

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 TINJAUAN UMUM

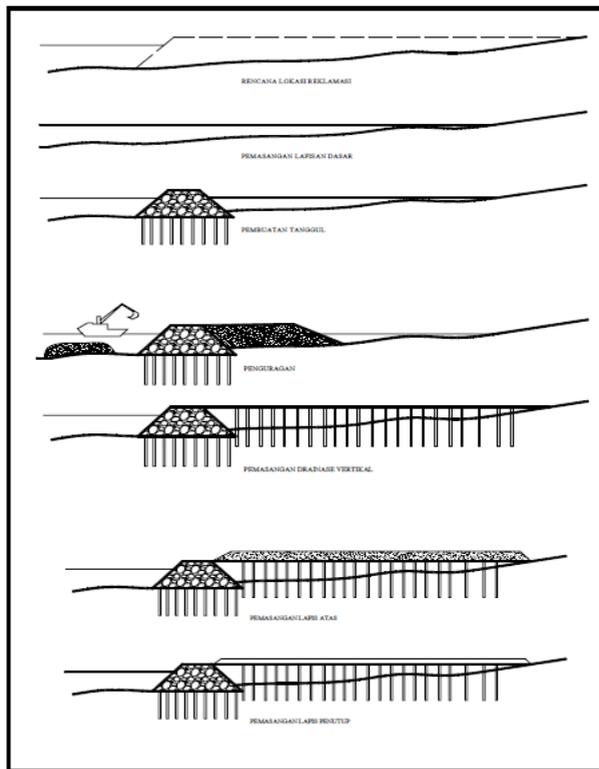
Reklamasi adalah proses pembuatan daratan baru dari dasar laut atau dasar sungai. Tanah yang direklamasi disebut tanah reklamasi atau landfill. Reklamasi bertujuan untuk menambah luasan daratan untuk suatu aktivitas yang sesuai di wilayah tersebut. Sebagai contoh pemanfaatan lahan reklamasi adalah untuk keperluan industri, terminal peti kemas, kawasan pariwisata dan kawasan pemukiman. Selain untuk tujuan di atas, kegiatan reklamasi ini juga dapat dimanfaatkan untuk keperluan konservasi wilayah pantai.

1. Sistem Urugan

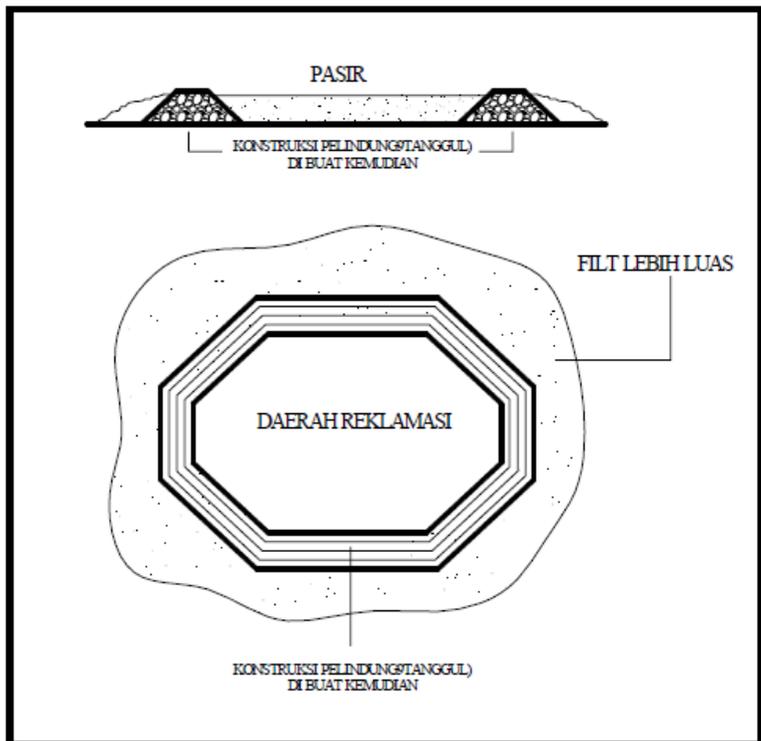
Sistem reklamasi dengan jalan mengurug lahan yang akan direklamasi kemudian diikuti dengan langkah-langkah perlindungan dari sistem perbaikan tanahnya (tanah urug reklamasi). Sistem ini

berkembang didukung dengan berbagai jenis alat-alat besar seperti alat penggalian tanah, alat pengambilan dan pengeruk tanah, alat-alat transport, perlengkapan penebaran bahan-bahan tanah urug, dan alat perlengkapan pemadatan tanah. Pada sistem ini dibedakan dua macam cara kerja yaitu:

1. *HYDRAULIC FILL*: Dibuat tanggul terlebih dahulu baru kemudian dilakukan pengurugan.
2. *BLANKET FILL*: Tanah di urug lebih dahulu baru kemudian tanggul atau sistem perlindungan dibuat belakangan.



Gambar 2.1 Sistem Urugan dengan Sistem *Hydraulic Fill*



Gambar 2.2 Reklamasi dengan Blanket Fill

2. Material Urugan Reklamasi

Dalam Pekerjaan reklamasi dengan urugan, ada beberapa aspek yang dipertimbangkan yaitu antara lain: jenis material, volume kebutuhan material, lokasi sumber material, waktu yang tersedia dan biaya.

Sehingga akan berpengaruh pada metode pelaksanaan dan peralatan yang digunakan.

1. Material Pasir

Material urugan yang baik umumnya berupa pasir dengan kandungan pasir halus tidak melebihi 15%, Sedangkan untuk dasar tanggul dan untuk permukaan dasar tanah yang lembek, maka persyaratannya lebih baik lagi yaitu bandingan fraksi halusnya $< 10\%$.

2. Material Batu

Material ini terutama digunakan sebagai konstruksi perlindungan daerah yang akan direklamasi antara lain yaitu: Dengan tumpukan batu (*Rubble Mound*) jenis batu yang digunakan umumnya merupakan batuan beku karena batuan ini memiliki nilai ketahanan yang tinggi terhadap proses erosi dan pelapukan.

3. Material Tanah

Sebagai material reklamasi tanah umumnya lebih banyak digunakan sebagai material penutup pada bagian paling atas suatu timbunan.

2.2 PENYELIDIKAN TANAH (SOIL INVESTIGATION)

Pada perencanaan pondasi terlebih dahulu perlu diketahui susunan lapisan tanah yang sebenarnya pada suatu tempat dan juga hasil pengujian laboratorium dari sampel tanah yang diambil dari berbagai kedalaman lapisan tanah dan mungkin kalau ada perlu juga diketahui hasil pengamatan lapangan yang dilakukan sewaktu pembangunan gedung-gedung atau bangunan-bangunan lain yang didirikan dalam kondisi tanah yang serupa.

Penyelidikan tanah diperlukan untuk menentukan pilihan jenis pondasi, daya dukungnya dan untuk menentukan metode konstruksi yang efisien dan juga diperlukan untuk menentukan

stratifikasi (pelapisan) tanah dan karakteristik teknis tanah sehingga perancangan dan konstruksi pondasi dapat dilakukan dengan ekonomis.

