

ANALISIS PERUBAHAN TEKANAN AIR PORI PADA TANAH LUNAK DI BAWAH *PILED - GEOGRID SUPPORTED EMBANKMENT*

Oleh: Adhe Noor Patria

Intisari

Tanah lunak banyak dijumpai di berbagai wilayah di Indonesia. Beberapa kendala sering dijumpai saat konstruksi sedang dibangun di atas tanah ini seperti sukarnya pemadatan tanah dan konsolidasi tanah dalam waktu yang cukup lama. Konsolidasi berkaitan dengan nilai tekanan air pori tanah dan tekanan air pori berlebih di dalam tanah yang timbul saat beban luar bekerja. Perubahan tekanan air pori yang terjadi di dalam tanah diteliti lebih lanjut oleh peneliti agar dapat diketahui lebih lanjut pengaruhnya terhadap konsolidasi.

Analisis yang dilakukan berupa simulasi numeris terhadap *trial embankment* yang telah dibangun di salah satu sisi ruas jalan Kendal Kaliwungu, Semarang. Pengukuran tekanan air pori riil di lapangan dilakukan pada tanah dasar di bawah *trial embankment* tanpa perkuatan (*normal embankment*). Setelah dilakukan validasi kemudian dilakukan simulasi numeris untuk mengukur tekanan air pori pada tanah dasar setelah *embankment* diberi perkuatan berupa *floating pile* dan *geogrid* pada dasar *embankment*. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak *Plaxis versi 7.2*.

Hasil penelitian menunjukan bahwa pada *reinforced embankment* dengan model *rigid embankment*, nilai *excess pore water pressure* terbesar di bawah *embankment* berada pada area C (kedalaman 13 m) yaitu sebesar -17,895 kPa sedangkan pada area lain cukup kecil yaitu sebesar -0,1512 kPa pada area A (kedalaman 0,5 m) dan sebesar 8,1457 kPa pada area B (kedalaman 9m). Pada model *interface embankment*, nilai *excess pore water pressure* terbesar di bawah *embankment* berada pada area C (kedalaman 13 m) sebesar -15,079 kPa sedangkan pada area lain cukup kecil yaitu sebesar 0,7438 kPa pada area A (kedalaman 0,5 m) dan sebesar 1,085 kPa pada area B (kedalaman 9 m).

Kata Kunci : *embankment*, konsolidasi, *excess pore water pressure*

Abstract

Soft soil was easily found in Indonesia. Constructing civil building on this kind of soil often faced some problems, for instance difficult soil compacting and long term consolidation. Consolidation was related to nature pore water pressure and excess pore water pressure in soft soil when external load applied. Further research was carried out to observe the effect of excess pore water pressure to consolidation

Numerical simulation was applied to the existing trial embankment. This embankment was build beside Kendal-Kaliwungu Highway in Semarang. Nature pore water pressures in soft soil was measured before constructing normal embankment.

Futrher more, at the same points of measuring, pore water pressure were measured during and after constructing normal embankment. Numerical simulation by using Plaxis version 7.2 was carried out after data validation. The model used in the numerical simulation was reinforced embankment by using geogrid and floating pile below embankment.

The results showed that for reinforced embankment-rigid embankment model, the highest excess pore water pressure was in point C (13 m below base of embankment), the value was -17,895 kPa. The value in point A (0,5 m below base of embankment) was -0,1512 kPa and in point B (9 m below base of embankment) was 8,1457 kPa. Meanwhile for interface embankment model, the highest excess pore water pressure was in point C too (13 m below base of embankment), the value was -15,079 kPa. The value in point A (0,5 m below base of embankment) was 0,7438 kPa and in point B (9 m below base of embankment) was 1,085 kPa.

Keywords : embankment, consolidation, excess pore water pressure

PENDAHULUAN

Tanah lunak (*soft soil*) sering menimbulkan berbagai kendala selama pembangunan konstruksi misalnya tanah lunak yang terdapat di sepanjang jalan raya Kendal – Kaliwungu, Semarang. Tanah lunak pada area ini sangat tebal dan konstruksi perkerasan jalan yang didirikan di atas tanah ini sering mengalami kendala seperti waktu konsolidasi yang cukup lama, sukarnya pemadatan tanah, dan tingkat penurunan jangka panjang yang besar.

