

Analisis Deformasi Tanah Lunak Terhadap Perkuatan Geogrid Menggunakan Metode Elemen Hingga

Dewi Sukmawaty

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palu
Jl. Hangtuah No. 29 Telp 0451-426504 Palu 94118, e-mail dewisukma_7@yahoo.com

ABSTRAK

Permasalahan pada tanah lunak adalah daya dukung dan stabilitas yang rendah. Jika beban berat diberikan, maka akan terjadi perpindahan yang besar. Salah satu metode yang cepat berkembang pada bidang geoteknik saat ini adalah penggunaan material geosintetis tipe grid (geogrid) sebagai perkuatan tanah. Penelitian ini memanfaatkan metode elemen hingga (Software Plaxis versi 8.2). Perkuatan geogrid diletakkan pada dasar timbunan dan dianalisis untuk mendapatkan pengaruh dari perkuatan geogrid pada perubahan bentuk tanah. Hasilnya memperlihatkan bahwa perkuatan geogrid mampu mengurangi perpindahan vertikal sebesar 14% dan perpindahan horisontal sebesar 9%.

Kata Kunci : geogrid, tanah lunak, deformasi, metode elemen hingga

ABSTRACT

Problems of soft soil are low bearing capacity and low stability. If heavy burden is applied, there will be large displacement. One of the rapid developing method in geotechnic field today is the usage of geosynthetics material of grid type (geogrid) as a soil reinforcement. The research is utilizing the finite element method (Plaxis programme version 8.2). Geogrid reinforcement was laid on the base of embankment and analysis was done to obtain the influence of geogrid reinforcement to soil deformation. The results showed that geogrid reinforcement was able to reduce vertical displacement of 14 % and reduce horisontal displacement of 9 %.

Keywords: geogrid, soft soil, deformation, finite element method

1. Pendahuluan

A. Latar Belakang

Masalah konstruksi bangunan sipil tidak bisa lepas dari aspek-aspek geoteknik dalam perencanaannya. Salah satu aspek geoteknik yang perlu mendapatkan perhatian adalah apabila pada lokasi pembangunan dijumpai jenis tanah lunak (*soft soil*).

Salah satu metode dalam bidang geoteknik yang berkembang pesat adalah penggunaan bahan-bahan perkuatan (*reinforcement*), misalnya dengan bahan geosintetik. Menurut Suryolelono (2000) tujuan pemakaian bahan geosintetik sebagai bahan perkuatan adalah sebagai berikut ini.

1. Mencegah tercampurnya bahan tanah timbunan dengan tanah lunak,
2. Mencegah/mengurangi deformasi pada arah horisontal dan vertikal yang berlebihan, dan
3. Membantu menambah perlawanan geser tanah terhadap keruntuhan timbunan.

B. Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui deformasi/perpindahan tanah dasar sebelum dan sesudah adanya perkuatan.

C. Batasan Masalah

Agar tidak terjadi perluasan masalah dalam penelitian ini, maka perlu dibatasi pada masalah berikut :

1. Objek penelitian adalah *Normal embankment* yaitu konstruksi timbunan bertahap dan merupakan salah satu dari *Trial embankment* yang dibangun di daerah Kaliwungu, Semarang, Jawa Tengah.
2. Analisis hitungan dilakukan secara dua dimensi dengan analisis elemen hingga dibantu dengan program komersial *Plaxis* versi 8.2.
3. Jenis perkuatan yang digunakan adalah geogrid.

2. Tinjauan Pustaka

A. Geogrid

Geogrid adalah suatu material geosintetik membentuk set *rib* yang berpotongan dan berhubungan secara paralel dengan lubang-lubang yang cukup untuk dapat melewati tanah di sekitarnya, batuan, atau material geoteknik lainnya (Koerner, 2005).

Menurut ASTM D4439-02 (2003), geogrid merupakan suatu geosintetik yang dibentuk oleh suatu jaringan reguler dari elemen yang dihubungkan secara integral dengan lubang-lubang lebih besar dari 6,35 mm

($\frac{1}{4}$ inch) untuk memungkinkan terjadi *interlocking* dengan tanah di sekitarnya, batuan, dan material sekitar lainnya dengan fungsi primer sebagai perkuatan.

B. Tanah Lunak (*Soft Soil*)

Tanah lunak dalam konstruksi seringkali menjadi permasalahan. Hal ini disebabkan oleh rendahnya daya dukung tanah tersebut. Daya dukung yang rendah dapat menyebabkan kerugian, mulai dari kerugian dari sisi biaya konstruksi yang semakin mahal, hingga terancamnya keselamatan konstruksi, yaitu struktur yang dibuat tidak mampu berdiri secara stabil dan bisa roboh.

