

Pengaruh Beban Kendaraan sebagai Beban Titik terhadap Deformasi Geogrid sebagai Perkuatan Embankment di atas Tanah Lunak

Influence of Vehicle Load as Point Load on Geogrid Deformation as Embankment Reinforcement on Soft Soil

A. Adhe Noor PSH^{#1}

adhe_noorpatria@yahoo.co.id

Staf Pengajar Prodi Teknik Sipil, Jurusan Teknik,
Fakultas Sains dan Teknik Unsoed

Abstrak— Konstruksi yang dibangun di atas tanah lunak seperti tanah lempung (clay) umumnya akan menemukan kesulitan seperti lamanya waktu konsolidasi, tanah sukar dipadatkan, lereng timbunan tidak stabil, serta penurunan jangka panjang yang besar. Drainase vertikal atau dengan menggunakan bahan geosintetik seperti geogrid dan geotekstil yang dapat dikombinasikan dengan floating piles merupakan beberapa metode untuk mengatasi masalah ini.

Defromasi geogrid dianalisis menggunakan Plaxis versi 7.2 dengan permodelan plane strain untuk model tanah embankment dan tanah dasarnya begitu pula untuk geogrid dan floating piles. Beban kendaraan dimodelkan sebagai beban titik (point load) sebesar 20 kN/m, 40 kN/m dan 60 kN/m. Simulasi dilakukan secara bertahap menyerupai kondisi pelaksanaan konstruksi di lapangan yaitu staged construction.

Penerapan beban kendaraan akan menambah deformasi geogrid, hal ini nampak pada perpindahan vertikal geogrid pada beban kendaraan terbesar (beban 60 kN/m). Pada pembebanan dengan durasi pembebanan jangka panjang dimana excess pore water pressure sudah sangat kecil, nilai perpindahan vertikal geogrid sebesar -0,5062 m untuk rigid embankment dan sebesar - 0,6568 m untuk interface embankment. Perbedaan ini terjadi karena terjadi slip (gelincir) pada bidang kontak antara geogrid dan tanah sehingga terjadi penambahan jumlah massa tanah yang ditahan oleh geogrid, yang mengakibatkan defleksi pada geogrid juga bertambah.

Kata kunci— Slip, geogrid, floating piles, staged construction

Abstract— Public constructions built on soft soil such as clay would face some problems such as long period consolidation time, unstability embankment slope, not easily compacted and high level settlement. Some solution that could be suggested were the usage of vertical drain, or the usage of geosynthetics material such as geogrid combined with floating piles.

Analysis was carried out by using plaxis version 7.2. soil for embankment and embankment foundation was modelled in plane strain. Also geogrid and floating piles were modelled in plane strain too. Point load on top of embanknet were variated, they were 20, 40 and 60 kN/m. The simulation was carried out in staged contruction mode.

The implementation of vehicle load increased geogrid deformation. It appeared as geogrid vertical displacement when the biggest vehicle load (60 kn/m) applied. In long term loading condition where excess pore water pressure was very small, vertical displacement of geogrid was - 0,5062 m for rigid embankment and - 0,6568 m for interface embankment. The difference occured due to slip at the interface of geogrid and soil. It leded to adding soil mass supported by geogrid, furthermore the deflection of geogrid became bigger.

Keyword— slip, geogrid, floating piles, staged construction

PENDAHULUAN

Pembangunan konstruksi di atas tanah lunak, seperti embankment baik embankment jalan raya maupun jalan rel, sering menemui kendala selama pembangunan konstruksinya antara lain lamanya waktu konsolidasi, pemadatan tanah yang sukar, lereng timbunan (embankment) yang tidak stabil dan penurunan jangka panjang yang besar.

