

PENGGUNAAN GEOTEXTIL SEBAGAI ALTERNATIF PERBAIKAN TANAH TERHADAP PENURUNAN PONDASI DANGKAL

Yulvi Zaika, Budi Agus Kombino
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang
Jl. MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
E-mail : cicizaika@yahoo.com

ABSTRAK

Proses penurunan pondasi diakibatkan oleh terkompresinya lapisan tanah di bawah pondasi akibat beban struktur. Pada penelitian ini dilakukan perhitungan pengaruh pemasangan perkuatan pada penurunan pondasi dangkal pada tanah lunak di kawasan Aie Pacah Padang. Analisa perkuatan dilakukan pada tanah lempung lunak dan tanah timbunan pasir yang diberi perkuatan 1,2,3 dan 4 lapis. Dari hasil yang didapatkan, tanah lempung lunak yang dibebani dengan pondasi mengalami penurunan yang lebih besar dari penurunan izin Pemasangan 2 lapis perkuatan memberikan hasil optimum pada tanah lempung yaitu dengan pengurangan penurunan sebesar 97.26 %.

Kata kunci: penurunan, perkuatan, pondasi dangkal

PENDAHULUAN

Kota Padang merupakan salah satu kota di Indonesia yang sedang berkembang. Dengan pertumbuhan itu, tentu juga akan berpengaruh terhadap pertumbuhan jumlah bangunannya, seperti perumahan dan pertokoan. Pertokoan (rumah toko) dan rumah merupakan tipe bangunan kecil yang struktur pondasinya biasa menggunakan pondasi dangkal karena paling ekonomis. Salah satu kendala pondasi jenis ini adalah rentan terhadap penurunan berlebih (*excessive settlement*), terutama jika pondasi terletak di atas deposit lempung yang kompresibel. Proses penurunan pondasi diakibatkan oleh terkompresinya lapisan tanah di bawah pondasi akibat beban struktur. Selama ini telah banyak metode yang digunakan untuk meningkatkan kapasitas daya dukung tanah seperti pemampatan, *pre loading*, penggunaan geotekstil, dan lainnya

TUJUAN

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah menghitung pengaruh pemasangan perkuatan pada penurunan pondasi

dangkal pada tanah lunak di kawasan Aie Pacah Padang.

TINJAUAN PUSTAKA Penurunan Pondasi Dangkal

Jika lapisan tanah dibebani, maka tanah akan mengalami regangan atau penurunan (*settlement*). Regangan yang terjadi dalam tanah ini disebabkan oleh berubahnya susunan tanah maupun oleh pengurangan rongga pori/air di dalam tanah tersebut. Jumlah dari regangan sepanjang kedalaman lapisan merupakan penurunan total tanah. Penurunan akibat beban adalah jumlah total dari penurunan segera dan penurunan konsolidasi. Penurunan segera dan konsolidasi terjadi hampir bersamaan pada tanah berbutir kasar. Penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*) terjadi pada tanah berbutir halus memerlukan waktu, yang lama.

$$S = S_e + S_c + S_s$$

Dengan :

S : penurunan total

S_e : penurunan segera/ elastis

S_c : penurunan akibat konsolidasi primer

S_s : penurunan konsolidasi sekunder

Penurunan ini dikontribusikan oleh sifat elastik tanah dan terjadi segera setelah lapisan tanah menerima beban. Secara analitis penurunan segera dapat dihitung dengan persamaan berikut (Janbu, Bjerum, dan Kjaernsli, 1956)

$$S_e = \frac{\mu_1 \mu_o q_n B}{E}$$

Penurunan konsolidasi terjadi akibat keluarnya sebagian kandungan air dari lapisan tanah sehingga tanah menjadi lebih mampat. Penurunan konsolidasi ini terjadi dalam rentang waktu yang lebih lama dan jauh lebih besar dibanding penurunan segera.

Penurunan Konsolidasi Primer atau konsolidasi hidrodinamis, yaitu penurunan yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran air yang meninggalkan tanah akibat adanya tambahan tekanan. Proses konsolidasi primer sangat dipengaruhi oleh sifat tanah, seperti: permeabilitas, kompresibilitas, angka pori, bentuk geometri tanah termasuk tebal lapisan mampat, pengembangan arah horisontal dari zona mampat, dan batas lapisan lolos air, di mana air keluar menuju lapisan yang lolos air ini.

$$S_c = C_c \frac{H_c}{1+e_0} \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o}$$

dengan:

P_o = tegangan efektif tanah akibat berat sendiri

ΔP = penambahan tegangan

C_c = koefisien kompresibilitas dan

e_0 = adalah angka pori asli.