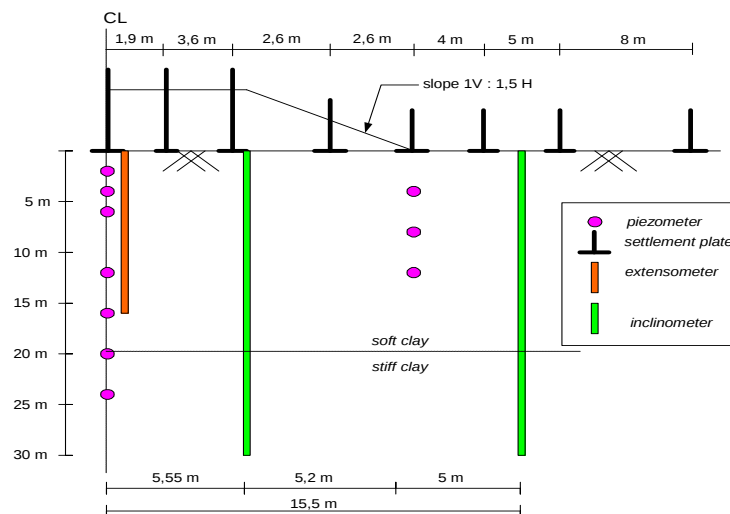
Salah satu sifat fisik tanah lunak yang mempengaruhi pelaksanaan maupun pasca konstruksi adalah konsolidasi. Konsolidasi tanah lunak berkaitan erat dengan komposisi dan kondisi tanah, dalam kasus ini adalah permeabilitas tanah yang rendah dan muka air tanah yang tinggi. Menurut Das (1985) besarnya nilai koefisien permeabilitas dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain kekentalan cairan, distribusi ukuran pori, distribusi ukuran butir, angka pori, kekasaran permukaan butiran tanah dan derajat kejenuhan tanah. Konsolidasi tanah lunak akan terjadi apabila terjadi disipasi air pori terlebih dahulu sebagai bentuk atau cara tanah menuju pada kondisi keseimbangan dalam menahan beban yang ada.

Salah satu alternatif dalam mengatasi konsolidasi dan penurunan tanah adalah dengan menggunakan *geogrid* dan *floating pile* pada tanah dasar di bawah *embankment*.

Aplikasi perkuatan tanah ini juga akan mempengaruhi nilai tekanan air pori yang terjadi pada tanah dasarnya yang dalam jangka panjang akan mempengaruhi tingkat konsolidasi yang terjadi pada tanah dasarnya. Penelitian mengenai pengaruh aplikasi perkuatan *embankment* berupa *geogrid* dan *floating pile* terhadap perubahan nilai tekanan air pori menarik minat peneliti sehingga dilakukan penelitian lebih lanjut.

METODE PENELITIAN

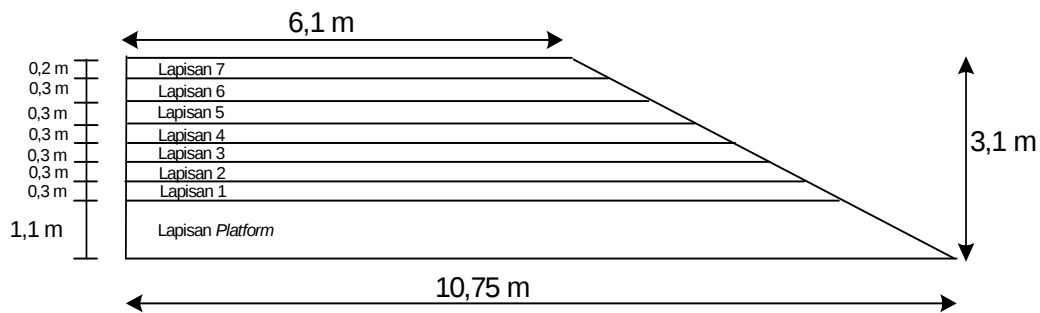
Penelitian dilakukan dengan melakukan simulasi numeris menggunakan software geoteknik *Plaxis versi 7.2*. Simulasi dilakukan terhadap dua model yaitu konstruksi *embankment* tanpa perkuatan dan *embankment* dengan perkuatan *geogrid* dan *floating pile*. Konstruksi riil *trial embankment* dibangun pada salah satu sisi di ruas jalan raya Kendal – Kaliwungu, Semarang. Data tanah dan konstruksi merupakan data sekunder hasil pengukuran di lapangan (Balai Geoteknik Jalan, 2002). Posisi alat ukur tekanan air pori di lapangan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Posisi Alat Ukur di Lapangan