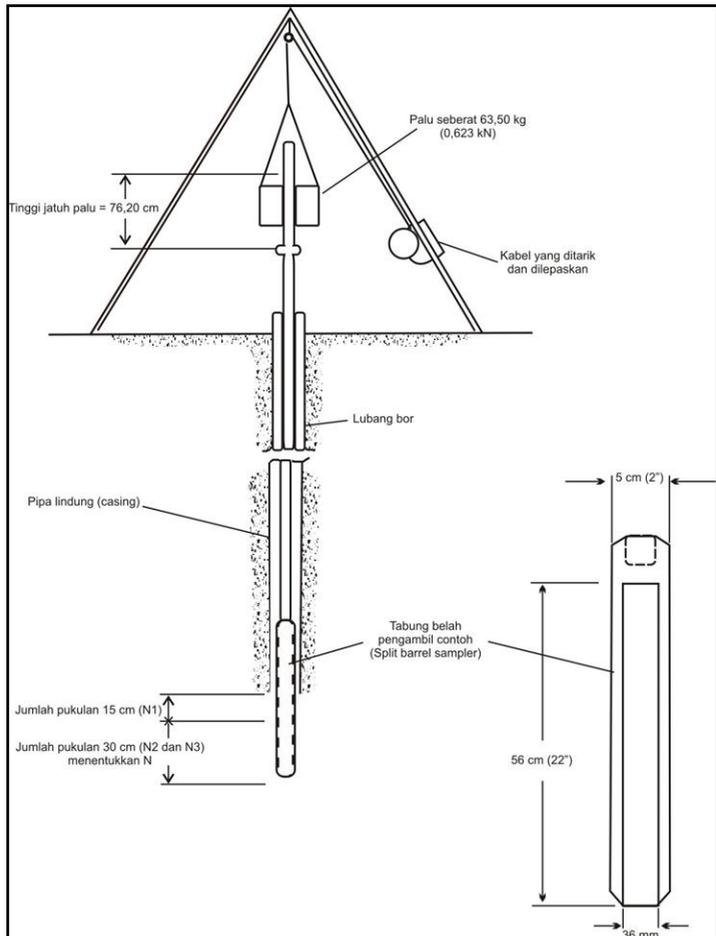
2.2.1 Standard Penetration Test (SPT)

Suatu metode uji yang dilaksanakan bersamaan dengan pengeboran untuk mengetahui, baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh terganggu dengan teknik penumbukan. Uji *SPT* terdiri atas uji pemukulan tabung belah dinding tebal ke dalam tanah, disertai pengukuran jumlah pukulan untuk memasukkan tabung belah sedalam 300 mm vertikal. Dalam sistem beban jatuh ini digunakan palu dengan berat 63,5 kg, yang dijatuhkan secara berulang dengan tinggi jatuh 0,76 m. Pelaksanaan pengujian dibagi dalam tiga tahap, yaitu berturut-turut setebal 150 mm untuk masing-masing tahap. Tahap pertama dicatat sebagai dudukan, sementara jumlah pukulan untuk memasukkan tahap ke-dua dan ke-tiga dijumlahkan untuk

memperoleh nilai pukulan N atau perlawanan *SPT* (dinyatakan dalam pukulan/0,3 m).

Peralatan yang diperlukan dalam uji penetrasi dengan *SPT* adalah sebagai berikut:

- a) Mesin bor yang dilengkapi dengan peralatannya;
- b) Mesin pompa yang dilengkapi dengan peralatannya;
- c) *Split barrel sampler* yang dilengkapi dengan dimensi seperti diperlihatkan pada Gambar 1 (ASTM D 1586-84);
- d) Palu dengan berat 63,5 kg dengan toleransi meleset $\pm 1\%$.
- e) Alat penahan (*tripod*);
- f) Rol meter;
- g) Alat penyipat datar;
- h) Kerekan;
- i) Kunci-kunci pipa;
- j) Tali yang cukup kuat untuk menarik palu;
- k) Perlengkapan lain.



Gambar 2.3 Penetrasi dengan SPT

2.3 TANAH LEMPUNG LUNAK

Tanah merupakan partikel padat, terdiri dari berbagai ukuran dari kecil hingga besar, yang menurut standart US, berdasarkan besar butirannya dikelompokkan menjadi :

1. Kerikil dengan ukuran diameter 4,750 mm – 50,00 mm.
2. Pasir dengan ukuran diameter 0,075 mm – 4,75 mm.
3. Lanau dengan ukuran diameter 0,002 mm – 0,075 mm.
4. Lempung dengan ukuran diameter <0.002 mm.

Tanah lunak dibagi menjadi 2 (dua) tipe, yaitu lempung lunak & Gambut. Tanah lempung lunak mengandung mineral-mineral lempung dan mengandung kadar air yang tinggi sedangkan tanah gambut merupakan jenis tanah yang pembentuk utamanya terdiri dari sisa-sisa tumbuhan.

Berikut ciri-ciri nya :

1. Lanau (Silt) Tanah lanau memiliki kekuatan geser undrained yang rendah yaitu sekitar 10 – 20 Kpa untuk tanah lanau yang lunak, dan 4 – 10 Kpa untuk tanah lanau yang sangat lunak. Tingkat plastisitasnya rendah dan memiliki permeabilitas yang tinggi sehingga penurunan konsolidasi terjadi begitu cepat.
2. Lempung (Clay) Tanah lempung memiliki tegangan geser dan permeabilitas yang rendah, namun plastisitas tanah lempung yang tinggi. Karena koefisien permeabilitas tanah lempung yang rendah, penurunan konsolidasi tanah lempung terjadi sangat lama.
3. Tanah Organik (Tanah Gambut) Tanah organik biasanya berbau tumbuhan atau kayu yang sudah membusuk. Tanah ini disebut sebagai Tanah gambut bila tingkat organiknya mencapai lebih dari 75% dan memiliki kadar

air alamiah yang sangat tinggi. Tanah gambut merupakan salah satu tanah yang sulit sekali untuk diperbaiki.

Tabel 2.1 Konsistensi Tanah Dominan Lempung dan Lanau

Consistency	Very Soft	Soft	Medium	Stiff	Very Stiff
SPT (N)	0 - 2,5	2,5 - 5,0	5 - 10	10 - 20	20 - 40
Sondir (kg/cm ²)	0 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 40	40 - 80

Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, MSc, PhD, 2010

Standard : MIT, USDA, AASHTO

Lempung : Ø butiran < 0,002 mm

Lanau : Ø butiran 0,002 mm s/d 0,075 mm

2.4 PENURUNAN TANAH

2.4.1 Jenis – jenis Penurunan Tanah

Secara umum penurunan (settlement) pada tanah yang disebabkan oleh pembebanan dapat dibagi menjadi 3 kelompok besar yaitu :

**1. Penurunan seketika
(Immediate Settlement)**

Penurunan seketika terjadi seketika saat beban diletakkan diatas tanah, penambahan beban tersebut menimbulkan tegangan tekan yang menyebabkan tanah terkompresi ke arah vertikal dan penurunan yang terjadi ini akan di ikuti pergerakan tanah ke arah lateral. Pada umumnya, penurunan seketika dominan terjadi pada tanah pasir sedangkan pada tanah lempung jarang terjadi sehingga dalam perhitungan sering diabaikan (Gouw, 2009). Adapun rumus yang dipakai untuk menghitung besarnya penurunan seketika adalah sebagai berikut :

$$S_i = P \cdot B \cdot \frac{1 - \mu^2}{E} \cdot I_p \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

S_i = Penurunan seketika

P = Beban terbagi rata (didas permukaan tanah)

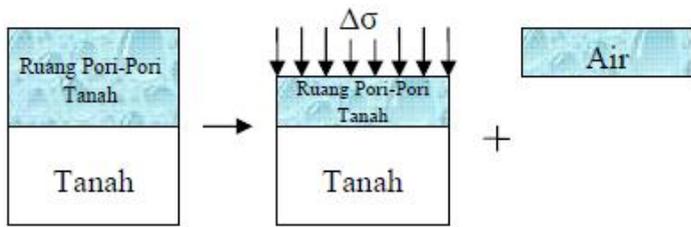
- B = Beban pondasi
 μ = Angka poisson
E = Modulus elastisitas tanah (modulus young)
Ip = Faktor pengaruh

2. Penurunan konsolidasi (*Primary Consolidation*)

Penurunan konsolidasi merupakan penurunan yang terjadi karena terdisipasinya tegangan air pori berlebih pada *Undrained Condition* menuju *Drained Condition*. Menurut Weasley (1977), bilamana suatu lapisan tanah mengalami tambahan beban di atasnya, maka seiring berjalannya waktu air pori akan mengalir keluar dari pori-pori tanah tersebut dan volume total tanah akan menjadi lebih kecil (Gambar 2.7). Besarnya penurunan yang terjadi selama masa konsolidasi ini dikenal dengan nama penurunan konsolidasi primer. Pada umumnya konsolidasi

berlangsung pada satu arah, yaitu arah vertikal, karena lapisan yang ditambahkan beban tersebut tidak bergerak ke arah horizontal sebab ditahan oleh tanah disekelilingnya.