Untuk tanah *overconsolidated clay*, menghitung besarnya penurunan konsolidasi adalah sebagai berikut :

$$S_{c,ov} = C_s \frac{H_c}{1+e_0} \log \frac{P_c}{P_o} + C_c \frac{H_c}{1+e_0} \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o}$$

dengan :

C_s = *swelling index*

P_c = tegangan pra konsolidasi

Perhitungan penurunan konsolidasi sekunder ditentukan dari grafik hubungan angka pori dan waktu. Persamaan untuk menghitung penurunan ini adalah :

$$S_{c_2} = C_{2nd} \frac{H_c}{1+e_p} \log \frac{t_p + \Delta t}{t_p}$$

dengan:

C_{2nd} =indek kemampatan sekunder

H_c =tebal lapisan tanah terkonsolidasi

t_p =waktu yang diperlukan untuk konsolidasi primer

Δt = tambahan waktu untuk proses konsolidasi sekunder

e_p = angka pori akhir pada konsolidasi primer

$$C_{2nd} = \frac{\Delta e}{\log(t_p + \Delta t) - \log(t_p)}$$

Perkuatan Geotextile

Perkuatan tanah didefinisikan sebagai suatu inklusi (pemasukan/ penggabungan) elemen-elemen penahan ke dalam massa tanah yang bertujuan untuk menaikkan perilaku mekanis massa tanah. Perkuatan tanah telah banyak dipakai sejak 20 tahun ini karena secara teknis menarik dan efektif dalam pemakaian biaya. Manfaat perkuatan tanah ini adalah lebih nyata pada lapangan dimana kondisi tanah pondasinya jelek dan areanya marginal, sehingga apabila digunakan teknik perbaikan tanah yang lainnya umumnya akan lebih mahal.

Pada dasarnya, sistem perkuatan tanah terdiri atas tiga komponen utama yaitu :

1. *Perkuatan* (perkuatan)
2. *Backfill* (timbunan)
3. *Facing element*.

Sebagian besar dari perkuatan yang sekarang ini dipakai umumnya adalah *inextensible* dimana perkuatan ini runtuh (*rupture*) pada regangan yang jauh lebih rendah dari yang diperlukan untuk menyebabkan kehancuran tanah,

terkecuali beberapa macam *geotextile* yang *extensible* yang runtuh pada *large deformation*. Karena perkuatan yang *extensible* umumnya memiliki modulus elastisitas yang lebih rendah dari yang *inextensible*, sehingga diperlukan regangan tanah yang lebih besar untuk memobilisasi efek perkuatan. Perkuatan dengan modulus yang tinggi akan menahan deformasi tanah dalam arah yang sejajar dengan sehingga terdapat *anisotropic cohesion* atau bertambahnya *confining pressure* pada bidang yang tegak lurus dengan perkuatan.

Transfer beban antara tanah dan perkuatan bekerja melalui dua mekanisme dasar, yaitu tahanan friksi dan tahanan pasif (*bearing capacity*). Kedua mekanisme ini bekerja secara bersama sehingga menghasilkan material komposit yang koheren dan lebih stabil.

Pada umumnya penggunaan *geotextile* dalam aplikasi geoteknik memiliki salah satu dari kelima fungsi berikut :

- a. Separasi (*separation*)
- b. Filtrasi (*filtration*)
- c. Drainase (*drainage*)
- d. Perkuatan (*reinforcement*)

Manfaat perkuatan dengan *geotextile* adalah menyediakan stabilitas kekuatan tanah sampai suatu waktu dimana tanah lunak di bawah timbunan mengalami konsolidasi (dan meningkatnya kekuatan geser tanah) sampai mempunyai cukup kekuatan untuk menahan beban timbunan di atasnya.

