

ANALISIS DEFORMASI *FLOATING PILES* SEBAGAI PERKUATAN TANAH LUNAK DI BAWAH *GEOGRID-REINFORCED EMBANKMENT*

Oleh: A. Adhe Noor PSH^{#1}

e-mail : adhe_noorpatria@yahoo.co.id

Staf Pengajar pada Jurusan Teknik, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto

Abstraksi

Tanah lunak merupakan jenis tanah yang mendominasi sebagian besar wilayah di Indonesia. Jenis tanah ini memiliki perilaku yang khas sehingga sebagian besar konstruksi yang berdiri pada tanah ini akan menemui beberapa kendala seperti penurunan tanah yang tinggi besar dan laju konsolidasi yang tinggi. Salah satu alternatif untuk menyelesaikan masalah ini adalah dengan penggunaan geogrid pada dasar konstruksi atau penggunaan kombinasi geogrid dan floating piles di dasar konstruksi seperti contoh pada konstruksi embankment.

Perilaku konstruksi perkuatan yang berupa kombinasi *geogrid – floating piles* di dasar embankment dipelajari lanjut dengan menggunakan simulasi numeris berbasis Plaxis Versi 7.2. Pada simulasi ini, konstruksi timbunan dan perkuatan (*geogrid dan floating piles*) dimodelkan sebagai plane strain. Pelaksanaan konstruksi dilakukan secara bertahap (*staged construction*) dan laju konsolidasi tanah dasar diamati.

Berdasar hasil simulasi, kita dapat mengetahui deformasi floating piles pada area utama seperti pada kaki (toe) dan Pusat (center) embankment). Pada daerah kaki timbunan (*toe of embankment*), perpindahan horisontal *floating piles* hanya ditahan oleh kondisi penjepitan (*fixed*) *geogrid* di salah satu sisinya saja sehingga dimungkinkan terjadinya penyaluran beban *embankment* dalam bentuk perpindahan horisontal yang lebih besar dari pada di area *center line of embankment*. Pada area center line of embankment sedangkan pada area di tengah *embankment*, *floating piles* berada di antara dua buah kondisi penjepitan *geogrid*, kondisi ini menyebabkan beban yang diterima oleh *floating piles* berasal dari *geogrid* dan tanah timbunan. Beban yang berasal dari *geogrid*; yang merupakan gaya tarik terhadap *pile caps*; cenderung menyebabkan perpindahan horisontal sedangkan beban tanah timbunan di atas *pile caps* cenderung menyebabkan perpindahan vertikal. Nilai perpindahan vertikal *floating piles* cenderung lebih besar dari pada perpindahan horisontal karena perpindahan horisontal *floating piles* ditahan oleh perkuatan *geogrid*.

Kata Kunci : *floating piles, geogrid, pile caps, perpindahan horisontal*

Abstract

Soft soil dominated almost all type of soil in Indonesia. This soil was specific in behaviour, many construction built up on this kind of soil would face some problems. For instance high settlement and high rate of consolidation. One of solution to overcome this problem was the usage of reinforcement such as geogrid or geogrid floating piles combination below the construction like embankment construction.

The behaviour of geogrid-floating piles below the construction was then analyzed by using numerical package software Plaxis Version 7.2. In this simulation embankment and

soil reinforcement (geogrid and floating piles) were modeled as plane strain. The embankment construction was constructed in staged and the rate of consolidation was counted.

The results shows that floating piles deformation was analysed in toe and center line of embankment. In toe of embankment, horisontal deformation of piles was retained by fixed condition with geogrid on one side (free side) so that the transfer of embankment load directed to this free side (slope of embankment). Compared to center line of embankment, fixed condition between piles and geogrid were in both side (right and left of piles). This condition leads to high vertical deformation compared to horisontal one.