Salah satu permasalahan utama pada tanah lunak dalam suatu pekerjaan konstruksi adalah penurunan tanah yang sangat besar. Penurunan yang besar tersebut disebabkan oleh penurunan konsolidasi pada tanah.

C. Metode Elemen Hingga (*Finite Element Methode*)

Metode elemen hingga (*finite element method*) adalah suatu metode yang membagi suatu kontinum menjadi beberapa bagian yang lebih kecil, dan bagian-bagian kecil ini disebut elemen hingga. Metode elemen hingga sebagai salah satu cara pemecahan masalah dengan konsep dasar diskretisasi (*discretization*) sudah dikenal sejak dulu. Diskretisasi (*discretization*) dapat diartikan membagi suatu sistem menjadi elemen-elemen penyusun yang lebih kecil untuk dilakukan analisa secara individual kemudian digabungkan (*assembled*) dan divisualisasikan sebagai suatu sistem yang *continuos* (Desai, 1979).

Metode elemen hingga berkembang akibat keterbatasan kemampuan pikir manusia untuk menyelesaikan permasalahan analitis teknik sipil yang kompleks di lapangan. Metode elemen hingga merupakan salah satu metode dalam analisis struktur termasuk metode numerik. Metode ini merupakan pendekatan terbaik yang digunakan dalam analisis numerik (Weaver, 1989).

Pendekatan dengan elemen hingga merupakan suatu analisa pendekatan yang didasarkan asumsi *displacement* atau asumsi tegangan, bahkan dapat juga didasarkan kombinasi dari keduanya (Weaver, 1989). Pendekatan berdasarkan fungsi *displacement* merupakan teknik yang sering digunakan.

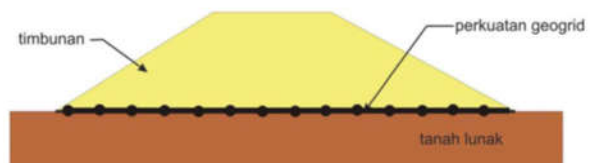
3. Landasan Teori

A. Perkuatan di Dasar Timbunan (*Embankment Basal Reinforcement*)

Embankment basal reinforcement (**Gambar 1**) merupakan salah satu teknik perkuatan untuk timbunan di atas tanah lunak tipis. Perkuatan yang digunakan merupakan bahan geosintetik (geotekstil atau geogrid) yang diletakan pada dasar timbunan.

B. Deformasi Tanah

Deformasi dapat didefinisikan sebagai



Gambar 1. Embankment basal reinforcement

perubahan bentuk, dimensi dan posisi dari suatu materi baik merupakan bagian dari alam ataupun buatan manusia dalam skala waktu dan ruang. Deformasi dapat terjadi jika suatu benda atau materi dikenai gaya (*force*).

Deformasi terbagi menjadi dua jenis yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis. Deformasi elastis adalah deformasi atau perubahan bentuk yang disebabkan oleh pemberian beban, dimana apabila beban dihilangkan maka bentuk dan ukuran akan kembali ke bentuk semula atau deformasi yang terjadi akan hilang. Daerah deformasi elastis berlaku hukum *Hooke* yaitu regangan akan sebanding dengan tegangan sesuai dengan modulus elastisitas. Sedangkan deformasi plastis adalah perubahan bentuk yang merupakan kelanjutan dari deformasi elastis yang bersifat permanen meskipun beban dihilangkan.

C. Analisis Metode Elemen Hingga

Pemberian beban terhadap material yang berbeda akan memberikan perilaku yang berbeda-beda pula. Begitu juga dengan tanah, sifat tanah dengan nilai *properties* yang tidak seragam serta tanah yang terbagi menjadi beberapa bagian (partikel tanah, air, dan udara) menyebabkan perilaku yang terjadi lebih kompleks dan berbeda dengan yang lainnya (Britto dan Gunn, 1987).

Pada analisis metode elemen hingga, tingkat keakuratan tergantung pada beberapa faktor seperti pemilihan model konstitutif, diskretisasi kontinum, metode penyelesaian persamaan, kondisi batas, dan hitungan tegangan dan regangan dari perpindahan nodal-nodal.