Beberapa alternatif solusi adalah pengelupasan tanah lunak bila lapisan tanah lunak tidak terlalu tebal (soil

scraping), atau dengan menggunakan bahan geosintetik seperti geogrid dan geotekstil sebagai perkuatan tanah. Penggunaan bahan geosintetik sering dikombinasikan dengan floating piles yang dipancang ke dalam lapisan tanah lunak. Floating piles berfungsi memberi tahanan terhadap terhadap beban yang bekerja melalui perlawanan lekatan tanah (tahanan gesek) pada dinding piles tersebut.

A. Tanah Lunak (Clay)

Para ahli memiliki definisi yang berbeda – beda tentang tanah lempung antara lain Hardiyatmo (1992) mencoba menjelaskan bahwa tanah lempung tersusun atas mineral – mineral lempung hasil pelapukan tanah secara kimiawi yang menghasilkan susunan partikel berukuran koloid dengan diameter butiran lebih kecil dari 0,002 mm, sedangkan peneliti lain yaitu Holtz dan Kovacs (1981) menyatakan bahwa tanah lempung adalah tanah yang mengandung mineral – mineral lempung dan memiliki plastisitas serta kohesivitas.

Tanah yang bersifat kohesif sering kehilangan sebagian dari kuat gesernya akibat gangguan dan jumlah dari kuat geser yang hilang dinyatakan dalam istilah sensitivitas (sensitivity) (Teng, 1981). Sensitivitas adalah nilai banding antara kuat geser undrained dari tanah dalam kondisi tak terganggu dan kuat geser undrained dari tanah yang sudah berubah dari bentuk aslinya pada kadar air yang sama (Hardiyatmo, 1992).

Secara umum tanah lempung memiliki sifat – sifat teknis (engineering properties) (Teng, 1981) sebagai berikut :

- 1) umumnya memiliki kuat geser yang rendah,
- 2) bersifat plastis dan kompresibel,
- 3) mudah kehilangan sebagian kuat gesernya akibat pembasahan (wetting),
- 4) mudah kehilangan sebagian kuat gesernya akibat gangguan (disturbance) pada tanah,
- 5) dapat mengalami penyusutan akibat pengeringan dan pengembangan akibat pembasahan (biasanya terjadi akibat perubahan musim),
- 6) merupakan material yang sangat buruk bila digunakan sebagai backfill, karena dapat menghasilkan tekanan tanah lateral yang besar,
- 7) merupakan material yang buruk bila digunakan sebagai embankment, karena memiliki kuat geser yang rendah dan lebih sukar untuk dipadatkan,
- 8) bersifat kedap air (impervious),
- 9) lereng yang tersusun dari tanah lempung (clay slopes) akan mudah mengalami kelongsoran,
- 10) kemungkinan mengalami rayapan (creeps).

B. Geogrid Sebagai Perkuatan

Geogrid termasuk dalam salah satu jenis geosintetik. Istilah geosintetik sendiri sebenarnya meliputi geotextile (filter fabrics), geomembrane, geoweb (confinement & strength), geogrid (reinforcement), geonet (drainage) dan geocomposite (Koerner, 1990). Geosintetik merupakan bahan tiruan (sintetis) yang berasal dari polimerisasi hasil – hasil industri kimia (minyak bumi) atau dari bahan baja, semen, serat – serat sintetis, kain dan lain – lain. Bahan ini memiliki polimer utama penyusun bahan berupa polyester (PS), polyamide (PM), polypropylene (PP) dan polyethylene (PE) (Suryolelono, 2000).