Peristiwa ini juga disebut penurunan satu dimensi.



Gambar 2.4 Perubahan volume pada penurunan konsolidasi

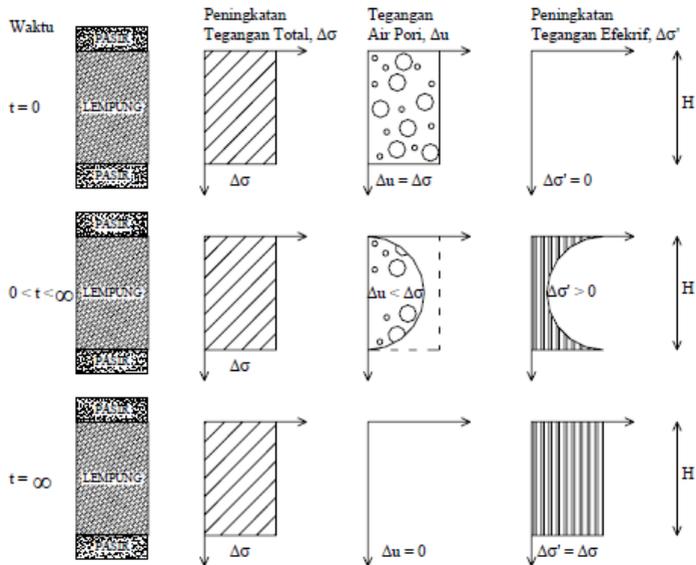
Saat konsolidasi berlangsung maka lapisan tersebut akan mengalami penurunan, yang mengakibatkan struktur di atasnya juga ikut mengalami penurunan, ada dua hal yang perlu ditinjau lebih lanjut dari penurunan tersebut, yaitu :

- Besar penurunan yang akan terjadi

- Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai penurunan tertentu

Tanah pasir sangat mudah melalukan air (permeabilitas tinggi) sehingga penurunan berlangsung cepat dan oleh sebab itu pada waktu pembangunan diatas tanah pasir selesai maka penurunan dapat di anggap selesai pula, karena itu penurunan yang terjadi pada tanah pasir ini disebut penurunan seketika dan dapat dapat dikatakan pula tidak terjadi penurunan konsolidasi pada tanah pasir.

Sebaliknya pada tanah lempung yang permeabilitas rendah, tegangan air pori berlebih memerlukan waktu yang lama untuk terdisipasi. Oleh sebab itu penurunan konsolidasi dapat dikatakan hanya terjadi pada lapisan tanah lempung. Selain masalah permeabilitas tanah, panjang lintasan tempuh air pori untuk keluar juga mempengaruhi kecepatan/waktu yang dibutuhkan lapisan tanah untuk mengalami penurunan konsolidasi.



Gambar 2.5 Perubahan Tegangan saat Konsolidasi

Saat penambahan beban terjadi maka, tegangan tanah total meningkat. Pada tanah jenuh air, tegangan total ini pertama dipikul oleh air pori sehingga tegangan air pori pada elemen tanah meningkat. Bersamaan dengan berjalannya waktu, tegangan air pori berlebih terdisipasi dan terjadilah transfer beban dari air pori ke partikel tanah. Tegangan yang dipikul

oleh partikel tanah ini disebut tegangan tanah efektif. Jadi selama proses konsolidasi gaya ditransfer dari air pori ke partikel tanah seperti yang di tunjukkan pada gambar 2.8 . Akhir dari konsolidasi adalah pada saat tegangan air pori berlebih sama dengan nol. Dan seluruh beban telah dipikul oleh partikel tanah. Artinya semua beban sudah ditransfer tegangan efektif.

Teori konsolidasi pertama kali ditemukan oleh Terzhagi (1920 – 1924) dengan asumsi :

- Konsolidasi 1 dimensi hanya terjadi pada arah vertikal
- Lempung dalam keadaan jenuh air
- Air tidak dapat di tekan (*incompressibel*)
- Partikel tanah tidak dapat ditekan
- Deformasi tanah kecil
- Permeabilitas tanah konstan

Adapun rumus yang dipakai untuk menghitung besarnya penurunan konsolidasi adalah sebagai berikut :

Untuk *Normally Consolidated Clay* perhitungan dihitung dengan menggunakan Indeks kompresi (C_c), seperti pada (Gambar 2.4) serta dapat di hitung dengan persamaan berikut :

$$S_c = \frac{C_c \cdot H}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma_{vo}' + \Delta\sigma'}{\sigma_{vo}'} \right) \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

S_c = pemampatan akibat proses konsolidasi (m),

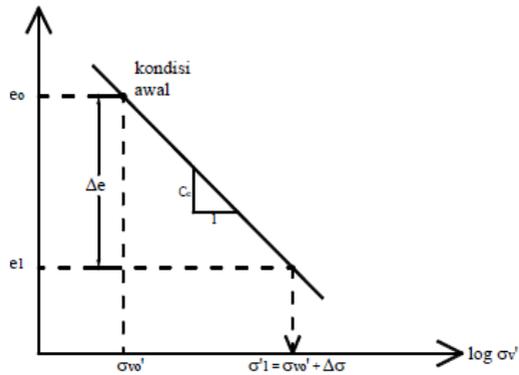
C_c = indeks kompresi tanah,

σ_{vo}' = tegangan overburden efektif (t/m²),

$\Delta\sigma'$ = penambahan tekanan/beban (t/m²),

e_0 = angka pori, dan

H = tebal lapisan tanah lembek yang memampat

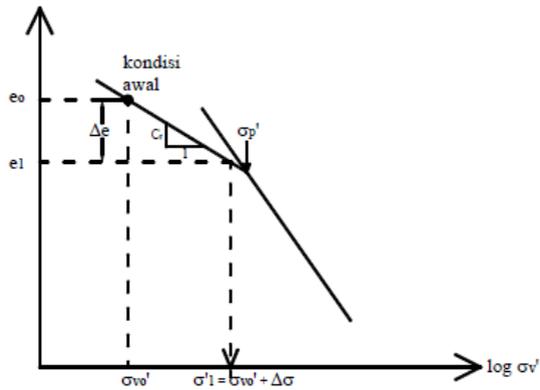


Gambar 2.6 Perhitungan Penurunan Konsolidasi pada *Normally Consolidated Clay*

Sedangkan untuk *Over Consolidated Clay* perhitungan dihitung dengan menggunakan indeks pengembangan tanah (C_s) serta dibedakan menjadi dua, yaitu :

- Apabila $(\sigma_{v0}' + \Delta\sigma') < \sigma'_p$

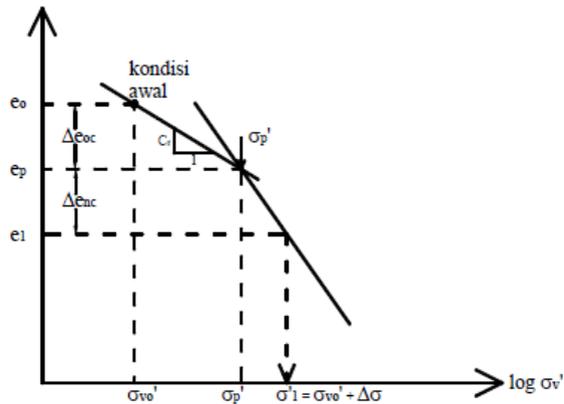
$$S_c = \frac{C_s \cdot H}{1 + e_0} \log \left(\frac{\sigma_{v0}' + \Delta\sigma'}{\sigma_{v0}'} \right) \dots\dots\dots (2.3)$$



