

EFEK BUSUR DISTRIBUSI BEBAN PADA TIMBUNAN BERTIANG DENGAN PERKUATAN GEOGRID (*ARCHING EFFECT OF LOAD DISTRIBUTION IN PILED EMBANKMENT WITH GEOGRID REINFORCEMENT*)

Ahmad Numan¹⁾, Rakhman Taufik²⁾, Syamsi Mahmud Alamsyah³⁾, Maulana Iqbal⁴⁾

^{1), 2), 4)}Pusat Litbang Jalan dan Jembatan

³⁾ Universitas Langlangbuana

^{1), 2), 4)}Jalan A.H. Nasution no.264, Bandung, 40294

³⁾Jalan Karapitan No.116, Bandung, 40261

e-mail: ¹⁾ahmad.numan@pusjatan.pu.go.id, ²⁾rakhman.taufik@pusjatan.pu.go.id

³⁾samsimahmud7@gmail.com, ⁴⁾maulana.iqbal@pusjatan.pu.go.id

Diterima: 11 September 2014; direvisi: 19 November 2014; disetujui: 3 Desember 2014

ABSTRAK

Timbunan bertiang dengan perkuatan geosintetik merupakan salah satu teknologi untuk mengatasi masalah penurunan dan instabilitas timbunan di atas tanah lunak. Dalam pedoman perencanaan timbunan bertiang, di antaranya BS 8006-1:2010, EBGEO, dan CUR 226, model analitis yang digunakan untuk menghitung timbunan bertiang didasarkan untuk material berbutir. Selain itu, pedoman-pedoman tersebut juga menggunakan asumsi distribusi beban pada perkuatan geosintetik yang berbeda-beda. Mengingat keterbatasan material tersebut di beberapa lokasi di Indonesia, makalah ini bertujuan untuk mengkaji penggunaan tanah kohesif dalam konstruksi timbunan bertiang melalui analisis dengan Metode Elemen Hingga (MEH) tiga dimensi dari model Den Boogert (2011) dengan menggunakan bantuan piranti lunak Plaxis 3D Tunnel. Selain itu, makalah ini juga mengkaji asumsi distribusi beban di atas perkuatan geosintetik yang paling sesuai untuk tanah kohesif. Dari hasil kajian ini, tanah kohesif memberikan distribusi beban pada tiang dan pada geosintetik yang berbeda dibandingkan tanah berbutir karena mekanisme perkembangan efek busur yang berbeda. Kajian ini juga mengindikasikan bahwa distribusi beban di atas geogrid yang paling sesuai untuk tanah kohesif adalah distribusi segitiga terbalik dari Van Eekelen & Bezuijen (2012).

Kata kunci: *Timbunan bertiang, perkuatan geosintetik, metode elemen hingga tiga dimensi, distribusi beban, tanah kohesif, efek busur*

ABSTRACT

Piled embankment with geosynthetic reinforcement is one of the solutions against settlement and embankment instability problems over soft soils. In the current design guidelines, among others BS 8006-1:2010, EBGEO, and CUR 226, analytical models employed for calculating piled embankment are mainly for granular material. Due to the lack of granular material in some locations in Indonesia, this paper describes preliminary study of the use of cohesive soils for piled embankment through analysis with finite element method using Den Boogert (2011) model. Beside that, this paper also discusses assumptions on load distribution over geosynthetic reinforcement that is suitable for cohesive soils. Based on the analysis, cohesive soil gave different load distributions to the pile and to the geosynthetic due to the different in arching effects development. Contrary to the granular soil, cohesive soils gave lower load above the arch that is transferred directly to the pile and higher load that is transferred to the geogrid. This study also indicates that for cohesive soil, the most suitable assumption of load distribution over geosynthetic is the inverse triangle distribution from Van Eekelen & Bezuijen (2012).

Keywords: *Piled embankment, geosynthetic reinforcement, 3D finite element method, load distribution, cohesive soil, arching effect*

PENDAHULUAN

Tanah lunak di Indonesia mencakup 20 juta hektar atau 10% dari luas tanah daratan (Indonesia 2002). Tanah lunak bersifat kompresibel dan mempunyai daya dukung yang rendah sehingga konstruksi jalan di atas tanah lunak akan menghadapi masalah penurunan dan ketidak stabilan timbunan.

Timbunan bertiang merupakan salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk mengantisipasi permasalahan tersebut. Konstruksi timbunan bertiang terdiri dari timbunan dengan perkuatan geosintetik (salah satunya geogrid) ditambah dengan fondasi tiang, lihat Gambar 1. Beban timbunan ditransfer pada kepala tiang (*cap*) secara langsung dan melalui perkuatan geosintetik untuk kemudian ditransfer melalui tiang ke tanah keras.

Oleh karena itu, keunggulan konstruksi timbunan bertiang adalah timbunan dapat tinggi dan dapat dibangun secara cepat, tanpa adanya dampak penurunan dan instabilitas timbunan (Lawson 2012). Lawson (2012) mencontohkan penggunaan konstruksi timbunan bertiang adalah pada timbunan pendekat ke struktur jembatan, pelebaran timbunan di atas tanah lunak, dan sebagai fondasi untuk struktur dinding penahan tanah.

Dalam pedoman perencanaan timbunan bertiang, di antaranya BS 8006-1:2010 (BSI, 2012), EBGeo (2011), dan CUR 226 (dalam Den Boogert 2011), model analitis yang digunakan untuk menghitung timbunan bertiang didasarkan untuk material berbutir. Selain itu, pedoman-pedoman tersebut juga menggunakan asumsi distribusi beban pada perkuatan geosintetik yang berbeda-beda.

Mengingat keterbatasan material tersebut di beberapa lokasi di Indonesia, makalah ini bertujuan untuk mengkaji penggunaan tanah kohesif dalam konstruksi timbunan bertiang melalui analisis dengan Metode Elemen Hingga (MEH) tiga dimensi. Selain itu, makalah ini juga mengkaji asumsi distribusi beban di atas perkuatan geosintetik yang paling sesuai jika tanah kohesif digunakan sebagai bahan timbunan.

Dalam makalah ini, mekanisme transfer beban yang dikaji adalah efek busur (*arching effect*) pada timbunan serta distribusi beban pada geogrid. Analisis MEH tiga dimensi dalam

makalah ini menggunakan data pengujian model skala laboratorium dan dengan mereplikasi model MEH dari Den Boogert (2011) yang juga dibahas dalam Van Eekelen & Bezuijen (2012).

KAJIAN PUSTAKA

Mekanisme distribusi beban pada konstruksi timbunan bertiang

Dalam konstruksi timbunan bertiang, beban dari berat timbunan dan beban lainnya disalurkan pada tanah melalui tiang dan perkuatan geosintetik (salah satu jenisnya adalah geogrid). Distribusi beban tersebut berbeda-beda pada setiap bagian timbunan. Pada bagian tengah timbunan, distribusi beban didasarkan pada efek busur (*arching effect*) seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Pada bagian tepi timbunan, gaya yang terjadi adalah gaya penyebar (*spreading force*) akibat adanya kecenderungan pergerakan lateral, lihat Gambar 2. Dalam makalah ini, yang dibahas hanyalah distribusi beban akibat efek busur seperti diilustrasikan pada Gambar 1.