Geosintetik tipe grid (geogrid) yang memiliki bentuk menyerupai ribs (tulang – tulang iga) sering digunakan

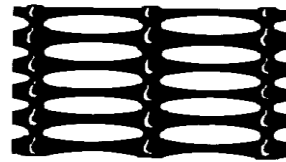
sebagai perkuatan misalnya sebagai perkuatan dinding penahan tanah, perkuatan lapis perkerasan, perkuatan timbunan atau sebagai perkuatan tanah akibat bencana tanah longsor (Permathene, 2002). Geogrid memiliki kuat tarik yang tinggi dan terbuat dari lembaran polimer yang dilubangi dengan pola yang sama 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

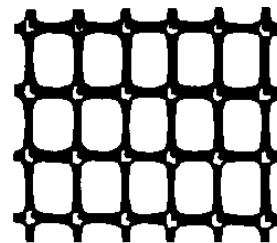
Bahan ini memiliki kuat tarik yang tinggi pada satu arah dan biasanya digunakan pada perbaikan lereng terhadap longsor (slip repairs), dinding penahan tanah atau lereng yang terbebani dalam waktu lama (Gambar 1).

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).

C. Floating Piles

Floating piles termasuk jenis fondasi tiang. Pemilihan fondasi tiang sebagai fondasi pendukung beban didasarkan pada beberapa pertimbangan terhadap kemampuan fondasi tiang tersebut, beberapa di antaranya adalah (Hardiyatmo, 2001):

1. sebagai penahan gaya horisontal dan gaya yang arahnya miring,
2. sebagai penerus beban ke tanah yang relatif lunak sampai kedalaman tertentu, sehingga fondasi bangunan mampu memberikan dukungan yang cukup untuk mendukung beban tersebut oleh gesekan dinding tiang dengan tanah di sekitarnya,

3. sebagai penerus beban bangunan yang terletak di atas air atau tanah lunak, ke tanah pendukung yang kuat.

Berdasarkan material pembentuknya, fondasi tiang dapat dikelompokkan dalam empat tipe sebagai berikut (Das, 1990) ini.

1. tiang baja (steel piles),
2. tiang kayu (wooden / timber piles),
3. tiang beton (concrete piles),
4. tiang komposit (composite piles)

Floating piles merupakan jenis 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

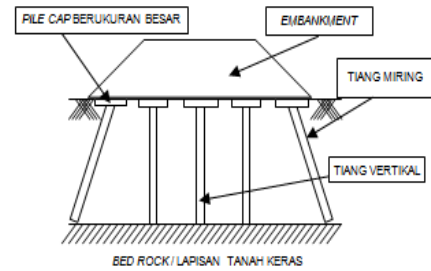
Menurut De Mello (1960) (dalam Poulos dan Davis, 1980) pemancangan tiang ke dalam tanah lempung memberikan akibat antara lain terjadi :

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).

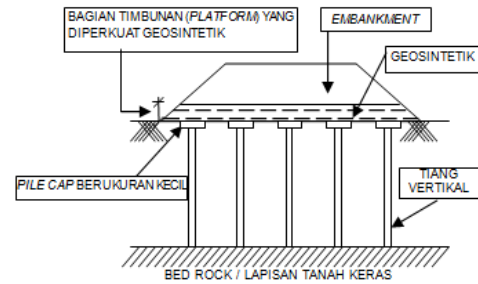
D. Embankment dengan Perkuatan Geogrid dan Floating Piles

Menurut Rankilor (1992) konsep dasar dalam memberi perkuatan sebuah embankment adalah mencegah terjadinya bidang gelincir potensial (potential slip circles) yang terjadi dan menyediakan tahanan geser (shear resistance), saat mulai terjadi gerakan tanah. Embankment dengan perkuatan tiang ini 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).



Gambar 3 Conventional pile supported (CPS) embankment.



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

Mekanisme penyaluran beban dari embankment ke tiang (pile) dan tanah melibatkan beberapa komponen. 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

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

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).

E. Perkerasan Jalan

Konstruksi perkerasan dapat diartikan sebagai suatu konstruksi plat elastis yang berlapis – lapis, terletak pada suatu landasan yang elastis (tanah dasar) (Soedarsono,1985). Menurut Departments of The Army and The Air Force (1994) terdapat dua macam tipe perkerasan / pavement sebagai berikut ini.