Gambar 2.7 Perhitungan Penurunan Konsolidasi pada *Over Consolidated Clay* untuk kondisi $(\sigma_{v0}' + \Delta\sigma') < \sigma'_p$

- Apabila $(\sigma_{v0}' + \Delta\sigma') > \sigma'_p$

$$S_c = \frac{C_s.H}{(1+e_0)} \log \left(\frac{\sigma'_p}{\sigma_{v0}'} \right) + \frac{C_c.H}{(1+e_0)} \log \left(\frac{\sigma_{v0}' + \Delta\sigma'}{\sigma'_p} \right) \dots\dots\dots (2.4)$$



Gambar 2.8 Perhitungan Penurunan Konsolidasi pada *Over Consolidated Clay* untuk kondisi $(\sigma_{v0}' + \Delta\sigma') > \sigma'_p$

dimana : $(\sigma_{v0}' + \Delta\sigma') > \sigma'_p$

S = pemampatan akibat proses konsolidasi (m),

C_c = indeks kompresi tanah,

C_s = indeks pengembangan tanah,

σ_{v0}' = tegangan overburden efektif (t/m²),

σ'_p = tegangan prakonsolidasi efektif(t/m²),

$\Delta\sigma'$ = penambahan tegangan (t/m²),

e = angka pori, dan

H = tebal lapisan tanah lembek yang memampat (m)

3. Penurunan Sekunder

Penurunan sekunder terjadi setelah penurunan konsolidasi. Penurunan ini terjadi akibat penyesuaian butir-butir tanah pada kerangka tanah setelah tegangan air pori berlebih terdisipasi sempurna ($u=0$). Jadi selama proses penurunan sekunder ini terjadi, tidak ada perubahan tegangan efektif tanah. Penurunan sekunder ini pada umumnya berlangsung pada waktu yang sangat lama, karena itu sulit untuk di evaluasi. Adapun rumus yang dipakai untuk menghitung besarnya penurunan konsolidasi adalah sebagai berikut :

$$S_s = C'a \cdot H \cdot \log \frac{t_2}{t_1} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

$$C'a = \frac{Ca}{1+ep} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$Ca = \frac{\Delta e}{\log \frac{t_2}{t_1}} \dots\dots\dots (2.7)$$

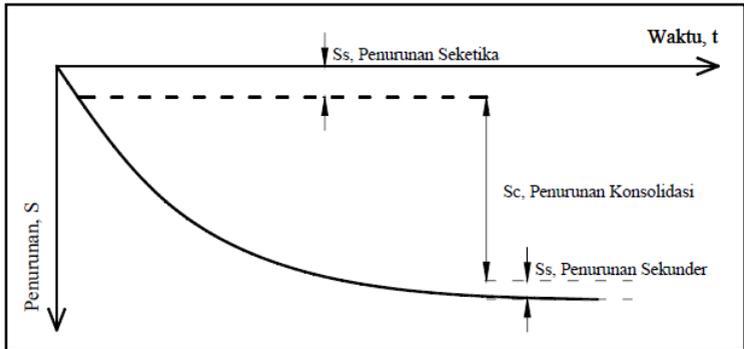
E_p = Angka pori pada akhir konsolidasi primer

C_a = Indeks pemampatan sekunder

t_2/t_1 = waktu

Total Penurunan merupakan penjumlahan dari ketiga jenis penurunan tersebut diatas. Persamaan penurunan total ini diperlihatkan pada persamaan 2.5 dan digambarkan pada gambar 2.9.

$$S_{\text{total}} = S_i + S_c + S_s \dots\dots\dots (2.8)$$



Gambar 2.9 Tahapan Penurunan Tanah

Tergantung dari jenis tanah, pada umumnya dari ketiga jenis penurunan tanah tersebut hanya salah satu jenis yang dominan pada suatu jenis tanah tertentu, karena jenis penurunan yang lainnya ada kalanya terlalu kecil sehingga dapat diabaikan (Das, 1988). Contohnya pada jenis tanah lempung non organik, yang dominan terjadi adalah penurunan konsolidasi primer. Sedangkan dua jenis penurunan yang lainnya cenderung sangat kecil sehingga sering kali dalam proses perhitungan keduanya diabaikan.

2.5 PENURUNAN KONSOLIDASI

2.5.1 Koefisien Konsolidasi Vertikal (C_v)

Koefisien konsolidasi vertikal (C_v) menentukan kecepatan pengaliran air pada arah vertikal dalam tanah. Karena pada umumnya konsolidasi berlangsung satu arah saja, yaitu arah vertikal, maka koefisien konsolidasi sangat berpengaruh terhadap kecepatan konsolidasi yang

akan terjadi. Harga C_v dapat dicari menggunakan persamaan berikut ini :

$$C_v = \frac{T_v \cdot H_{dr}^2}{t} \dots\dots\dots (2.9)$$

Untuk lapisan tanah yang heterogen dan mempunyai beberapa nilai C_v , maka harga C_v yang dipakai untuk perhitungan adalah harga C_v rata-rata.

$$C_v = \frac{(H_1 + H_2 + \dots + H_n)^2}{\left(\frac{H_1}{\sqrt{C_{v1}}} + \frac{H_2}{\sqrt{C_{v2}}} + \dots + \frac{H_n}{\sqrt{C_{vn}}} \right)^2} \dots\dots\dots (2.10)$$

dimana :

C_v = koefisien konsolidasi (cm^2/dtk)

T_v = faktor waktu tergantung dari derajat konsolidasi

t = waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi $U\%$ (dtk)

H_{dr} = $\frac{1}{2} \Rightarrow$ Double drainage

$$H_{dr} = H \Rightarrow \text{Single drainage}$$

2.5.2 Faktor Waktu

Faktor T_v merupakan fungsi langsung dari derajat konsolidasi ($U\%$) dan bentuk dari distribusi tegangan pori (u) di dalam tanah (aliran satu arah atau dua arah).

Tabel 2.2 Korelasi antara T_v dan U

U%	T_v
10	0,008
20	0,031
30	0,071
40	0,126
50	0,197
60	0,287
70	0,403
80	0,567
90	0,848

(sumber : Wahyudi, 1997)

2.5.3 Derajat Konsolidasi

Derajat konsolidasi tanah (U) adalah perbandingan penurunan tanah pada waktu tertentu dengan penurunan tanah total.