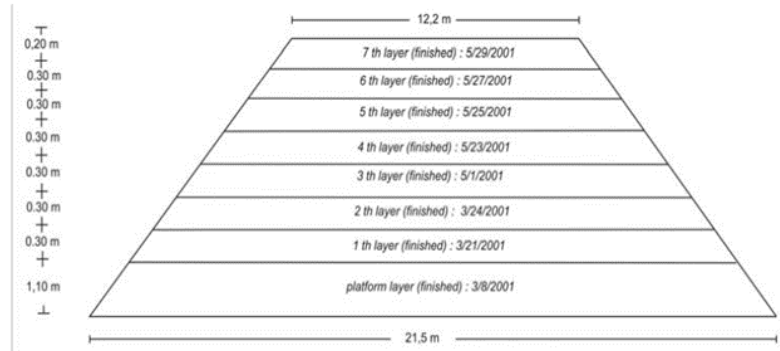
Berdasarkan metode elemen hingga, suatu kontinum dibagi menjadi beberapa elemen. Tanah dapat diasumsikan sebagai suatu kontinum yang akan dilakukan analisis berdasarkan metode elemen hingga. Material kontinum ini terdiri atas material elastis dengan regangan kecil.

4. Metode Penelitian

A. Objek Penelitian

Objek penelitian yang diteliti adalah *Normal embankment* yang terletak di daerah Kaliwungu, Semarang, Jawa Tengah, dan merupakan salah satu dari *Trial embankment* yang dilaksanakan oleh Balai Geoteknik Jalan, Pusat Litbang Jalan, Departemen Kimpraswil Bandung.

Pelaksanaan pembangunan konstruksi *Normal embankment* dilakukan secara bertahap (**Gambar 2**). Pelaksanaan timbunan bertahap dilakukan untuk



Gambar 2. Pelaksanaan pembangunan Normal embankment
(Balai Geoteknik Jalan, Departemen Kimpraswil Bandung, 2002)

memberikan waktu bagi tanah dasar mengalami konsolidasi sehingga kuat geser tanah meningkat dan dapat mendukung beban yang lebih besar.

Untuk lebih jelasnya mengenai waktu pelaksanaan *Normal embankment*, dapat dilihat pada **Tabel 1** berikut ini.

Tabel 1. Waktu pelaksanaan Normal embankment Kaliwungu
(Balai Geoteknik Jalan, Departemen Kimpraswil Bandung, 2002)

Tahap timbunan (m)	Waktu konstruksi (hari)	Waktu konsolidasi (hari)
1,1	13	12
1,4	1	2
1,7	1	34
2,0	4	14
2,3	8	1
2,6	1	1
2,9	1	1
3,1	1	-

B. Data Tanah Dasar dan Material Timbunan

Dari sisi geologi, kondisi tanah di daerah Kaliwungu dapat dibagi menjadi tiga lapisan lempung holosen (Panduan Geoteknik I, 2002) sebagai berikut ini.

1. Lapisan permukaan yang berupa endapan dataran banjir setebal 2 – 3 m,
2. Lapisan tengah berupa endapan pasang surut setebal 2 – 3 m,
3. Lapisan bawah berupa endapan dekat pantai setebal 8 m.

Untuk material timbunan pada konstruksi *Trial Embankment* Kaliwungu merupakan material dari timbunan tanah yang dipadatkan.

C. Prosedur umum penelitian

Secara umum, penelitian ini dilakukan dalam dua tahap, yaitu sebagai berikut ini.

1. Tahap pertama, melakukan interpretasi dan evaluasi

terhadap data sekunder hasil penyelidikan lapangan dan uji di laboratorium yang akan digunakan sebagai *input* pada program *Plaxis*. Pengumpulan data hasil pengukuran alat-alat di lapangan, yang terdiri dari *settlement plate* (untuk mengukur perpindahan vertikal tanah dasar) dan *inclinometer* (untuk mengukur perpindahan horisontal tanah dasar). Kemudian hasil dari interpretasi dan evaluasi ini digunakan sebagai validasi hasil *running* program *Plaxis*, sehingga akan diperoleh hasil analisis yang mendekati kenyataan di lapangan,

2. Tahap ke dua, analisis terhadap deformasi tanah pada tanah dasar setelah diberi perkuatan geogrid dengan menggunakan program *Plaxis*. Kemudian hasilnya digunakan untuk perbandingan terhadap struktur tanpa perkuatan hasil *running* program *Plaxis* pada tahap pertama.

D. Prosedur Penelitian dengan Program Plaxis Versi 8.2

Prosedur penelitian dengan menggunakan program komersial *Plaxis* versi 8.2, terdiri dari tiga tahap, sebagai berikut ini.

1. Plaxis Input

Analisis *input* berdasarkan kondisi lapangan yang ada pada *Normal Embankment* Kaliwungu dan untuk parameter geogrid yang meliputi nilai kuat tarik ijin geogrid dan regangannya, diperoleh dari brosur produk perkuatan geogrid pada salah satu perusahaan produsen geosintetik di Asia.