1) Perkerasan Kaku

Prinsip utama dalam perancangan perkerasan ini adalah membatasi tegangan tarik di dalam PCC (portland cement concrete) sampai pada tahap tertentu di bawah kuat lentur betonnya, sehingga keruntuhan terjadi hanya setelah perkerasan menahan beban berulang dengan jumlah tertentu.

2) Perkerasan Lentur

Prinsip utama dari perancangan perkerasan ini adalah memilih ketebalan perkerasan yang dibutuhkan untuk membatasi regangan vertikal di dalam subgrade dan regangan horisontal pada bagian bawah dari bituminous concrete akibat beban lalu lintas kendaraan pada tingkat tertentu agar tidak terjadi keruntuhan geser di dalam subgrade dan keretakan di dalam bituminous surface course.

Kendaraan sebagai salah satu faktor penting dalam perancangan perkerasan dikelompokkan ke dalam beberapa tipe (UDOT, 1998) sebagai berikut ini.

1. Kategori 1 (kendaraan ber-as ganda/general two axle vehicles) yaitu
 - a. kendaraan bermotor roda dua,
 - b. mobil penumpang,
 - c. unit kendaraan ber-as ganda dan kendaraan beroda empat-tunggal yang lain.
2. Kategori 2 (bus / buses) yaitu bis.
3. Kategori 3 (truk 1 unit / single unit trucks) yaitu
 - a. unit truk beroda enam-tunggal dan ber-as ganda,
 - b. unit truk ber-as tiga tunggal,
 - c. unit truk dengan empat as atau lebih.
4. Kategori 4 (single trailer trucks) yaitu
 - a. kombinasi trailer tunggal dengan empat buah atau kurang as tunggal,
 - b. kombinasi trailer tunggal dengan lima buah as,
 - c. kombinasi trailer tunggal dengan enam as atau lebih.
5. Kategori 5 (multi – trailer trucks) yaitu
 - a. kombinasi multi trailer ber-as lima atau kurang,
 - b. kombinasi multi-trailer ber-as enam,
 - c. kombinasi multi trailer ber-as tujuh atau lebih.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan langkah sebagai berikut :

1. Pencarian data sekunder meliputi dimensi geometri trial embankment, parameter tanah lapangan (soil properties), hasil uji kuat geser tanah, properties geogrid, properties floating piles dan hasil

pengukuran lapangan untuk perpindahan vertikal, horisontal dan perubahan tekanan air pori). Data sekunder ini kemudian diolah sehingga menjadi input data untuk software Plaxis.

2. Dibuat model geometri plane strain dalam software Plaxis versi 7.2 meliputi kondisi perlapisan embankment dan perlapisan tanah dasar.
3. Setelah input data siap lalu running program dilakukan.
4. Validasi dilakukan terhadap perpindahan horisontal dan vertikal pada kondisi embankment tanpa perkuatan.
5. Setelah validasi tercapai lalu diaplikasikan perkuatan berupa floating piles dan geogrid di bawah embankment dan dilakukan analisis menggunakan Plaxis versi 7.2.
6. Aplikasi beban kendaraan berupa beban titik dilakukan setelah tahap 6. Pengamatan dilakukan terhadap deformasi (perpindahan vertikal) geogrid.

Model kontak/persentuhan (interface) antara tanah dan geogrid dalam simulasi numeris terbagi menjadi dua tipe yaitu tipe rigid dan tipe interface. Interface tipe rigid mengabaikan adhesivitas antara geogrid dan tanah sehingga tidak memungkinkan terjadi slip antara tanah dan geogrid. Sedangkan interface tipe interface mempertimbangkan adhesivitas antara geogrid dan tanah sehingga memungkinkan terjadinya slip atau gelincir antara geogrid dan tanah. Detail bagian konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5 sedangkan model input konstruksi dalam simulasi numeris dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7 Diskretisasi elemen model geogrid-reinforced and piled-supported embankment seabagai langkah awal simulasi numeris dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9. Pelaksanaan konstruksi embankment dilakukan secara bertahap dan dalam simulasi numeris dimodelkan dalam staged construction type