Untuk $U < 60\%$ maka :

$$T_v = \frac{\pi}{4} \left[\frac{U_v (\%)}{100} \right]^2 \dots\dots\dots (2.11)$$

Untuk $U > 60\%$ maka :

$$T_v = 1.781 - 0.933 [\log (100 - U \%)] \dots (2.12)$$

2.5.4 Waktu Penurunan Konsolidasi

Pada tanah yang tidak dikonsolidasi dengan penggunaan PVD, pengaliran yang terjadi hanyalah pada arah vertikal saja. Perhitungan lamanya waktu konsolidasi dilapangan dapat mempergunakan rumus sebagai berikut :

$$t = \frac{T_v \cdot H^2}{C_v} \dots\dots\dots (2.13)$$

dimana :

T_v = Faktor waktu, tergantung dari derajat konsolidasi (U)

H = panjang maksimum lintasan drainase (cm)

C_v = koefisien konsolidasi (cm^2/dtk)

t = waktu konsolidasi (dtk)

2.5.5 Panjang Aliranan *Drainage*

Panjang aliran drainage ada 2 kondisi :

- Air pori terdisipasi ke satu arah

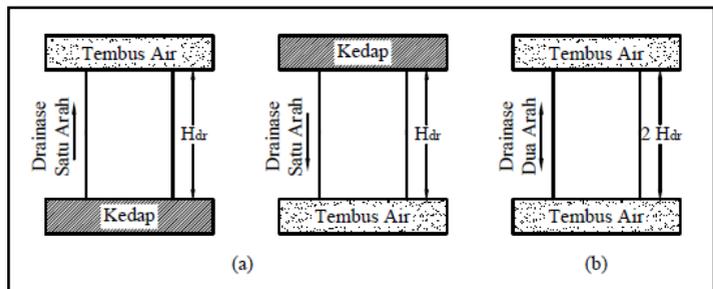
Hal ini disebabkan karena lapisan porosnya hanya terletak pada satu sisi.

$$H_{dr} = \frac{1}{2} H$$

- Air pori terdisipasi ke dua arah

Hal ini disebabkan karena lapisan poros hanya terletak pada dua sisi, sehingga air pori dapat mengalir ke atas dan kebawah.

$$H_{dr} = H$$



Gambar 2.10 Panjang Lintasan Drainase Satu arah (a) dan Dua arah (b)

2.6 VERTICAL DRAIN

2.6.1 Perkembangan Vertical Drain

Pada tahun 1925, Daniel E. Moran memperkenalkan pemakaian drainase dari kolom-kolom pasir untuk stabilitas tanah pada kedalaman yang besar dan selanjutnya keberhasilan drainase tipe ini dipakai disebelah barat benua Amerika (Amerika Serikat) dan pada tahun 1944 disebelah timur negara tersebut. Tipe drainase selanjutnya dikenal dengan drainase vertikal. Sejak tahun itu, pemanfaatan drainase vertikal yang dikenal dengan metode vertikal drain berkembang demikian pesat, umumnya dalam pekerjaan-pekerjaan konstruksi timbunan untuk jalan raya, tanggul, tanah hasil reklamasi pantai.

Pada tahun 1936, diperkenalkan sistem vertikal drain dengan bahan sintesis oleh Kjellman di Swedia. Setelah di tes di beberapa tempat pada tahun 1937 dengan bahan calboard wick mendapat sambutan yang hangat dari para

ilmuwan. Sejak saat itu pengembangan vertikal drain dilanjutkan menggunakan berbagai macam bahan. Ini dilakukan para ilmuwan agar dapat mempercepat waktu penurunan konsolidasi yang lama. Pengembangan yang terbaru bagi vertikal drain adalah vertikal drain sintesis. Dengan memenuhi persyaratan untuk kelayakan vertikal drain dan bahkan vertical drain sintesis dapat mempercepat waktu penurunan konsolidasi lebih cepat dari bahan-bahan terdahulunya sehingga menjadi pilihan utama saat mengatasi masalah konsolidasi.

2.6.2 Prinsip dan Fungsi Vertical Drain

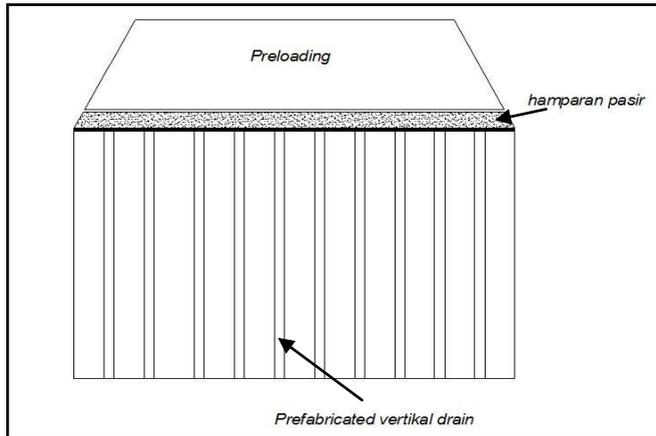
Laju konsolidasi yang rendah pada lempung jenuh dengan permeabilitas rendah, dapat dinaikkan dengan menggunakan drainase vertikal (vertical drain) yang memperpendek lintasan pengaliran dalam lempung. Kemudian konsolidasi terutama diperhitungkan akibat pengaliran horisontal radial, yang menyebabkan

disipasi kelebihan tekanan air pori yang lebih cepat, pengaliran vertikal kecil pengaruhnya. Dalam teori, besar penurunan konsolidasi akhir adalah sama, hanya laju penurunannya yang terpengaruh.

Vertical drains pada awalnya berupa kolom – kolom pasir vertikal yang mudah mengalirkan air yang dikenal dengan nama *sand drains*. Dalam perkembangan lebih lanjut, ditemukan *prefabricated vertical drains* yang merupakan salah satu produk geosintetik yang dikenal juga dengan sebutan “*wick drain*”. *Sand drains* banyak digunakan di Jepang dan Asia dimana tanah pada daerah tersebut umumnya berupa tanah lunak. Menurut Holtz et al (1991), diameter sand drain berkisar antara 0.15 – 0.60 meter dengan panjang maksimum 30 – 35 meter. *Sand drains* pada umumnya berupa lubang hasil bor pada tanah yang kemudian diisi pasir.

Penggunaan *prefabricated vertical drains* akhir – akhir ini lebih sering digunakan karena memiliki banyak keuntungan dibandingkan dengan menggunakan *sand drains*, diantaranya :

- ✓ Gangguan pada tanah yang di akibatkan pada saat pemasangan lebih kecil.
- ✓ Waktu yang dibutuhkan saat control kualitas lebih cepat.
- ✓ Kualitas dari *prefabricated vertical drains* cenderung seragam, karena dibuat di pabrik.
- ✓ Kontaminasi butiran halus tanah asli yang menyebabkan terhambatnya aliran air jauh lebih kecil.
- ✓ Tahan terhadap deformasi besar tanpa terlalu banyak kehilangan fungsi drainase.
- ✓ Pemasangan lebih cepat dan lebih ekonomis.

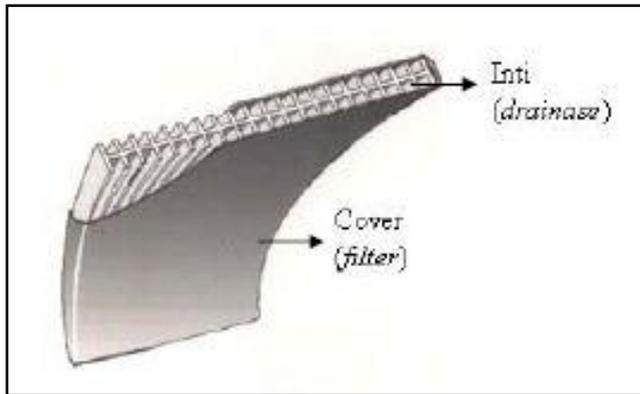


Gambar 2.11 Preloading dengan Prefabricated vertical drains

Gambar 2.15 menunjukkan sistem perbaikan tanah lunak menggunakan *preloading* dengan *prefabricated vertical drains*. Lapisan hamparan pasir diperlukan untuk mengalirkan air pori berlebih yang keluar melalui vertical drains dari dalam tanah diantara preloading dengan tanah dasar.