Kriteria Disain

Dalam mendesain tanah timbunan yang diperkuat dengan *geotextile* terdapat beberapa kriteria perancangan, meliputi : daya dukung tanah dalam menerima beban timbunan, stabilitas tanah timbunan terhadap kelongsoran (*general stability*), panjang penyaluran *geotextile* (*anchorage length*), kemampuan tanah timbunan dalam menahan gaya lateral

tanah timbunan (*lateral spreading*) dan deformasi.

a. Bearing Capacity

Tanah dasar timbunan harus mampu mendukung beban timbunan. Dengan mengetahui daya dukung tanah dasar, dapat diketahui apakah tanah dasar tersebut memerlukan perbaikan untuk meningkatkan daya dukungnya atau cukup mampu menahan beban timbunan.

b. Stabilitas tanah timbunan terhadap kelongsoran

Tanah timbunan harus cukup stabil terhadap kelongsoran. Apabila tanah timbunan setelah dianalisis ternyata tidak stabil (longsor), maka perlu diperkuat dengan *geotextile*. Untuk perkuatan dengan *geotextile*, besarnya kekuatan tarik (*tensile strength*) *geotextile* harus cukup kuat menahan longsor dengan suatu faktor keamanan yang disyaratkan.

c. Stabilitas terhadap gaya lateral

Sudut friksi materi *geotextile* harus mampu menahan gaya lateral dari tanah isian timbunan. Besarnya sudut friksi *geotextile* ini diketahui apabila besarnya gaya gesek yang harus ditahan oleh *geotextile* diketahui.

d. Panjang penyaluran (anchorage length)

Panjang penyaluran harus cukup panjang, sehingga gaya gesek yang dihasilkan mampu menahan gaya yang bekerja pada *geotextile* akibat menahan kelongsoran yang termobilisasi. Apabila panjang penyaluran tidak cukup sehingga gaya gesek untuk menahan gaya *geotextile* tidak cukup, maka *geotextile* akan tertarik keluar (*pull out*) mengikuti bidang longsor yang terjadi.

e. Deformation

Harus diperhitungkan besarnya regangan maksimum yang terjadi pada *geotextile* sehingga cukup mampu menahan besarnya deformasi yang terjadi akibat penurunan tanah dasar.

Perhitungan Sudut Friksi Geotextile

Sudut friksi dari *geotextile* harus mampu memberikan gaya gesek yang diperlukan untuk menahan tekanan aktif lateral tanah timbunan. Perhitungan sudut friksi *geotextile* diberikan oleh persamaan berikut :

$$Pa = \tau \cdot L$$

$$Pa = (\sigma_v \cdot \tan \delta) L$$

$$0.5\gamma H^2 K_a = (0.5\gamma H \tan \delta) L$$

$$\tan \delta_{req} = H \frac{K_a}{L}$$

dengan :

δ_{reg} = Sudut friksi *geotextile* yang dibutuhkan

H = Tinggi timbunan

K_a = Koefisien tekanan aktif tanah = $\tan^2(45 - \phi / 2)$

L = Panjang *geotextile*

ϕ = Sudut geser tanah timbunan

Perhitungan Panjang Penyaluran Geotextile

Besarnya panjang penyaluran *geotextile* harus mampu menahan gaya *geotextile* yang bekerja. Prinsipnya adalah besarnya gaya friksi antara tanah dan *geotextile* di sepanjang penyaluran *geotextile* yang tidak berada dalam bidang longsor, harus mampu menahan gaya *geotextile* yang bekerja menahan kelongsoran. Perhitungan panjang penyaluran ini diformulasikan oleh persamaan sebagai berikut :

$$T_{act} = 2\tau L = 2(c_a + \sigma_v \tan \delta) L$$

$$L_{req} = \frac{T_{act}}{2(c_a + \sigma_v \tan \delta)}$$

$$L_{reg} = \frac{T_{act}}{2 \cdot E(c + \sigma_v \tan \phi)}$$

dengan:

