



# MASALAH PADA STRUKTUR KONSTRUKSI YANG DIBANGUN DI ATAS TANAH LUNAK

*Hermin Tjahyati*

## **RINGKASAN :**

*Subjek dari penulisan ini adalah tanah dasar yang lunak dengan kompresibilitas yang besar yang banyak tersebar di wilayah Kepulauan Indonesia ini. Tanah ini terdiri dari tanah lempung lunak non organik dan tanah organik yang dikenal dengan tanah gambut. Tanah seperti ini tebalnya bervariasi antara 0,5 meter sampai dengan >20 meter. Kadar air sangat tinggi bahkan muka air sampai mencapai permukaan seperti di daerah rawa gambut. Jenis tanah rawa ini mempunyai pori tanah yang besar, kompresibilitas yang tinggi dan daya dukung yang rendah yang harus menjadi pertimbangan yang utama dalam membuat disain bangunan di atasnya. Untuk mendapatkan disain yang baik maka mekanisme geoteknik yang terjadi seperti gaya geser, gaya angkat (uplift), squeezing, penurutan yang besar, deformasi horisontal dan gaya geser negatif harus diperhitungkan dalam evaluasi kestabilan bangunannya.*

## **SUMMARY :**

*The highly compressible subsoil is the subject of this paper, where this soil is the large parts of Indonesian archipelago. It is consist of soft non organic clay and organic soils such as peaty soils. In Indonesia, the layers is varies from 0,5 metres to >20 metres below ground level; the ground water level is high and in many cases comes almost up to ground level. Due to the manner of which they were formed this layers have been found to contain a relatively large precentage of pores. The behaviour of soil layers of low bearing capacity and high compressibility as a basis for the building of earth structures is so important for the design and construction of these structures. For a good design, geotechnical mechanisms may be involved and which methods of calcultion are needed to evaluate stability and deformation such as :shearing, uplift, squeezing, settlement, horizontal deformation and negative skin friction.*

## **I. PENDAHULUAN**

Indonesia sebagai negara dengan iklim tropis yang terdiri dari ribuan pulau mempunyai deposit tanah yang sangat bervariasi.

Salah satu diantaranya adalah deposit tanah lunak, baik sebagai tanah lunak lempung biasa maupun tanah lunak lempung organik (peaty soils). Tanah lunak ini tersebar di beberapa pulau yang cukup besar, antara lain: sebelah Utara dan Timur P. Sumatera, Kalimantan, Sulawesi dan Irian Jaya.

Pada sebagian besar daerah ini terutama terdiri dari tanah lunak yang dikenal sebagai tanah gambut (peaty soils).

Dalam masalah tehnik jalan, tanah lunak ini merupakan material subgrade yang sangat jelek karena daya dukungnya yang sangat rendah dan kompresibilitasnya sangat besar .

Untuk mengevaluasi kemungkinan-kemungkinan dalam pembangunan konstruksi jalan, maka sangat diperlukan prediksi dari sifat-sifat serta parameter dari tanah lunak tersebut, dengan demikian batasan-batasan yang harus dipenuhi suatu konstruksi pada tanah lunak ini dapat ditentukan.

Konstruksi ini benar-benar harus direncanakan dengan tepat karena menyangkut biaya yang cukup besar dalam pelaksanaannya serta

hubungannya dengan pemeliharaan dan keamanan serta waktu pelayanan rencana (life time)

## II. KOMPRESIBILITAS TANAH LUNAK

Tanah lunak terutama yang organik mempunyai porositas yang cukup besar. Sebenarnya karena berat lapisan atas yang membebani lapisan bawahnya, porositas seharusnya menurun setiap tahunnya.

Tetapi lapisan ini tetap tidak padat yang disebabkan oleh komposisi deposit itu serta tingginya air tanah yang menyebabkan butir-butir tanah seakan-akan ringan terapung. Sehingga apabila dibebani dengan material yang lebih berat misalnya pasir, maka akan menurun sebagai ciri bahwa lapisan terkompresi karena beban-beban pasir tadi.

Dengan adanya sifat kompresibilitas yang besar tadi maka tanah ini diklasifikasikan sebagai "high compressible". Itu berarti sifat-sifat konsolidasi (pemampatan) dari tanah sangat erat kaitannya dengan batas keruntuhan yang terjadi yang juga merupakan batasan shear stress-nya (kuat geser).

