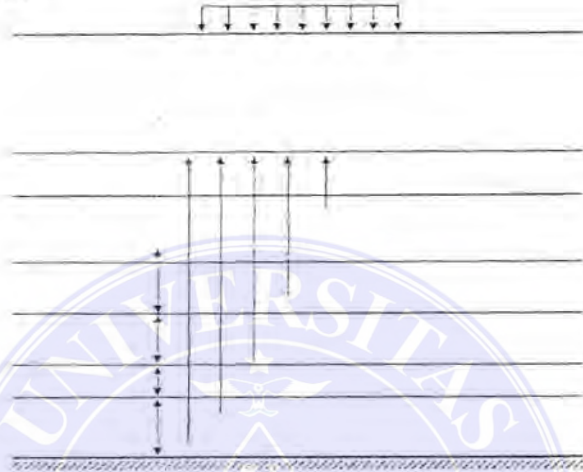
Gambar 2.8



Sumber : JOSEPH E BOWLS “SIFAT-SIFAT FISIS DAN GEOTEKNIS TANAH”

Penggambaran pembacaan dial lawan akar waktu untuk mendapatkan  $D_i$  dan  $t_i$  yang berkaitan dengan itu. Diperlihatkan pada gambar nilai untuk  $D_{50}$  dan  $t_{50}$ .

Apabila lapisan terdiri dari beberapa lapis tanah yang mengalami pula teori konsolidasi, penurunan total dapat dihitung dengan mendapatkan  $C_c$  dari percobaan konsolidasi pada contoh tanah dari berbagai lapisan, kemudian menghitung nilai-nilai  $\Delta H_i$  untuk masing-masing lapisan, dan menjumlahkannya untuk mendapatkan :



Gambar 2.9

Tanah berlapis dengan drainase satu arah. Drainase dari lapis kelima harus berjalan melalui keempat lapis lainnya dengan tingkat yang tergantung pada  $C_{v(i)}$  dari lapisan lainnya.

Tingkat konsolidasi akan cukup rumit, sebab penurunan dari lapisan dalam akan tergantung kepada  $C_v$  dari lapisan itu sendiri dan juga  $C_v$  dari lapisan-lapisan di atasnya. Jelas bahwa drainase harus berjalan melalui lapisan yang ditinjau dan lapisan di atasnya menuju permukaan bebas.

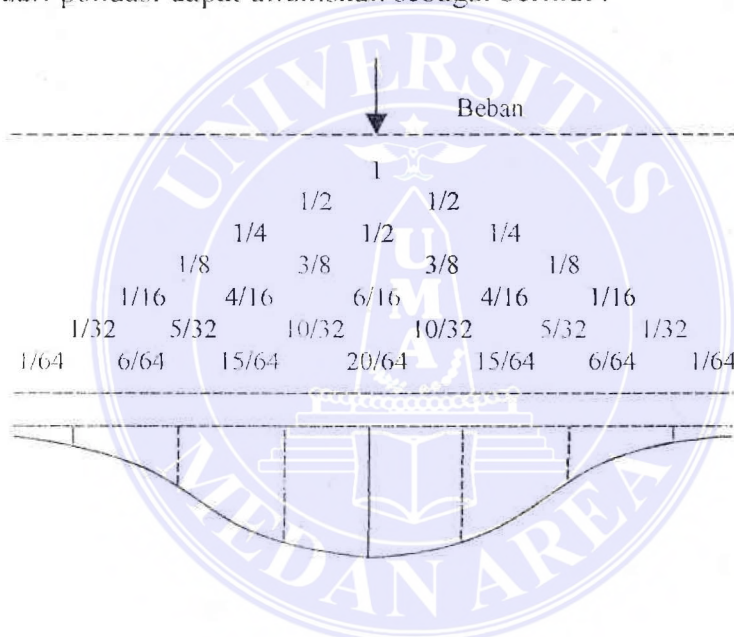
Maka drainase akan tergantung kepada koefisien permeabilitas, angka pori, respons tegangan, dan tegangan yang bekerja pada lapisan. Dari ini terlihat bahwa untuk penyelesaian pendekatan percobaan konsolidasi masih tetap dibutuhkan untuk masing-masing lapisan, sehingga nilai  $C_v$  dan  $C_c$  untuk lapisan tersebut dapat diperoleh.

### BAB III

## PENYEBARAN TEGANGAN DALAM TANAH

Untuk melengkapi perhitungan penurunan konsolidasi tanah pada suatu lapisan tanah tertentu, maka dalam bab ini diuraikan secara ringkas mengenai penyebaran tegangan dalam tanah.

Besar dan sifat penyebaran tegangan dalam tanah akibat adanya pembebanan dari pondasi dapat dilukiskan sebagai berikut :



Gambar 3.1

Sumber : TR. SUNGGONO KH "MEKANIKA TANAH"

### 3.1. Cara Boussinesq

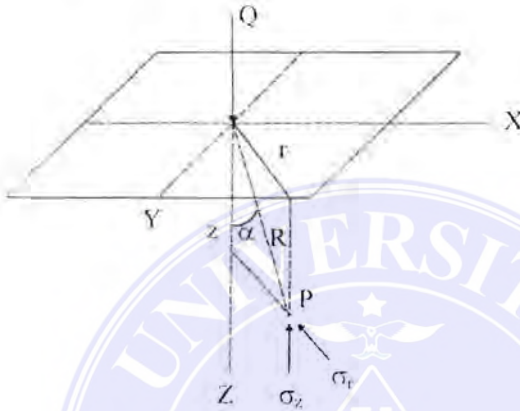
Titik tolak dari teori Boussinesq adalah dengan pembebanan titik yang kemudian diterapkan pada pembebanan merata, baik yang berbentuk bulat maupun berbentuk persegi.

Pengaruh tekanan dari pembebanan pada daerah yang lebih jauh maka tekanan yang terjadi makin kecil. Penyebaran tegangan selain bergerak secara vertikal, juga ke arah horizontal.

3.1.1. Beban titik

Dalam penerapan persamaan Boussinesq, lapisan tanah di bawah beban dianggap mempunyai sifat elastis, isotropis, homogen dan tidak berbobot.

Tinjau satu beban titik  $Q$  yang bekerja tegak terhadap permukaan horizontal dari suatu lapisan tanah.



Gambar 3.2

Tegangan yang terjadi pada titik P akan berbentuk sebagai berikut :

$$\text{Tegangan Polar : } \sigma_R = \frac{3}{2} \cdot \frac{Q}{\pi} \cdot \frac{\cos a}{R^2} \tag{3.1}$$

$$R = \sqrt{(r^2 + Z^2)}$$

$$\sigma_z = \sigma_R \cdot \cos^2 a$$

$$= \frac{3}{2} \cdot \frac{Q}{\pi} \cdot \frac{\cos^3 a}{R^2}$$

$$= \frac{3}{2} \cdot \frac{Q}{\pi} \cdot \frac{z^3}{R^5} \tag{3.2}$$

$$= \frac{3Q}{2\pi} \cdot \frac{z^3}{(r^2 + z^2)^{5/2}}$$

$$\text{UNIVERSITAS MEDAN AREA} \left[ \frac{1}{1+r/z)^2} \right]^{3/2} \tag{3.3}$$



$$\begin{aligned}
 rz &= \frac{1}{2} \cdot \sigma R \cdot \sin 2a \\
 &= \frac{3Q}{2\pi} \cdot \frac{\cos^3 a \sin a}{R^2} \\
 &= \frac{3Q}{2\pi} \cdot \frac{rz^2}{R^3} \dots\dots\dots (3.4)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{3Q}{2\pi} \cdot \frac{rz^2}{(r^2 + z^2)^{5/2}} \\
 &= \frac{3Q}{2\pi z^3} \left[ \frac{1}{1 + (r/z)^2} \right]^{5/2} \dots\dots\dots (3.5)
 \end{aligned}$$

Bila : 
$$K_B = \frac{3}{2\pi} \left[ \frac{1}{1 + (r/z)^2} \right]^{5/2} \dots\dots\dots (3.6)$$

$K_B$  = Faktor pengaruh Boussinesq

Maka : 
$$\sigma_z = K_B \cdot (Q/z^2) \dots\dots\dots (3.7)$$

$K_B$  merupakan fungsi dari  $r/z$  yang tidak berdimensi, selanjutnya dapat dilihat pada tabel  $r/z$  dan  $K_B$  (Tabel 3.1)

Besarnya tegangan radial horizontal adalah

$$\sigma_r = \frac{Q}{2\pi} \left[ \frac{3zr^2}{R^3} - \frac{1-2\mu}{R(R+z)} \right] \dots\dots\dots (3.8)$$

TABEL 3.1.