L_{req} = Panjang penyaluran di belakang bidang longsor

T_{act} = Tegangan actual yang bekerja pada *geotextile*

c = Kohesi tanah

c_a = Adhesi tanah tanah *geotextile*

ϕ = Sudut friksi tanah

δ = Sudut friksi tanah *geotextile*

σ_v = Tegangan tanah

γ = Berat jenis tanah timbunan

H = Tinggi timbunan

E = Efisiensi *geotextile* ke tanah = 0.8 – 1.2

Pelengkungan Geotextile

Akibat penurunan yang terjadi akibat beban tanah timbunan, materi *geotextile* akan mengalami pelengkungan, sehingga menyebabkan terjadi regangan pada *geotextile*. Regangan yang terjadi harus lebih kecil dari regangan maksimum yang mampu ditahan *geotextile*. Ukuran yang digunakan untuk menentukan kemampuan *geotextile* mengalami regangan akibat tegangan yang bekerja adalah modulus elastisitas *geotextile*. Besarnya modulus elastisitas *geotextile* tergantung dari jenis dan spesifikasi *geotextile* yang diberikan oleh pabrik pembuatnya

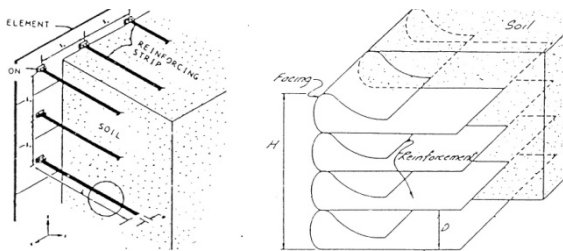
Mekanisme Transfer Beban

Menurut Mitchell dan Villet (1987), dalam suatu perkuatan tanah kombinasi antara material tanah dan perkuatan harus sedemikian rupa sehingga interaksi antara keduanya menghasilkan material komposit yang perilakunya jauh lebih baik. Tanah yang umumnya memiliki kekuatan tekan yang baik dan kemampuan tarik yang sangat lemah dapat diperbaiki perilakunya dengan menambahkan perkuatan yang memiliki kekuatan tarik. Kerjasama kedua material ini dapat menghasilkan material koheren dan memperbaiki perilaku teknis tanah asli. Perbaikan perilaku teknis tanah asli ini terjadi karena adanya transfer beban antara perkuatan dan tanah.

Mitchell dan Villet (1987) selanjutnya membagi perkuatan kedalam dua golongan, yaitu *extensible* (dapat memanjang) dan *inextensible* (tidak dapat memanjang). Pada dasarnya, hampir

semua material perkuatan adalah *inextensible* kecuali *geotextile*. Oleh karena material perkuatan ini mempunyai modulus yang jauh lebih tinggi dibanding tanah, maka mampu menahan deformasi tanah dalam arah sejajar perkuatan. Sehingga keberadaan perkuatan ini dapat dianggap menaikkan kohesi tanah atau menambah *confining pressure*. Transfer tegangan antara tanah dan perkuatan dapat terjadi melalui dua mekanisme, yaitu tahanan friksi dan tahanan pasif. Umumnya kedua mekanisme transfer beban ini bekerja bersama secara aktif. Perkuatan yang tergolong kedalam kategori friksi antara lainnya adalah :

1. *Reinforced Earth*
2. *Plastic Strip*
3. *Geotextile*



Gambar 1. Sistem Perkuatan Dengan Transfer Beban Friksi

Meskipun demikian, hanya geotekstil yang bidang permukaannya halus. Sehingga hanya *geotextile* sajalah yang transfer bebannya terjadi melalui friksi murni. Oleh karena sistem perkuatan yang lainnya tidak mempunyai permukaan yang rata dan halus, maka koefisien friksinya didapat dari pengukuran langsung.

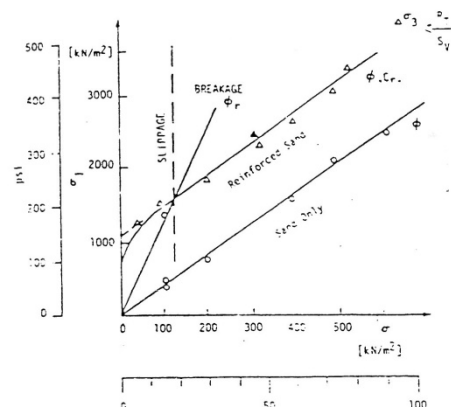
Perilaku Material Komposit Tanah Dan Perkuatan

Menurut Schlosser dan Vidal, adanya kemampuan perkuatan yang mampu menahan tarik dan adanya transfer beban antara perkuatan dengan tanah menyebabkan tanah memiliki *apparent cohesion* dan kuat gesernya

bertambah. Sedangkan menurut Bassett dan Last, adanya perkuatan dalam matriks tanah memperkecil deformasi massa tanah dalam arah perkuatan, sehingga menambah *confining pressure* dan menaikkan kekuatan geser.