Ukuran *Prefabricated vertical drains* yang umum digunakan adalah lebar 100 mm, dengan 3

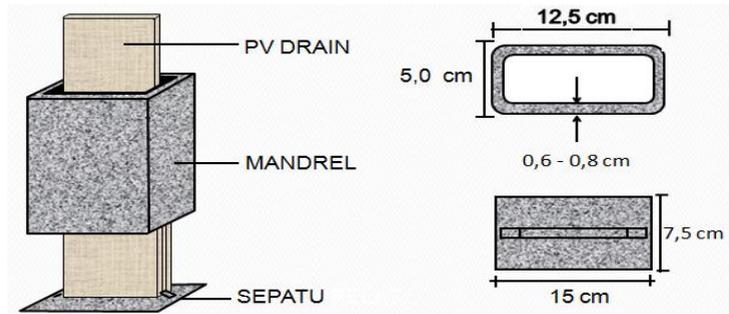
– 5 mm ketebalannya. Secara garis besar *Prefabricated vertical drains* terdiri dari bagian luar sebagai filter dan bagian inti sebagai tempat air pori mengalir dengan bahan dominan adalah polimer (Gambar 2.16)



Gambar 2.12 Bagian *Prefabricated vertical drains*

Instalasi *Prefabricated vertical drains* menggunakan alat bantu yaitu mandrel, yang berfungsi sebagai casing. (Gambar 2.16) menunjukkan contoh penampang mandrel dan contoh *Prefabricated vertical drains*. Dimensi dari *Prefabricated vertical drains* dan mandrel

lebih kecil bila dibandingkan dengan *sand drain*, sehingga tingkat gangguan tanah yang disebabkan oleh ukuran batang selama instalasi lebih rendah.



Gambar 2.13 Contoh penampang Mandrel

Di ujung mandrel terdapat *anchor plate* (jangkar) yang terbuat dari sepotong kecil logam. Tujuan *anchor plate* tersebut adalah untuk mencegah tanah agar tidak masuk ke dalam mandrel sehingga tersumbat saat penetrasi.

2.6.3 Perencanaan Vertical Drain

1) Menentukan Kedalaman Vertical Drain

Vertikal drain yang dipasang untuk mengatasi penurunan akibat konsolidasi tanah yaitu hingga kedalaman tanah *Compressible* dengan nilai N-SPT 10. Dari N-SPT tersebut diketahui ketebalan tanah lunak adalah 49.00 m.

2) Derajat Konsolidasi pada Vertical Drain

Derajat konsolidasi digunakan sebagai salah satu kriteria dalam menilai keefektifan pekerjaan perbaikan tanah dengan menggunakan timbunan. Hal ini juga sering digunakan sebagai spesifikasi desain. Derajat konsolidasi biasanya dihitung sebagai perbandingan penurunan yang terjadi saat ini dengan penurunan akhir.

Apabila proses konsolidasi selesai maka dikatakan derajat konsolidasinya telah

tercapai 100% atau $U_v = 100\%$. Pada saat itu secara teoritis penurunan telah berhenti dan besarnya penurunan telah maksimum sebesar S_c . Jika suatu saat pada waktu (t) diketahui besarnya penurunan konsolidasi adalah S_t , maka derajat konsolidasinya adalah :

$$U_v = \frac{S_t}{S_c} \times 100\% \dots\dots\dots (2.14)$$

Jadi $U_v = 50\%$ memiliki artian pada saat ini penurunan baru mencapai $S_t = 50\% S_c$, sedangkan waktu untuk mencapai $S_t = 50\% S_c$ disebut t_{50} . Dengan adanya Vertikal drains, maka tegangan air pori berlebih akan terdisipasi dalam dua arah, yaitu arah vertikal dan arah horizontal, sehingga derajat konsolidasi U dapat di kalkulasikan melalui persamaan berikut ini.

$$U = 1 - (1 - U_h)(1 - U_v) \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana :

U_v = derajat konsolidasi berdasarkan drainase arah vertikal (dalam desimal)

U_h = derajat konsolidasi berdasarkan drainase arah horizontal (dalam desimal)

Pada saat pendesainan penentuan besarnya derajat konsolidasi berdasarkan drainase arah vertical (U_v) dapat diperoleh dengan cara berikut :

➤ **Cara Terzaghi (Gouw, 2008)**

Untuk $0\% \leq U_v \leq 53\%$ maka di gunakan persamaan berikut :

$$T_v = 0.25 \pi (Uv/100)^2 \dots\dots\dots (2.16)$$

Sedangkan untuk $53\% \leq U_v \leq 100\%$

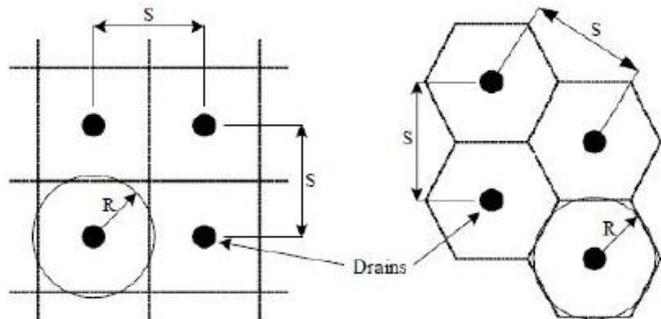
digunakan persamaan berikut :

$$T_v = 1.781 - 0.933 (\log(100 - U_v)) \dots (2.17)$$

Nilai U_v yang didapat dalam persen(%)

3) Diameter zona pengaruh drain

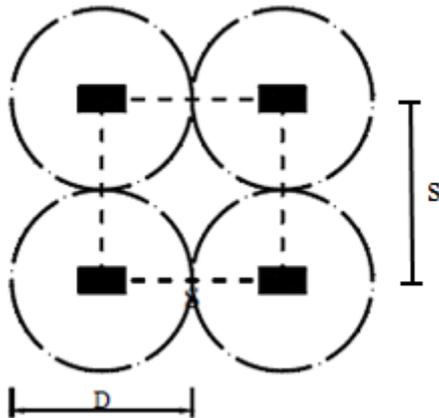
Pada umumnya sampai saat ini diketahui ada dua macam pola pemasangan *vertical drains* yang efektif digunakan yaitu pola persegi dan pola segitiga. Besar diameter zona pengaruh drain berdasarkan pola pemasangan *vertical drains* tersebut.



Gambar 2.14 Zona Pengaruh Drain berdasarkan Pola Pemasangan Persegi dan Segitiga

Gambar 2.14 menunjukkan zona pengaruh drain berdasarkan pola pemasangan persegi dan segitiga. Jarak antara drain disebut S , sedangkan R menunjukkan jari-jari dari zona pengaruh drain, sehingga untuk mengatur zona pengaruh drain dapat dilakukan dengan memperpendek maupun memperpanjang jarak antar drain. Zona pengaruh drain ke arah radial di asumsikan berbentuk silinder (penampang berbentuk lingkaran). Berikut persamaan dari perhitungan diameter zona pengaruh drain berdasarkan pola pemasangan drain :

✚ Pola persegi



Gambar 2.15 Pola Pemasangan Persegi

Bila di asumsikan :

- jarak antar drain : S
- luas antar drain yang saling berdekatan : $A_{\text{persegi}} = S^2$
- luas lingkaran : $A_{\text{lingkaran}} = \frac{1}{4} \pi D^2$
- jika di lakukan pendekatan $A_{\text{persegi}} = A_{\text{lingkaran}}$, maka diameter zona pengaruh drain yangdidapat adalah :
 $A_{\text{persegi}} = A_{\text{lingkaran}}$

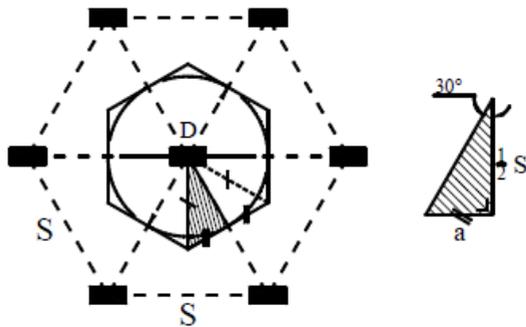
$$S^2 = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$D = \frac{4S^2}{\pi}$$

$$D = S \sqrt{\frac{4}{\pi}}$$

$$D = 1,13 S \dots\dots\dots (2.18)$$

✚ Pola segitiga



Gambar 2.16 Pola Pemasangan Segitiga

Bila di asumsikan :