Keywords : floating piles, geogrid, fixed condition, horizontal deformation

PENDAHULUAN

Tanah lunak merupakan jenis tanah yang banyak menjadi topik utama penelitian. Hal ini disebabkan jenis tanah ini memiliki perilaku yang sering menimbulkan berbagai kendala bila ditinjau dari bidang ilmu teknik sipil. Kendala yang sering dijumpai antara lain tingkat konsolidasi yang cukup tinggi, sukarnya pemadatan jenis tanah ini, dan tingkat penurunan jangka panjang yang besar. Jenis konstruksi yang sering dibangun di atas tanah jenis ini adalah timbunan (*embankment*) seperti embankment jalan raya, jalan rel maupun tanggul.

Beberapa teknik konstruksi sudah diteliti untuk diterapkan dalam mengatasi kendala ini seperti pengelupasan tanah lunak (*scraping*) bila lapisan tanah lunak tidak terlalu tebal, menggunakan geosintetik atau dengan kombinasi geosintetik dan floating piles sebagai perkuatan dasar embankment. Kombinasi geosintetik dan *floating piles* diharapkan dapat memberi dukungan terhadap beban yang bekerja di atasnya (beban embankment) melalui perlawanan lekatan tanah (tahanan gesek) pada dinding *piles* tersebut dan perlawanan tegangan pada geogridnya.

GEOGRID

Penggunaan geogrid sebagai salah satu perkuatan tanah sudah sangat luas. Geogrid merupakan salah satu jenis geosintetik. Menurut CUR (1995) geosintetik yang digunakan sebagai perkuatan tanah (*reinforcement*) umumnya memiliki tiga sifat utama antara lain kekuatan (*strength*), kekakuan (*stiffness*), dan memiliki ketahanan selama umur konstruksi. Beberapa tipe geosintetik menurut Koerner (1990) adalah *geotextile (filter fabrics)*, *geomembrane*, *geowebs (confinement & strength)*, *geogrid (reinforcement)*, *geonet (drainage)* dan *geocomposite*.

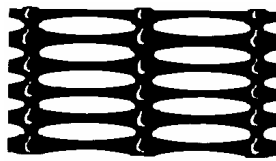
Geosintetik tipe grid (*geogrid*) sering digunakan sebagai perkuatan tanah misalnya sebagai perkuatan dinding penahan tanah, perkuatan lapis perkerasan jalan, perkuatan timbunan atau sebagai perkuatan tanah akibat bencana tanah longsor (Permathene, 2002). *Geogrid* memiliki kuat tarik yang tinggi dan terbuat dari lembaran polimer yang dilubangi dengan pola yang sama kemudian ditegangkan pada arah tertentu. Karakteristik dan penggunaan *geogrid* sangat ditentukan dari tipenya (Permathene, 2002), hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut ini.

1. *Uni-axial geogrid*

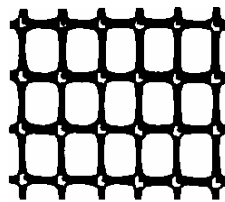
Bahan ini memiliki kuat tarik yang tinggi pada satu arah dan biasanya digunakan pada perbaikan lereng terhadap longsor (*slip repairs*), dinding penahan tanah atau lereng yang terbebani dalam waktu lama (Gambar 1).

2. *Bi-axial geogrid*

Bahan ini memiliki kuat tarik pada dua arah yang tidak sebesar uni-axial geogrid. Umumnya digunakan sebagai perkuatan tanah lunak untuk mengurangi pengaruh beban yang bekerja seperti beban lalu lintas kendaraan (Gambar 2).



Gambar 1 *Uni-axial grid* (Sumber : Tensar, 2002).



Gambar 2 *Bi-axial grid* (Sumber : Tensar, 2002).

FLOATING PILES

Floating piles merupakan salah satu tipe fondasi tiang yang dipancang secara keseluruhan di dalam tanah lempung lunak, sehingga sebagian besar beban ditahan oleh tahanan gesek dinding tiang. Fondasi ini umumnya dipancang secara berkelompok ke dalam tanah lunak dan kapasitasnya dipengaruhi oleh salah satu faktor (Hardiyatmo, 2001) dari :

1. jumlah kapasitas tiang tunggal dalam kelompok tiang, bila jarak tiang lebar,

2. tahanan gesek tiang yang dikembangkan oleh gesekan antara bagian luar kelompok tiang dengan tanah di sekelilingnya, jika jarak tiang terlalu dekat.