Input material geogrid dalam simulasi menggunakan Plaxis versi 7.2 menggunakan parameter EA sebesar 1000 kN/m. Sedangkan input material floating piles dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

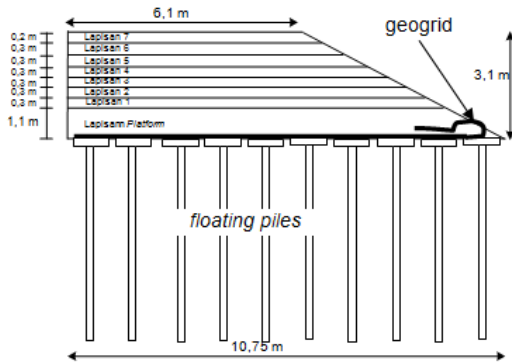
TABEL 1 PARAMETER INPUT FLOATING PILES DAN PILE CAPS PADA REINFORCED EMBANKMENT (EA DAN EI)

No	Tipe	Material	EA (kN/m)	EI (kN/m)
1.	<i>Pile caps</i>	elastic	6,436.10 ⁶	6,704.10 ⁴
2.	<i>Floating Piles</i>	elastic	6,553.10 ⁵	1,327.10 ³

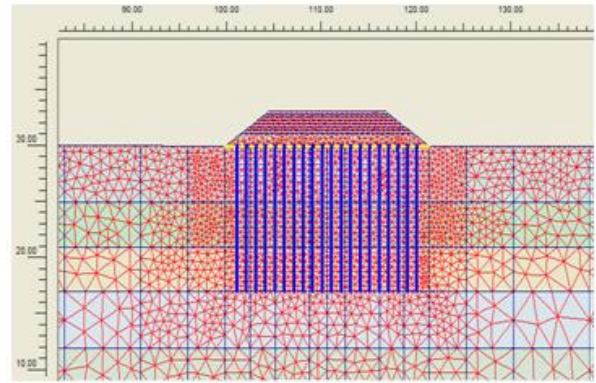
TABEL 2 PARAMETER INPUT FLOATING PILES DAN PILE CAPS PADA REINFORCED EMBANKMENT YAITU DIAMETER (D), BERAT FLOATING PILES (W), DAN POISSON'S RATIO (v)

No	Tipe	d (m)	w (kN/m/m)	v
1.	<i>Pile caps</i>	0,354	0,031	0,15
2.	<i>Floating Piles</i>	0,156	7.10 ⁻³	0,15

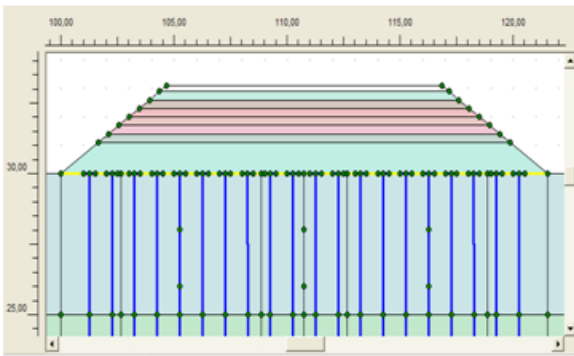
A. Adhe Noor PSH
 Pengaruh Beban Kendaraan sebagai Beban Titik Terhadap Deformasi Georid
 sebagai Perkuatan Embankment di atas Tanah Lunah : 42 - 47



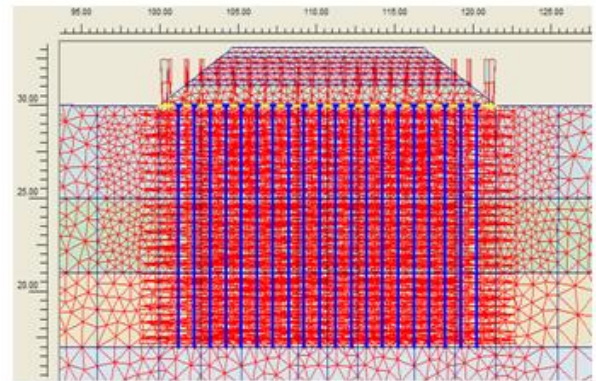
Gambar 5 Embankment yang diperkuat geogrid and floating piles.