FAKTOR PENGARUH BOUSSINESQ  $K_B$  UNTUK BEBAN TITIK

$r/z$	$K_B$	$r/z$	$K_B$	$r/z$	$K_B$
0.00	0.4775				
0.01	0.4773				
0.02	0.4764				
0.03	0.4765				
0.04	0.4745				
0.05	0.4745				
0.06	0.4723				
0.07	0.4717				
0.08	0.4699				
0.09	0.4679				
0.10	0.4657				
0.11	0.4633				
0.12	0.4607				
0.13	0.4579				
0.14	0.4548				
0.15	0.4516				
0.16	0.4482				
0.17	0.4446				
0.18	0.4409				
0.19	0.4370				
0.20	0.4329				
0.21	0.4286				
0.22	0.4242				
0.23	0.4197				
0.24	0.4151				
0.25	0.4103				
		0.26	0.4054	0.51	0.2679
		0.27	0.4004	0.52	0.2625
		0.28	0.3954	0.53	0.2571
		0.29	0.3902	0.54	0.2518
		0.30	0.8449	0.55	0.2466
		0.31	0.3797	0.56	0.2414
		0.32	0.3742	0.57	0.2363
		0.33	0.3687	0.58	0.2313
		0.34	0.3632	0.59	0.2263
		0.35	0.3577	0.60	0.2214
		0.36	0.3521	0.61	0.2165
		0.37	0.3465	0.62	0.2117
		0.38	0.3408	0.63	0.2070
		0.39	0.3351	0.64	0.2040
		0.40	0.6394	0.65	0.1978
		0.41	0.3238	0.66	0.1934
		0.42	0.3181	0.67	0.1889
		0.43	0.3124	0.68	0.1846
		0.44	0.3068	0.69	0.1804
		0.45	0.3011	0.70	0.1762
		0.46	0.2955	0.71	0.1721
		0.47	0.2899	0.72	0.1681
		0.48	0.2843	0.73	0.1641
		0.49	0.2788	0.74	0.1603
		0.50	0.2733	0.75	0.1565

Sumber : Ir. SUNGGONO KH, "MEKANIKA TANAH"

Sambungan tabel 3.1.

$r/z$	$K_B$	$r/z$	$K_B$	$r/z$	$K_B$
0.76	0.1527	1.01	0.0823	1.26	0.0443
0.77	0.1491	1.02	0.0803	1.27	0.0433
0.78	0.1455	1.03	0.0783	1.28	0.0422
0.79	0.1420	1.04	0.0764	1.29	0.0412
0.80	0.1386	1.05	0.0744	1.30	0.0402
0.81	0.1353	1.06	0.0727	1.31	0.0393
0.82	0.1320	1.07	0.0709	1.32	0.0364
0.83	0.1288	1.08	0.0691	1.33	0.0374
0.84	0.1257	1.09	0.0674	1.34	0.0365
0.85	0.1226	1.10	0.0658	1.35	0.0357
0.86	0.1196	1.11	0.0641	1.36	0.0348
0.87	0.1166	1.12	0.0626	1.37	0.0340
0.88	0.1138	1.13	0.0610	1.38	0.0332
0.89	0.1110	1.14	0.0595	1.39	0.0324
0.90	0.1083	1.15	0.0581	1.40	0.0317
0.91	0.1057	1.16	0.0567	1.41	0.0309
0.92	0.1031	1.17	0.0553	1.42	0.0302
0.93	0.1005	1.18	0.0539	1.43	0.0295
0.94	0.0981	1.19	0.0526	1.44	0.0288
0.95	0.0956	1.20	0.0513	1.45	0.0282
0.96	0.0933	1.21	0.0501	1.46	0.0275
0.97	0.0910	1.22	0.0489	1.47	0.0269
0.98	0.0887	1.23	0.0477	1.48	0.0263
0.99	0.0865	1.24	0.0466	1.49	0.0257
1.00	0.0844	1.25	0.0454	1.50	0.0251

Sumber : Ir. SUNGGONO KH, "MEKANIKALANAH"

Sambungan Tabel 3.1

r/z	$K_B$	r/z	$K_B$	r/z	$K_B$
1.51	0.0245	1.76	0.0141	2.01	0.0084
1.52	0.0240	1.77	0.0138	2.02	0.0082
1.53	0.0234	1.78	0.0135	2.03	0.0081
1.54	0.0229	1.79	0.0132	2.04	0.0079
1.55	0.0224	1.80	0.0129	2.05	0.0078
1.56	0.0219	1.81	0.0126	2.06	0.0076
1.57	0.0214	1.82	0.0124	2.07	0.0075
1.58	0.0209	1.83	0.0121	2.08	0.0073
1.59	0.0204	1.84	0.0119	2.09	0.0072
1.60	0.0200	1.85	0.0116	2.10	0.0072
1.61	0.0195	1.86	0.0114	2.11	0.0069
1.62	0.0191	1.87	0.0112	2.12	0.0068
1.63	0.0187	1.88	0.0109	2.13	0.0066
1.64	0.0183	1.89	0.0107	2.14	0.0065
1.65	0.0179	1.90	0.0105	2.15	0.0064
1.66	0.0175	1.91	0.0103	2.16	0.0063
1.67	0.0171	1.92	0.0101	2.17	0.0062
1.68	0.0167	1.93	0.0099	2.18	0.0060
1.69	0.0163	1.94	0.0097	2.19	0.0059
1.70	0.0160	1.95	0.0095	2.20	0.0058
1.71	0.0157	1.96	0.0093	2.21	0.0057
1.72	0.0153	1.97	0.0091	2.22	0.0056
1.73	0.0150	1.98	0.0089	2.23	0.0055
1.74	0.0147	1.99	0.0087	2.24	0.0054
1.75	0.0144	2.00	0.0085	2.25	0.0053

Sumber : Ir. SUNGGONO KH, "MEKANIKA TANAH"

### 3.1.2. Beban garis

Gambar di bawah ini menunjukkan garis yang tidak terbatas dibebani dengan distribusi intensitas beban seragam  $q$  per unit area. Tekanan vertikal pada titik P yang terletak pada kedalaman  $z$  di sumbu vertikal pada pertengahan garis.

Dengan asumsi lebar beban garis  $dx$  pada jarak  $x$  dari tengah. Maka berdasarkan intensitas beban garis dan lebar garis  $dx$  menjadi  $q \cdot dx$ . Tekanan

UNIVERSITAS MEDAN AREA

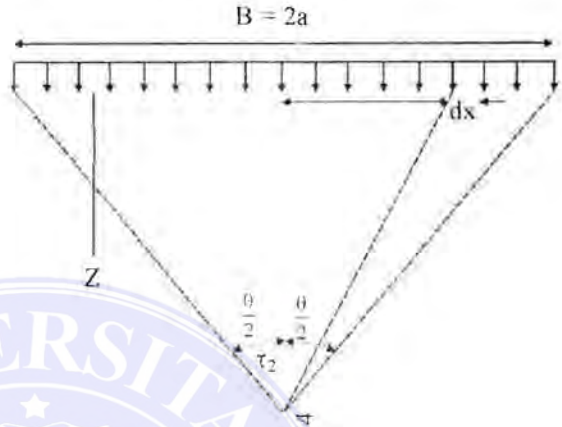
© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

vertikal pada P disebabkan oleh beban garis ini adalah :

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

$$\Delta\tau_z = \frac{2 \cdot (q \cdot dx)}{\pi \cdot z} \cdot \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{x}{z}\right)^2\right)^2}$$

Total tekanan vertikal disebabkan oleh seluruh beban garis adalah



$$\tau_z = \frac{2 \cdot q}{\pi \cdot z} \int_{-a}^{+a} \frac{dx}{\left(1 + \left(\frac{x}{z}\right)^2\right)^2}$$

$$= \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot z} \int_0^{a/z} \frac{dx}{\left(1 + \left(\frac{x}{z}\right)^2\right)^2}$$

$$= \frac{x}{z} \tan \beta, \therefore dx = z \sec^2 \beta$$

$$\tau_z = \frac{4 \cdot q}{\pi} \int_0^{\theta/2} \frac{\sec^2 \beta \cdot z \cdot d\beta}{\left(1 + \tan^2 \beta\right)^2} = \frac{4 \cdot q}{\pi} \int_0^{\theta/2} \cos^2 \beta \cdot d\beta$$

$$\text{atau } \tau_z = \frac{q}{\pi} (\theta + \sin \theta)$$

Tabel di bawah ini menunjukkan tekanan vertikal pada kedalaman yang berbeda di bawah center dari beban seragam dengan intensitas q dan lebar B.