2. Plaxis Calculation

Setelah seluruh kondisi *input* selesai dilakukan, maka tahap selanjutnya adalah tahap kalkulasi. Tahap ini menggambarkan proses suatu konstruksi didirikan. Dalam analisisnya, *Plaxis* versi 8.2 memberikan empat tipe analisa perhitungan, yaitu *plastic analysis*, *consolidation analysis*, *phi-c reduction analysis*, dan *dynamic analysis*. *Plaxis* versi 8.2 juga memberikan pilihan *advanced*, yaitu *updated mesh* yang dapat digunakan untuk konstruksi dengan deformasi besar.

3. Plaxis Output

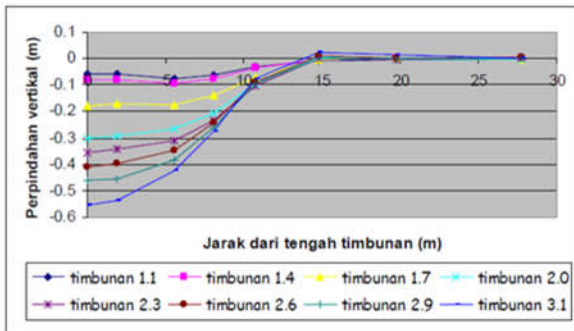
Tahap ini menjelaskan hasil analisis elemen hingga yang telah dilakukan oleh *Plaxis*. Hasil yang dipaparkan dapat

dalam bentuk tabel, grafik maupun gambar.

5. Hasil dan Pembahasan

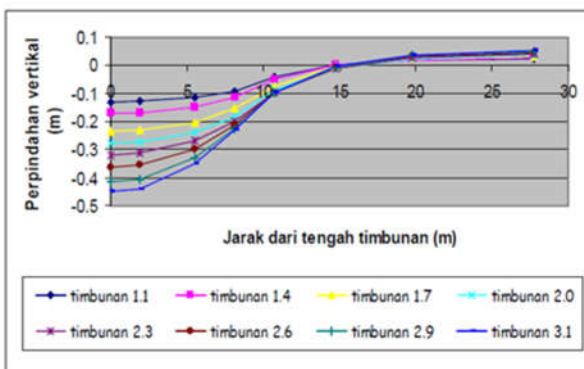
A. Perpindahan Vertikal Tanah Dasar

Dari hasil pengukuran lapangan dengan menggunakan *settlement plate*, diperoleh perpindahan vertikal tanah dasar pada *Normal embankment* Kaliwungu seperti pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Hasil pengukuran *settlement plate*

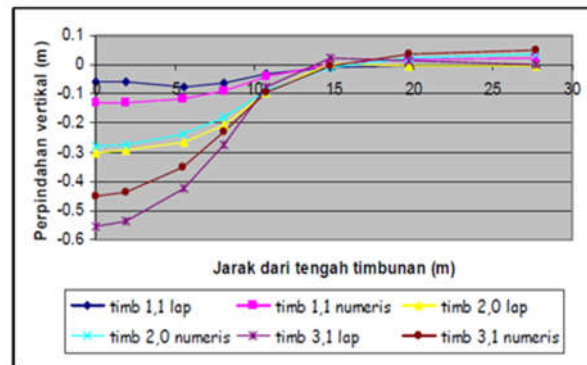
Dari **Gambar 3** terlihat bahwa penurunan yang terjadi semakin bertambah dengan bertambahnya beban timbunan. Pengaruh waktu konsolidasi pada tiap tahap timbunan juga dapat mempengaruhi perpindahan vertikal tanah dasar, yaitu dengan waktu konsolidasi yang lebih lama dapat menyebabkan penurunan yang lebih besar. Pada gambar di atas juga terlihat terjadinya pergerakan tanah ke atas (*heaving*) dibagian sisi luar kaki timbunan. Hal ini disebabkan oleh perilaku elastisitas tanah. Akibat beban timbunan yang ada di atasnya, tanah cenderung mendorong ke arah luar, sehingga menyebabkan terjadinya *heaving*. Perilaku yang sama juga diperoleh dari hasil analisis numeris yang dilakukan, seperti pada **Gambar 4** berikut ini.



Gambar 4. Hasil numeris perpindahan vertikal tanah dasar struktur tanpa perkuatan

Dari **Gambar 4** terlihat bahwa hasil analisis numeris menunjukkan perilaku tanah yang lebih ideal. Setiap penambahan beban timbunan, *heaving* yang terjadi juga semakin besar. Perbedaan antara hasil pengukuran lapangan dan hasil analisis numeris dapat disebabkan oleh keterbatasan data sehingga banyak dilakukan penyederhanaan input parameter dalam simulasi numeris. Selain itu, faktor-faktor teknis di lapangan juga dapat