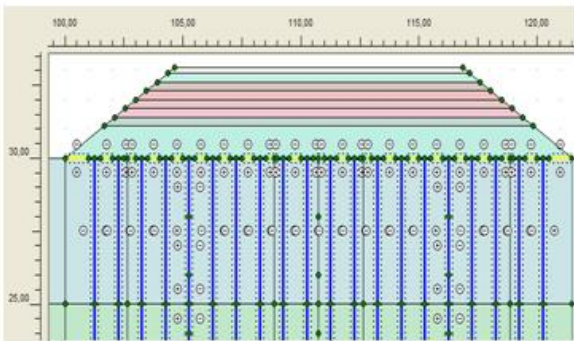
Gambar 8 Diskritisasi model rigid embankment.



Gambar 6 Model rigid (non-interface) embankment.



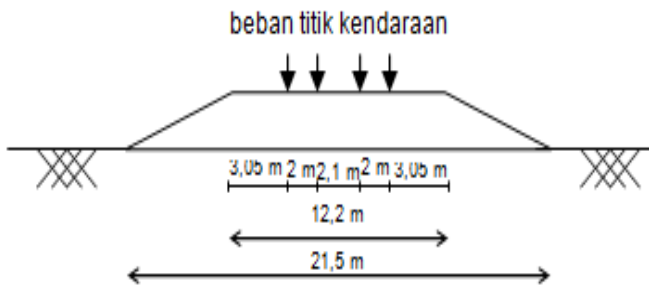
Gambar 9 Diskritisasi model Interface Embankment.



Gambar 7 Model interface embankment.

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 2). Jarak antar floating piles (pusat ke pusat) sebesar 1 m.

Beban kendaraan yang dianalisa dimodelkan dalam beban titik. Beban kendaraan sebagai beban titik bekerja pada suatu posisi tertentu pada permukaan atas embankment (Gambar 10). Variasi beban kendaraan sebagai beban titik adalah 20 kN/m, 40 kN/m dan 60 kN/m. Menurut UDOT (1998) beban kendaraan ini sesuai dengan jenis kendaraan ber-as ganda (general two axle vehicle).



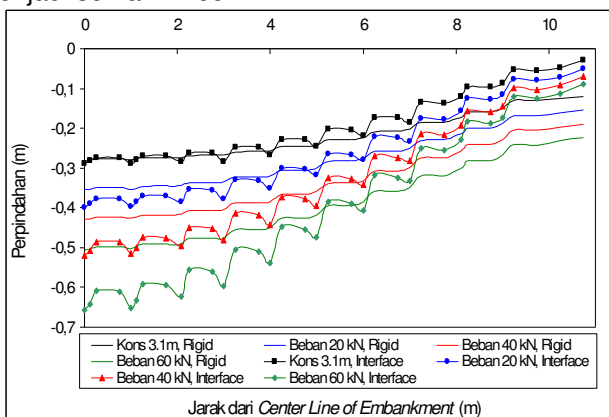
Gambar 10 Beban terbagi rata kendaraan pada embankment.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Beban kendaraan akan mengakibatkan terjadinya penambahan beban pada embankment, sehingga tanah dasar yang merupakan tanah lempung lunak (soft clay) akan mengalami deformasi. Geogrid sebagai perkuatan di dasar embankment berfungsi menahan deformasi berlebih akibat adanya beban kendaraan tersebut. Beban kendaraan mengakibatkan geogrid terdefleksi, besar kecilnya defleksi geogrid dapat dilihat pada Gambar 11.

