

ANALISIS MATERIAL RINGAN DENGAN MORTAR BUSA PADA KONSTRUKSI TIMBUNAN JALAN

Deni Hidayat^{1*}, Yusep Muslih Purwana², Florentina Pungky Pramesti³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil, Magister Pemeliharaan dan Rehabilitasi Infrastruktur,
Universitas Sebelas Maret, Surakarta
Jalan Ir. Sutami 36 A, Ketingan, Surakarta, 57126, Jawa Tengah
*E-mail: denigohidayat@gmail.com

ABSTRAK

Penggunaan teknologi lintas atas (*overpass*) diharapkan dapat mengatasi kemacetan pada perlintasan sebidang tanpa mengganggu pergerakan transportasi yang ada. Konstruksi timbunan sering dihadapi pada beberapa masalah pekerjaan timbunan, diantaranya permasalahan penurunan akibat berat sendiri timbunan badan jalan dan akibat beban lalu lintas kendaraan. Permasalahan tersebut dapat diatasi salah satu opsinya menggunakan timbunan ringan yang dikembangkan sebagai inovasi teknologi karena mempunyai sifat *self compacted* menjadi material pengganti berkualitas tinggi (*high grade soil*). Teknologi ini di luar negeri mulai banyak digunakan terutama di Jepang diterapkan pada konstruksi timbunan dibelakang abutmen jembatan, perkuatan dan pembentukan lereng galian atau lereng proteksi yang tegak karena keterbatasan lahan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan perbandingan deformasi pada tanah dasar akibat beban timbunan menggunakan timbunan konvensional dengan timbunan ringanyang dianalisis menggunakan program Plaxis. Metode dalam penelitian ini adalah deskriptif kualitatif, yaitu penelitian dengan mengumpulkan data primer dan sekunder dari parameter serta variabel yang diteliti kemudian dianalisis untuk diambil kesimpulan. Data-data yang digunakan mencakup data tanah dasar dan timbunan yang diambil dari lokasi penelitian. Hasil penelitian berdasarkan program Plaxis, teknologi penggunaan timbunan ringan memberikan nilai penurunan lebih kecil jika dibandingkan dengan timbunan konvensional. Penggunaan timbunan ringan dapat mengurangi beban timbunan karena beratnya ringan, kekuatan cukup tinggi untuk subgrade, berat isi dan kuat tekan dapat didesain sesuai keinginan sehingga dapat mengurangi dampak penurunan pada jalan di atasnya.

Kata Kunci: penurunan, Plaxis, timbunan ringan, lintas atas

ABSTRACT

The use of technology cross over (overpass) is hoped able to overcome traffic congestion at crossings railroad without disturbing the movement of transportation. Embankment construction frequently facing on embankment problems, including the deformation in due to load self embankment of the road and effect load vehicle traffic. These problems insurmountable one options use lightly embankment developed as technological innovations because they have of the nature of self compacted become immaterial a substitute for high quality (the high grade soil). This technology abroad start much used especially in japan applied on embankment construction behind bridge abutmen, bracing and the formation of the excavation or erect protective slope because of land limited. This research aims to get a comparison of deformation on subgrade effect to the load of the embankment using a conventional embankment with a light embankment were analyzed using Plaxis programs. Method in this research was descriptive qualitative, namely research with collecting primary and secondary data of parameter and variable subjects then analyzed in order to taken conclusion. The data used includes subgrade data and embankment taken from research locations. The results of the research based on plaxis program, technology the use of light embankment put a value of decrease of smaller compared to conventional. The use of light embankment can reduce the load of the embankment because of the load of the light, the power is high enough to subgrade, density and

unconfined can be designed according to the wishes so as to reduce the impact of the deformation on the road above.