Menurut Cernica (1995) pemancangan tiang ke dalam tanah lunak (lempung jenuh) cenderung akan mempengaruhi tanah yaitu :

1. tanah di sekeliling tiang terganggu/rusak,
2. meningkatkan tekanan air pori di dalam tanah,
3. meningkatkan kompresibilitas tanah lempung,
4. mempengaruhi tanah sampai ke tahap / tingkat tertentu pada jarak kira – kira sama dengan diameter tiang.

Sedangkan menurut De Mello (1960) (dalam Poulos dan Davis, 1980) pemancangan tiang ke dalam tanah lempung memberikan akibat antara lain terjadi :

1. perubahan pada struktur tanah (*remolding*) di sekeliling tiang,
2. perubahan kondisi tegangan (*stress state*) di dalam tanah di sekeliling tiang,
3. disipasi dari tekanan air pori berlebih (*excess pore water pressure*) pada tanah di sekeliling tiang,
4. fenomena jangka panjang yang merupakan kembalinya kekuatan tanah (*strength regain*).

GEOGRID-REINFORCED AND PILE SUPPORTED EMBANKMENT

Menurut Hans dan Akin (2002), *embankment* dengan perkuatan geogrid dan floating piles dapat dibedakan menjadi 2 kelompok besar (Hans dan Akins, 2002) sebagai berikut :

1. *Conventional Pile Supported (CPS) Embankments* (Gambar 3),
2. *Geosynthetic-Reinforced dan Pile Supported (GRPS) Embankments* (Gambar 4).

Ada 3 komponen utama dalam mekanisme penyaluran beban dalam sistem GRPS (*Geosynthetic-Reinforced dan Pile Supported Embankment*) tersebut (Hans dan Akins, 2002).

1. *Soil Arching*

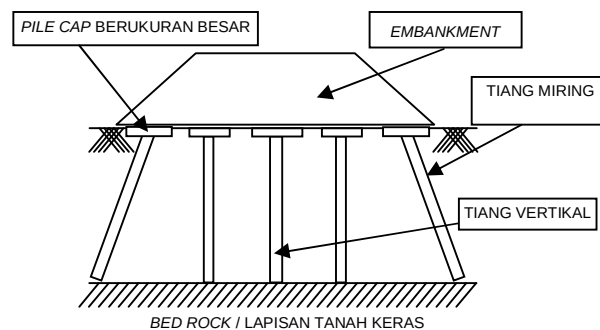
Terjadi akibat adanya *differential settlement* antara *pile cap*, sehingga terbentuk *soil arching* di atas *platform* yang diperkuat oleh geosintetik (*geosynthetic reinforced fill platform*), hal ini mengakibatkan berkurangnya tekanan yang bekerja pada *fill platform*.

2. Efek Membran (*Membrane Effect*).

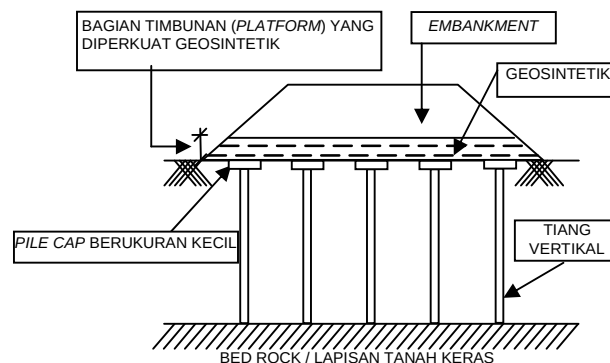
Adalah suatu efek ketika *fill platform* (yang memiliki geosintetik di dalamnya baik *single layer* maupun *multiple layer*) dikenai tekanan, maka *fill platform* akan mengalami deformasi seperti plat / membran.