Efek busur pada Gambar 1 adalah fenomena dimana beban lateral dialihkan ke elemen kaku, dalam hal ini kepada kepala tiang (Den Boogert 2011). Tanah disekitar tiang akan menurun, akan tetapi tanah di atas tiang tidak dapat turun, alih-alih memberikan perlawanan terhadap massa tanah. Hal ini menyebabkan gaya geser dan menciptakan efek busur. Ketika kuat tarik pada geosintetik sangat lemah, elevasi dasar timbunan akan turun diantara tiang sehingga menyebabkan gaya geser dan pengembangan busur. Gaya geser mengurangi gaya pada perkuatan geosintetik, sehingga gaya pada kepala tiang meningkat. Sebaliknya, jika geosintetik sangat kaku maka gaya tarik pada perkuatan geosintetik akan sangat tinggi sehingga penurunan yang terjadi sangat kecil. Oleh karena itu efek busur tidak dapat berkembang sepenuhnya.

Secara lebih rinci, menurut Van Eekelen & Bezuijen (2013), distribusi beban pada Gambar 1 adalah:

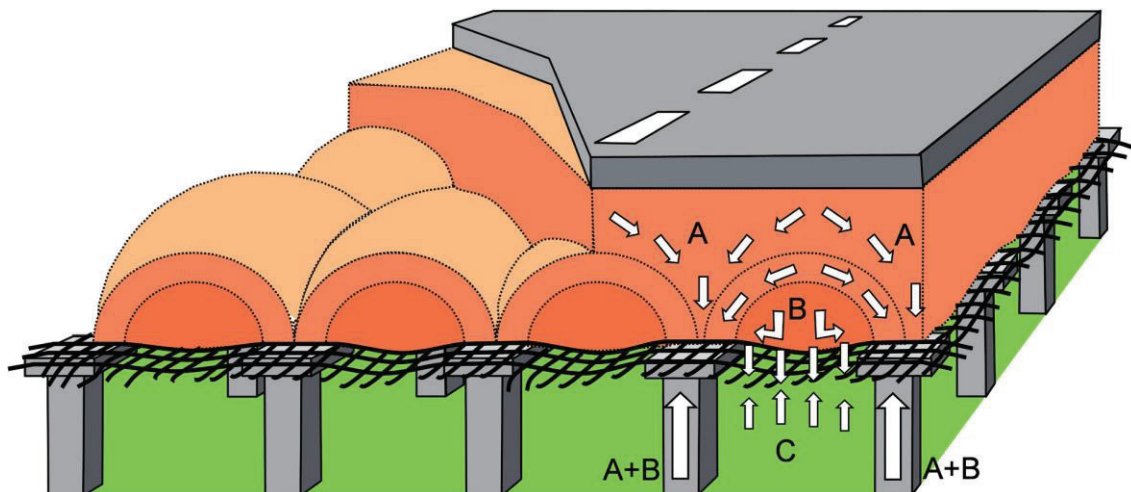
1. Beban di atas busur (simbol A), dikirim secara langsung ke tiang. Besarnya beban A ditentukan oleh kecuraman dari busur. Kecuraman busur tersebut tergantung pada sudut geser dalam (ϕ) dari bahan timbunan.

2. Beban di bawah busur (simbol B) akan menyebabkan beban vertikal pada perkuatan geogrid. Beban vertikal pada geogrid akan menyebabkan defleksi pada geogrid dan menimbulkan gaya tarik pada perkuatan geosintetik sehingga menghasilkan lendutan yang sangat kecil di geogrid tersebut. Gaya tarik pada geogrid kemudian ditransfer kepada tiang.
3. Di bawah perkuatan geogrid, beban C dipikul oleh tanah dasar, sehingga daya dukung dari tanah dasar mengurangi beban yang terjadi pada perkuatan geogrid.

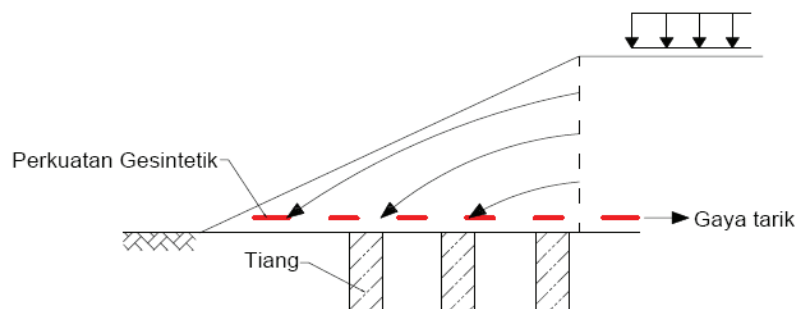
Menurut pedoman Belanda CUR 226 dalam Den Boogert (2011) dijelaskan berbagai mekanisme yang dapat mengakibatkan perubahan efek busur, di antaranya beban dinamis dan penurunan tanah dasar. Beban

dinamis bisa terjadi pada saat pemadatan timbunan. Pemadatan akan meningkatkan sudut geser dalam timbunan yang menyebabkan busur menjadi lebih kaku. Selain itu, dengan adanya pemadatan, distribusi beban akan berkembang lebih baik, beban di atas busur (beban A) akan meningkat sedangkan beban yang berada di bawah busur (beban B) dan beban ke tanah dasar (beban C) akan menurun (Gambar 1).

Lebih jauh Den Boogert (2011) menjelaskan bahwa kekakuan busur dapat meningkat jika terjadi penurunan tanah dasar. Ketika tanah dasar mengalami penurunan, terjadi rangkak atau relaksasi pada perkuatan geosintetik. Pada Gambar 1, hal ini menyebabkan beban B menurun dan beban A+C meningkat.



Gambar 1. Distribusi beban di bagian tengah timbunan (Den Boogert dkk 2012)



Gambar 2. Distribusi beban di bagian tepi timbunan (Den Boogert 2011)

Den Boogert (2011) juga menambahkan bahwa adanya faktor kohesi akan mengubah efek busur. Den Boogert (2011) mencontohkan kasus ini terjadi pada material berbutir yang biasanya mengandung semen. Semen akan meningkatkan ikatan antar butir sehingga kohesi akan meningkat. Dengan meningkatnya kohesi, perkembangan busur akan menjadi lebih baik dan meningkatkan beban A (lihat Gambar 1). Karena beban A meningkat maka beban B dan C akan menurun.