Sifat "high compressible" pada umumnya juga mencerminkan rendahnya daya dukung. Karakteristik lainnya dari tanah ini adalah permeabilitas yang relatif rendah. Bila diberi beban maka tekanan pori akan menurun dan kepadatan tanah meningkat sehingga ketahanan terhadap keruntuhan dan deformasi pun meningkat. Bila beban diangkat maka tekanan pori naik, kepadatan tanah menurun dan tanah menjadi lunak.

Proses drainase dan konsolidasi di bawah pembebanan dikenal sebagai "primary consolidation process"

## III. STRUKTUR KONSTRUKSI PADA TANAH LUNAK

Struktur konstruksi pada tanah lunak dibagi dalam dua tipe, yaitu :

1. Struktur yang membebani tanah di bawah permukaan (subsoil).

2. Struktur yang mengharuskan pemindahan tanah/penggalan.

### 3.1. Struktur yang membebani bawah permukaan

Dalam hal ini dapat dilihat sebagai contoh struktur bangunan dam, pondasi jalan, timbunan, dan sebagainya.

Apabila beban diberikan di atas lapisan highly compressible yang berupa suatu beban timbunan, tekanan air tanah meningkat karena yang pertama-tama serentak terjadi adalah beban ditekan oleh air pori. Dalam periode ini tekanan efektif belum berubah secara signifikan sehingga tahanan geser juga belum banyak berubah. Jika air telah terdrainase maka tekanan efektif akan meningkat dan tanah berkonsolidasi. Proses drainase ini memerlukan waktu yang cukup lama sehubungan dengan tebalnya lapisan tanah lunak.

Penimbunan biasanya dilakukan secara bertahap dengan rentang waktu yang ditentukan dilihat dari kestabilan tekanan air pori yang terjadi sebagai efek dari penimbunan.

Apabila setelah penimbunan terjadi hal-hal yang tidak diharapkan sehubungan dengan kualitas subsoilnya maka diperlukan suatu teknik alternatif, misalnya :

- Meningkatkan kualitas subsoil sehingga tidak terlalu sensitif terhadap efek kompresi dan keruntuhan. Ini dapat dilakukan dengan cara soil replacement ataupun stone column.
- Mengurangi beban terhadap subsoil, misalnya dengan cara memberi timbunan menggunakan bahan ringan.
- Mendrainasekan lapisan tersebut baik dengan sistem drainase vertikal ataupun drainase horisontal. Yang paling umum digunakan adalah drainase vertikal.

#### Konstruksi Jalan :

Untuk konstruksi pondasi jalan, fungsi utamanya adalah bagaimana mentransfer beban lalu lintas pada subsoil sehingga tidak menimbulkan deformasi serta penurunan diferensial dalam arah transversal maupun longitudinal.

Dalam hal ini lapisan permukaan (sub grade) harus mempunyai daya dukung yang cukup baik sehingga dengan demikian penyebaran beban dapat diserap oleh lapisan ini sehingga yang sampai kepada subsoil adalah penyebaran yang telah tereduksi.

Untuk pondasi jembatan sehubungan dengan beban yang harus dipikul, maka jenis pondasi harus dipilih yang sesuai dengan beban dan kedalaman tanah lunak.

#### **Konstruksi Timbunan :**

Secara umum untuk mendapatkan suatu lahan (area) yang merupakan suatu area dengan tanah timbunan, baik itu untuk gedung, perumahan, maupun jalan serta lokasi-lokasi untuk bangunan industri, maka pekerjaan penimbunan harus dilakukan secara ekstensif. Material timbunan dapat berupa pasir atau material tanah yang sesuai dengan spesifikasi sebagai bahan timbunan yang diperlukan.

Apabila suatu timbunan terletak diatas tanah yang "high compressible subsoil" maka daya dukungnya yang rendah harus dipertimbangkan untuk memastikan stabilitas timbunan.

Berbagai percobaan lapangan harus dicoba untuk memastikan kondisi drainase, pondasi tiang ataupun perkerasan yang akan dibangun di atasnya, sehingga tidak akan terjadi hal-hal yang tidak diharapkan karena adanya settlement.

Pada tahap pertama sebaiknya dibuat timbunan dengan tinggi tertentu sebagai temporary preloading. Selain itu drainase vertikal atau perbaikan tanahpun (soil improvement) harus dicoba untuk mendapatkan suatu solusi dalam mereduksi penurunan pada konstruksi timbunan.