3. Konsentrasi Tegangan (*Stress Concentration*)

Terjadi akibat adanya perbedaan kekakuan antara tiang dan tanah lunak, *soil arching* dan deformasi dari *soil platform*, maka sebagian besar beban disalurkan ke tiang, sedangkan tanah lunak hanya menerima sebagian kecil beban. Hal ini mengakibatkan ada perbedaan tegangan yang signifikan antara tiang dan tanah lunak. Fenomena ini disebut *stress concentration* pada kepala tiang (*pile cap*).



Gambar 3 *Conventional pile supported (CPS) embankment.*



Gambar 4 *Geosynthetic-Reinforced dan Pile Supported (GRPS) Embankments.*

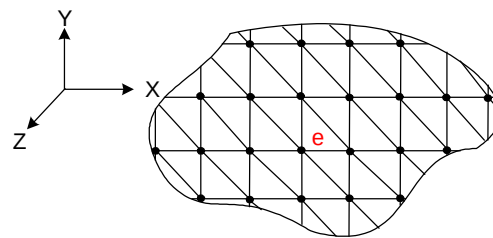
METODE ELEMEN HINGGA

Metode elemen hingga sebagai salah satu cara pemecahan masalah dengan konsep dasar diskritisasi (*discretization*) sudah dikenal sejak dulu. Diskritisasi (*discretization*) dapat diartikan membagi suatu sistem menjadi elemen – elemen penyusun yang lebih kecil untuk

dianalisa secara individual kemudian digabungkan (*assembled*) dan divisualisasikan sebagai suatu sistem yang *continuous* (Desai, 1979).

Menurut Suhendro (2001) terdapat beberapa langkah yang dapat digunakan sebagai pedoman dalam analisis dengan pendekatan ini yaitu :

1. pembagian (*discretizing*) struktur menjadi elemen – elemen (nyata atau imajiner) dengan garis – garis (*grid lines*) yang saling berpotongan di titik – titik nodal (Gambar 5),



Gambar 5 Diskritisasi struktur dalam sumbu koordinat global.

2. menetapkan fungsi pendekatan yang digunakan (*approximate functions*) dan penjabaran komponen – komponen perpindahan (*displacements*) u, v dan w,
3. penggabungan (*assembling*) matrik $[k_g^{(e)}]$, $\{P\}_g^{(e)}$ dan $\{d\}_g^{(e)}$ untuk setiap elemen menjadi matrik $[K]$, $\{P\}$ dan $\{d\}$ struktur, sehingga diperoleh persamaan keseimbangan struktur dalam koordinat global, yaitu

$$[K] \cdot \{d\} = \{P\} \dots\dots\dots (1)$$

4. penyelesaian persamaan tersebut di atas dengan cara memasukan kondisi – kondisi batas (*boundary conditions*) agar diperoleh solusi berupa perpindahan titik (*nodal displacements*),
5. penghitungan besarnya tegangan, regangan, maupun gaya – gaya dalam, untuk setiap elemen berdasarkan perpindahan masing – masing titik (*nodal displacements*) yang sudah diperoleh.

$$(\sigma) = [E] \{\epsilon\}^{(e)} = [E][B] \{d\}^{(e)} \dots\dots\dots (2)$$

INTERFACE TANAH LUNAK – FLOATING PILES

Menurut Poulos dan Davis (1980) tahanan lekat antara tanah dengan tiang (*shaft resistance/P_{su}*) dapat diperoleh melalui integrasi kuat geser pada permukaan tiang. Hal tersebut dapat dijelaskan melalui persamaan berikut

$$P_{su} = \int_0^L C \tau_a dz \quad \dots\dots\dots (3)$$

dengan τ_a : kuat geser antara tanah dan tiang (kN/m²),

C : konstanta perimeter tiang,

L : panjang tiang (m).