Asumsi distribusi beban pada perkuatan geosintetik

Van Eekelen & Bezuijen (2012) mengkaji perbedaan asumsi distribusi beban pada beberapa pedoman perencanaan konstruksi timbunan bertiang dengan perkuatan geosintetik. Pedoman yang dikaji adalah pedoman Jerman EBGEO tahun 2010, pedoman Belanda CUR 226 tahun 2010 dan pedoman Inggris BS 8006-1:2010, seperti diperlihatkan pada Tabel 1. Pada tabel tersebut terlihat bahwa perbedaan yang paling utama adalah dari asumsi distribusi beban pada perkuatan geosintetik. EBGEO dan CUR 226 mengasumsikan distribusi beban segitiga sedangkan BS 8006-1:2010 mengasumsikan distribusi beban merata.

Van Eekelen & Bezuijen (2012) kemudian melakukan pengujian model skala laboratorium dan pengujian lapangan untuk memvalidasi distribusi beban pada ketiga pedoman tersebut. Disimpulkan bahwa dari hasil pengukuran regangan pada perkuatan

geosintetik, distribusi beban berbeda dengan ketiga pedoman tersebut karena berbentuk segitiga terbalik (lihat Tabel 1). Menurut model Van Eekelen & Bezuijen (2012), beban geogrid terbesar adalah di tepi kepala tiang (*cap*).

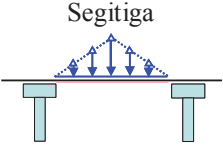
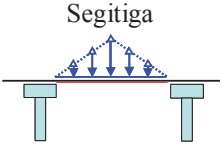
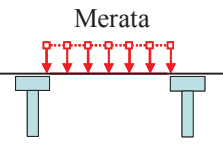
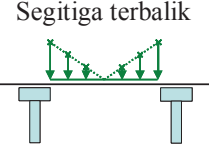
Model skala laboratorium yang digunakan untuk validasi dijelaskan lebih rinci di bawah ini. Hasil dari uji model skala laboratorium tersebut digunakan dalam analisis di dalam makalah ini.

Model skala laboratorium

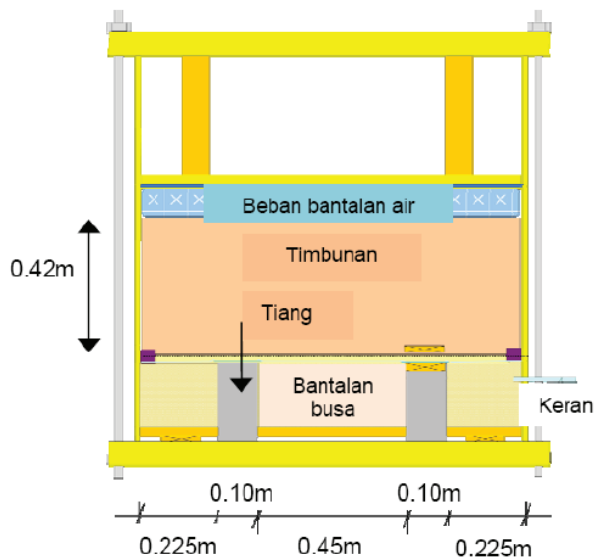
Untuk memahami perilaku efek busur pada konstruksi timbunan bertiang, pengujian model skala laboratorium telah dilakukan oleh Deltares (Den Boogert 2011; Van Eekelen & Bezuijen 2012). Pengujian ini didasarkan pada pengujian yang dilakukan oleh Zaeske dan Heitz. Dua belas tes dilakukan dengan pengaturan yang berbeda. Perbedaan ini terletak pada jenis geosintetik dan jumlah lapisan geosintetik serta jenis pengisi timbunan. Akan tetapi, jenis material yang digunakan semuanya merupakan bahan berbutir.

Pengujian skala laboratorium ini memodelkan bagian tengah timbunan (tanpa adanya beban lateral). Bagian tengah timbunan dimodelkan dalam kotak logam sehingga perpindahan lateral tidak dapat terjadi. Dalam model skala laboratorium ini digunakan empat buah tiang yang diletakkan dikotak bagian bawah. Di antara tiang, bantalan busa ditempatkan di dalam kotak baja.

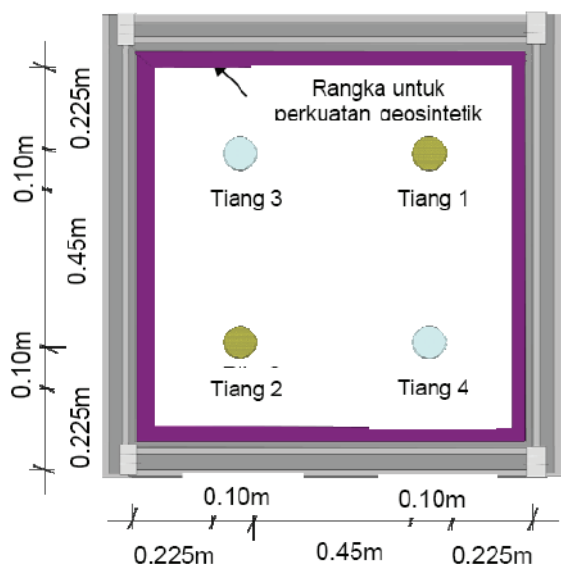
Tabel 1. Perbandingan asumsi distribusi beban di atas perkuatan geosintetik (diolah dari Van Eekelen & Bezuijen 2012)

	EBGEO	CUR 226	BS 8006-1:2010	Van Eekelen & Bezuijen (2012)
Asumsi distribusi beban pada perkuatan geosintetik				

Perkuatan geosintetik menempel pada rangka baja dan terletak di atas bantal busa. Tergantung pada jenis pengujian, digunakan satu atau dua lapis geosintetik. Di atas tanah timbunan terdapat beban yang di simulasikan oleh bantal air pada bagian atas. Beban dimodelkan sebagai beban statis oleh bantalan air yang menghasilkan beban merata. Model skala laboratorium tersebut diperlihatkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Potongan melintang model skala laboratorium (Den Boogert 2011)



Gambar 4. Tampak atas model skala laboratorium (Den Boogert 2011)

Distribusi beban memiliki tiga bagian:

1. Beban A beban diatas busur yang langsung ditransfer ke tiang.
2. Beban B beban dibawah busur yang menghasilkan beban vertikal pada geogrid yang kemudian ditransfer ke tiang.
3. Beban C adalah akibat dari konsolidasi pada bantalan busa.

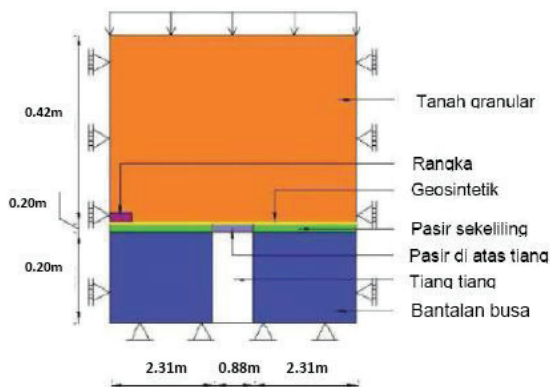
Untuk memodelkan proses konsolidasi, digunakan bantalan busa yang ditempatkan di antara tiang di kotak bawah. Bantalan busa diisi dengan air, diberikan tekanan, lalu air yang keluar dari bantalan busa dikumpulkan dalam buret. Jumlah tekanan air ditentukan dengan menimbang buret yang diukur secara menerus.