(Sumber : Balai Geoteknik Jalan, 2002)

Model konstruksi *trial embankment* yang digunakan dalam simulasi terdiri atas beberapa lapis seperti Gambar 2.



Gambar 2 Model *Trial Embankment* dalam Simulasi Numeris

Konstruksi *trial embankment* di salah satu sisi Jalan Raya Kendal – Kaliwungu, Semarang dibangun secara bertahap sejak tanggal 23 Februari 2001 sampai dengan 29 Mei 2001. Durasi konstruksi dan konsolidasi selama pembangunan dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1 Durasi konstruksi dan konsolidasi setiap lapisan *trial embankment* selama konstruksi

Lapisan	Durasi Konstruksi (hari)	Durasi Konsolidasi (hari)
Platform	1	13
1	1	13
2	1	3
3	1	38
4	1	22
5	1	2
6	1	2
7	1	2

Tipe material yang digunakan dalam simulasi numeris merupakan *Mohr-Coulomb Model* sedangkan nilai input material tanah dasar dan tanah *embankment* dapat dilihat pada Tabel 2 dan 3 di bawah ini.

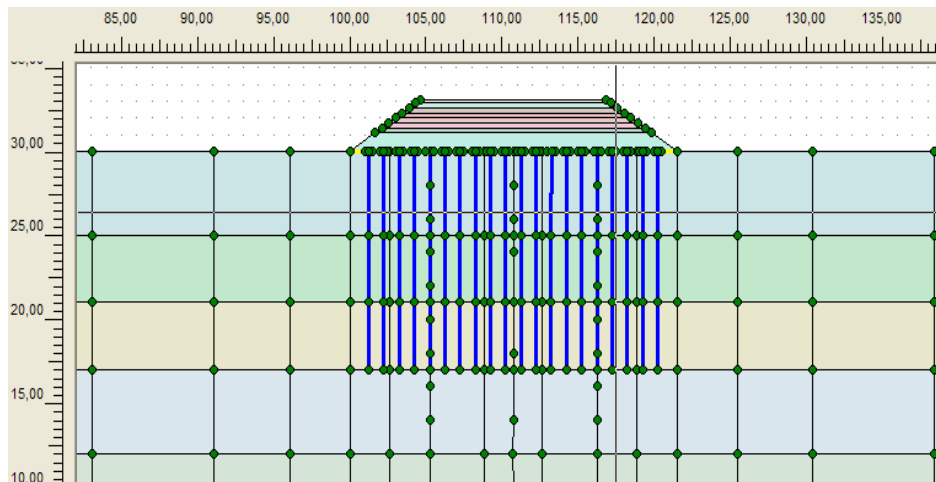
Tabel 2 Parameter *input* tanah dasar

Depth (m)	γ_{dry} (kN/m ³)	γ_{wet} (kN/m ³)	k_x (m/hari)	k_y (m/hari)	E (kN/m ²)	ν	c (kN/m ²)	ϕ (°)	ψ
0 – 5	6,82	13,45	$4,64 \cdot 10^{-4}$	$3,09 \cdot 10^{-4}$	500	0,3	9,9	2,4	0
5 – 9	7,48	14,64	$4,64 \cdot 10^{-4}$	$3,09 \cdot 10^{-4}$	500	0,3	10,2	2,5	0
9 – 13	7,117	13,584	$8,73 \cdot 10^{-5}$	$5,82 \cdot 10^{-5}$	600	0,3	11,5	4	0
13 – 18	8,814	15,397	$8,73 \cdot 10^{-5}$	$5,82 \cdot 10^{-5}$	600	0,3	8,5	7,6	0
18 – 30	8,162	14,81	$6,54 \cdot 10^{-6}$	$4,36 \cdot 10^{-6}$	750	0,3	14,2	4,7	0