Tekanan vertikal pada pertengahan beban garis

z / B Ratio	Tekanan vertikal $\tau_z$ (% dari q)
1.0	99.7
0.2	97.7
0.5	81.7
1.0	55.0
2.0	30.6
5.0	12.7
10.0	6.4

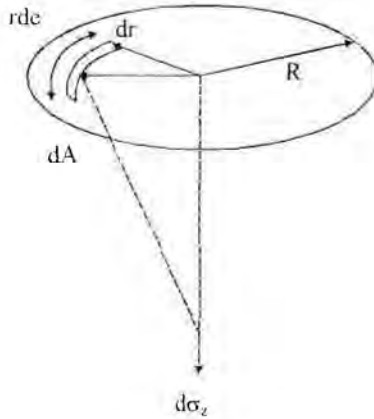
Sambungan tabel 3.1

$r/z$	$K_B$	$r/z$	$K_B$	$r/z$	$K_B$
2.25	0.0052	2.51	0.0033	2.84	0.0019
2.27	0.0051	2.52	0.0033	2.91	0.0017
2.28	0.0050	2.53	0.0032	2.99	0.0015
2.29	0.0049	2.54	0.0032	3.08	0.0013
2.30	0.0048	2.55	0.0031	3.19	0.0011
2.31	0.0047	2.56	0.0031	3.31	0.0009
2.32	0.0047	2.57	0.0030	3.50	0.0007
2.33	0.0046	2.58	0.0030	3.75	0.0005
2.34	0.0045	2.59	0.0029	4.13	0.0003
2.35	0.0044	2.6	0.0116	4.91	0.0001
2.36	0.0043	2.61	0.0028	6.15	0.0001
2.37	0.0043	2.62	0.0028		
2.38	0.0042	2.63	0.0027		
2.39	0.0041	2.64	0.0027		
2.40	0.0040	2.65	0.0026		
2.41	0.0040	2.66	0.0026		
2.42	0.0039	2.68	0.0025		
2.43	0.0038	2.68	0.0025		
2.44	0.0038	2.69	0.0025		
2.45	0.0037	2.70	0.0024		
2.46	0.0036	2.71	0.0023		
2.47	0.0036	2.72	0.0022		
2.48	0.0035	2.73	0.0022		
2.49	0.0034	2.74	0.0021		
2.50	0.0034	2.75	0.0021		

Sumber : Ir. SUNGGONO KH, "MEKANIKA TANAH"

### 3.1.3. Daerah lingkaran dibebani merata

Bila terdapat muatan merata yang bekerja pada permukaan dari massa tanah yang luas, intensitas tegangan vertikal pada salah satu titik P dapat dihitung dengan membagi-bagi luar pembebanan menjadi luas yang kecil  $dA$ . Masing-masing elemen luas menahan beban :  $dQ = q \cdot dA$ .



Gambar 3.3

Tegangan pada titik P akibat beban dari keseluruhan luas beban adalah :

$$\sigma_z = \int d\sigma_z$$

$$\sigma_z = \frac{3q}{2\pi z^2} \int_0^R \int_0^{2\pi} \left[ \frac{1}{1+(r/z)^2} \right]^{5/2} \cdot r \cdot d\theta \cdot dr$$

dimana :  $dA = r \cdot d\theta \cdot dr$

$$\sigma_z = q \cdot \left[ 1 - \left[ \frac{1}{1+(R/z)^2} \right]^{3/2} \right] \dots \dots \dots (3.9)$$

Bila :

$$K_B = 1 - \left[ \frac{1}{1+(R/z)^2} \right]^{3/2} \dots \dots \dots (3.10)$$

$$\text{Maka , } \sigma_z = K_B \cdot q \dots \dots \dots (3.11)$$

Untuk berbagai harga R/z, nilai  $K_B$  tertentu pula. Untuk selanjutnya dapat dilihat pada tabel 3.2

TABEL 3.2

FAKTOR PENGARUH  $K_B$  UNTUK BEBAN MERATA BULAT

$r/z$	$K_B$	$r/z$	$K_B$	$r/z$	$K_B$
0.00	0.0000				
0.05	0.0037				
0.10	0.0148				
0.15	0.0328				
0.20	0.0571				
0.25	0.0869				
0.30	0.1213	1.30	0.7733	8.0	0.9981
0.35	0.1592	1.35	0.7891	9.0	0.9987
0.40	0.1996	1.40	0.8036	10.0	0.9990
0.45	0.2417	1.45	0.8170	12.0	0.9994
0.50	0.2845	1.50	0.8293	14.0	0.9996
0.55	0.3273	1.55	0.8407	16.0	0.9998
0.60	0.3695	1.60	0.8511	20.0	0.9999
0.65	0.4106	1.65	0.8608	100	1.0000
0.70	0.4502	1.70	0.8697	$\infty$	1.0000
0.75	0.4980	1.75	0.8779		
0.80	0.5239	1.80	0.8855		
0.85	0.5577	1.85	0.8925		
0.90	0.5893	1.90	0.8990		
0.95	0.6189	1.95	0.9050		
1.00	0.6465	2.00	0.9106		
1.05	0.6720	2.50	0.9488		
1.10	0.6956	3.00	0.9684		
1.15	0.7175	3.50	0.9793		
1.20	0.7376	4.00	0.9857		
1.25	0.7562	4.50	0.9898		
		5.00	0.9925		
		5.50	0.9943		
		6.00	0.9956		
		6.50	0.9965		
		7.00	0.9972		

Sumber : Ir. SUNGGONO KH, "MEKANIKA TANAH"

### 3.1.4. Daerah persegi dibebani merata

Sebuah beban merata mengambil tempat persegi dengan panjang  $l$  dan lebar  $b$ . Tinjau titik  $P$  di bawah sudut pembebanan, tegangan vertikal yang terjadi adalah :

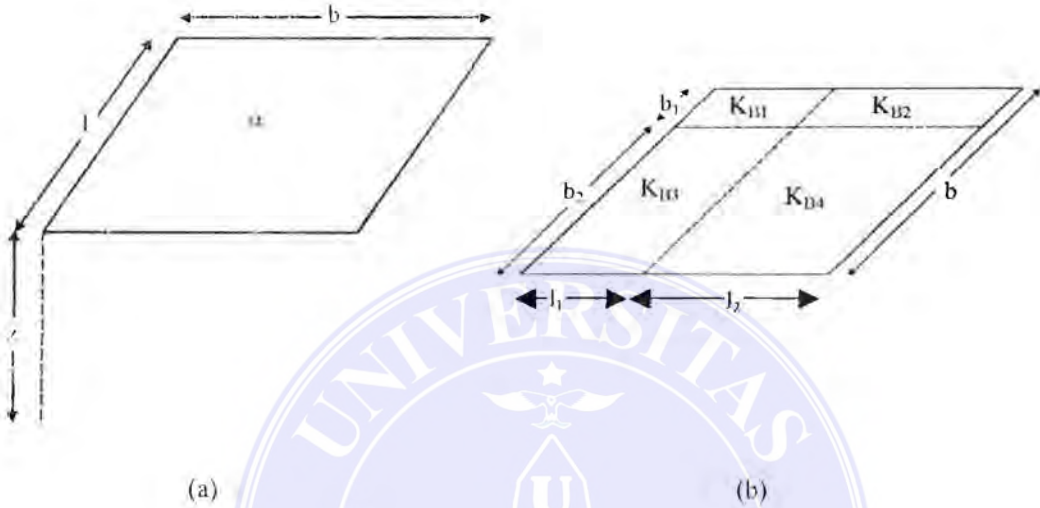
$$\text{UNIVERSITAS MEDAN AREA} \dots \dots \dots (3.12)$$



Faktor pengaruh  $K_B$  dihitung dari cara yang sama dengan pembebanan merata pada daerah bulat.