- Jarak antar drain : S
- Lihat segitiga yang diarsir : $a = \frac{1}{2} S$.
- $\tan 30^\circ = 0,289 S$

– Maka luas segitiga yang diarsir :

$$\begin{aligned} A_{\text{segitiga}} &= \frac{1}{2} \cdot a \cdot t \\ &= \frac{1}{2} \cdot 0,289 \text{ S} \cdot \frac{1}{2} \text{ S} \\ &= 0,1445 \text{ S}^2 \end{aligned}$$

Sedangkan luas segi enam :

$$A_{\text{segi enam}} = 12 \times A_{\text{segitiga}} = 0,867 \text{ S}^2$$

Jika dilakukan pendekatan $A_{\text{segi enam}}$
= $A_{\text{lingkaran}}$, maka diameter zona
pengaruh drain yang didapat adalah :

$$A_{\text{segi enam}} = A_{\text{lingkaran}}$$

$$0,867 \text{ S}^2 = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$D = \sqrt{\frac{0,867 \text{ S}^2}{\pi}} \times 4$$

$$D = \sqrt{1,1 \text{ S}^2}$$

$$D = 1,05 \text{ S} \dots\dots\dots (2.19)$$

4) Waktu konsolidasi akibat pemakaian PVD

Adapun besarnya waktu konsolidasi akibat pemakaian PVD dicari menggunakan persamaan :

$$t = \left(\frac{D^2}{8.Ch} \right) \cdot 2.F(n) \cdot \ln \left(\frac{1}{1-U_h} \right) \dots\dots\dots (2.20)$$

dimana :

- T = waktu yang diperlukan untuk mencapai U_h (dtk)
- D = diameter equivalen lingkaran (cm)
= 1,13 x S untuk pola susunan bujursangkar
= 1,05 x S untuk pola susunan segitiga
- Ch = koefisien konsolidasi aliran horisontal (cm²/dtk)
- F(n) = faktor hambatan disebabkan karena jarak antara PVD.

Uh = derajat konsolidasi tanah arah horizontal (%)

$$F(n) = \left(\frac{n^2}{n^2-1}\right) \left(\ln(n) - \left(\frac{3n^2-1}{4n^2}\right)\right) \dots (2.21)$$

$$n = \frac{D}{D_w} \dots \dots \dots (2.22)$$

$$D_w = \frac{a+b}{2} \dots \dots \dots (2.23)$$

dimana :

d_e (diameter hidrolis)

= 1,05 x S (pola segitiga)

= 1,13 x S (pola segi empat)

$$D_w \text{ (diameter drain)} = \frac{(a+b)}{2}$$

a = lebar PVD

b = tebal PVD

5) Derajat konsolidasi arah horizontal (U_h)

Dari persamaan 2.21 diatas kita juga bisa menghitung besarnya derajat konsolidasi arah horizontal. Adapun persamaannya sebagai berikut :

$$U_h = [1 - \exp(-x)] \cdot 100\% \dots\dots\dots (2.24)$$

Dimana :

$$x = \frac{8.C_h.t}{D^2 \cdot F(n)}$$

$$C_h = 2 \cdot C_v$$

2.7 PRELOADING

Beban Preloading yang diletakkan secara bertahap ditentukan berdasarkan pemampatan tanah dasar yang akan dihilangkan. Kekuatan geser tanah lempung akan mempengaruhi tinggi timbunan kritis.

2.7.1 Tinggi timbunan awal (H-Initial)

Tinggi timbunan reklamasi pada saat pelaksanaan timbunan sama dengan tinggi

timbunan rencana. Penentuan tinggi timbunan rencana pada saat pelaksanaan memperhatikan adanya pemampatan, dapat dihitung dengan :

$$q_{\text{final}} = q = (H_{\text{initial}} - S_c) \gamma_{\text{timb}} + S_c \gamma'_{\text{timb}} \dots \dots (2.25)$$

$$q_{\text{final}} = q = (H_{\text{initial}} \times \gamma_{\text{timb}}) - (S_c \times \gamma_{\text{timb}}) + (S_c \times \gamma'_{\text{timb}}) \dots \dots \dots (2.26)$$

$$H_{\text{initial}} = \frac{q + (S_c \times \gamma_{\text{timb}}) - (S_c \times \gamma'_{\text{timb}})}{\gamma_{\text{timb}}} \dots (2.27)$$

$$H_{\text{akhir}} = H_{\text{initial}} - S_c \dots \dots \dots (2.28)$$

Pada timbunan reklamasi, karena adanya permukaan air laut setinggi (Hw), terdapat perubahan rumus untuk penentuan tinggi awal timbunan (H_{initial}) sebagai berikut :

$$q_{\text{final}} = q = ((H_{\text{initial}} - S_c - H_w) \gamma_{\text{timb}}) + (S_c \times \gamma'_{\text{timb}}) + (H_w \times \gamma'_{\text{timb}}) \dots \dots \dots (2.29)$$

$$H_{\text{initial}} = \frac{q + (S_c + H_w) \times (\gamma_{\text{timb}} - \gamma'_{\text{timb}})}{\gamma_{\text{timb}}} \dots (2.30)$$

Berikut langkah-langkah perhitungan :

1. Menentukan harga q konstan tertentu.
2. Dengan harga q dan bentuk timbunan dihitung besarnya pemampatan konsolidasi (S_c) akibat beban timbunan tersebut.
3. Menghitung H awal dan H akhir akibat beban q .
4. Ulangi langkah-langkah diatas dengan nilai variabel q . Dari hasil tersebut didapatkan harga-harga S_c , H_{awal} , H_{akhir} .
5. Dari hasil perhitungan pada langkah 4 maka dibuat tabel.
6. Membuat grafik hubungan antara H_{awal} dan H_{akhir} , dan grafik hubungan antara pemampatan dan H_{akhir} .

2.7.2 Tinggi timbunan kritis (H-Kritis)

Tinggi timbunan kritis beban *preloading* ini dihitung berdasarkan daya dukung tanah lempung mula-mula. Kekuatan geser tanah lempung, dalam hal ini kohesi tanah, akan mempengaruhi tinggi timbunan yang akan dipergunakan.

$$H_{cr} = \frac{2 \cdot c_u}{\gamma_{timb}} \dots\dots\dots (2. 31)$$

dimana :

c_u = kohesi tanah dasar (t/m^2)

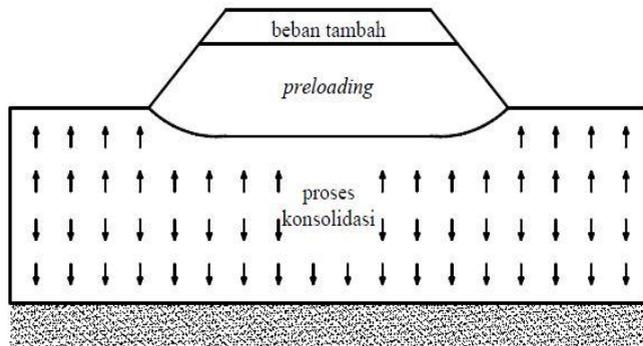
γ_{timb} = berat volume tanah timbunan (t/m^3)

H_{cr} = tinggi timbunan kritis (m)

2.7.3 Preloading tanpa vertical drain

Dalam pekerjaan tanah lunak di kenal teknik *preloading*. *Preloading* adalah beban sementara (*surchage*) yang di letakkan pada suatu lahan kontruksi, yang berfungsi untuk