Kuat geser antara tanah dan tiang (τ_a) yang terjadi pada luas selimut tiang dapat dijelaskan dengan persamaan Coulomb sebagai berikut.

$$\tau_a = c_p + \sigma_n \tan \phi_a \quad \dots\dots\dots (4)$$

dengan

c_p : adhesi antara tanah dan tiang (kN/m²),

σ_n : tegangan normal antara tiang dan tanah (kN/m²),

ϕ_a : sudut gesek antara tanah dan tiang (°).

Tegangan normal antara tanah dan tiang (σ_n) sering dinyatakan sebagai tekanan tanah lateral ke tiang yang dijabarkan sebagai fungsi dari tegangan vertikal.

$$\sigma_n = \sigma_h = K_s \sigma_v \quad \dots\dots\dots (5)$$

dengan K_s : koefisien tekanan tanah lateral

SIMULASI NUMERIS GEOGRID REINFORCED - PILED SUPPORTED EMBANKMENT

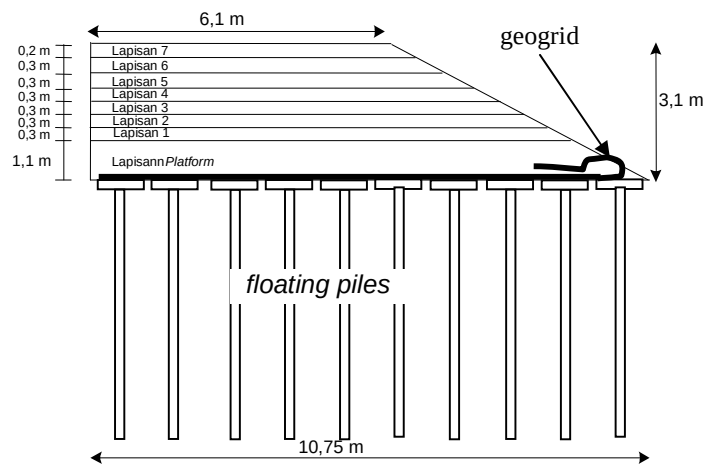
Konstruksi embankment yang diperkuat geogrid dan *floating piles* dimodelkan dalam bentuk *plane strain*, sedangkan simulasi numeris dilakukan dengan menggunakan Plaxis Versi 7.2 .Model interface tanah dan material pada embankment terbagi menjadi dua yaitu dengan memperhitungkan interface (*interfaced embankment*) serta tanpa memperhitungkan interface (*rigid embankment*). Detail bagian konstruksi dapat dilihat pada Gambar 7 sedangkan model input konstruksi dalam simulasi numeris dapat dilihat pada Gambar 8 dan 9. Diskretisasi elemen model *geogrid-reinforced and piled-supported embankment* sebagai langkah awal simulasi numeris dapat dilihat pada Gambar 10 dan 11. Pelaksanaan konstruksi embankment dilakukan secara bertahap dan dalam simulasi numeris dimodelkan dalam *staged construction type*

Input data untuk material geogrid dalam simulasi menggunakan parameter EA sebesar 1000 kN/m, sedangkan parameter input *floating piles* menggunakan poisson's ratio (ν) 0,15 dengan jenis material bersifat elastic untuk *pile caps* dan *floating piles*nya. Data yang lebih lengkap dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

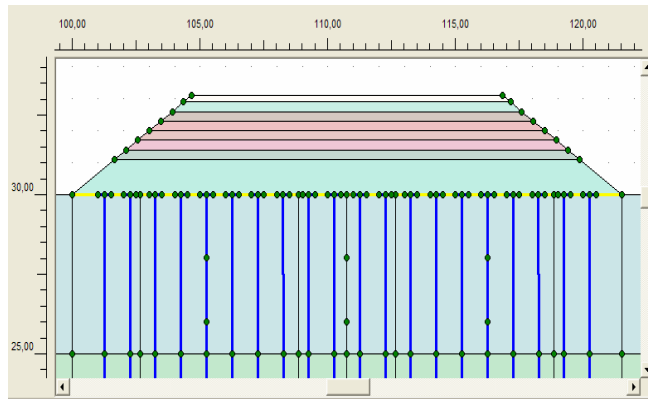
Tabel 1 Parameter Input *Floating Piles* dan *Pile Caps*