Besarnya  $K_B$  dapat dilihat dalam tabel 3.3., dimana :

$$M = b/z \quad \text{dan} \quad n = 1/z$$



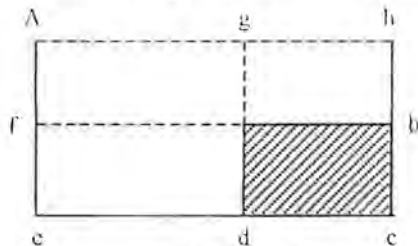
Gambar 3.4.

Seandainya titik yang ditinjau tidak berada di bawah sudut pembebanan, maka bidang persegi terlihat dalam gambar 3.4 (b).

Tegangan pada titik di bawah A merupakan jumlah dari keempat bidang yang terbagi. Jadi,

$$\sigma_z = (q \cdot K_{B1}) + (q \cdot K_{B2}) + (q \cdot K_{B3}) + (q \cdot K_{B4}) \dots\dots\dots (3.13)$$

Begitu pula kalau titik yang ditinjau berada di luar bidang pembebanan, maka bidang beban diperluas dan dibagi-bagi seperti terlihat dalam gambar 3.5.



Gambar 3.5.

Luas abcd = luas (aech - aedg - afbh + afag)

di bawah titik A :

$$\sigma_z = q (K_{B1} - K_{B2} - K_{B3} + K_{B4}) \dots\dots\dots (3.14)$$

Selanjutnya dapat dilihat pada tabel 3.3 untuk harga  $K_B$  pada berbagai nilai m dan n.

TABEL 3.3  
FAKTOR PENGARUH  $K_B$  UNTUK BEBAN MERATA PERSEGI

m	n				
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.1	0.0047	0.0092	0.0132	0.0168	0.0198
0.2	0.0092	0.0179	0.0259	0.0328	0.0387
0.3	0.0132	0.0259	0.0374	0.0474	0.0559
0.4	0.0168	0.0328	0.0474	0.0602	0.0711
0.5	0.0198	0.0367	0.0559	0.0711	0.0840
0.6	0.0222	0.0435	0.0629	0.0801	0.0947
0.7	0.0242	0.0474	0.0686	0.0873	0.1034
0.8	0.0258	0.0504	0.0731	0.0931	0.1104
0.9	0.0270	0.0528	0.0766	0.0977	0.1158
1.0	0.0279	0.0547	0.0794	0.1013	0.1202
1.2	0.0293	0.0573	0.0832	0.1063	0.1263
1.4	0.0301	0.0589	0.0856	0.1094	0.1300
1.6	0.0306	0.0599	0.0871	0.1114	0.1324
1.8	0.0309	0.0606	0.0880	0.1126	0.1340
2.0	0.0311	0.0610	0.0887	0.1134	0.1350
2.5	0.0314	0.0616	0.0895	0.1145	0.1363
3.0	0.0315	0.0618	0.0898	0.1150	0.1368
5.0	0.0316	0.0620	0.0901	0.1154	0.1374
10	0.0316	0.0620	0.0902	0.1154	0.1375
	0.0316	0.0620	0.0902	0.1154	0.1375

Sumber : Ir. SUNGGONO KH, "MEKANIKA TANAH"

m	n				
	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.1	0.0222	0.0242	0.0258	0.0270	0.0279
0.2	0.0435	0.0474	0.0504	0.0528	0.0547
0.3	0.0629	0.0686	0.0731	0.0766	0.0794
0.4	0.0801	0.0873	0.0931	0.0977	0.1013
0.5	0.0947	0.1034	0.1104	0.1158	0.1202
0.6	0.1069	0.1168	0.1247	0.1311	0.1361
0.7	0.1168	0.1277	0.1365	0.1436	0.1491
0.8	0.1247	0.1365	0.1461	0.1537	0.1598
0.9	0.1311	0.1436	0.1537	0.1619	0.1684
1.0	0.1361	0.1491	0.1598	0.1684	0.1752
1.2	0.1431	0.1570	0.1684	0.1777	0.1851
1.4	0.1475	0.1620	0.1739	0.1836	0.1914
1.6	0.1503	0.1652	0.1774	0.1874	0.1955
1.8	0.1521	0.1672	0.1897	0.1899	0.1981
2.0	0.1533	0.1686	0.1812	0.1915	0.1999
2.5	0.1548	0.1704	0.1832	0.1938	0.2024
3.0	0.1555	0.1711	0.1841	0.1947	0.2034
5.0	0.1561	0.1719	0.1849	0.1956	0.2044
10	0.1562	0.1720	0.1850	0.1958	0.2046
	0.1562	0.1720	0.1850	0.1958	0.2046

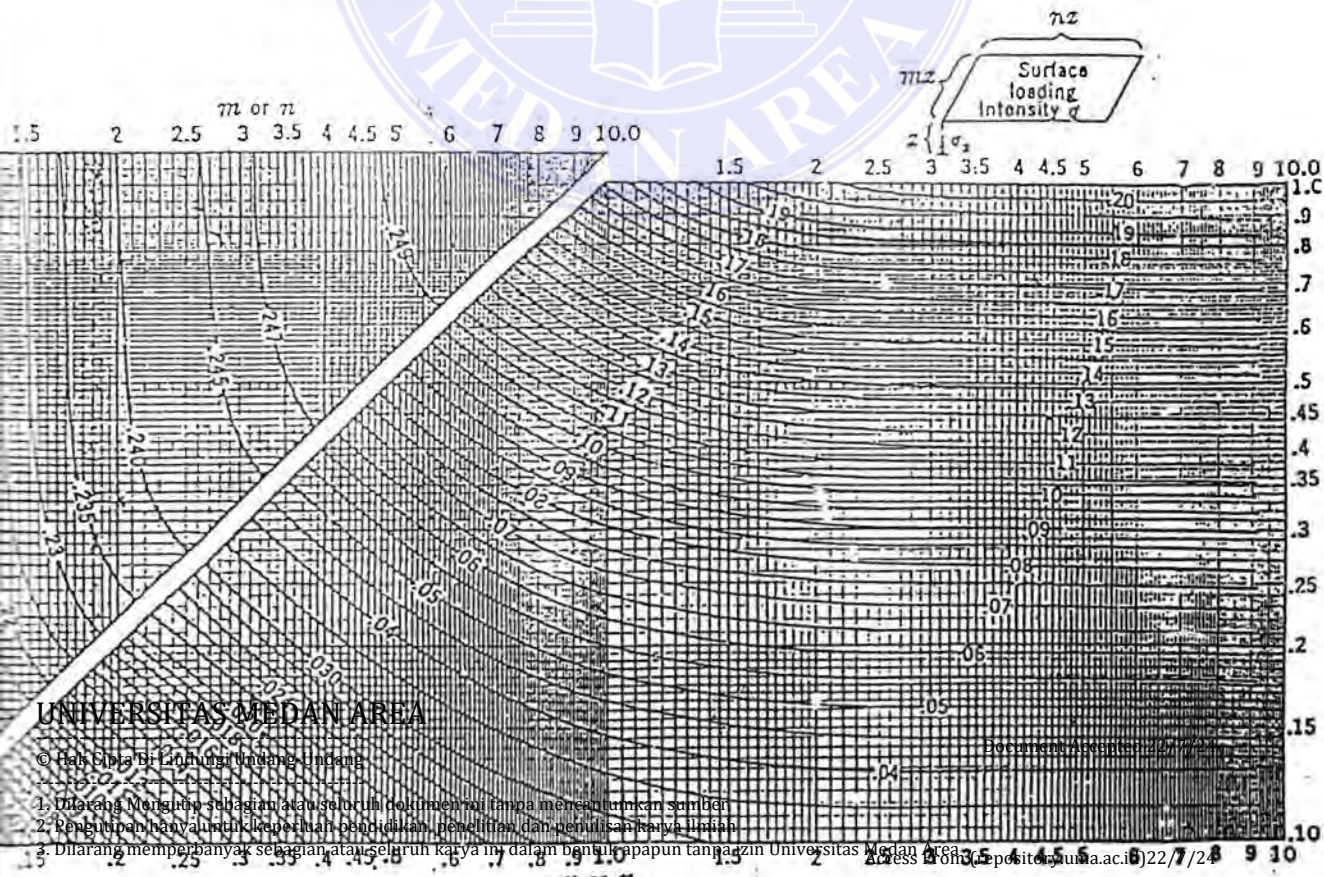
m	n				
	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
0.1	0.0293	0.0301	0.0306	0.0309	0.0311
0.2	0.0573	0.0589	0.0599	0.0606	0.0610
0.3	0.0832	0.0856	0.0871	0.0880	0.0887
0.4	0.1063	0.1094	0.1114	0.1126	0.1134
0.5	0.1263	0.1300	0.1324	0.1340	0.1350
0.6	0.1431	0.1475	0.1503	0.1521	0.1533
0.7	0.1570	0.1620	0.1652	0.1672	0.1686
0.8	0.1684	0.1739	0.1774	0.1797	0.1812
0.9	0.1777	0.1836	0.1874	0.1899	0.1915
1.0	0.1851	0.1914	0.1955	0.1981	0.1999
1.2	0.1958	0.2028	0.2073	0.2103	0.2124
1.4	0.2028	0.2102	0.2151	0.2184	0.2206
1.6	0.2073	0.2151	0.2203	0.2237	0.2261
1.8	0.2103	0.2184	0.2237	0.2274	0.2299
2.0	0.2124	0.2206	0.2261	0.2299	0.2325
2.5	0.2151	0.2236	0.2294	0.2333	0.2361
3.0	0.2163	0.2250	0.2309	0.2350	0.2378
5.0	0.2175	0.2263	0.2324	0.2366	0.2395
10	0.2177	0.2265	0.2326	0.2368	0.2399
	0.2177	0.2266	0.2326	0.2369	0.2399