Pada *confining pressure* yang rendah, keruntuhan sistem komposit terjadi akibat slip atau tercabutnya perkuatan dari massa tanah. Pada kondisi dengan *confining pressure* yang rendah ini, maka kenaikan kekuatan tanah komposit akan proporsional dengan kenaikan *confining pressure* sebagaimana terlihat dalam **Gambar 2**

Sedangkan pada *confining pressure* yang tinggi, keruntuhan sistem komposit terjadi akibat patah atau putusya perkuatan. Pada kondisi dengan *confining pressure* tinggi ini, kenaikan kekuatan tanah komposit besarnya adalah konstan dan tidak ditentukan oleh besarnya kenaikan *confining pressure*



Gambar 2. Pengaruh Perkuatan Dan *Confining Pressure* Terhadap Kekuatan Tanah Komposit (Mitchell And Villet, 1987)

Hubungan Beban Ultimit (Daya Dukung) dengan Penurunan

Gambar 3 dan **4** menunjukkan hasil penelitian laboratorium yang menggambarkan hubungan antara beban dan ratio penurunan (*settlement ratio*). Dari penelitian tersebut terlihat bahwa peningkatan beban mempunyai pengaruh yang besar deformasi yang terjadi.

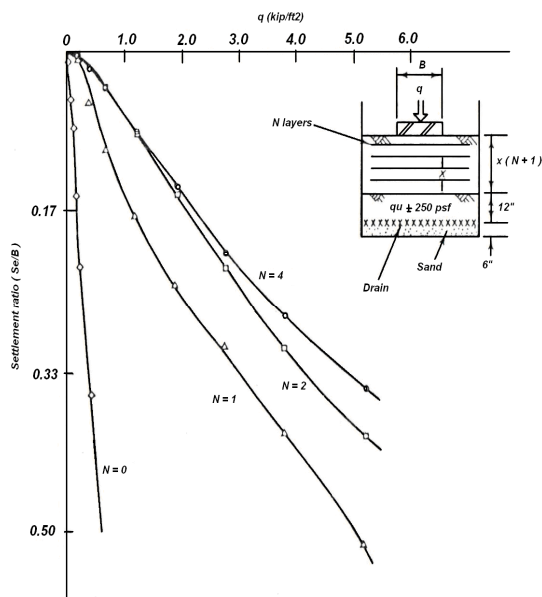
Penelitian dilakukan menggunakan *woven silt-film geotextile* pada tanah jenis tanah lempung lunak (*soft saturated clay*) dan pasir, dengan spasi 3.75 cm, menggunakan 15 cm pondasi lingkaran dan menggunakan N-lapis *geotextile*. Untuk menunjukkan besarnya pengaruh perbaikan daya dukung tanah dengan menggunakan *geotextile* dapat dinyatakan dalam rasio kapasitas daya dukung tanah atau BCR (*The Bearing Capacity Ratio*).

$$BCR = \frac{q}{q_0}$$

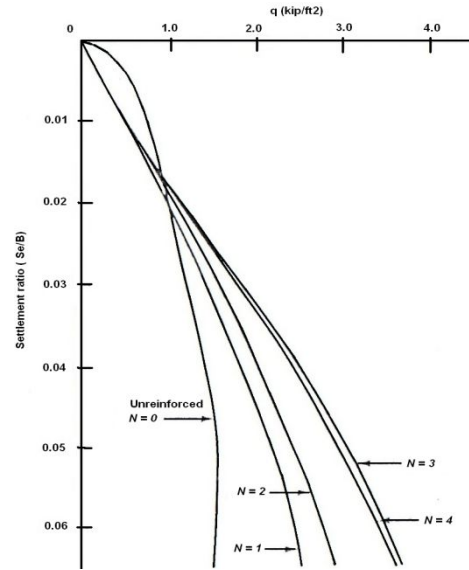
dengan :

q = daya dukung dari tanah dengan menggunakan *geotextile*

q_0 = daya dukung tanah tanpa menggunakan *geotextile*



Gambar 3. Grafik Settlement Ratio Dan Bearing Capacity Tanah Lempung (Barrow,D.1991)