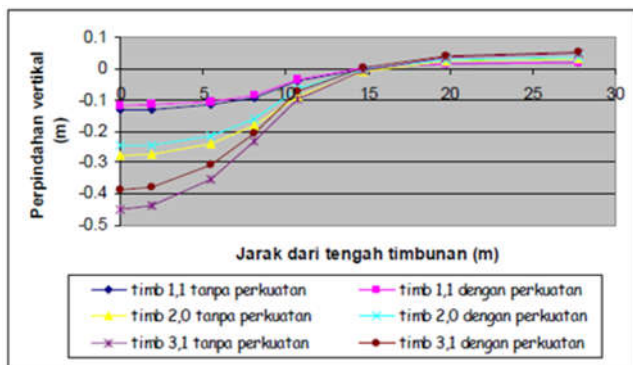
dijadikan pertimbangan. Lebih jelasnya, validasi hasil pengukuran lapangan dan numeris dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Validasi hasil pengukuran lapangan dan numeris untuk perpindahan vertikal tanah dasar

Pada tahap timbunan 1,1 meter terlihat hasil analisis numeris yang lebih besar dibandingkan hasil pengukuran *settlement plate*. Hal ini dapat disebabkan dalam perhitungan numeris juga mempertimbangkan kondisi awal (*initial condition*) yang pada tahap *initial condition* pada analisis numeris, sudah terjadi penurunan sebelum diberi beban timbunan. Sedangkan hasil pengukuran *settlement plate* diukur dari *base reading* dengan nilai perpindahan vertikal sebesar 0,0 meter.

Dengan memberi satu lapis perkuatan geogrid pada dasar timbunan, diperoleh hasil nilai perpindahan vertikal tanah dasar yang lebih kecil dibandingkan dengan perpindahan vertikal pada struktur tanpa perkuatan. Hal ini dapat dilihat pada **Gambar 6**.

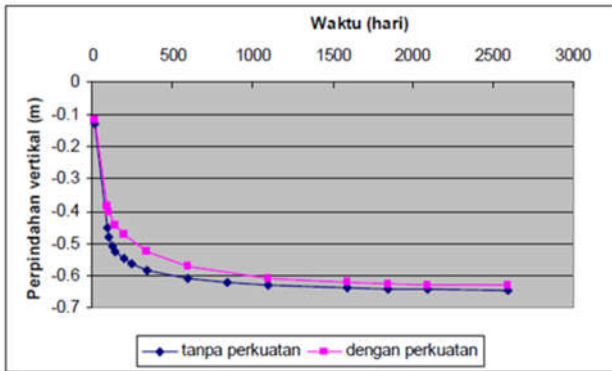


Gambar 6. Perbandingan numeris perpindahan vertikal antara struktur tanpa perkuatan dengan struktur perkuatan

Perpindahan vertikal yang lebih kecil pada struktur perkuatan disebabkan karena beban timbunan yang ditopang oleh tegangan tarik pada geogrid sehingga distribusi beban pada tanah dasar berkurang. Dapat terlihat pula pada **Gambar 6**, selisih perpindahan yang semakin besar dengan bertambahnya timbunan. Hal ini karena tegangan tarik pada geogrid yang digunakan sebagai perkuatan pada dasar timbunan semakin bekerja dengan bertambahnya timbunan, sehingga dapat lebih besar mengurangi perpindahan vertikal tanah dasar.

Perpindahan vertikal tanah dasar yang dapat direduksi pada akhir pelaksanaan konstruksi timbunan adalah mencapai sebesar 14 %.

Perbandingan numeris perpindahan vertikal struktur tanpa perkuatan dengan struktur perkuatan berdasarkan waktu dapat dilihat pada **Gambar 7**, dengan perpindahan vertikal yang terjadi diambil pada tengah timbunan.

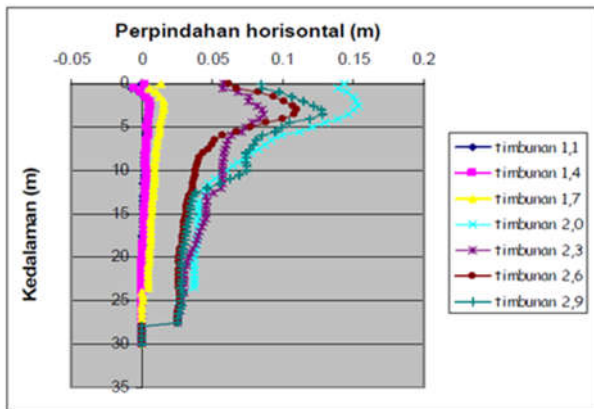


Gambar 7. Perbandingan numeris perpindahan vertikal berdasarkan waktu antara struktur tanpa perkuatan dengan struktur perkuatan

Dapat dilihat pada **Gambar 7**, nilai penurunan yang lebih kecil pada struktur perkuatan. Penurunan ini relatif menjadi stabil pada periode waktu tertentu