m	n				
	2.5	3.0	5.0	10.0	
0.1	0.0314	0.0315	0.0316	0.0316	0.0316
0.2	0.0616	0.0618	0.0620	0.0620	0.0620
0.3	0.0895	0.0898	0.0901	0.0902	0.0902
0.4	0.1145	0.1150	0.1154	0.1154	0.1154
0.5	0.1363	0.1368	0.1374	0.1375	0.1375
0.6	0.1548	0.1555	0.1561	0.1562	0.1562
0.7	0.1704	0.1711	0.1719	0.1720	0.1720
0.8	0.1832	0.1841	0.1849	0.1850	0.1850
0.9	0.1938	0.1947	0.1956	0.1958	0.1958
1.0	0.2024	0.2034	0.2044	0.2046	0.2046
1.2	0.2151	0.2163	0.2175	0.2177	0.2177
1.4	0.2236	0.2250	0.2263	0.2265	0.2266
1.6	0.2294	0.2309	0.2324	0.2326	0.2326
1.8	0.2333	0.2350	0.2366	0.2368	0.2369
2.0	0.2361	0.2378	0.2395	0.2399	0.2399
2.5	0.2401	0.2420	0.2439	0.2443	0.2443
3.0	0.2420	0.2349	0.2461	0.2465	0.2465
5.0	0.2439	0.2461	0.2486	0.2491	0.2492
10	0.2443	0.2465	0.2491	0.2498	0.2499
	0.2443	0.2465	0.2492	0.2499	0.2500

Sumber : Ir. SUNGGONO KH, "MEKANIKA TANAH"

Sumber : THE LATE DONALD W. TAYLOR. " FUNDAMENTALS OF SOIL

MECHANICS "



UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Peta untuk memperoleh nilai tegangan vertikal di bawah sudut pembebanan merata persegi  $f_B(m, n)$ ;  $\sigma_z = q \cdot f_B(m, n)$

3.1.5. Cara ekivalen beban titik

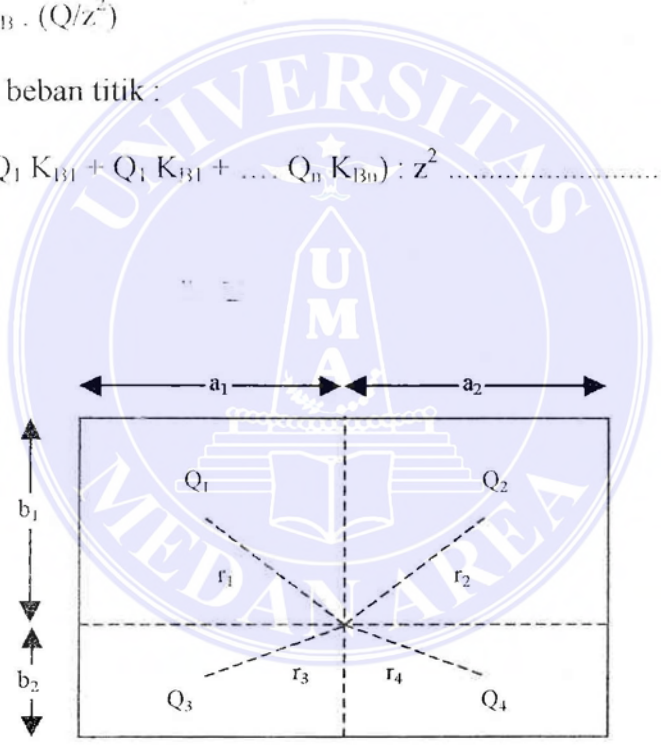
Cara ini adalah menghitung tegangan yang terjadi akibat beban merata dengan menganggap beban merata sebagai beban titik yang bekerja pada pusat-pusat bidang beban merata.

Dari persamaan (3.7) beban titik murni :

$$\sigma_z = K_B \cdot (Q/z^2)$$

Pada ekivalen beban titik :

$$\sigma_z = (Q_1 K_{B1} + Q_1 K_{B1} + \dots + Q_n K_{Bn}) : z^2 \dots \dots \dots (3.15)$$



Gambar 3.7

Dimana :  $Q_1 = q (a_1 \cdot b_1)$

$$Q_2 = q (a_2 \cdot b_2)$$

$$Q_3 = q (a_3 \cdot b_3)$$

$$Q_4 = q (a_4 \cdot b_4)$$

UNIVERSITAS MEDAN AREA

lihat di tabel 3.1

### 3.1.6. Bagan pengaruh Newmark

Metode yang lebih akurat untuk menghitung tegangan vertikal pada sembarang titik di bawah area yang dibebani merata baik dari bentuk bundar maupun bentuk persegi adalah dengan bantuan bagan pengaruh yang dilanjutkan Newmark (1942). Sebuah bagan, yang memuat sejumlah lingkaran dan garis yang memancar (radiasi) yang dibuat sedemikian sehingga pengaruh dari tiap unit area (yang dibentuk dari dua lingkaran konsentris dan dua garis radiasi) adalah sama dengan pusat lingkaran, yaitu : tiap unit area mengakibatkan tegangan vertikal yang setara dengan pusat diagram.

Misalkan sebuah daerah bulat dibebani merata dengan radius  $r_1$  cm dibagi menjadi 20 sektor (unit area) seperti terlihat pada gambar 3.8. Jika  $q$  adalah besarnya beban, dan  $\sigma_z$  adalah tegangan vertikal pada kedalaman  $z$  di bawah pusat area, tiap unit area seperti  $OA_1B_1$  mempunyai tegangan yang sama dengan  $\sigma_z/20$  pada pusat.

Maka dari persamaan 3.9,

$$\frac{\sigma_z}{20} = \frac{q}{20} \left[ 1 - \left[ \frac{1}{1+(r_1/z)^2} \right]^{3/2} \right] = i_r \cdot q \dots\dots\dots (3.16)$$

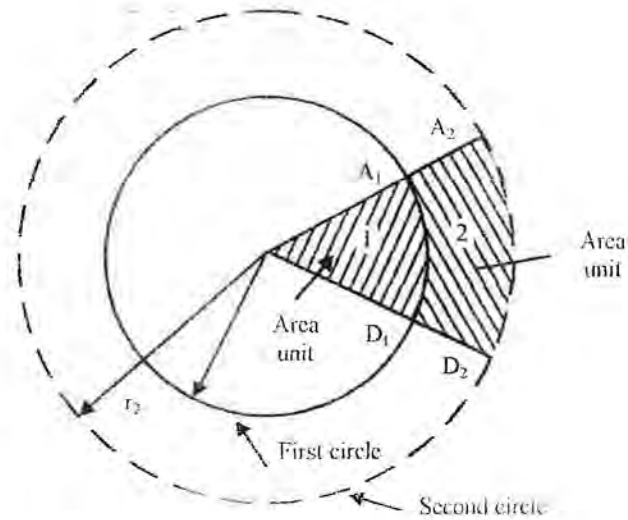
dimana :  $i_r$  = influence value

$$= \frac{1}{20} \left[ \left[ 1 - \frac{1}{1+(r_1/z)^2} \right]^{3/2} \right]$$

Jika  $i_r$  dibuat sama dengan sebuah harga arbitrary, misalnya 0,005

diperoleh:

$$= \frac{q}{20} \left[ 1 - \left[ \frac{1}{1+(r_1/z)^2} \right]^{3/2} \right] = 0,005 q \dots\dots\dots (3.17)$$



Gambar 3.8

Persiapan dari bagan pengaruh

Misalnya harga  $z = 5$  cm, dari persamaan (3.17) diperoleh  $r_1 = 1,35$  cm. Maka jika sebuah lingkaran digambar dengan radius  $r_1 = 1,35$  cm dan dibagi menjadi 20 unit area yang sama besar, tiap unit area mempunyai tegangan yang sama dengan  $0,005 q$  pada kedalaman 5 cm.