Gambar 4. Grafik Settlement Ratio Dan Bearing Capacity Tanah Pasir ,Goido Dkk (1985)

METODE

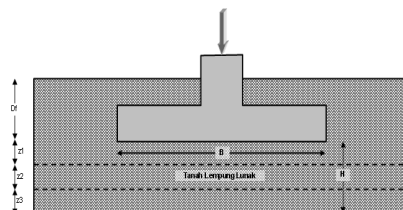
Data Proyek Aie Pacah Padang

Analisis dilakukan pada tanah lunak dimana tanah terdiri dari satu lapis (diasumsikan homogen). Data tanah yang akan diuji adalah sebagai berikut

Data-data parameter tanah asli :

- $\gamma_{sat} = 13,72 \text{ kN/m}^3$
- $c = 8,3 \text{ kN/m}^2$
- $C_v = 3,5 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{dt}$
- Angka pori (e_0) = 2.98
- Indeks pemampatan (C_c) = 0,75
- Koefisien permeabilitas ($k_x = k_y$) = $1,26 \times 10^{-5} \text{ m/hari}$
- Modulus Elastisitas tanah (E) = 2000 kN/m^2
- Angka poisson's = 0,25
- Sudut geser (ϕ) = 17°

HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 5. Pondasi Dangkal

dengan :

$$B = 2 \text{ m}$$

$$D_f = 2 \text{ m}$$

$$z_1 = 1/3 H \text{ m}$$

$$z_2 = 2/3 H \text{ m}$$

$$z_3 = H \text{ m}$$

$H = 1,352 \text{ m}$, dimana nilai H adalah kedalaman bidang runtuh dibawah pondasi

Perhitungan daya dukung dilakukan dengan perhitungan gaya akibat gaya dalam dan gaya luar yang bekerja.

$$Q_{ult} = 33.1 \text{ kN/m}^2.$$

Penurunan Segera Tanpa dan dengan Geotekstil untuk tanah lempung lunak.

Berdasarkan **Gambar 3** Grafik *settlement ratio dan bearing capacity* (Barrow, D.1991) penurunan segera yang terjadi untuk daya dukung pondasi adalah:

$$q = 33.1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}, \text{ adalah daya dukung}$$

tanah lempung lunak

$$\text{Konversi satuan } 1 \text{ kip} = 4.448 \text{ kN}$$

$$1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0.021 \frac{\text{kip}}{\text{ft}^2}$$

$$33.1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0.695 \frac{\text{kip}}{\text{ft}^2}$$

Tanpa menggunakan geotekstil maka $N = 0$

$$\frac{S_{e_0}}{B} = 0.329$$

$$S_{e_0} = 0.329 \times B, B = 2 \text{ meter}$$

$$S_{e_0} = 0.658 \text{ meter}$$

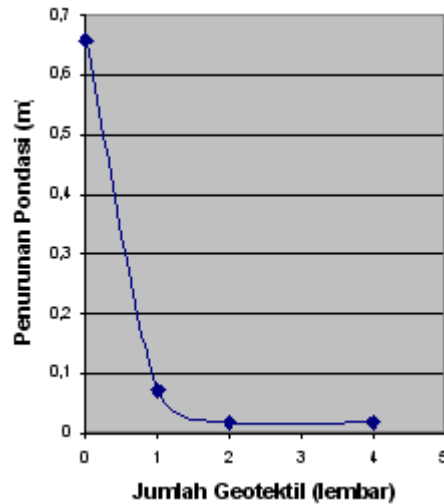
Penurunan Segera dengan menggunakan 1 lapis Geotektile $N = 1$

$$\frac{S_{e_1}}{B} = 0.036$$

$$S_{e_1} = 0.036 \times B, S_{e_1} = 0.072 \text{ meter}$$

Tabel 1. Penurunan segera pada lempung tanpa dan dengan geotektile

No	N (lapis)	Se/B (m)	Se (m)	% Perobahan Penurunan
1	0	0,329	0,658	-
2	1	0,036	0,072	89,06
3	2	0,009	0,018	97,26
4	4	0,009	0,018	97,26