Tahapan penerapan beban dimodelkan dengan bantalan air yang ditempatkan diatas permukaan timbunan yang dapat diatur tekanannya sesuai dengan tingkat pembebanan yang direncanakan. Sebelum timbunan diterapkan, alat pengukur penurunan dan regangan diatur ke nol, kemudian bantalan air ditempatkan di atas timbunan dan kotak logam ditutup dengan penutup. Pengujian dimulai dengan mengalirkan bantalan busa sekitar enam liter untuk menggambarkan proses konsolidasi akibat berat timbunan.

Empat tingkatan pembebanan di atas timbunan diterapkan dengan tekanan dari mulai 25 kPa, 50 kPa, 75 kPa dan 100 kPa. Konsolidasi disimulasikan dengan mengalirkan air pada bantalan busa secara bertahap, dari enam liter sampai tekanan dalam bantalan busa mendekati nol. Langkah-langkah pembebanan dan langkah-langkah konsolidasi dilakukan secara bertahap. Pada tahap akhir, tekanan vakum diterapkan pada bantalan busa di bawah perkuatan. Hal ini dilakukan setelah langkah drainase kedua dengan beban puncak 100 kPa. Dengan menerapkan vakum, daya dukung tanah dasar menjadi nol.

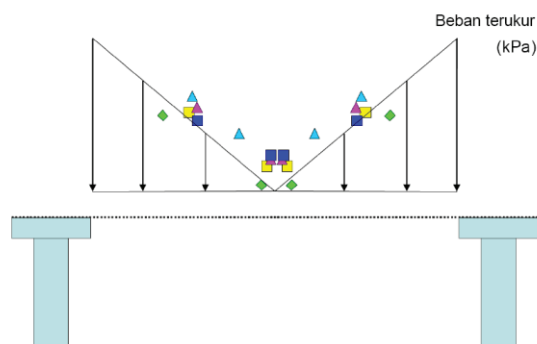
Den Boogert (2011) kemudian memodelkan pengujian model skala laboratorium dengan Metode Elemen Hingga dengan bantuan piranti lunak Plaxis 3D tunnel versi 2.4 (Brinkgreve & Broere 2004). Geometri model skala laboratorium dimodelkan seperempat dari model pengujian laboratorium. Dalam model tersebut hanya satu tiang yang berada di tengah dengan dimensi panjang 0,55 m, lebar 0,55 m dan tinggi 0,64 m (lihat Gambar 5). Tekanan pada bantalan air (*foam cushion*) dimodelkan dengan memberikan

tekanan hidrostatik pada kluster ketinggian tertentu. Model Elemen Hingga dari Den Boogert (2011) digunakan di dalam makalah ini.



Gambar 5. Geometri dalam Metode Elemen Hingga (Den Boogert 2011)

Salah satu hasil dari pengujian model skala laboratorium diperlihatkan pada Gambar 6. Hasil pengujian menunjukkan bahwa distribusi beban B+C di atas geogrid berbentuk segitiga terbalik sebagaimana telah dijelaskan pada Tabel 1. Distribusi beban tersebut menunjukkan bahwa gaya tarik terbesar pada geogrid terjadi di sekeliling kepala tiang. Temuan ini menyatakan bahwa asumsi distribusi beban dalam pedoman BS 8006-1:2020, EBGEO, dan CUR 226 perlu disesuaikan.



Gambar 6. Distribusi beban B+C hasil uji model skala laboratorium (Van Eekelen & Bezuijen, 2012)

Distribusi beban di atas geogrid yang telah divalidasi oleh Van Eekelen & Bezuijen

(2012) adalah berdasarkan jenis material tanah berbutir. Oleh karena itu penggunaan tanah kohesif terhadap distribusi beban di atas geogrid dikaji dalam makalah ini.

HIPOTESIS

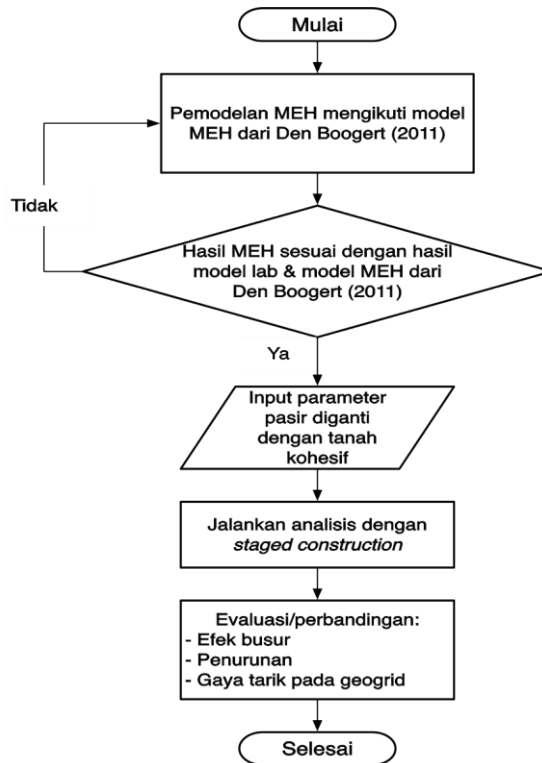
Hipotesis yang akan diuji dalam makalah ini, yaitu gaya tarik yang terjadi pada perkuatan geogrid sesuai dengan asumsi distribusi beban berbentuk segitiga terbalik dari Van Eekelen & Bezuijen (2012) *Arching effect* pada tanah kohesif berbeda dengan tanah berbutir disebabkan oleh sudut geser dalam.

METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam kajian ini diperlihatkan pada Gambar 7. Tahap pertama adalah mereplikasi model MEH dari Den Boogert (2011) dengan menggunakan bantuan piranti lunak Plaxis 3D Tunnel (Brinkgreve & Broere, 2004). Parameter tanah, perkuatan geogrid, pasir di sekeliling tiang, bantalan air menggunakan parameter yang digunakan Boogert (2011). Model MEH yang dibentuk kemudian divalidasi dengan membandingkannya dengan data hasil pengujian model skala laboratorium dan model MEH dari Den Boogert (2011). Jika model MEH tidak sesuai, maka dilakukan penyesuaian geometri, mengubah kerapatan jaring (*mesh*), dan penyesuaian tahapan pemodelan beban. Jika model MEH sudah sesuai, maka langkah berikutnya adalah mengganti parameter tanah timbunan dengan material tanah kohesif.