Ambil radius dari lingkaran konsentris kedua sama dengan  $r_2$  cm. Dengan memperpanjang ke dua puluh garis radial, antara kedua lingkaran kembagi terbagi dalam 20 unit area.  $A_1A_2 B_1B_2$  adalah salah satu dari unit area itu. Tegangan vertikal pada pusat sehubungan dengan unit area itu menjadi  $0,005 q$ . maka tegangan total sehubungan dengan unit area  $OA_1B_1$  dan  $A_1A_2 B_1B_2$  pada kedalaman  $z = 5$  cm di bawah pusat adalah  $2 \times 0,005 q$ . Maka dari persamaan (3.9) :

Tegangan vertikal sehubungan dengan  $OA_2B_2$

$$\frac{q}{20} \left[ 1 + \frac{1}{1 + (1,35/5)^2} \right]^{3/2} = 2 \cdot 0,005 q$$

Substitusi  $z = 5$  cm, diperoleh  $r_2 = 2$  cm dari hubungan di atas. Demikian juga, lingkaran ke - 3,4,5,6,7,8,9 dapat dihitung, dan ditabelkan pada tabel 3.4. Lingkaran ke-10 diberikan oleh persamaan berikut :

$$\frac{q}{20} \left[ 1 - \left[ \frac{1}{1 + (r_{10}/z)^2} \right]^{3/2} \right] = 10 \cdot 0,005 q = \frac{q}{20}$$

Dari persamaan di atas diperoleh,  $r_{10} =$  tak terhingga.

Gambar 3.9 menunjukkan bagan pengaruh yang digambar berdasarkan tabel 3.4.

Tabel 3.4

Nomor lingkaran	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9 1/2	10
Radius (cm)	1,35	2,0	2,59	3,18	3,38	4,59	5,54	6,94	9,54	16,62	

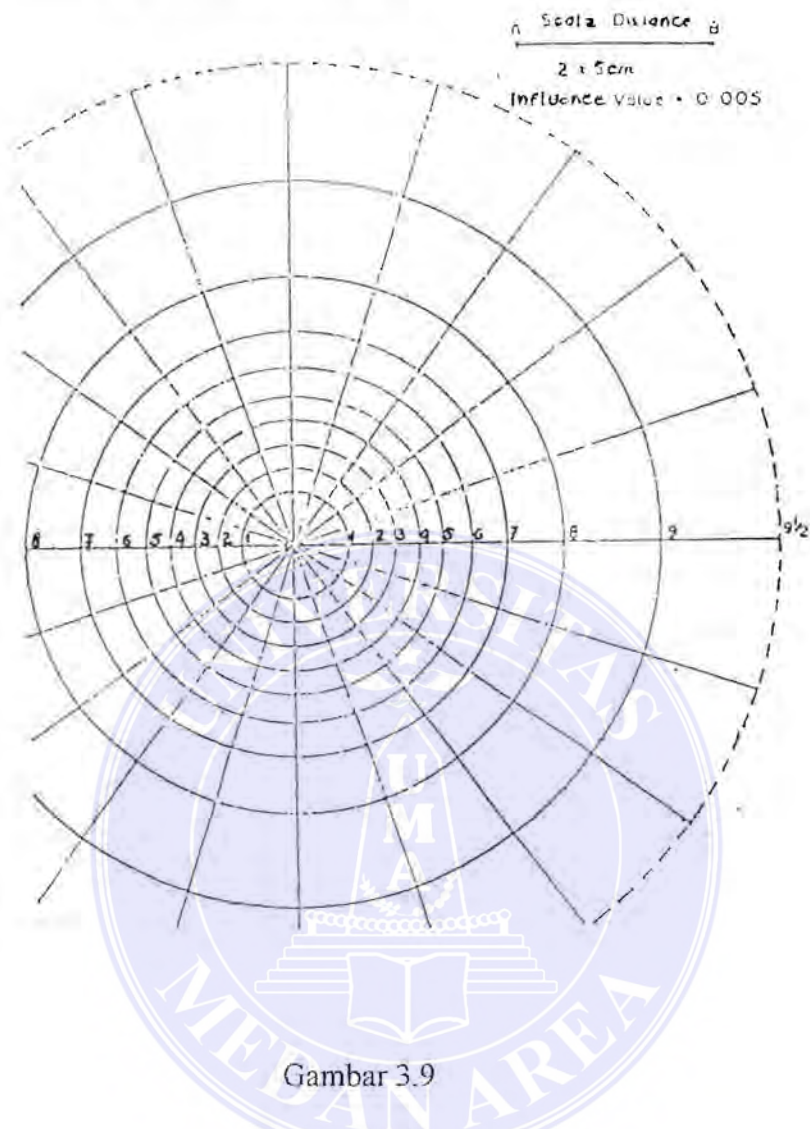
Sumber : DR. B.C.PUNMIA, "SOIL MECHANICS AND FOUNDATIONS"

Untuk menggunakan bagan Newmark dalam menghitung tegangan vertikal pada sembarang titik di bawah area yang dibebani, maka gambar dari area pembebanan dibuat dahulu dengan skala, dimana panjang AB (= 5 cm) yang digambar mewakili dalamnya tegangan yang diminta. Misalnya, jika tegangan yang dicari adalah pada kedalaman 5 cm, maka skala : 5 cm = 5 m, atau 1 cm = 1 m. gambar dari area yang dibebani ditempatkan sedemikian rupa pada bagan, yang mana titik pada kedalaman mana tegangan diminta adalah bertepatan dengan pusat dari bagan. Titik dimana tegangan yang diminta boleh berada di dalam ataupun di luar area pembebanan. Jumlah total unit area (termasuk yang pecahan) yang diliputi oleh gambar pembebanan dihitung. Tegangan vertikal kemudian diperoleh dari hubungan :

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**



dimana :  $N_A$  = jumlah unit area di bawah area pembebanan.



Gambar 3.9  
Bagan Pengaruh Newmark  
(Analisa Boussinesq)

Sumber : DR. B.C.PUNMIA, "SOIL MECHANICS AND FOUNDATIONS"

### 3.2. Cara Westergaard

Westergaard (1938) juga memecahkan problem distribusi tegangan pada tanah di bawah suatu beban titik, dengan menganggap bahwa tanah adalah media elastis homogen, infinite, ruang yang rapat, lapisan horizontal dengan

ketebalan yang dapat diabaikan dengan kekakuan yang tak terbatas yang mana hanya memungkinkan deformasi ke arah vertikal pada massa sebagai keseluruhannya tanpa memungkinkan tanah berdeformasi pada tegangan lateral.