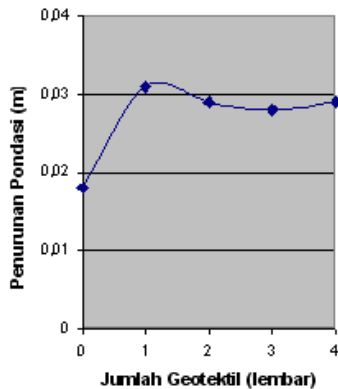
Gambar 6. Pengaruh penurunan segera pada lempung lunak dengan dan tanpa geotekstil

Penurunan Total Tanah Pasir

Dengan besar beban yang sama dengan beban yang diberikan pada tanah lempung, berdasarkan **Gambar 4** Grafik *settlement ratio dan bearing capacity* tanah pasir, Goido dkk (1985) didapatkan penurunan segera sebagai berikut :

Tabel 2. Penurunan total pada tanah pasir tanpa dan dengan geotextile dengan $Q=0.695 \text{ kip/ft}^2$

No	N (lapis)	$\frac{S_e}{B}$	S_e (m)
1	0	0.009	0.018
2	1	0.0155	0.031
3	2	0.0145	0.029
4	3	0.014	0.028
5	4	0.0145	0.029

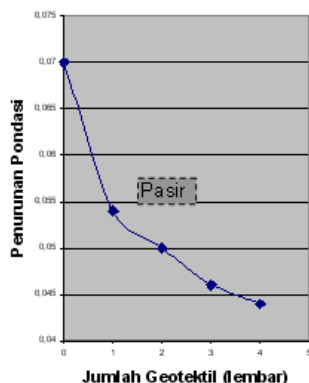


Gambar 7. Pengaruh penurunan total pada tanah pasir dengan dan tanpa geotextile dengan $Q=0.695 \text{kip/ft}^2$

Sedangkan penurunan total pada tanah pasir tanpa dan dengan geotextile dengan $Q = 1,25 \text{ kip/ft}^2$ dijabarkan dalam tabel dan gambar berikut.

Tabel 3. Penurunan total pada tanah pasir tanpa dan dengan geotextile dengan $Q=1.25 \text{kip/ft}^2$

No	N (lapis)	$\frac{Se}{B}$	Se (m)	% p.penurunan
1	0	0.035	0.070	-
2	1	0.027	0.054	22.86
3	2	0.025	0.050	28.57
4	3	0.023	0.046	34.29
5	4	0.022	0.044	37.14



Gambar 8. Pengaruh penurunan total pada tanah pasir dengan dan tanpa geotextile dengan $Q=1.295 \text{kip/ft}^2$

KESIMPULAN

1. Sebelum diberi perkuatan, besar penurunan yang terjadi pada lapisan tanah lunak melewati batas penurunan izin sehingga perlu diberikan perlakuan khusus agar dapat memikul beban sesuai dengan yang kita rencanakan.
2. Memberikan perkuatan pada tanah lempung terbukti dapat mengurangi penurunan pada tanah
3. Dalam kasus tanah di Aie Pacah ini, direkomendasikan menggunakan 2 lapis geotextile
4. Penurunan segera yang terjadi pada tanah lempung pada beban tertentu akan selalu menghasilkan penurunan yang lebih kecil untuk tanah yang menggunakan geotextile.
5. Penggunaan geotektile pada pasir pada beban yang lebih kecil dari 1 kip/ft^2 akan memberikan penurunan yang lebih kecil tanpa geotextile dibanding menggunakan geotextile. Ini terjadi karena pasir sudah memberikan kontribusi terhadap kekuatan tanah. Sehingga geotextile tidak berfungsi.
6. Untuk beban yang lebih besar dari 1 kip/ft^2 pada tanah pasir, geotextile berfungsi sebagaimana mestinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Das, Braja M, 1999, *Shallow Foundation: Bearing Capacity and Settlement*, CRC Press, Sacramento, California.
- Exxon Chemical Geopolimer Ltd., 1992. *Designing of Soil Reinforcement*, Second Edition
- Hunt, RE. *Geotechnical Engineering Analysis and Evaluation*. McGraw Hill, New York.
- Koerner R.M. 1990. *Designing with Geosynthetics*. Prentice-Hall, New Jersey