keyword: *deformation, plaxis, light embankment, overpass*

1. PENDAHULUAN

Kemacetan seringkali terjadi pada daerah perkotaan akan berdampak pada perkembangan ekonomi dan budaya masyarakat setempat. Kemacetan ini dapat diminimalisir dengan membuat alternatif jalur transportasi tidak sebidang seperti lintas atas (*overpass*) tanpa mengganggu pergerakan transportasi yang telah ada. Kestabilan konstruksi timbunan pada *overpass* ini perlu diperhatikan berkaitan dengan kondisi tanah dasar dengan kapasitas dukung yang rendah karena sering dihadapi pada beberapa masalah diantaranya permasalahan penurunan akibat berat sendiri timbunan badan jalan dan akibat beban lalu lintas kendaraan. Permasalahan tersebut dapat diatasi salah satu opsinya menggunakan timbunan ringan yang dikembangkan sebagai inovasi teknologi karena mempunyai sifat *self compacted* menjadi material pengganti yang berkualitas tinggi (*high grade soil*).

Hal penting dalam penggunaan material sebagai bahan timbunan jalan yaitu mempunyai daya dukung yang baik sebagai subgrade maupun pondasi bawah perkerasan jalan, serta tidak menimbulkan permasalahan akibat berat sendiri terhadap tanah dasarnya (Febrijanto, 2008). Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan perbandingan deformasi pada tanah dasar akibat beban timbunan menggunakan timbunan konvensional dengan timbunan ringan yang dianalisis menggunakan program Plaxis. Penggunaan teknologi timbunan ringan ini akan mengurangi beban timbunan karena beratnya ringan, kekuatan cukup tinggi sebagai subgrade, berat isi dan kuat tekan dapat didesain sesuai keinginan sehingga dapat mengurangi dampak penurunan pada jalan di atasnya. Kajian dan analisis perlu dilakukan untuk mengetahui kinerja teknologi ini yang disesuaikan dengan kondisi di Indonesia.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Material Ringan dengan Mortar Busa

2. Metode

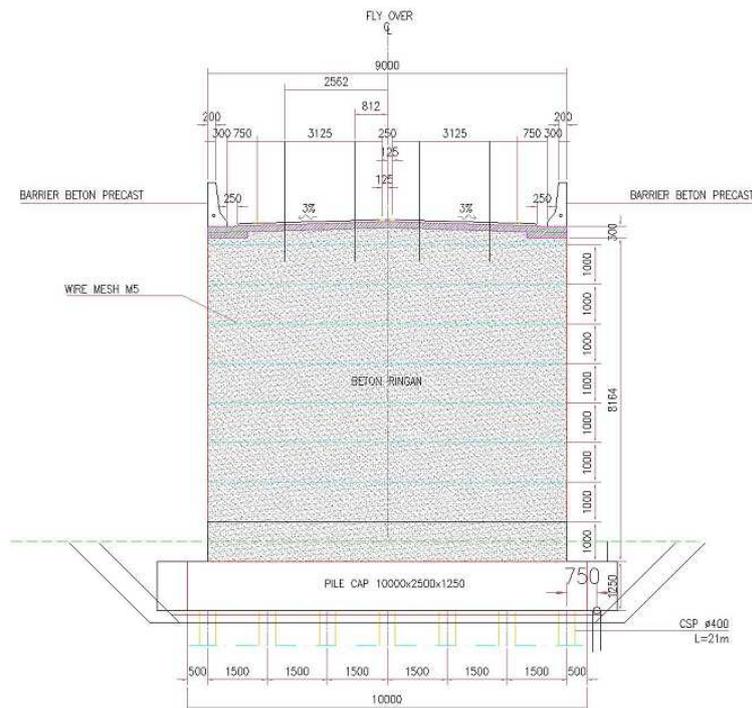
Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah deskriptif kualitatif, yaitu penelitian dengan mengumpulkan data primer dan sekunder dari parameter serta variabel yang diteliti kemudian dianalisis untuk diambil kesimpulan. Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini adalah dengan cara mencari keterangan yang bersifat primer maupun sekunder untuk nantinya dipergunakan sebagai bahan penelitian. Data primer adalah data yang diperoleh melalui penyelidikan tanah di lapangan dan pengujian di laboratorium. Penyelidikan geoteknik harus dilakukan untuk mendapatkan informasi kondisi bawah tanah dengan data-data yang diperlukan yaitu: Bor Log dan SPT, sifat-sifat fisik tanah (w , G_s , γ , LL , PL , PI , SL , LS , KL), sifat-sifat mekanis tanah (c , ϕ , C_c , C_v). Data sekunder yang diperoleh yaitu denah *overpass* dan laporan hasil penelitian lain yang terkait dengan penelitian ini.