Persamaan Westergaard untuk tegangan vertikal yang diakibatkan oleh beban titik :

$$\sigma_z = \frac{Q}{z^2} \cdot \frac{1}{2\pi} \frac{\sqrt{1-2\mu}}{\sqrt{2-2\mu}} \frac{1}{\left[ \frac{1-2\mu}{2-2\mu} + \left[ \frac{r}{z} \right]^2 \right]^{3/2}} \quad (3.19)$$

Pada titik yang berada tepat di bawah beban, tegangan mempunyai nilai minimum sewaktu ratio Poisson mempunyai nilai minimum 0. Maka :

$$\sigma_z = \frac{Q}{z^2} \cdot \frac{1/\pi}{\left[ 1+2(r/z)^2 \right]^{3/2}} = \frac{Q}{z^2} K_w \quad (3.20)$$

dimana :  $K_w$  = Faktor pengaruh Westergaard

$$K_w = \frac{1/\pi}{\left[ 1+2(r/z)^2 \right]^{3/2}} \quad (3.21)$$

Nilai  $K_w$  sebagai fungsi dari  $r/z$  diberikan pada tabel 3.5

TABEL 3.5

FAKTOR PENGARUH WESTERGAARD  $K_w$  UNTUK BEBAN TITIK

$r/z$	$K_w$	$r/z$	$K_w$	$r/z$	$K_w$
0.00	0.3183				
0.02	0.3178				
0.04	0.3168				
0.06	0.3149				
0.08	0.3123				
0.10	0.3090				
0.12	0.3050	0.52	0.1664	1.02	0.0589
0.14	0.3005	0.54	0.1598	1.04	0.0566
0.16	0.2953	0.56	0.1534	1.06	0.0544
0.18	0.2897	0.58	0.1471	1.08	0.0523
0.20	0.2836	0.60	0.1411	1.10	0.0503
0.22	0.2771	0.62	0.1353	1.12	0.0484
0.24	0.2703	0.64	0.1298	1.14	0.0466
0.26	0.2632	0.66	0.1244	1.16	0.0449
0.28	0.2558	0.68	0.1192	1.18	0.0432
0.30	0.2483	0.70	0.1142	1.20	0.0416
0.32	0.2407	0.72	0.1095	1.22	0.0401
0.34	0.2331	0.74	0.1050	1.24	0.0386
0.36	0.2254	0.76	0.1006	1.26	0.0373
0.38	0.2175	0.78	0.0964	1.28	0.0360
0.40	0.2099	0.80	0.0925	1.30	0.0347
0.42	0.2023	0.82	0.0887	1.32	0.0335
0.43	0.1949	0.84	0.0850	1.34	0.0324
0.44	0.1875	0.86	0.0815	1.36	0.0312
0.48	0.1803	0.88	0.0783	1.38	0.0302
0.50	0.1733	0.90	0.0751	1.40	0.0292
		0.92	0.0721	1.42	0.0282
		0.94	0.0692	1.44	0.0273
		0.96	0.0664	1.46	0.0264
		0.98	0.0638	1.48	0.0255
		1.00	0.0613	1.50	0.0247

Sumber : DR. B.C. PUNMIA, "SOIL MECHANICS AND FOUNDATIONS"

Sambungan tabel 3.5

r / z	K <sub>w</sub>	r / z	K <sub>w</sub>	r / z	K <sub>w</sub>
1.52	0.0239	1.82	0.0151	2.60	0.0058
1.54	0.0231	1.84	0.0147	2.70	0.0052
1.56	0.0224	1.86	0.0143	2.80	0.0047
1.58	0.0217	1.88	0.0139	3.00	0.0038
1.60	0.0210	1.90	0.0135		
1.62	0.0204	1.92	0.0131		
1.64	0.0198	1.94	0.0128		
1.66	0.0192	1.96	0.0124		
1.68	0.0186	1.98	0.0121		
1.70	0.0180	2.00	0.0118		
1.72	0.0175	2.10	0.0103		
1.74	0.0170	2.20	0.0091		
1.76	0.0165	2.30	0.0081		
1.78	0.0160	2.40	0.0072		
1.80	0.0156	2.50	0.0064		

Sumber : DR. B.C. PUNMIA, "SOIL MECHANICS AND FOUNDATIONS"

Persamaan (3.20) mempunyai bentuk yang sama dengan persamaan (3.7) yang menyatakan kasus insotropic. Maka pada gambar 3.10 dapat kita bandingkan nilai K<sub>B</sub> dan K<sub>w</sub>.

Persamaan (3.20) dapat diintegral untuk memperoleh tegangan vertikal di bawah beban merata bulat dan persegi.

Untuk beban merata bulat :

$$\sigma_z = q \left[ 1 - \left[ \frac{1}{1 + (R/z)^2} \right]^{1/2} \right] \dots\dots\dots (3.22)$$

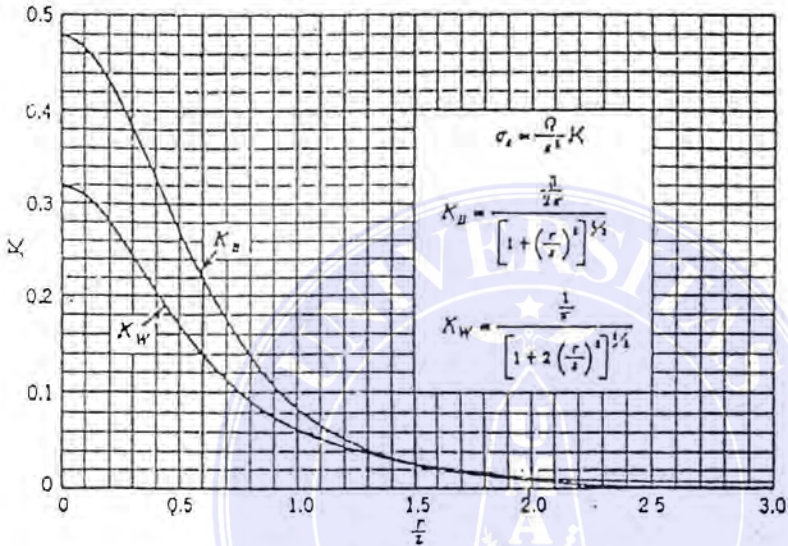
dimana :  $\zeta = \sqrt{\frac{1 - 2\mu}{2(1 - \mu)}}$

Untuk beban merata persegi :

$$\sigma_z = \frac{q}{2\pi} \cot^{-1} \sqrt{\left[ \frac{1-2\mu}{2-2\mu} \right] \cdot \left[ \frac{1}{m^2} + \frac{1}{n^2} \right] + \left[ \frac{1-2\mu}{2-2\mu} \right]^2 \frac{1}{m^2 n^2}} \dots\dots\dots (3.23)$$

jika  $\mu = 0$ , persamaan menjadi :

$$\sigma_z = \frac{q}{2\pi} \cot^{-1} \sqrt{\frac{1}{2m^2} + \frac{1}{2n^2} + \frac{1}{4m^2 n^2}} \dots\dots\dots (3.24)$$