B. Perpindahan Horizontal Tanah Dasar

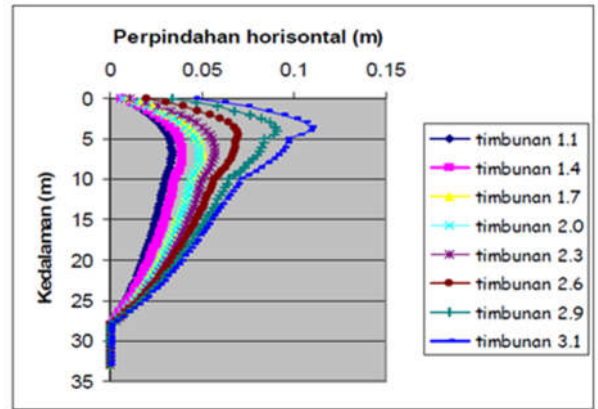
Perpindahan horisontal tanah dasar akibat beban timbunan dapat diukur dengan menggunakan *inclinometer*. Hasil pengukuran *inclinometer* di lapangan seperti pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Hasil pengukuran inclinometer

Hasil analisis numeris juga menunjukkan pola yang sama. Hal ini dapat dilihat pada **Gambar 9**.

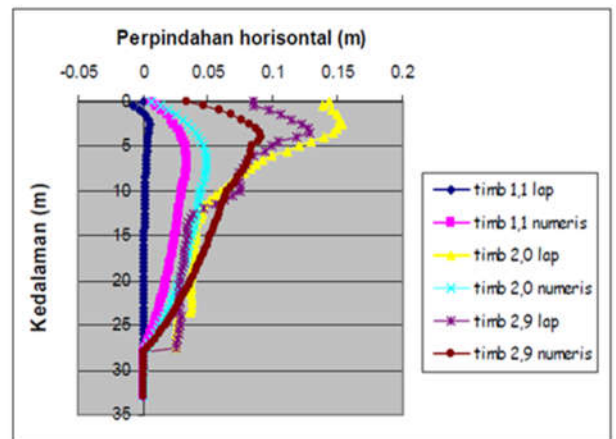
Dari **Gambar 8** dan **Gambar 9**, pola perpindahan horisontal membesar pada kedalaman sekitar 4 meter. Sebelum kedalaman tersebut, perpindahan horisontal adalah lebih kecil. Pola yang demikian dapat disebabkan oleh adanya pengaruh gaya pasif pada tanah dasar akibat timbunan yang mendorong tanah dasar ke arah dalam. Gaya pasif yang terjadi dapat juga disebabkan oleh karena adanya *slope* pada timbunan. Untuk lebih jelasnya, dapat



Gambar 9. Hasil numeris perpindahan horisontal tanah dasar struktur tanpa perkuatan

dilihat dari hasil *output* yang diberikan *Plaxis* sebagai berikut pada **Gambar 10**.

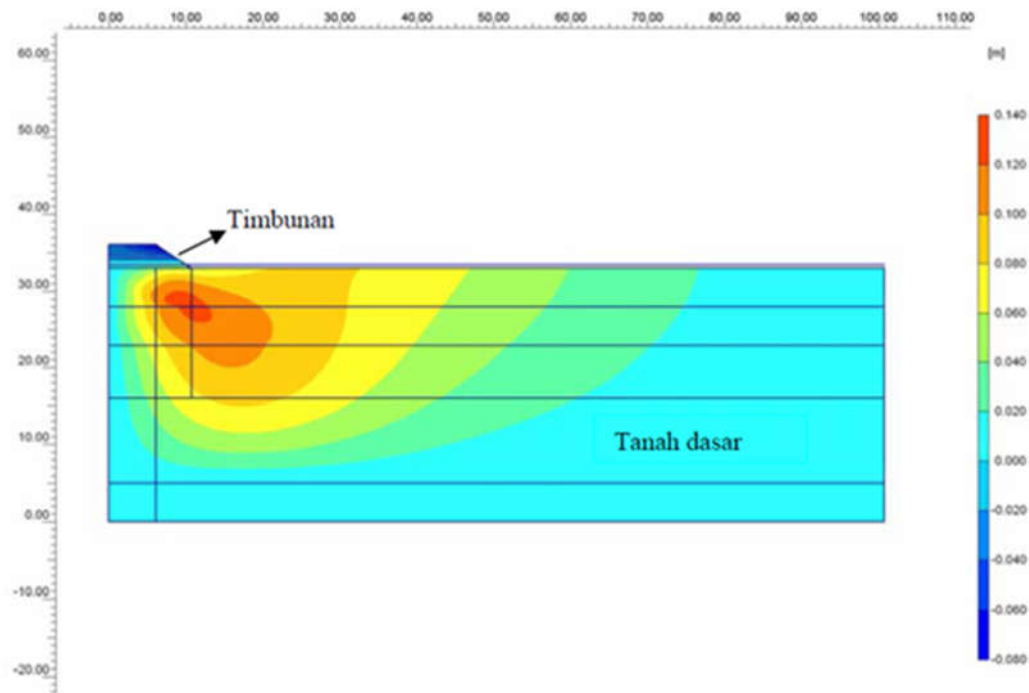
Dari **Gambar 10**, dapat terlihat pola pergerakan horisontal tanah dasar. Pergerakan terbesar terletak pada tanah dasar di bawah kaki timbunan (warna merah menunjukkan nilai yang terbesar), sebelum akhirnya bergerak ke atas dan menyebabkan terjadinya *heaving*. Validasi hasil pengukuran *inclinometer* dan hasil numeris, dapat dilihat pada **Gambar 11**.