Penelitian ini dimulai dengan mengidentifikasi permasalahan melalui studi literatur terkait masalah penggunaan material ringan dengan mortar busa sebagai material untuk mengurangi penurunan akibat berat sendiri timbunan badan jalan dan akibat beban lalu lintas kendaraan. Penelitian dilanjutkan dengan pengumpulan data sekunder yang diperoleh dari studi literatur dan hasil korelasi antar parameter. Data yang terkumpul kemudian dianalisis menggunakan program Plaxis 8,6 dengan pendekatan menggunakan material ringan dengan mortar busa dan material tanpa mortar busa sebagai bahan material pada konstruksi timbunan. Hasil keluaran program yang diperoleh kemudian akan dibandingkan pengaruh penggunaan material ringan dengan mortar busa dan material tanpa mortar busa terhadap deformasi timbunan yang kemudian dilakukan penarikan kesimpulan.

Desain timbunan ringan dengan mortar busa yang dilakukan mempunyai lebar 9,0 m dan tinggi 8,2 m. Timbunan ringan di cor setiap layer dengan ketebalan kurang lebih 300

mm dan setiap interval 1,0 m dilapis dengan wire mesh. Diatas timbunan ringan adalah lapisan perkerasan dengan kemiringan 3% sedangkan posisi barrier yang terbuat dari

bahan beton precast berada di sisi kiri dan kanan. Desain timbunan ringan secara detail ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Potongan konstruksi timbunan ringan

Penggunaan material timbunan dengan mortar busa yaitu menggunakan metode campuran rasio tertentu antara semen, foam dengan material tanah/pasir. Material yang digunakan bisa berupa material setempat atau material yang diperoleh dari lokasi lain seperti pasir. Penambahan foam pada campuran mortarkan mengembang hingga 4 (empat) kali volume awal sehingga kebutuhan material dapat dikurangi bila dibandingkan dengan material tanpa campuran foam (Handayani, 2007).

Metode ini dimaksudkan untuk mendapatkan nilai berat isi dan kekuatan yang direncanakan sesuai kebutuhan. Pembuatan rancangan campuran diperoleh berdasarkan perhitungan dan percobaan di laboratorim untuk mendapatkan komposisi material campuran timbunan dengan mortar busa, sehingga diperoleh mortar busa yang sesuai dengan target yang diinginkan.

Foam agent merupakan cairan yang apabila dicampur dengan air dan diberikan tekanan udara tertentu akan membentuk busa yaitu senyawa kimia dominan yang teridentifikasi dalam cairan pembentuk busa diantaranya: *1-dodecanol*, *methoxyacetic acid tridecyl ester* dan *1-tetradecanol* dapat juga disebut cairan *surfactant* yang memiliki karakteristik kimia yang hampir sama dengan air. Fungsi dari *foam agent* ini adalah untuk menstabilkan gelembung udara selama pencampuran dengan cepat dan mendapatkan campuran mortar dengan berat isi yang ringan serta dapat didesain sesuai dengan rencana.

Pembuatan busa dilakukan pencampuran cairan busa dan air dengan menggunakan *foam generator* dan *compressor*. Pembentukan busa dilakukan dengan pemeriksaan berat isinya (standar $0,04 \pm 0,005 \text{ t/m}^3$) dan cukup dilakukan 1 kali dalam tiap pencampuran. Material campuran terdiri dari semen, pasir, air

dan semua material dicampur menggunakan *hand mixer* dengan variasi komposisi material sesuai dengan perhitungan. Hal ini dimaksudkan agar bisa diperoleh spesifikasi material ringan dengan mortar busa yang dikehendaki.