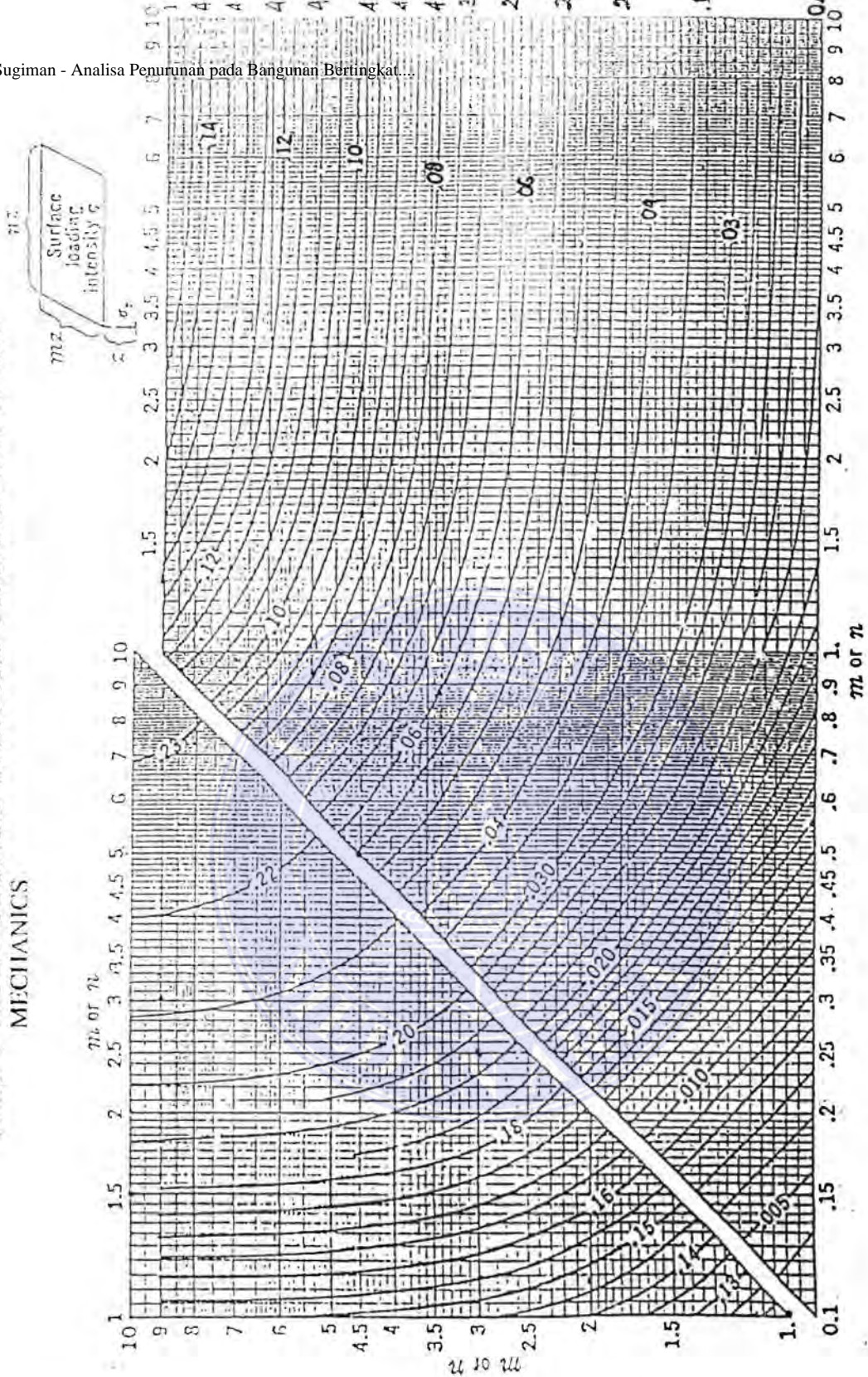


Gambar 3.10

Kurva nilai KB dan KW untuk beban titik pada material elastis.

Sumber : THE LATE DONALD W. TAYLOR, "FOUNDAMENTALS OF SOIL MECHANICS"

Sumber : THE LATE DONALD W. TAYLOR. "FUNDAMENTALS OF SOIL MECHANICS"



Gambar 3.11.

Peta untuk memperoleh nilai tegangan vertikal di bawah sudut pembebanan beban merata persegi, berdasarkan persamaan westergaard. Peta memberikan nilai  $f_z(m,n) ; \alpha_z$

$$= \alpha_z \cdot f_z(m,n)$$

UNIVERSITAS MEDAN AREA

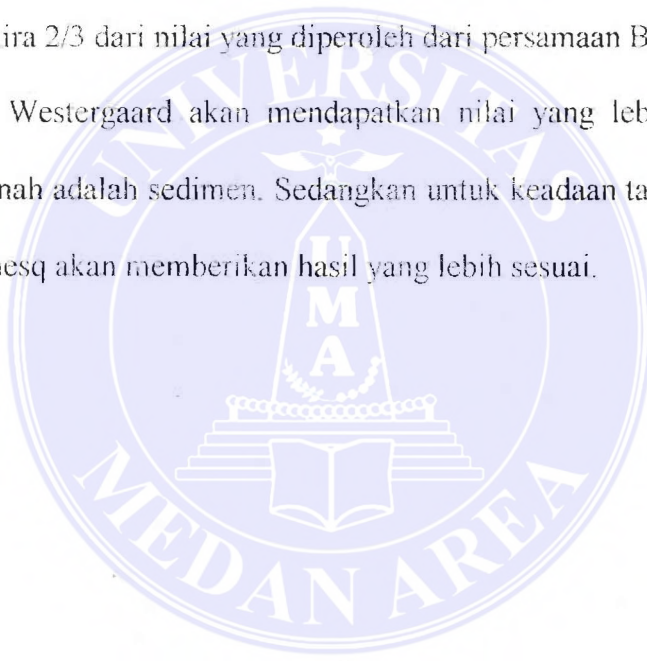
© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Peta untuk memperoleh, nilai tegangan vertikal di bawah sudut pembebanan beban merata persegi, berdasarkan persamaan Westergaard. Peta memberikan nilai  $f_w(m, n)$ ;  $\sigma_z = q \cdot f_w(m, n)$

### 3.3. Perbandingan antara persamaan Boussinesq dan Westergaard

Untuk kasus beban titik dengan nilai  $r/z$  kecil dari 0,8 dan pada kasus beban merata dengan nilai  $m$  dan  $n$  kecil dari tak terhingga, bila  $\mu$  (ratio poisson) dari Westergaard diambil  $= 0$ , akan diperoleh bahwa nilai tegangan vertikal Westergaard kira-kira  $2/3$  dari nilai yang diperoleh dari persamaan Boussinesq.

Persamaan Westergaard akan mendapatkan nilai yang lebih mendekati apabila keadaan tanah adalah sedimen. Sedangkan untuk keadaan tanah isotropic, persamaan Boussinesq akan memberikan hasil yang lebih sesuai.



## BAB VI

### KESIMPULAN

#### Kesimpulan

1. Penurunan yang terjadi pada tanah menimbulkan banyak masalah pada bangunan, jalan dan konstruksi lainnya. Penurunan terjadi karena tanah mengalami tegangan. Tanah yang mengalami penurunan tidak dapat dikembalikan lagi keadaannya seperti semula walaupun tegangan ditiadakan, karena pengurangan angka pori yang permanen telah dihasilkan.
2. Ada tiga jenis penurunan yang dapat terjadi pada lapisan tanah, yaitu : penurunan segera, penurunan konsolidasi, dan penurunan rangkai. Pada tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus yang kering ataupun jenuh sebagian, yang terutama terjadi dan perlu diperhitungkan adalah penurunan segera. Sedangkan pada tanah berbutir halus yang jenuh atau hampir jenuh, perlu diperhitungkan penurunan konsolidasi. Penurunan rangkai terjadi sesudah penurunan konsolidasi terutama pada tanah organis, tetapi jenis penurunan ini sulit diramalkan dan hasil ramalannya masih diragukan.
3. Konsolidasi merupakan proses yang lambat laun yang terjadi pada lapisan tanah lempung atau tanah berbutir halus yang jenuh dan yang hampir jenuh. Penurunan yang dihasilkan adalah tergantung kepada waktu. Adapun perhitungan mencari besar dan lamanya konsolidasi pada tugas akhir ini



adalah hanya bersifat ramalan saja, tetapi penurunan sebenarnya yang terjadi di lokasi tidak akan menyimpang jauh.

4. Apabila penurunan total akibat konsolidasi adalah cukup besar, maka perlu diperkirakan tingkat konsolidasinya ( $= U$ ), supaya dapat diketahui bila bagian yang penting dari penurunan itu akan terjadi. Tetapi apabila penurunan totalnya kecil, tingkat penurunan biasanya tidak terlalu penting.
5. Semakin dalam tanah, tahanan efektif tanah akibat adanya pembebanan fondasi adalah semakin kecil. Sementara itu besar penurunan konsolidasi pada lapisan tanah yang lebih dalam juga lebih kecil (untuk tanah yang  $C_c$  dan  $e_0$  - nya seragam).
6. Untuk setiap penambahan tekanan, tinggi tanah akan semakin berkurang, selain itu angka pori, koefesien kompresibilitas  $a_v$  dan koefesien, volume tekanan  $m_v$  juga semakin kecil.

## DAFTAR PUSTAKA

1. DR. B. C. PUNMIA, "SOIL MECHANICS AND FOUNDATIONS",  
Penerbit : Standard Book House Delhi
2. JOSEPH E. BOWLES, "SIFAT-SIFAT FISIS DAN GEOTEKNIS TANAH",  
Penerbit : Erlangga
3. G.A. LEONARDS, "FOUNDATION ENGINEERING",  
Penerbit : McGraw-Hill Book Company, Inc.
4. BRAJA M. DAS, "ADVANCED SOIL MECHANIS",  
Penerbit : McGraw-Hill Book Company, Inc.
5. Ir. SUNGGONO KIH, "MEKANIKA TANAH",  
Penerbit : Nova
6. THE LATE DONALD W. TAYLOR, "FOUNDATION OF SOIL  
MECHANICS",  
Penerbit : New-York – John Wiley & Sons, Inc.
7. CIPTA SCIENCE SERIES, "IKHTISAR MEKANIKA TANAH + 160  
DETAIL PENYELESAIAN",  
Penerbit : Cipta Science Series
8. WILLIAM H. PERLOFF, Ph. D., "SOIL MECHANICS, PRINCIPLES AND  
APPLICATION",  
Penerbit : John Wiley & Sons, Inc.