Sesuai dengan Den Boogert (2011), tahapan analisis dalam piranti lunak *Plaxis 3D Tunnel* dilakukan dengan metode konstruksi bertahap (*staged construction*). Tahapan analisis dengan konstruksi bertahap diperlihatkan pada Tabel 2.

Secara kualitatif, evaluasi dilakukan dengan membandingkan efek busur, penurunan geogrid, dan gaya tarik yang timbul pada geogrid.



Gambar 7. Metodologi kajian

Tabel 2. *Staged Construction* dalam analisis MEH (Den Boogert 2011)

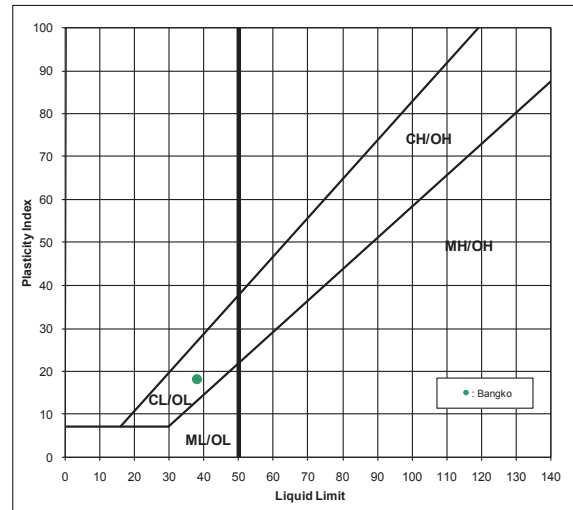
Tahap	Kondisi
0	Kondisi awal Tekanan air dan ΣM <i>weight</i> di set nol
1	Pengaktifan tanah dasar Tanah dasar dan tiang diaktifkan.
2	Penerapan berat tanah Berat tanah diterapkan. ΣM <i>weight</i> = 1
3	Pengaktifan lapisan pasir dan rangka Lapisan pasir, rangka dan Geogrid diaktifkan. Tekanan air diterapkan pada tanah dasar. Tanah dasar harus berlaku sebagai material terdrainase. Hal tersebut dicapai dengan penerapan <i>ignoring undrained behaviour</i> .
4 – 7	Pengaktifan tanah timbunan Tanah timbunan diaktifkan dalam 4 tahap. Dikarenakan pada proses penerapan tanah timbunan dilakukan juga pemadatan, maka tekanan air meningkat pada setiap tahapnya, seperti yang dilakukan pada tes skala laboratorium. Penerapan tekanan air dilakukan dengan menerapkan muka air pada tekanan hidrostatik <i>cluster</i> .
8	Drainase 1 Tekanan air dikurangi sesuai dengan tekanan yang diukur pada tes skala laboratorium. Penurunan di set nol pada awal tahap ini, seperti yang dilakukan pada tes skala laboratorium. <i>Update mesh</i> dilakukan pada perhitungan.
9	Beban 25 kPa Beban 25 kPa diaktifkan dan tekanan air dinaikkan sesuai tekanan yang dilakukan pada tes skala laboratorium.
10 – 11	Drainase 2 dan Drainase 3 Drainase dilakukan 2 tahap, sesuai dengan yang dilakukan pada tes skala laboratorium.
12 – 20	Penerapan beban dan drainase dari tanah dasar Tahap 9 – 11 diulang kembali untuk beban 50kPa, 75 kPa dan 100 kPa.
21	Vakum Tanah dasar dan tekanan air di-nonaktifkan. Daya dukung tanah dasar menjadi nol.

HASIL DAN ANALISIS

Parameter tanah dan model geometri

Untuk mengetahui pengaruh tanah kohesif pada mekanisme distribusi beban pada konstruksi timbunan bertiang, parameter tanah yang digunakan dalam analisis MEH diperlihatkan pada Tabel 3. Parameter tanah kohesif merupakan hasil pengujian laboratorium. Perlu dicermati bahwa parameter tanah kohesif mempunyai sudut geser dalam efektif 2,5 kali lebih kecil dibandingkan tanah berbutir, sedangkan kohesi efektifnya 20 kali lebih tinggi daripada tanah berbutir.

Parameter tanah kohesif yang digunakan pada percobaan ini adalah tanah timbunan yang didapatkan dari Bangko, Dumai, Provinsi Riau. Tanah tipe ini banyak digunakan pada konstruksi timbunan di atas tanah gambut di Sumatra. Menurut klasifikasi unifikasi (Indonesia 2002), tanah kohesif ini masuk ke dalam lempung inorganik dengan plastisitas rendah (CL). Tanah kohesif ini mempunyai nilai lolos saringan No. 200 sebesar 52%. Plot batas-batas Atterberg contoh tanah kohesif pada kurva plastisitas diperlihatkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Batas-batas Atterberg tanah kohesif Bangko, Dumai, provinsi Riau

Model geometri MEH disajikan pada Gambar 9 dalam bentuk tiga dimensi. Beban di atas timbunan dimodelkan sebagai beban terdistribusi merata. Geogrid dimodelkan sebagai material linier elastik dengan parameter kekakuan aksial, EA, sebesar 2269 kN/m. Tiang dimodelkan dengan elemen tanah dengan berat isi 13,6 kN/m³ dan modulus elastisitas, E, sebesar 2,9x10⁶ kN/m² (Den Boogert, 2011). Di antara tiang terdapat bantalan air, tapi pada Gambar 9 tidak ditampilkan untuk kejelasan.

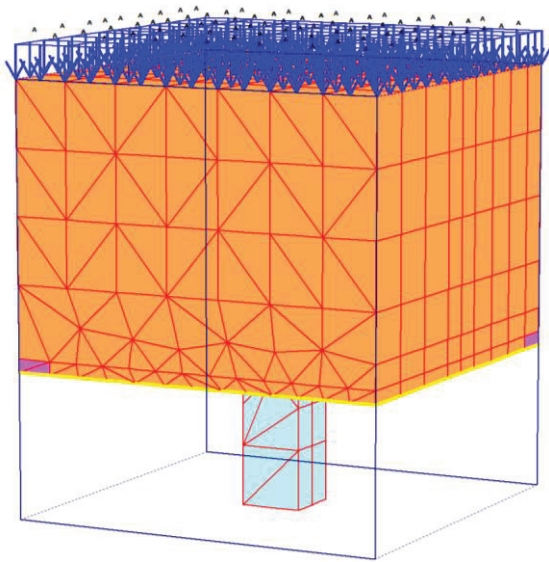
Tabel 3. Parameter tanah berbutir dan tanah kohesif