Pemanfaatan *foam* (busa) untuk membentuk material ringan dapat diperoleh kriteria – kriteria mempunyai berat yang ringan sehingga nilai berat isi (*density*) dari material campuran atau mortar tersebut mempunyai berat isi 5-12 kN/m³. Nilai *flow* (*flowability*) pada *foam* (busa) diindikasikan

untuk memudahkan pelaksanaan dilapangan bila menggunakan alat penyemprot sehingga mencapai jarak yang ideal, nilai *flow* umumnya berkisar 180±20 mm. Pelaksanaan pekerjaan timbunan dengan mortar busa yaitu mudah disemprotkan bila menggunakan alat mesin penyemprot dan dapat memadat sendiri karena berperilaku seperti mortar beton dimana material campuran tersebut mengeras sesuai dengan waktu pemeraman (*curing*) yang ditetapkan. Adapun peralatan dan bahan campuran material ringan dengan mortar busa seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Peralatan dan Bahan Percobaan Pencampuran Mortar Busa (Pusjatan, 2009)

Stabilitas dan besarnya penurunan pada timbunan jalan bergantung pada berat timbunan. Timbunan material ringan dengan mortar busa dapat mengurangi berat timbunan dan mengurangi penurunan serta

ketidakstabilan yang berlebihan. Timbunan ringan untuk bangunan jalan didesain agar menghasilkan material ringan yang memenuhi persyaratan dengan kriteria desain seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Kriteria desain untuk bangunan jalan (Kemen PU, 2011)

Desain	Umur Pemeraman (hari)	Kuat Tekan Minimum/UCS (kPa)	Maksimum Berat Isi (Densitas) (t/m ³)
Lapis	3	600	
Pondasi	7	750	0,6
	14	800	

Parameter Modulus Elastisitas, E_c , untuk timbunan dengan mortar busa diestimasi dengan menggunakan persamaan untuk beton ringan (*lightheight concrete*) dari AASHTO (2010):

$$E_c = 33000 \cdot K_1 \cdot w_c^{1.5} \cdot \sqrt{f_c} \dots \dots \dots (1)$$

dengan

E_c : Modulus Elastisitas

3.2 Pembebanan

Beban merata yang digunakan dalam pemodelan ini untuk besarnya beban lalu lintas

K_1 : faktor koreksi untuk jenis beton. Dapat diambil nilai 1 terkecuali telah ditentukan secara uji fisik.

w_c : berat isi beton (kcf)

f_c : kuat tekan agregat (ksi) dalam hal ini dapat dipakai nilai UCS hasil dari uji mortar busa.

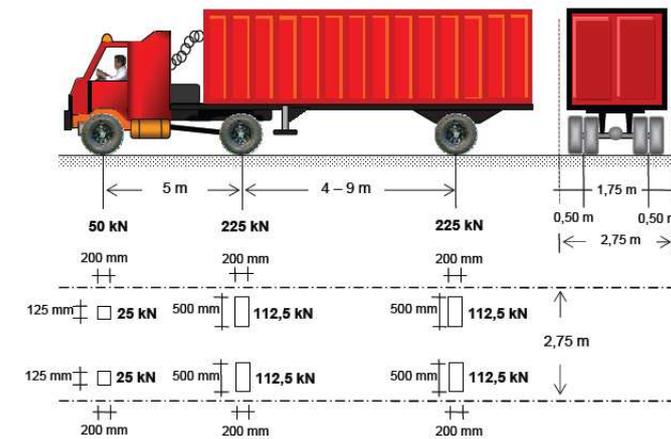
yang diizinkan untuk analisis timbunan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Beban Lalu Lintas untuk Analisis Stabilitas (Kimpraswil, 2002b).