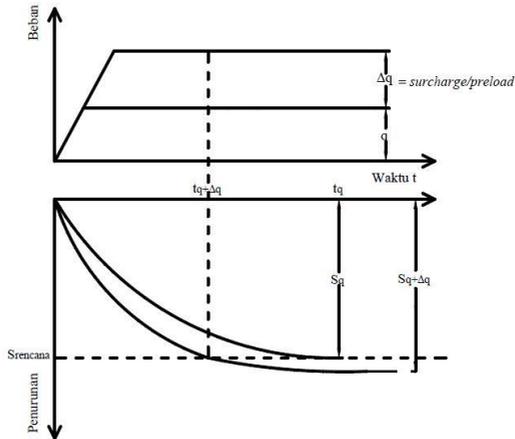
memperbaiki kondisi daya dukung tanah dasar dimana konstruksi akan didirikan. *Preloading* yang paling sederhana adalah dengan menggunakan tanah timbunan (*embankment*) seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.17 Proses Preloading

Pada tanah lempung jenuh air ketika beban timbunan (*surchage*) diletakkan diatas tanah lunak, pada awalnya beban akan dipikul oleh air pori, kemudian seiring berjalannya waktu maka tegangan air pori berlebih akan terdisipasi keluar (mengalami konsolidasi). Perbandingan waktu dan penurunan tanpa *preloading* dan

dengan *preloading* terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.18 Perbandingan Waktu dan Penurunan Tanpa Preloading dan dengan Preloading

Durasi preloading dengan timbunan umumnya berkisar antara tiga sampai delapan bulan mulai dari awal penempatan surcharge sampai surcharge diangkat, meskipun ada kondisi tertentu dimana hanya dibutuhkan waktu enam minggu untuk pekerjaan preloading atau pun dapat pula berjalan sebaliknya yaitu sampai tiga tahun. Menurut Stapelfeldt (2006), beban

tambahan sementara dapat diangkat ketika penurunan diperkirakan melebihi penurunan akhir yang dapat dicapai tanpa menggunakan preloading, namun ini sebaiknya tidak dilakukan sebelum tegangan pori berlebih berada dibawah peningkatan tegangan yang disebabkan oleh beban sementara.

Dalam preloading menggunakan timbunan, agar sesuai dengan besar penurunan konsolidasi yang akan dicapai, maka beban timbunan direncanakan dengan ketinggian tertentu. Tinggi timbunan pada umumnya adalah 3 – 8 meter dengan penurunan yang terjadi umumnya berkisar 0.3 – 2.0 meter (Stamatopoulus, 1985).

Ada beberapa syarat menurut (Stamatopoulus, 1985), yang menentukan apakah suatu lahan dapat di lakukan perbaikan tanah menggunakan teknik preloading atau tidak, seperti berikut :

1. Tersedia lahan tambahan yang cukup luas untuk mengakomodir sekitar 10 meter atau lebih diluar perimeter struktur rencana.
2. Tersedia material timbunan.
3. Adanya alat angkut material timbunan, yang tentu saja material tersebut dalam volume yang sangat besar.
4. Adanya penanganan yang baik dari owner maupun engineer yang mengerjakannya.

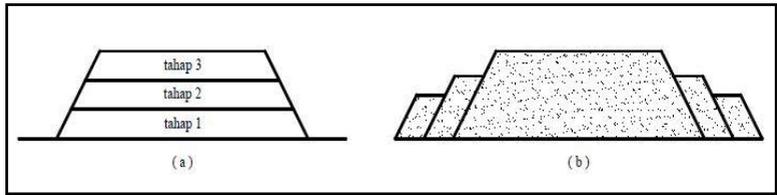
Preloading dikatakan berhasil bila :

1. Tidak ada retak maupun kelongsoran di bagian dasar selama preloading maupun selama akhir pengoperasian struktur.
2. Durasi preloading sesuai dengan jadwal rencana konstruksi.
3. Tidak ada kerusakan pada struktur yang berdampingan.

4. Tidak mengganggu lingkungan disekitarnya dengan debu, kebisingan, dan lain sebagainya yang ditimbulkan dari pekerjaan perbaikan tanah dengan metode preloading ini.
5. Penurunan yang terjadi masih dalam rentang batas toleransi yang ada.
6. Biaya yang dikeluarkan sesuai dengan yang direncanakan.

Hal lain yang perlu diperhatikan dalam teknik preloading dengan menggunakan timbunan yaitu daya dukung tanah dasar. Ada dua hal yang dapat di lakukan untuk menghindari terjadinya kelongsoran, yaitu :

1. Pemberian timbunan secara bertahap
2. Pemberian timbunan secara counter weight.



Gambar 2.19 Pemberian preloading secara bertahap (a) dan secara counter weight (b)

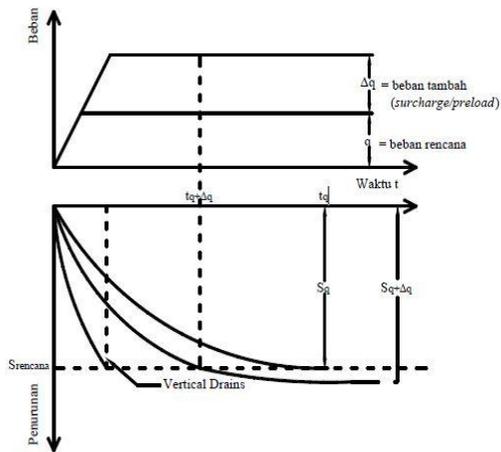
Langkah awal dalam Pekerjaan Perbaikan Tanah adalah dengan melakukan penyelidikan lokasi yang ada untuk mengetahui kondisi umum lokasi.

Data – data dari penyelidikan lokasi yang diperlukan adalah :

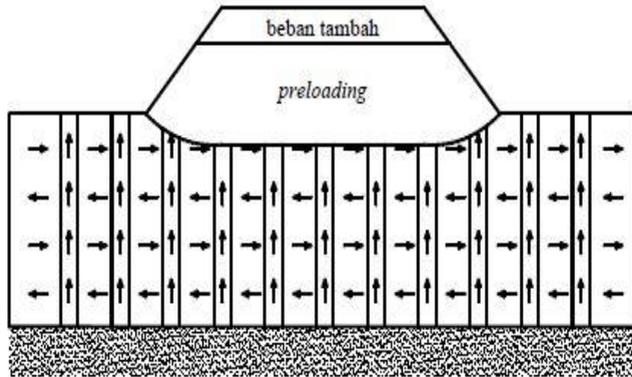
1. Kondisi lapisan tanah
2. Komposisi dan properti dari setiap lapisan
3. Batas terdasar dari tanah yang kompresibel
4. Ketinggian muka air tanah

2.7.4 Preloading dengan vertical drain

Tanah lempung memiliki permeabilitas yang sangat kecil, oleh karena itu memerlukan waktu yang sangat lama untuk terkonsolidasi sempurna, bahkan dengan preloading yang sangat besar sekalipun. Agar konsolidasi berjalan sesuai jadwal proyek yang ada maka salah satu cara yang lazim digunakan untuk mengatasinya adalah dengan menggunakan vertical drain yang di kombinasikan dengan preloading, sehingga tegangan air pori berlebih yang terdisipasi keluar dapat bergerak ke atas lebih cepat, dan waktu konsolidasi dapat berjalan lebih singkat dibandingkan dengan preloading tanpa vertical drain, seperti yang ada pada gambar berikut.



Gambar 2.20 Perbandingan Waktu dan Penurunan Tanpa Preloading, dengan Preloading, dan dengan Vertical Drains



Gambar 2.21 Proses Preloading dengan Vertical Drains

Gambar diatas menunjukkan, Vertical Drains secara artifisial menciptakan jalur drainase sehingga air pori yang keluar selama proses konsolidasi dapat keluar lebih cepat ke arah horizontal untuk kemudian menuju ke atas (arah vertikal). Hal ini sangat efektif karena pada tanah lempung permeabilitas arah horizontalnya lebih besar dibandingkan arah vertikal.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”