Parameter	Simbol	Satuan	Tanah Berbutir ¹⁾	Tanah Kohesif ²⁾
Model material			<i>Mohr Coulomb</i>	<i>Mohr Coulomb</i>
Tipe material	-	-	<i>Drained</i>	<i>Undrained</i>
Berat isi tak jenuh	γ_{unsat}	kN/m ³	16.65	17.6
Berat isi jenuh	γ_{sat}	kN/m ³	NA	17.6
Permeabilitas arah x, y, z	k_x, k_y, k_z	m/hari	NA	1E-4
Kohesi efektif	c'	kN/m ²	1	20
Sudut dalam efektif	ϕ'	derajat	47	19.1
Sudut dilatasi	Ψ'	derajat	11	5
Modulus Young	E_{ref}	kN/m ²	51470	20000

Keterangan:

¹⁾Data dari Den Boogert (2011)

²⁾Hasil pengujian laboratorium

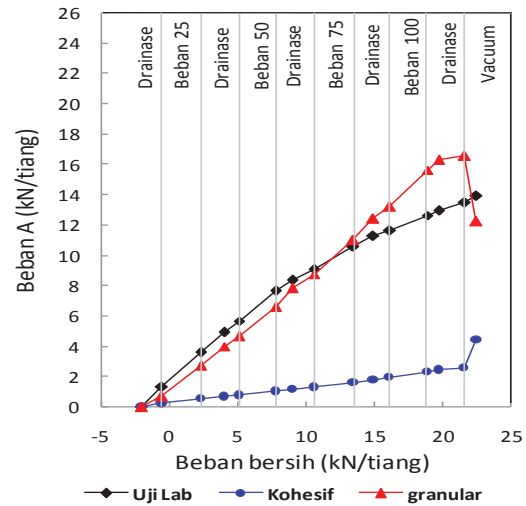


Gambar 9. Model geometri elemen hingga tiga dimensi

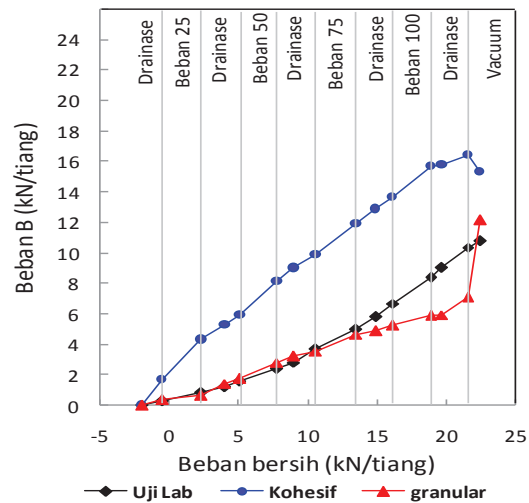
Hasil analisis dengan MEH

Perbandingan distribusi beban dari hasil analisis MEH dan hasil pengujian model skala laboratorium digambarkan pada Gambar 10 sampai Gambar 12. Merujuk kembali pada Gambar 1, distribusi beban ini dibagi menjadi beban di atas busur yang ditransfer ke tiang (beban A); beban dibawah busur yang menghasilkan beban vertikal di geogrid (beban B) yang kemudian ditransfer ke tiang; serta beban pada tanah dasar di bawah geogrid (beban C). Beban total di tiang disimbolkan dengan (A+B).

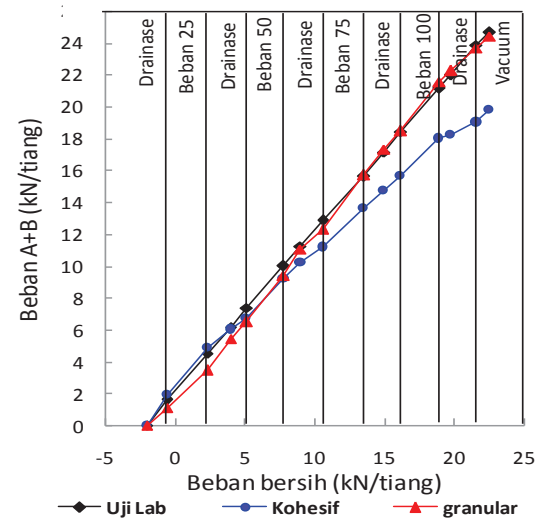
Seperti telah diuraikan dalam metodologi, hasil pemodelan dengan MEH untuk tanah granular dipandang cukup mendekati dengan data hasil pengujian model skala laboratorium (lihat Gambar 10 sampai Gambar 12). Oleh karena itu model MEH tersebut dapat digunakan untuk tahap pemodelan selanjutnya, yaitu dengan mengganti material tanah berbutir dengan tanah kohesif. Hasil analisis dengan menggunakan parameter tanah kohesif juga diplot bersama dengan hasil analisis tanah berbutir pada Gambar 10 sampai Gambar 12 untuk memudahkan perbandingan.



Gambar 10. Distribusi beban A



Gambar 11. Distribusi beban B



Gambar 12. Distribusi beban A+B

PEMBAHASAN

Distribusi beban

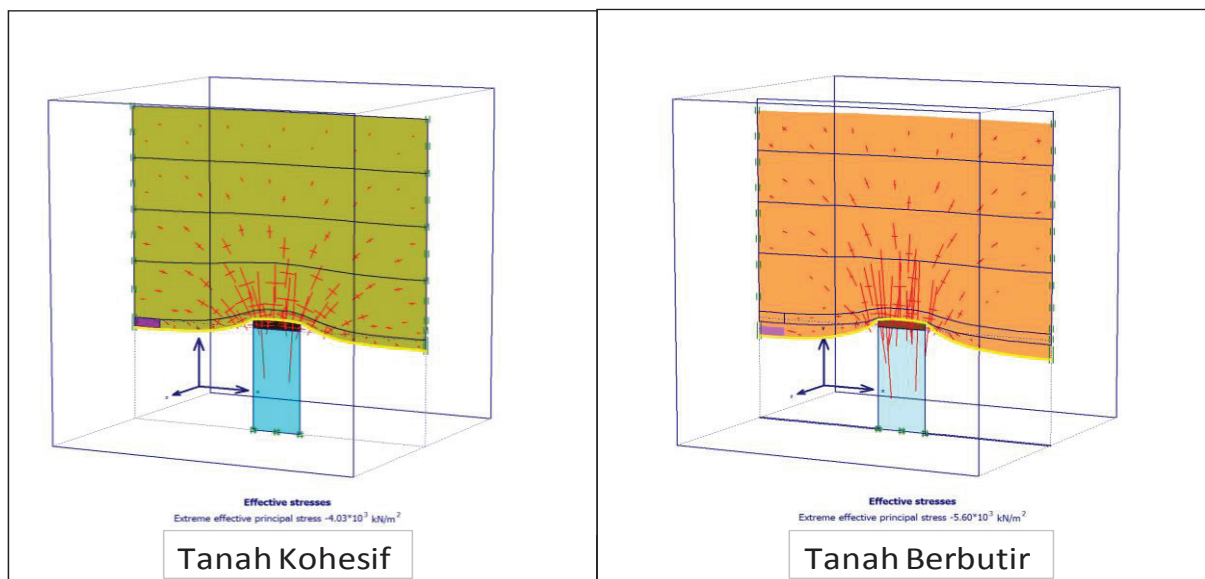
Berdasarkan hasil analisis MEH pada Gambar 10 sampai Gambar 12 di atas, terlihat adanya perbedaan distribusi beban pada pada tanah kohesif dan pada tanah berbutir. Tanah kohesif menghasilkan beban di atas busur yang langsung dipikul oleh tiang (beban A) lebih rendah dibandingkan tanah berbutir, lihat Gambar 10. Akan tetapi, seperti diperlihatkan pada Gambar 11, tanah kohesif mendistribusikan beban di bawah busur yang ditransfer melalui geogrid ke tiang (beban B) lebih tinggi dibandingkan tanah berbutir. Walaupun nilai beban total pada tiang (beban A+B) tidak signifikan perbedaannya (Gambar 12), tanah kohesif menghasilkan nilai yang lebih kecil.