Kelas Jalan	Beban Lalu Lintas (kPa)
I	15
II	12
III	12

Pembebanan yang diberlakukan pada jembatan jalan raya mengacu pada standar RSNI T-02-2005 Pembebanan Untuk Jembatan. Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan menggunakan beban truk "T" dengan Pemodelan kondisi paling kritis, maka dilakukan permodelan dengan beban terpusat menggunakan beban gandar terbesar, yaitu 112,5 kN. Beban truk "T" adalah satu

kendaraan berat dengan 3 as yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap as terdiri dari dua bidang kontak pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat. Pembebanan truk "T" terdiri dari kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat as seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Pembebanan Truk "T"

3.3 Plaxis

Plaxis adalah program analisis geoteknik menggunakan metode elemen hingga yang mampu melakukan analisis yang dapat mendekati perilaku sebenarnya. Geometri tanah yang akan dianalisis memungkinkan untuk diinput dengan cukup teliti. Plaxis dilengkapi fitur-fitur khusus yang berhubungan

dengan banyak aspek dari struktur geometri yang kompleks. Permasalahan geoteknik membutuhkan suatu model untuk mensimulasi perilaku non-linear suatu tanah dan pengaruh waktu. Plaxis memberikan beberapa pilihan model dalam memecahkan masalah. Plaxis juga menyediakan berbagai analisis tentang displacement, tegangan dan regangan yang

terjadi pada tanah, faktor keamanan dan lain-lain.

Parameter-parameter penelitian yang digunakan dalam analisis ini menggunakan data-data seperti propertis material ringan

dengan mortar busa dan data tanah dasar. Berikut ini adalah data-data yang digunakan dalam analisis menggunakan Plaxis seperti ditunjukkan pada Tabel 3, 4 dan 5.

Tabel 3 Properti material ringan

Properti	Nilai
Densitas	6 kN/m ³
Modulus Elastisitas (Ec)	892634,5 kN/m ²
Angka pori (v)	0,2
Beban merata	15 kPa
Beban terpusat	112,5 kN

Tabel 4 Properti material timbunan tanah konvensional

Properti	Nilai
Berat isi (γ)	17 kN/m ³
Kohesi (c)	10 kN/m ²
Sudut geser dalam (ϕ)	25 ⁰
Modulus kekakuan	9000 kN/m ²

Tabel 5 Tanah dasar

Properti	Nilai
Berat isi (γ)	9 kN/m ³
Kohesi (c)	10 kN/m ²
Sudut geser dalam (ϕ)	22 ⁰
Modulus kekakuan	3000 kN/m ²

Program Plaxis merupakan salah satu program dibidang Geoteknik yang berdasarkan metode elemen hingga. Analisis pada program Plaxis dimulai dari pemodelan geometri, tanah dan lain sebagainya. Material timbunan dengan mortar busa dan tanah dasar dimodelkan menurut kriteria *Linier Elastic* dan *Mohr*

Coulomb. Analisis dilakukan dengan asumsi pembebanan untuk 2 (dua) kondisi yaitu beban merata sebesar 15 kPa dan beban terpusat (beban gandar belakang truk standar) sebesar 112.5 kN. Adapun parameter-parameter material tersebut ditunjukkan pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6 Parameter Model *Linear Elastic* Timbunan Ringan

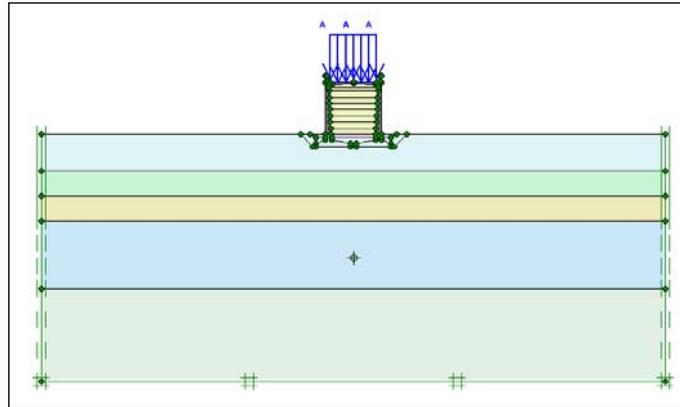
Jenis Material	Tipe	g_unsat [kN/m ³]	g_sat [kN/m ³]	k_x [m/day]	k_y [m/day]	v [-]	E_ref [kN/m ²]
Beton ringan	Non-porous	6	6	0	0	0,2	892634,5