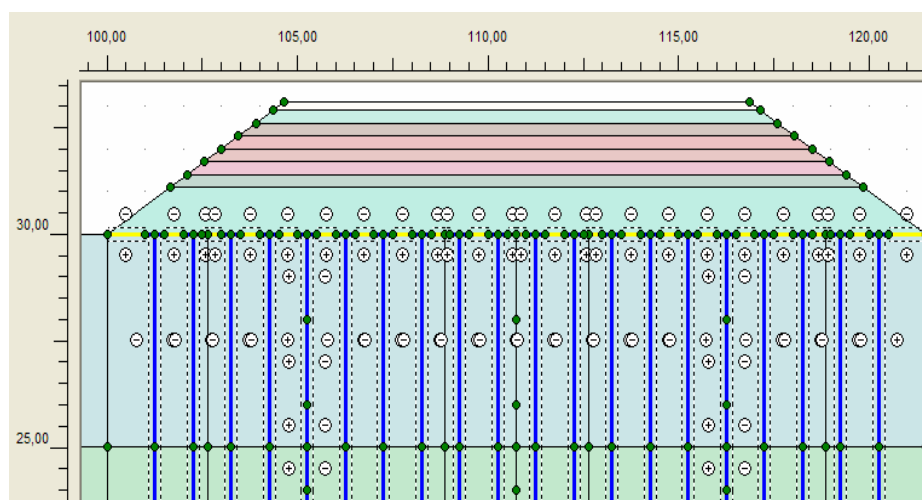
Tabel 3 Parameter *input* tanah timbunan

Tebal Layer (m)	γ_{dry} (kN/m ³)	γ_{wet} (kN/m ³)	k_x (m/hari)	k_y (m/hari)	E (kN/m ²)	ν	c (kN/m ²)	ϕ (°)	ψ
1,1	17,194	20,372	$6,48 \cdot 10^{-4}$	$4,32 \cdot 10^{-4}$	5000	0,3	13	29,5	0
1,4	12,544	16,01	$6,48 \cdot 10^{-4}$	$4,32 \cdot 10^{-4}$	5000	0,3	13	29,5	0
1,7	15,681	19,629	$6,48 \cdot 10^{-4}$	$4,32 \cdot 10^{-4}$	5000	0,3	13	29,5	0
2,0	13,346	16,955	$6,48 \cdot 10^{-4}$	$4,32 \cdot 10^{-4}$	5000	0,3	13	29,5	0
2,3	13,384	17,717	$6,48 \cdot 10^{-4}$	$4,32 \cdot 10^{-4}$	5000	0,3	13	29,5	0
2,6	13,14	17,357	$6,48 \cdot 10^{-4}$	$4,32 \cdot 10^{-4}$	5000	0,3	13	29,5	0
2,9	14,24	18,707	$6,48 \cdot 10^{-4}$	$4,32 \cdot 10^{-4}$	5000	0,3	13	29,5	0
3,1	13,116	17,289	$6,48 \cdot 10^{-4}$	$4,32 \cdot 10^{-4}$	5000	0,3	13	29,5	0

Simulasi dilakukan pula terhadap konstruksi *trial embankment* yang diperkuat oleh *Geogrid* dan *Floating Pile*. Model *interface* antara perkuatan *trial embankment* (*geogrid* dan *floating pile*) dan tanah dibedakan menjadi dua yaitu *rigid* (tanpa *interface*) dan *interface* (dengan *interface*). Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 4 Model rigid (non-interface) embankment.



Gambar 5 Model interface embankment.

Sedangkan data *Geogrid* dan *floating pile* yang digunakan dalam simulasi numeris dapat dilihat pada Tabel 4 dan 5 berikut.