Perbedaan tersebut dapat dijelaskan melalui visualisasi dalam bentuk tegangan efektif utama (*effective principal stress*) pada tahap terakhir perhitungan (tahap vakum), lihat Gambar 13. Dari Gambar 13 terlihat bahwa efek busur pada tanah berbutir berkembang lebih baik dibandingkan pada tanah kohesif. Hal ini disebabkan sudut geser dalam (ϕ) lebih berpengaruh pada pembentukan busur dibandingkan kohesi (c). Seperti terlihat pada Tabel 2, parameter tanah kohesif mempunyai

$c=20$ kPa dan $\phi=19,1^\circ$ sedangkan tanah berbutir mempunyai $c=1$ kPa dan $\phi=47^\circ$.

Pada model tanah kohesif, perpindahan vertikal timbunan di sekitar tiang lebih besar dibandingkan dengan pada model tanah berbutir. Perpindahan vertikal dan perpindahan total geogrid pada tahap vakum (tahap akhir) diperlihatkan secara berturut-turut pada Gambar 14 dan Gambar 15. Perpindahan total merupakan resultan dari perpindahan ke arah x , y , dan z dalam sumbu tiga dimensi. Hal ini disebabkan beban B yang terjadi pada tanah kohesif lebih tinggi dibandingkan pada tanah berbutir, lihat Gambar 11.

Beban pada geogrid pada model tanah kohesif lebih tinggi dibandingkan pada tanah berbutir (Gambar 14). Hal ini disebabkan pengaruh efek busur yang menyebabkan beban B pada tanah kohesif lebih tinggi dibanding pada tanah berbutir. Gambar 15 tersebut menunjukkan gaya tarik aksial utama (sumbu x dan y) pada elemen geogrid. Gaya aksial maksimum geogrid pada model tanah kohesif adalah 110 kN/m sedangkan pada tanah berbutir hanya 53 kN/m. Hal ini memberikan indikasi bahwa untuk timbunan tanah kohesif, penentuan kebutuhan kekuatan tarik geogrid berbeda dengan untuk tanah timbunan berbutir.

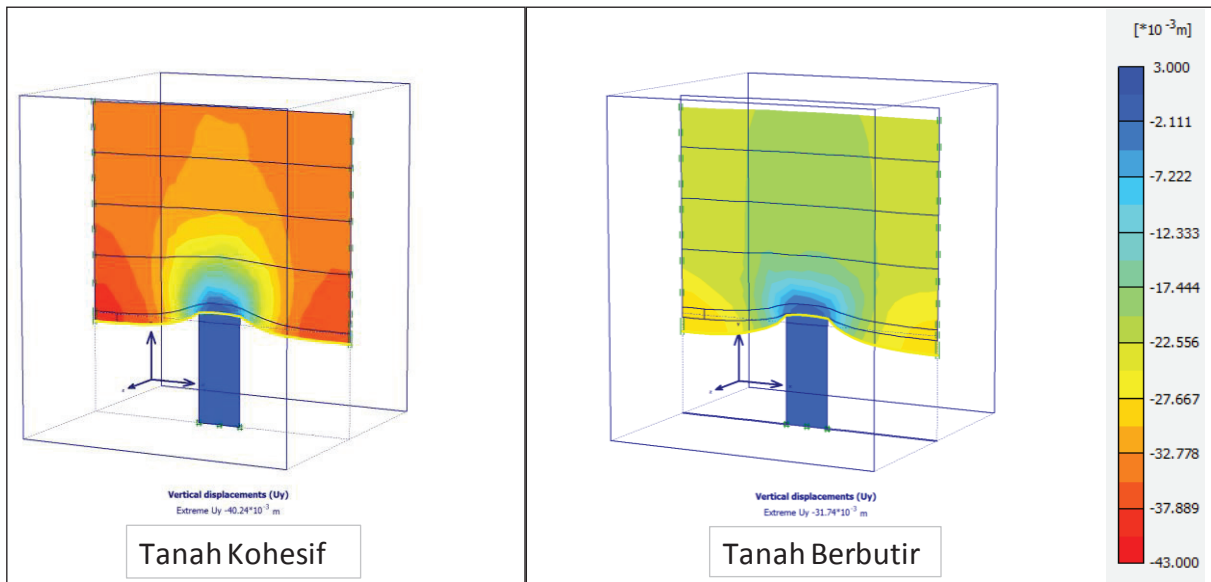


Keterangan: simbol “+” adalah tegangan efektif utama. Panjang dari simbol “+” menunjukkan besaran tegangan sedangkan arahnya menunjukkan arah utama (*principal direction*).

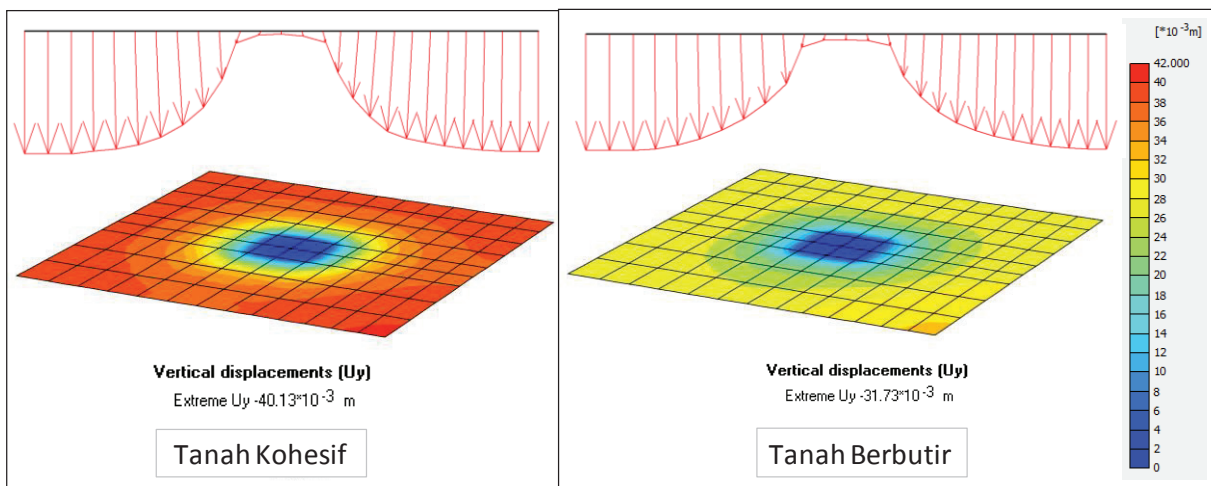
Gambar 13. Tegangan efektif utama pada model tanah kohesif dan model tanah berbutir