NO	Type	EA (kN/m)	EI (kN/m)	d (m)	w (kN/m/m)
1.	<i>Pile caps</i>	$6,436.10^6$	$6,704.10^4$	0,354	0,031
2.	<i>Floating Piles</i>	$6,553.10^5$	$1,327.10^3$	0,156	7.10^{-3}

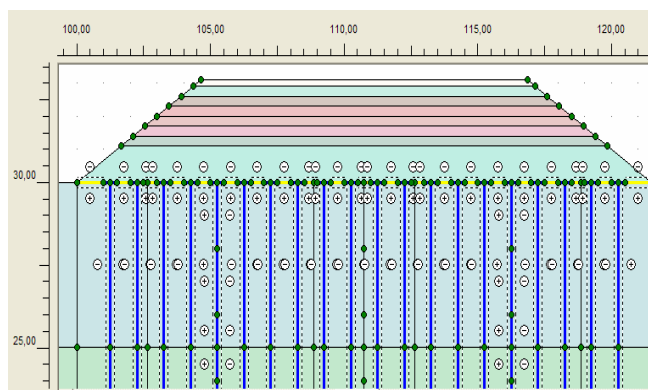
Floating piles dan *pile cap* yang digunakan terbuat dari beton dengan $f'_c = 30$ MPa dan memiliki modulus elastisitas (E) sebesar 25742,96 MPa. *Floating piles* memiliki panjang 13 m dan diameter 0,18 m, sedangkan *pile cap* memiliki ukuran sisi 0,5 m x 0,5 m dan tebal 0,25 m. *Poisson's ratio* yang digunakan untuk beton sebesar 0,15 (Tabel 3.4). Jarak antar *floating piles* (pusat ke pusat) sebesar 1 m.



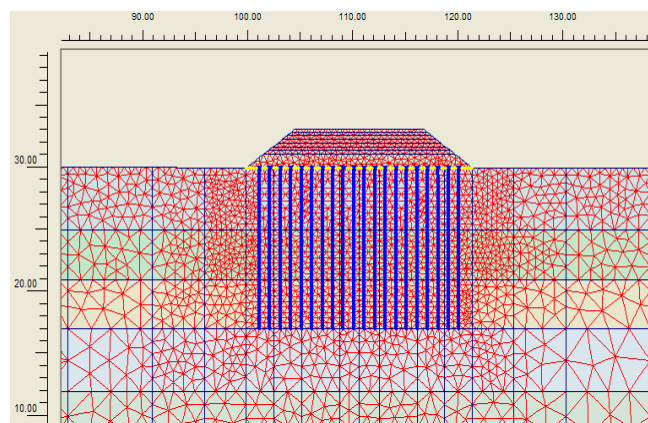
Gambar 7 Embankment yang diperkuat *geogrid* and *floating piles*



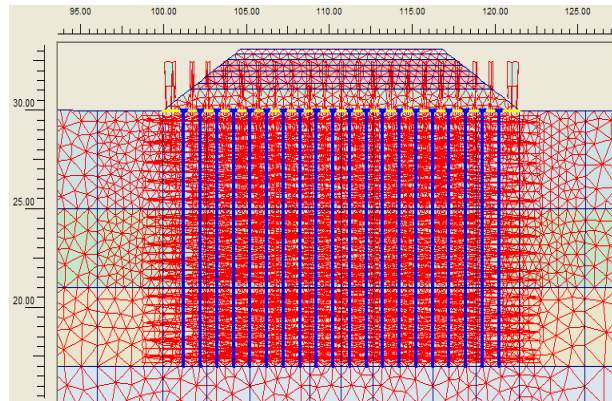
Gambar 8 Model *rigid (non-interface) embankment*.



Gambar 9 Model *interface embankment*.