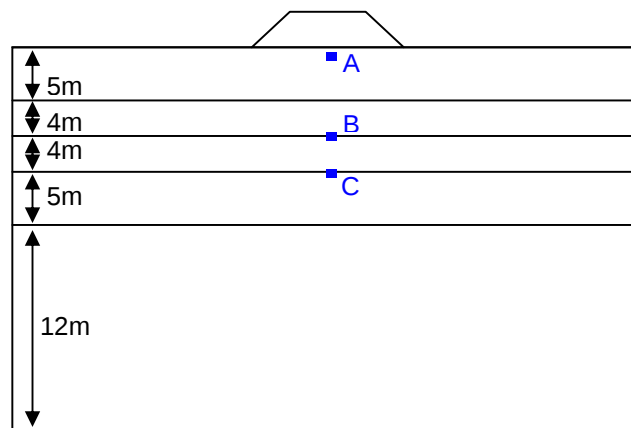
Tabel 4 Parameter input *geogrid* pada *reinforced embankment*

No	Parameter Bahan	Nilai
1.	EA	1000 kN/m

Tabel 5 Parameter input *floating piles* dan *pile caps* pada *reinforced embankment*

No	Tipe	Material	EA (kN/m)	EI (kN/m)	d (m)	w (kN/m/m)	ν
1.	<i>Pile caps</i>	elastic	$6,436.10^6$	$6,704.10^4$	0,354	0,031	0,15
2.	<i>Floating Piles</i>	elastic	$6,553.10^5$	$1,327.10^3$	0,156	7.10^{-3}	0,15

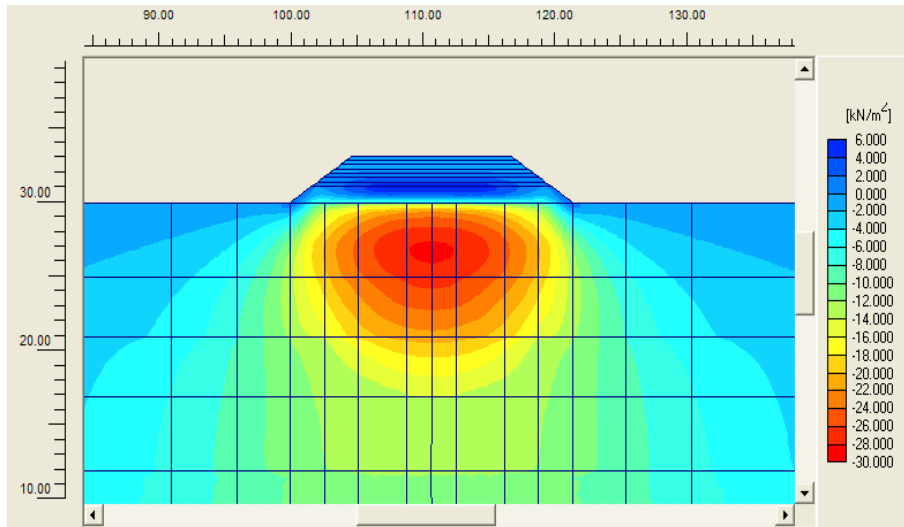
Hasil simulasi numeris akan dibandingkan dengan data sekunder hasil pengukuran di lapangan. Posisi titik pengamatan perubahan tekanan air pori dalam model simulasi numeris dapat dilihat pada Gambar 6 di bawah ini. Pada model simulasi diamati 3 buah titik di bawah *embankment* (titik A dengan kedalaman 0,5m, B dengan kedalaman 9 m dan C dengan kedalaman 13 m).



Gambar 6 Posisi titik pembacaan hasil analisis numeris.

HASIL PENELITIAN

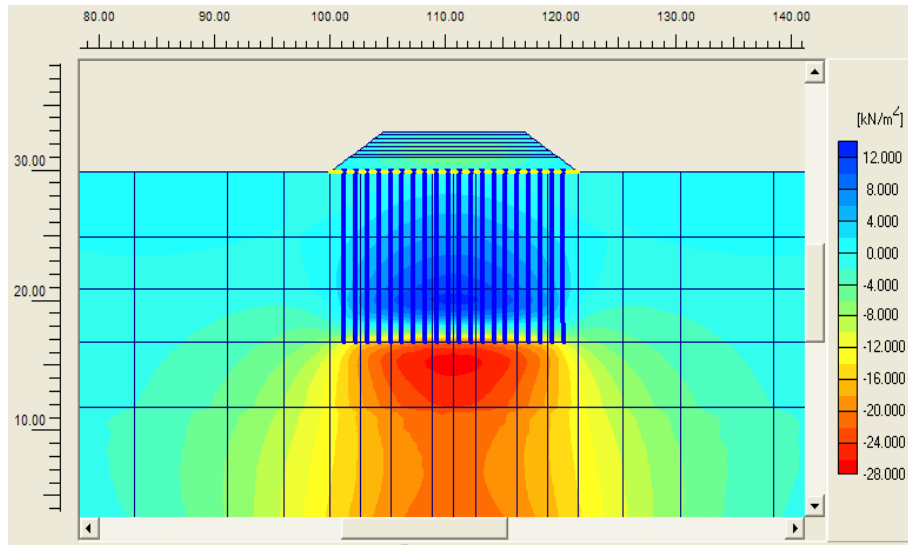
Beban *trial embankment* menimbulkan *excess pore water pressure* pada tanah dasar di bawah *trial embankment*. Pada tanah dasar *embankment* tanpa perkuatan (*normal embankment*), kelebihan tekanan air pori maksimum terjadi pada area persis di bawah *embankment* (Gambar 7).