Selain itu, Gambar 15 memberikan kesimpulan awal bahwa asumsi distribusi beban di atas geogrid yang paling sesuai untuk tanah kohesif adalah asumsi segitiga terbalik dari Van Eekelen & Bezuijen (2012). Gambar 15 memberikan dan merujuk pada Tabel 1, asumsi Van Eekelen & Bezuijen (2012) adalah distribusi berbentuk segitiga terbalik dengan

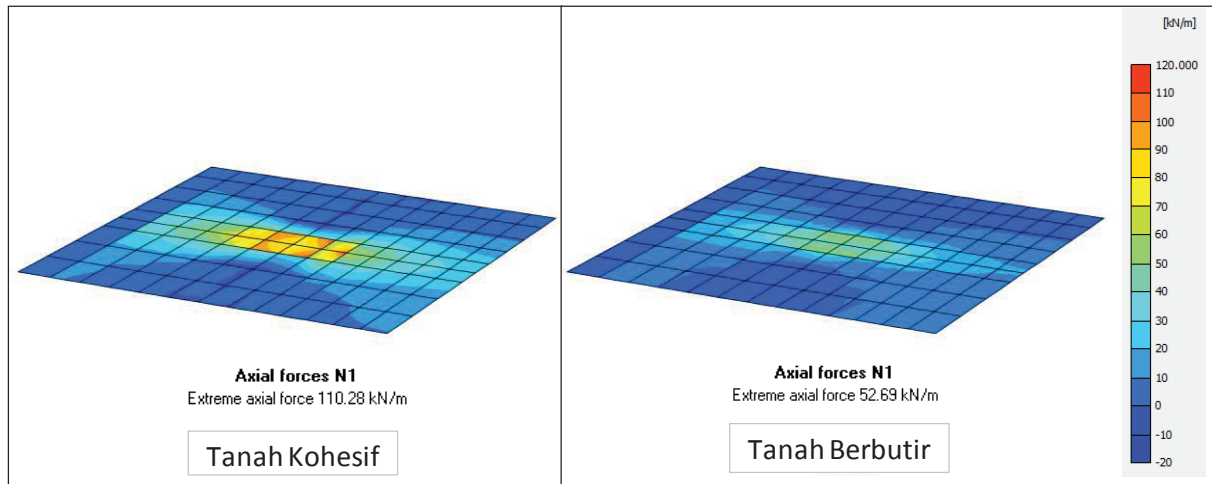
beban terbesar di tepi tiang. Kontur gaya aksial tarik pada geogrid di Gambar 16 menunjukkan bahwa gaya aksial tarik terbesar berada di sekitar tepi tiang walaupun poin maksimum tidak dapat diketahui secara eksak karena *mesh* elemen hingga yang kasar.



Gambar 14. Perpindahan vertikal pada model tanah kohesif dan model tanah berbutir



Gambar 15. Perpindahan total geogrid pada model tanah kohesif dan model tanah berbutir



Gambar 16. Gaya aksial tarik geogrid pada model tanah kohesif dan model tanah berbutir

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penggunaan timbunan dari tanah kohesif untuk konstruksi timbunan bertiang dengan perkuatan geogrid memberikan distribusi beban pada tiang dan pada geogrid yang berbeda dengan tanah berbutir. Hal ini disebabkan karena mekanisme perkembangan busur (*arching development*) yang berbeda. Selain itu kajian memberikan indikasi bahwa efek busur lebih dipengaruhi oleh parameter sudut geser dalam dibandingkan dengan parameter kohesi.

Beban di bawah busur yang lebih besar pada model tanah kohesif menghasilkan beban vertikal pada geogrid yang lebih besar dibandingkan pada tanah berbutir. Hal ini memberikan gambaran bahwa penentuan kebutuhan kekuatan tarik geogrid pada tanah kohesif berbeda dengan tanah berbutir.

Kajian ini memberikan kesimpulan bahwa asumsi distribusi beban di atas geogrid yang paling sesuai untuk tanah kohesif adalah asumsi segitiga terbalik dari Van Eekelen & Bezuijen (2012).

Saran

Disarankan dilakukan validasi dengan pengujian model skala laboratorium untuk timbunan dari tanah kohesif untuk memverifikasi hasil model numerik MEH ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Brinkgreve, R. B. J., & Broere, W. 2004. *Plaxis 3D Tunnel Ver 2 Manuals*. PLAXIS B. V: Delft, Plaxis.
- British Standards Institution. 2012. *Code of Practice for Strengthened/Reinforced Soils and Other Fills*. BS 8006-1:2010. London: BSI.
- Den Boogert, T.J.M, Van Duijnen, P., dan Van Eekelen, S. 2012. *Numerical Analysis of Geosynthetic Reinforced Piled Embankment Scale Model Tests*. Plaxis Bulletin. Spring Issue 2012. <http://kb.plaxis.nl/publications/numerical-analysis-geosynthetic-reinforced-piled-embankment-scale-model-tests>.
- _____. 2011. *Piled Embankments with Geosynthetic Reinforcement*. M.Sc. Thesis, Delft University of Technology.
- EBGEO. 2011. *Recommendations for Design and Analysis of Earth Structures using Geosynthetic Reinforcements*. German Geotechnical Society, Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn.
- Indonesia. 2002. *Panduan Geoteknik I: Proses Pembentukan dan Sifat-sifat Dasar Tanah Lunak*. Pt-08-2002-B. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- _____. 2002. *Tata Cara Klasifikasi Tanah dan Campuran Tanah dan Agregat untuk Konstruksi Jalan*. SNI-03-6797-2002. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Lawson, C.R. 2012. *Role of Modelling in the Development of Design Methods for Basal Reinforced Piled Embankments*. *Proceeding of the Eurofuge 2012*, Delft: Delft University of Technology.

Van Eekelen, S.J.M & Bezuijen, A. 2012. Basal Reinforced Piled Embankments in The Netherlands, Field Studies And Laboratory Tests. *TC International Symposium on Ground Improvement IS-GI Brussels (ISSMGE-2012)* Brussels: Departement of Civil Engineering.

Van Eekelen, S.J.M & Bezuijen, A. 2013. Equilibrium Models for Arching in Basal Reinforced Piled Embankments. *18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Proceeding 2*. Paris: Departement of Civil Engineering.