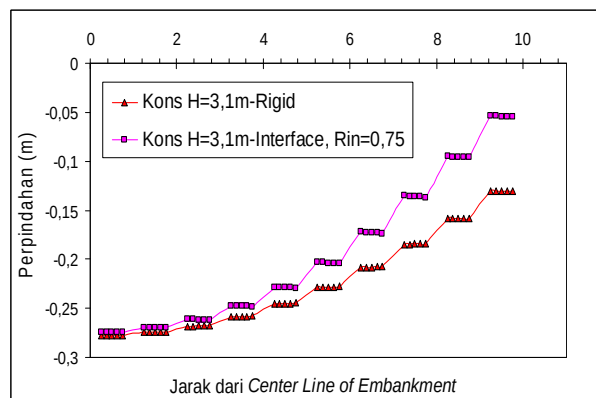
Gambar 10 Diskritisasi model *rigid embankment*.



Gambar 11 Diskritisasi model *Interface Embankment*.

ANALISIS DEFORMASI FLOATING PILES

Floating Piles merupakan salah satu perkuatan yang digunakan dalam menahan beban *embankment*. Pada bagian atas *floating piles* terdapat *pile caps* yang memiliki kontak langsung dengan *geogrid* dengan suatu bidang kontak berupa jepit (*fixed*). Hal ini dimungkinkan mengingat *pile caps* merupakan sebuah material yang kaku dengan tingkat kekakuan tinggi sehingga saat terbebani oleh beban *embankment*, defleksi yang terjadi di sepanjang *pile caps* cenderung seragam (Gambar 12).



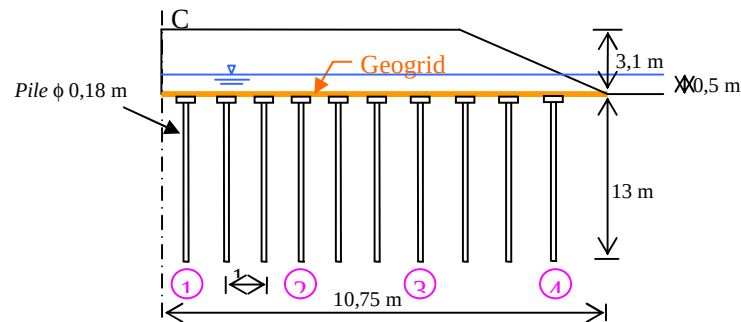
Gambar 12 Perpindahan vertikal *pile caps* akibat beban *embankment*.

Perpindahan vertikal *pile caps* pada *interface embankment* memberi nilai yang lebih besar dari pada *rigid embankment*. Pada area di bawah pusat *embankment*, perbedaan perpindahan vertikal tidak terlalu besar, akan tetapi semakin jauh dari pusat *embankment* maka perbedaan yang terjadi semakin bertambah besar. Pada area di sekitar *toe of embankment* (8 – 10,75 m dari *center line of embankment*), terjadi perombakan susunan tanah dasar sehingga mengakibatkan tanah dasar mengalami *heaving* yang lebih besar pada *interface embankment*

dibandingkan dengan *rigid embankment*. Kondisi ini mengakibatkan penurunan *pile caps* pada *interface embankment* menjadi lebih kecil.

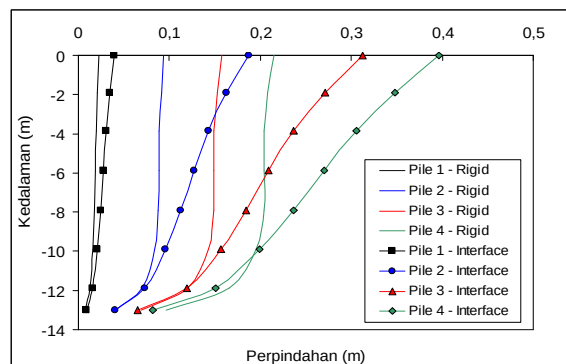
Beban *embankment* yang diterima oleh *pile caps* kemudian disalurkan ke *floating piles* dan pada akhirnya ke tanah dasar. Beban *embankment* yang bekerja pada tanah dasar yang berupa *soft clay* akan mengakibatkan terjadinya deformasi yang cukup besar pada *floating piles*. Besar kecilnya deformasi tergantung pada lokasi *floating piles* tersebut (Gambar 13).