Gambar 7 Area *excess pore water pressure* pada tanah dasar *normal embankment*.

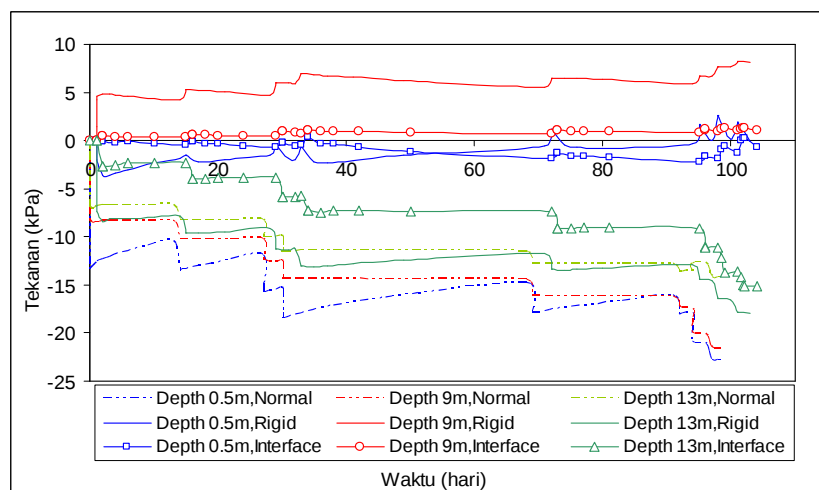
Hal ini disebabkan karena pada *normal embankment*, beban yang bekerja langsung didistribusikan ke tanah dasar yang merupakan tanah lempung lunak (*soft clay*). Tanah jenis ini memiliki nilai permeabilitas yang sangat kecil, sehingga akibat beban yang bekerja padanya maka terjadi dua tipe deformasi yaitu deformasi segera (*immediate deformation*) yang terjadi pada saat beban *embankment* bekerja dan deformasi konsolidasi (*consolidation deformation*) yang terjadi pada saat *excess pore water pressure* menurun akibat adanya disipasi air pori di dalam tanah dasar. Disipasi air pori akan mengakibatkan terjadinya perapatan jarak antar butiran di dalam tanah dasar sehingga deformasi tanah dasar akan semakin besar.

Pada *piled – geogrid supported embankment*, deformasi yang terjadi (deformasi segera dan deformasi konsolidasi) ditahan oleh *geogrid*, sehingga deformasi tanah dasar persis di bawah *embankment* tidak terlalu besar dan *excess pore water pressure* pada area ini tidak begitu tinggi. Sebagian besar beban *embankment* ditahan oleh tahanan tarik *geogrid* dan tahanan lekat *floating piles* dan kemudian beban *embankment* tersebut didistribusikan pada tanah di bawah ujung *floating piles*, hal ini mengakibatkan tanah pada area tersebut mengalami kompresi sehingga terjadi *excess pore water pressure* (Gambar 8).



Gambar 8 Area excess pore water pressure tanah dasar *piled – geogrid supported embankment*.

Pada *normal embankment* ; dengan melihat Gambar 6; nilai tekanan air pori berlebih terbesar berada pada titik A. Tekanan air pori berlebih ini mengalami penurunan dengan semakin bertambahnya kedalaman (pada titik B dan C) maka pengaruh beban *embankment* yang bekerja di dalam tanah semakin berkurang sehingga tekanan air pori berlebih semakin menurun (Gambar 9).