### **3.2. Struktur yang mengharuskan pemin-dahan/ penggalian tanah. ( Soil replacement )**

Eksavasi atau penggalian baik untuk saluran (kanal), saluran drainase jalan atau pelabuhan dan pekerjaan sipil lainnya sering dilakukan. Pekerjaan galian ini harus memperhitungkan kondisi tanah aslinya terutama pada tanah lunak, alat gali (dredging equipment) harus benar-benar diperhitungkan.

Tanggul pada berm-berm jalan dibuat sampai di atas muka air (water level) untuk melindungi efek dari erosi gelombang atau riak air saluran.

Erosi di bawah/di dasar konstruksi saluran dicegah dengan memasang berbagai konstruksi pelindung atau dengan tehnik-tehnik tertentu.

Penggalian pada daerah soft soil jangan hanya memperhitungkan settlement pada bangunan di atasnya saja, tetapi juga harus memperhatikan kondisi yang mungkin ikut rusak di sekelilingnya.

## **IV. MEKANISME GEOTEKNIK**

Perencanaan struktur konstruksi pada tanah lunak harus didasarkan pada mekanisme geoteknik serta metoda perhitungan sehubungan dengan stabilitas serta deformasi-deformasi yang mungkin terjadi.

Mekanisme geoteknik pada umumnya meliputi:

1. geseran (shearing)
2. gaya tekan keatas/gaya angkat (uplift)
3. squeezing
4. penurunan (settlement)
5. deformasi horisontal
6. negative skinfriction

### **1. Geseran ( Shearing )**

Kehilangan keseimbangan akan terjadi pada tanah dengan daya dukung yang rendah di bawah ujung timbunan dan galian.

Dalam beberapa hal gaya geser tanah tidak cukup kuat untuk mencegah pergerakan yang kontinyu dari elemen-elemen tanah di sepanjang bidang gelincirnya. Mekanisme seperti inilah yang dikenal dengan "shearing".

Pergerakan geseran tanah asli selalu terjadi karena berat tanahnya itu sendiri. Untuk keadaan lereng yang terjal, risiko kehilangan keseimbangan akan terjadi lebih besar bila dibandingkan dengan kemiringan lereng yang berangsur-angsur landai, karena pada lereng yang landai tahanan geser akan terakumulasi pada bidang geser yang cukup panjang sehingga tahanannya menjadi cukup besar.

Bidang gelincir yang merupakan bidang tahanan geser dapat berbentuk macam-macam, tetapi

secara umum disederhanakan menjadi bentuk suatu kurva yang besar tahananannya disepanjang bidang gelincir tersebut dapat dihitung dengan berbagai metoda. Risiko kehilangan keseimbangan akibat kecilnya gaya geser dapat diantisipasi dengan mengkonsolidasikan subsoil, membuat lereng lebih landai, menggunakan bahan timbunan ringan (light weight materials) atau memperkuat berm. Stabilitas dapat juga ditingkatkan dengan menurunkan muka air tanah.

## 2. Gaya angkat ( Uplift )

Apabila lapisan lempung atau tanah organik dengan daya dukungnya yang rendah serta tidak kedap air berada di atas lapisan pasir dengan tekanan air pori yang relatif besar maka akan terjadi situasi yang tidak stabil pada lapisan lempung tersebut yang disebabkan oleh adanya perbedaan tekanan pori.

Tekanan pori pada lapisan tidak kedap air ini mungkin saja lebih kecil daripada tekanan pori lapisan pasir sekalipun lapisan ini telah didrainasekan atau dipompa sehubungan dengan struktur bangunan yang dibangun di atasnya ataupun karena adanya penggalian.

Perbedaan tekanan air pori mungkin pula terjadi karena kenyataan yang ada di lapangan dimana muka air lapisan pasir ditentukan oleh permukaan air yang karena faktor external adalah lebih tinggi. Dalam beberapa kasus tekanan air pori dibawah lapisan tidak kedap air akan menyebabkan lapisan di atasnya mengembang atau merekah karena kecilnya berat jenis lapisan lempung/organik.

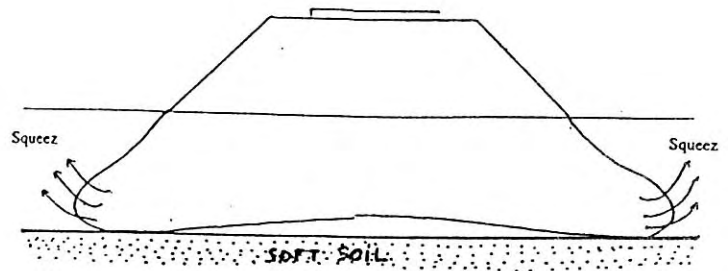
Fenomena di atas tadi menggambarkan terjadinya suatu tekanan keatas yang disebut uplift dan dapat pula diamati pada lapisan atas sewaktu penggalian atau di sekitar tembok penahan suatu polder.