Semakin besar nilai beban maka perpindahan vertikal (defleksi geogrid semakin besar pula). Perpindahan vertikal akhir yang terjadi pada geogrid akibat beban embankment dan beban kendaraan (beban 60 kN/m) untuk durasi pembebanan jangka panjang dimana excess pore water pressure sudah sangat kecil adalah sebesar $-0,5062$ m untuk rigid embankment dan sebesar $-0,6568$ m untuk interface embankment.

Model bidang kontak antara geogrid dan tanah (rigid dan interface) juga mempengaruhi nilai defleksi geogrid untuk nilai beban yang sama. Pada interface model, defleksi geogrid lebih besar. Hal ini dapat terjadi karena dimungkinkan terjadinya slip / gelincir antara tanah dan geogrid pada titik kontakannya. Model rigid tidak memungkinkan slip terjadi sehingga defleksi geogrid menjadi semakin kecil.



Gambar 11 Perpindahan vertikal geogrid akibat beban embankment dan beban kendaraan sebagai Beban Titik.

Permodelan beban kendaraan sebagai beban titik merupakan salah satu cara mentransformasi beban dinamis kendaraan ke dalam bentuk beban statis. Pertambahan perpindahan vertikal akibat beban kendaraan sebagai beban titik terjadi pula pada geogrid sebagai perkuatan pada dasar embankment. Perpindahan vertikal geogrid pada tipe rigid embankment akibat beban kendaraan adalah sebesar $-0,35418$ m (untuk beban 20 kN/m); $-0,42908$ m (untuk beban 40 kN/m); dan $-0,50623$ m (untuk beban 60 kN/m), sedangkan untuk interface embankment sebesar $-0,39812$ m (beban 20 kPa); $-0,51882$ m (beban 40 kPa); dan $-0,65675$ m (beban 60 kPa).

Penelitian ini dapat pula dikembangkan dan dilanjutkan dengan permodelan tanah lebih detail seperti soft soil creep sehingga deformasi tanah dapat lebih mendekati kondisi riil. Kondisi ini perlu pula ditunjang oleh data properties tanah yang lengkap dan detail sehingga parameter input dalam simulasi numeris banyak menggunakan data riil dari lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Das, B.M., 1990, Principles of Foundation Engineering, Second Edition, PWS - Kent, Boston.
- Departments of The Army and The Air Force (1994). "Pavement Design for Roads, Streets, and Open Storage Areas, Elastic Layered Method", <http://www.army.mil/usapa/eng/DR_pubs/dr_a/pdf/tm5_822_13.pdf> (February 19, 2005).
- Hardiyatmo, H.C., 1992, Mekanika Tanah I, P.T. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 2001, Teknik Fondasi II, Edisi 1, P.T. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Holtz, R.D and Kovacs, W.D., 1981, An Introduction to Geotechnical Engineering, Prentice-Hall, 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.
- Rankilor, P.R., 1992, UTF Geosynthetics Manual, UCO Technical Fabrics, Lokeren, Belgium.
- Soedarsono, D.U., 1985, Konstruksi Jalan Raya, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta Selatan.
- Suryolelono, K.B., 2000, Geosintetik Geoteknik, Edisi 1, Cetakan 1, Nafiri, Yogyakarta.
- Teng, W.C., 1981, Foundation Design, Prentice - Hall, New Delhi, India.
- Tensor, 2003, Product Specification - Structural Geogrid BX6100, Tensor Earth Technology, Atlanta, Georgia, USA.
- UDOT (1998), "Pavement Management and Pavement Design Manual", <<http://www.udot.utah.gov/progdev/Pavement/Pavement%20Mgt%20Manual.PDF>> (November 11, 2004)