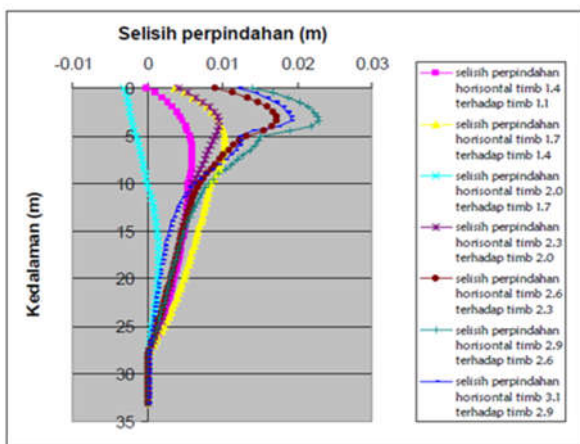
Gambar 11. Validasi hasil pengukuran lapangan dan numeris untuk perpindahan horisontal tanah dasar

Dapat terlihat dari gambar di atas, nilai perpindahan horisontal yang lebih kecil pada hasil pengukuran *inclinometer* dibandingkan dengan hasil numeris pada tahap timbunan 1,1 meter. Hal ini dapat disebabkan karena keterbatasan data sehingga dilakukan penyederhanaan data timbunan yang mengakibatkan untuk timbunan 1,1 meter, *properties* timbunan di atas muka air dan di bawah muka air adalah sama. Pada kenyataannya, kuat geser yang terjadi pada tanah di bawah muka air adalah lebih kecil. Selisih perpindahan horisontal pada tiap tahap penimbunan dapat dilihat pada **Gambar 12**.

Pada **Gambar 12**, terlihat bahwa selisih perpindahan tiap tahap penimbunan adalah sangat bervariasi. Hal ini dapat disebabkan oleh waktu konsolidasi yang berbeda pada tiap tahap penimbunan.



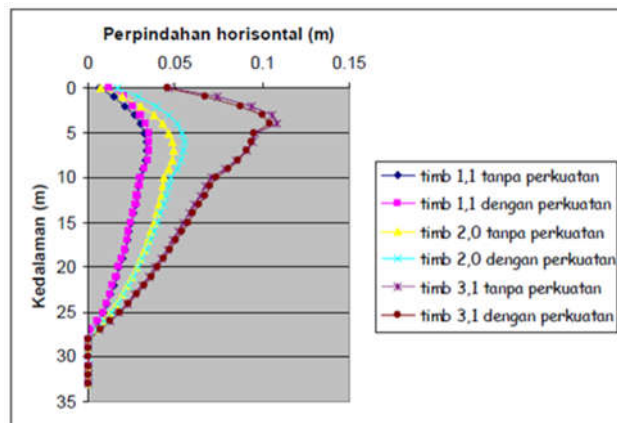
Gambar 10. Hasil numeris pola perpindahan horisontal pada akhir konstruksi struktur tanpa perkuatan



Gambar 12. Hasil numeris selisih perpindahan horisontal tiap tahap timbunan struktur tanpa perkuatan

Seperti pada grafik 'selisih perpindahan horisontal timbunan 2,0 meter terhadap timbunan 1,7 meter, selisih perpindahan horisontal adalah negatif sampai kedalaman 10 meter, yang mengindikasikan tanah cenderung bergerak ke arah dalam timbunan. Pergerakan tersebut disebabkan oleh karena adanya gaya pasif dari timbunan yang mendorong tanah dasar ke arah dalam. Terjadinya gaya pasif pada timbunan tersebut dipengaruhi oleh waktu konsolidasi yang cukup lama pada tahap penimbunan 2,0 meter. Selain itu, pada tahap timbunan sebelumnya yaitu pada timbunan 1,7 meter, waktu konsolidasi adalah yang paling lama dari seluruh waktu konsolidasi tahap timbunan yang lain, sehingga memberikan waktu bagi tanah timbunan memberikan gaya pasifnya.