Floating piles 1 (dekat dengan *center line of embankment*) cenderung mengalami perpindahan horisontal yang lebih kecil bila dibandingkan dengan *floating piles* lain (2,3 dan 4), akan tetapi nilai perpindahan vertikalnya paling besar bila dibandingkan *floating piles* yang lain (2,3 dan 4). Kondisi ini berlaku untuk *rigid embankment* dan *interface embankment*.



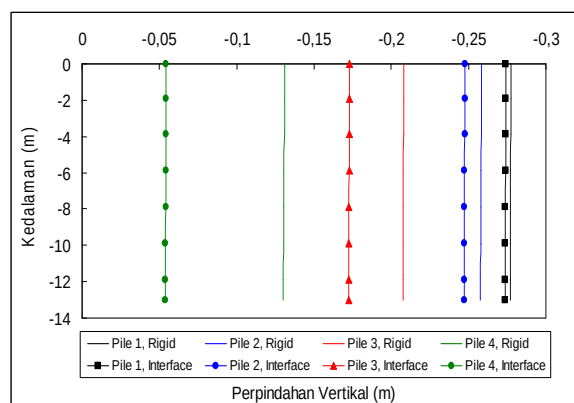
Gambar 13. Posisi *floating piles* di bawah *embankment*.

Pada daerah kaki timbunan (*toe of embankment*), perpindahan horisontal *floating piles* hanya ditahan oleh kondisi penjepitan (*fixed*) *geogrid* di salah satu sisinya saja sehingga dimungkinkan terjadinya penyaluran beban *embankment* dalam bentuk perpindahan horisontal yang lebih besar dari pada di area *center line of embankment* (Gambar 14).



Gambar 14 Perpindahan horisontal *floating piles*.

Pada area di tengah *embankment*, *floating piles* berada di antara dua buah kondisi penjepitan *geogrid*, kondisi ini menyebabkan beban yang diterima oleh *floating piles* berasal dari *geogrid* dan tanah timbunan. Beban yang berasal dari *geogrid*; yang merupakan gaya tarik terhadap *pile caps*; cenderung menyebabkan perpindahan horisontal sedangkan beban tanah timbunan di atas *pile caps* cenderung menyebabkan perpindahan vertikal. Nilai perpindahan vertikal *floating piles* cenderung lebih besar dari pada perpindahan horisontal karena perpindahan horisontal *floating piles* ditahan oleh perkuatan *geogrid*. Kondisi ini berlaku untuk *rigid piles* dan *interface piles* (Gambar 15).



Gambar 15 Perpindahan vertikal *floating piles*

DAFTAR PUSTAKA

- Desai, C.S., 1979, *Elementary Finite Element Method*, Prentice-Hall Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- Hans, J. and Akins, K., 2002, *Use of Geogrid-Reinforced and Pile-Supported Earth Structures*, Proceeding of International Deep Foundation Congress, p. 668-679, ASCE, Februari, Orlando, Florida, USA
- Koerner, R.M., 1990, *Designing With Geosynthetics*, Second Edition, Prentice – Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- Permathene, 2002, *EtsongTM Geogrids*, www.Permathene. com, Auckland, New Zealand.
- Poulos, H.G. and Davis, E.H., 1980, *Pile Foundation Analysis and Design*, John Wiley & Sons, USA
- Suhendro, B., 2001, *Metode Elemen Hingga dan Aplikasinya*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Suryolelono, K.B., 2000, *Geosintetik Geoteknik*, Edisi 1, Cetakan 1, Nafiri, Yogyakarta

Tensar, 2003, *Product Specification – Structural Geogrid BX6100*, Tensar Earth Technology, Atlanta, Georgia, USA