## 3. Squeezing

Jika tanah lunak yang daya dukungnya sangat rendah berada di atas lapisan pasir padat ditimbun oleh suatu timbunan, maka tanah lunak itu akan terdorong ke arah samping kiri dan kanan.

Sehingga tanah timbunan akan menggantikan tempat lapisan tanah lunak tersebut. Setelah lapisan tanah lunak habis terdorong ke luar maka timbunan akan stabil. Peristiwa terdorongnya tanah lunak tersebut dikenal dengan "Toothpaste effect" atau squeezing.

**Gambar 1.**  
**SQUEEZING**



## 4. Penurunan ( Settlement )

Material seperti lempung lunak atau tanah organik sering dikonsolidasikan (dipadatkan) dengan cara penimbunan untuk mempercepat penurunan pada lapisan atas yang akan mendukung struktur.

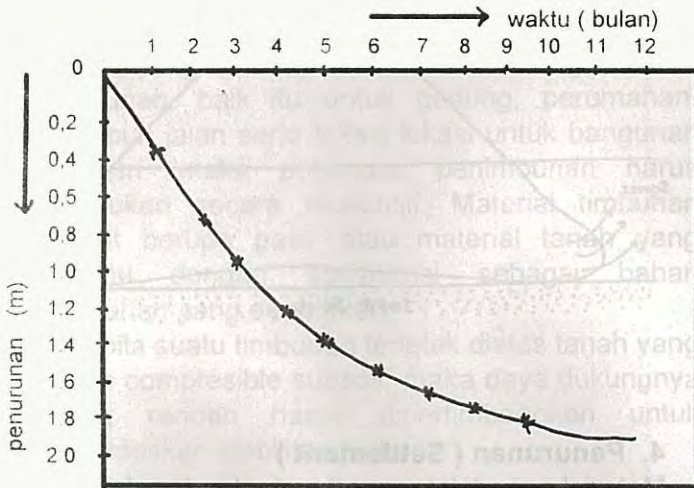
Proses pengkompresian tanah yang jenuh air ini sering berlangsung dalam 3 phase, antara lain :

1. Initial settlement, yang terjadi seketika/atau selama aplikasi pembebanan waktu penimbunan.
2. Consolidation settlement (penurunan karena konsolidasi), dimana terjadinya adalah secara bertahap sejalan dengan pengeluaran air pori.

Sebenarnya tekanan air pori yang menyebabkan keluarnya air pori langsung terjadi karena pembebanan timbunan tersebut, tetapi karena rendahnya permeabilitas dan panjangnya jalan drainase relatif terhadap waktu pembebanan, maka pelepasan air pori terjadi secara bertahap dan penurunan yang diantisipasi dikenal dengan nama penurunan konsolidasi.

3. Secondary settlement atau juga dikenal dengan istilah creep. Penurunan yang berlanjut perlahan, sejalan dengan waktu dimana dalam grafik penurunan biasanya terlihat dalam kurva yang asimptotis yang menuju titik nol.

**Gambar 2.**  
**HUBUNGAN ANTARA PENURUNAN DAN WAKTU**



Tanah lempung non organik maupun lempung organik dalam proses settlement ini mempunyai ciri tersendiri sehubungan dengan beban timbunannya. Untuk mengurangi penurunan dapat pula digunakan bahan timbunan yang merupakan lightweight filling materials .

### 5. Deformasi Horisontal

Pada tepi timbunan dan galian , tegangan horisontal terjadi pada lapisan yang kompressibilitasnya besar, yang merupakan awal dari deformasi horisontal. Selama lapisan ini masih dapat memobilisasi tekanan tanah pasif, maka deformasi horisontal ini dapat ditandai dan diamati sampai 10 meter ke arah depan dari kaki (toe) lereng.

Deformasi horisontal ini dapat menjadi beban horisontal terhadap elemen pondasi (rigid

foundation element) seperti dinding basement, pondasi tiang , dan sebagainya. Beban seperti ini yang sering tidak terdeteksi, dapat menyebabkan kerusakan yang serius pada konstruksi.

### 6. Negative Skin Friction

Sebagai hasil pengkompresian lapisan tanah gambut atau lempung lunak, tahanan geser vertikal akan berpengaruh pada elemen fondasi seperti dinding basement atau pondasi tiang.