Pengaruh perkuatan geogrid terhadap perpindahan horisontal dapat dilihat pada Gambar 13.

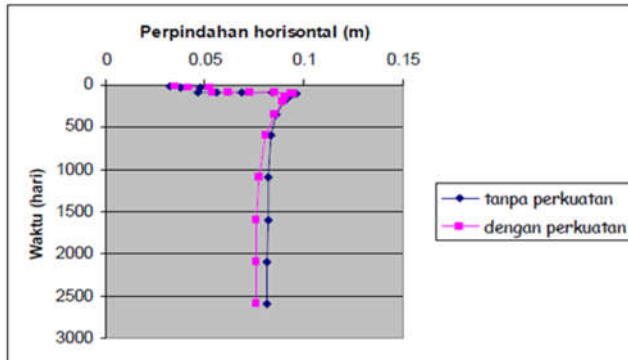


Gambar 13. Perbandingan numeris perpindahan horisontal antara struktur tanpa perkuatan dengan struktur perkuatan

Dari Gambar 13, dapat terlihat pada awal konstruksi timbunan, nilai perpindahan horisontal yang lebih besar pada struktur perkuatan. Hal ini dapat disebabkan pada struktur perkuatan, tegangan tarik pada geogrid bekerja untuk mencegah terjadinya *failure* pada timbunan, sehingga timbunan dapat lebih padat. Dengan timbunan yang lebih padat, gaya aktif pada tanah dasar akibat timbunan juga dapat lebih besar. Dapat terlihat juga pada gambar, selisih perpindahan horisontal antara struktur tanpa perkuatan dengan struktur perkuatan yang semakin kecil, sehingga pada akhir konstruksi perpindahan horisontal pada struktur perkuatan menjadi lebih kecil. Hal ini dapat disebabkan karena pengaruh gaya aktif akibat timbunan yang semakin kecil dengan bertambahnya beban timbunan akibat adanya perkuatan.

Perpindahan horisontal tanah dasar yang dapat direduksi pada akhir pelaksanaan konstruksi timbunan adalah mencapai sebesar 9 %.

Perpindahan horisontal akan semakin lebih kecil pada struktur dengan perkuatan seiring dengan waktu (Gambar 14). Hal ini disebabkan karena pada struktur perkuatan, gaya pasif pada tanah dasar yang lebih besar akibat tanah timbunan yang lebih padat.



Gambar 14. Perbandingan numeris perpindahan horisontal berdasarkan waktu antara struktur tanpa perkuatan dengan struktur perkuatan

6. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Perkuatan geogrid pada dasar timbunan, mampu mereduksi penurunan vertikal. Pada timbunan bertahap, dengan beban yang lebih besar, penurunan yang direduksi dapat lebih besar. Perpindahan vertikal tanah dasar yang dapat direduksi pada akhir pelaksanaan konstruksi timbunan adalah mencapai sebesar 14 %.
2. Perkuatan geogrid pada dasar timbunan, dapat mereduksi perpindahan horisontal. Pada awal timbunan bertahap, perpindahan horisontal yang terjadi pada struktur dengan perkuatan, dapat lebih besar. Dengan bertambahnya beban, selisih perpindahan horisontal dengan struktur tanpa perkuatan akan semakin kecil sehingga perpindahan horisontal pada struktur perkuatan menjadi lebih kecil pada akhir konstruksi timbunan. Perpindahan horisontal tanah dasar yang dapat direduksi pada akhir pelaksanaan konstruksi timbunan adalah mencapai sebesar 9 %.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM, 2003, *Annual Books of ASTM Standards*, Vol 04.13 (Geosynthetics), Easton, MD, USA.
- Balai Geoteknik Jalan, 2002, *Laporan Faktual Pengujian Laboratorium Jalan Lingkar Kaliwungu*, Semarang, Puslitbang Prasarana Transportasi, Departemen Pekerjaan Umum, Ujungberung, Bandung.
- Britto, A.M. and Gunn, M.J., 1987, *Critical State Soil*

Mechanics Via Finite Elements, Ellis Horwood Limited, Chichester, West Sussex, England.

Desai, C.S., 1979, *Elementary Finite Element Method*, Prentice-Hall Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.

Koerner, R.M., 2005, *Designing With Geosynthetics*, Fifth Edition, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

Panduan Geoteknik 1, 2002, *Proses Pembentukan dan Sifat-sifat Dasar Tanah Lunak*, Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah.

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

Weaver, W. and Johnston, P.R., 1989, *Finite Element for Structure Analysis*, Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey.