Gambar 9 Perubahan excess pore water pressure tanah dasar *embankment* hasil output *Plaxis versi 7.0*

Pada *interface embankment*, nilai *excess pore water pressure* pada titik A (di bawah *embankment*) lebih kecil bila dibandingkan dengan *rigid piles* oleh karena pada *rigid embankment* tanah dianggap menempel pada *piles* (tidak dimungkinkan terjadi *slip* pada permukaan *piles*). Pada saat beban bekerja dan mengakibatkan timbulnya gaya pada *piles* maka tanah dasar akan mengalami kompresi yang cukup besar pula sehingga *excess pore water pressure* yang terjadi juga besar. Pada *interface embankment* (dimungkinkan terjadi *slip* pada permukaan *piles*), beban yang bekerja dan menimbulkan gaya pada *piles* sebagian kecil disalurkan dalam bentuk perpindahan pada permukaan *piles* (*slip*), kompresi yang terjadi pada tanah dasar tidak sebesar *rigid embankment* dan *excess pore water pressure* yang ditimbulkan juga tidak besar.

Pada titik B (untuk *rigid* dan *interface embankment*), nilai tekanan air pori yang terjadi lebih kecil bila dibandingkan dengan titik A. Nilai tekanan air pori ini disebabkan karena pada titik B, pengaruh beban *embankment* sudah sangat kecil. Sebagian besar beban *embankment* ditahan oleh *geogrid* dan kemudian didistribusikan ke *floating piles*. Beban tersebut ditahan oleh *floating piles* dengan adanya tahanan lekat di sekeliling dinding *piles*. Sisa beban *embankment* yang tidak dapat ditahan oleh *floating piles* didistribusikan ke dalam tanah dasar di bawah ujung *floating piles*. Distribusi tegangan ini menyebabkan terjadinya *excess pore water pressure* yang tidak begitu besar (titik C).

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Nilai *excess pore water pressure* yang terjadi pada beberapa tempat di bawah *embankment* bervariasi. Pada *normal embankment*, nilai *excess pore water pressure* pada beberapa tempat adalah sebagai berikut pada area persis di bawah dasar *embankment* (area A, kedalaman 0,5 m) sebesar -22,8093 kPa, pada area B (kedalaman 9 m) sebesar -21,5576 kPa dan pada area C (kedalaman 13 m) sebesar -14,159 kPa.
2. Pada *reinforced embankment* dengan model *rigid embankment*, nilai *excess pore water pressure* terbesar ada pada area C (kedalaman 13 m) yaitu sebesar -17,895 kPa sedangkan pada area lain cukup kecil yaitu sebesar --0,1512 kPa pada

area A (kedalaman 0,5 m) dan sebesar 8,1457 kPa pada area B (kedalaman 9m). Pada model *interface embankment*, nilai *excess pore water pressure* terbesar ada pada area C (kedalaman 13 m) sebesar -15,079 kPa sedangkan pada area lain cukup kecil yaitu sebesar 0,7438 kPa pada area A (kedalaman 0,5 m) dan sebesar 1,085 kPa pada area B (kedalaman 9m).

Daftar pustaka

Balai Geoteknik Jalan, 2002, *Laporan Faktual Pengujian Laboratorium Jalan Lingkar Kaliwungu, Semarang*, Puslitbang Prasarana Transportasi, Departemen Pekerjaan Umum, Ujungberung, Bandung.

Brinkgreve, R.B.J and Vermeer, P.A., 1998, *Plaxis Version 7*, A.A.Balkema/ Rotterdam/Brookfield/1998, Netherlands.

Das, B.M., 1985, *Mekanika Tanah, Prinsip – Prinsip Rekayasa Geoteknis*, Erlangga. Jakarta.

Hardiyatmo, H.C., 1994, *Mekanika Tanah II*, P.T. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Hardiyatmo, H.C., 2002, *Teknik Fondasi I*, Edisi 2, Beta Offset, Yogyakarta.

Suryolelono, K.B., 2000, *Geosintetik Geoteknik*, Edisi 1, Cetakan 1, Nafiri, Yogyakarta.