Tahanan geser dari tanah timbunan, pada umumnya lebih besar dari tahanan lapisan tanah yang kompresibilitasnya besar. Semakin tebal tanah timbunan semakin besar total tahanan geser vertikalnya pada elemen pondasi. Tahanan vertikal ini disebut tahanan geser negatif (negative skin friction). Mekanisme ini dipertimbangkan sebagai pengurangan daya dukung yang diijinkan dari pondasi.

Tetapi hal lainnya adalah bahwa negative skin friction dapat pula meningkatkan tegangan normal pada pondasi tiang, dan selain itu tambahan deformasi dari elemen pondasi akan mempengaruhi settlement dan differential settlement dari konstruksi.

### 7. Mekanisme lainnya

Harus diperhatikan adanya perubahan tingkat tahanan geser, misalnya karena akibat beban dinamis atau adanya lapisan pasir jenuh ataupun lapisan lanau. Perlemahan seperti ini juga dikenal sebagai liquefaction, yang menggambarkan terjadinya kehilangan stabilitas secara mendadak (sudden loss of stability) dari massa tanah dalam jumlah yang sangat besar, sehingga dapat menyebabkan gradual slopes yang ekstrim.

Hal-hal lainnya yang juga berperan dalam ketidak stabilan tanah lunak adalah : swelling, piping dan erosi.

Tabel di bawah ini memperlihatkan mekanisme geoteknik yang harus diperhatikan pada struktur bangunan di atas tanah lunak :

Mechanism	STRUCTURE FROM FILL				STRUCTURE IN EXCAVATION			
	DAMS	ROAD AND RAILWAY BEDS	GENERAL FILLS (1)	SOIL AND OTHER DUMPS	DITCHES PORTS, ETC.	ROAD AND RAILWAY CUTTING	BLDNG EXCAVATIONS	TRENCHES
Shearing	*	*	-	*	*	*	*	*
Uplift	(*)	-	-	-	*	*	*	*
Squeezing	*	*	-	*	-	-	*	-
Settlement	*	*	*	*	(*)	*	*	*
Horizontal def.	*	*	-	*	(*)	(*)	*	*
Negative skin friction	*	*	*	*	-	-	-	-

Note :

- \* Mechanism of importance for design
- (\*) Mechanism of possible importance for the design
- Mechanism of no importance for design

## V. PENUTUP

Mengakhiri tulisan ini beberapa informasi mengenai mekanisme geoteknik yang akan terjadi karena perilaku tanah lunak, dapatlah kiranya menjadi pertimbangan yang mendasar sebelum kita melakukan perencanaan dan pekerjaan struktur bangunan di atas tanah lunak. Tergantung dari ketebalan tanah lunaknya maka cara-cara seperti penggantian tanah (soil replacement), mengurangi berat beban timbunan dengan menggunakan bahan timbunan ringan ataupun mempercepat proses konsolidasi subsoil dengan drainase vertikal, adalah merupakan upaya yang dapat membantu terlaksananya pekerjaan struktur bangunan dengan baik. Mengatasi tanah lempung lunak menggunakan bahan timbunan ringan atau mengkonsolidasikan menggunakan drainase vertikal, sudah banyak dilakukan. Tetapi khusus tanah lunak organik/gambut, berbagai kendala masih harus dipikirkan lebih jauh, karena lingkungan rawa disekelilingnya yang tidak memungkinkan memasang drainase vertikal untuk mengompresikan tanah tersebut, akan menyebabkan tanah dalam kondisi yang kompresibilitasnya tetap tinggi.

Sehingga untuk tanah gambut ini selain dipasang tiang pancang sampai tanah keras, maka konstruksi lain yang sifatnya hanya mengandalkan pada tahanan geser tanah saja hanya dapat memikul beban yang kecil, misalnya untuk lalu lintas rendah dan ringan.

## DAFTAR PUSTAKA :

1. Baron, R.A. Consolidation of fine-grained soils, by drain wells
2. Lambe, TW and R.v. Whitman, Soil Mechanics, John Wiley & Sons 1969
3. Gibson, RE, A Theory of Consolidation For Soils exhibiting Secondary Compression, 1960.
4. Cur, A.A. Balkema, Building On Soft Soils, 1996
5. Daud, S, Penelitian Tanah gambut, Puslitbang Jalan PU.

## Penulis :

*Ir. Hermin Tjahyati, Msc, Peneliti Muda, Bidang Geoteknik Jalan, Pusat Litbang Jalan.*