Tabel 7 Parameter Model *Mohr Coloumb* Timbunan tanah

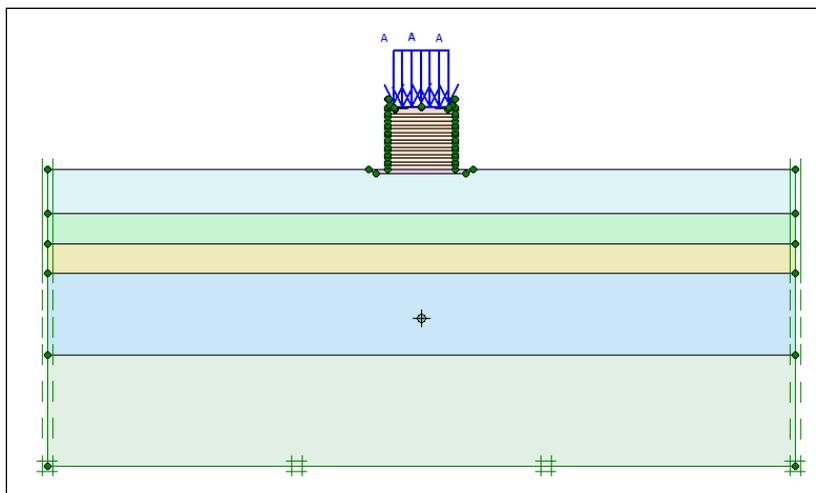
Jenis Material	Tipe	γ_{unsat} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	k_x [m/day]	k_y [m/day]	n [-]	E_ref [kN/m ²]	c_ref [kN/m ²]	phi [°]	ψ [°]
Silty clay	UnDrained	9	16	0,0001	0,0001	0,33	3000	10	22	0
Silty clay	UnDrained	9	16	0,0001	0,0001	0,33	7500	10	22	0
Sandy clay	UnDrained	16	17	0,0001	0,0001	0,33	50	15	25	0
Sandy clay	Drained	16	18	0,0001	0,0001	0,33	37500	20	25	0
Clayey sand	Drained	17	18,5	0,0001	0,0001	0,33	40000	5	38	0

Model geometri potongan melintang pada timbunan konvensional ditunjukkan pada Gambar 4 sedangkan model geometri potongan melintang pada timbunan ringan akibat beban

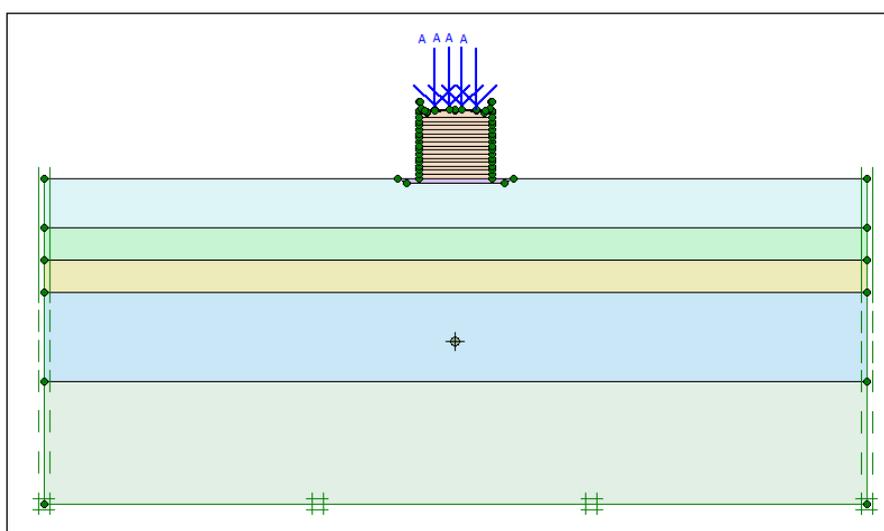
merata dan timbunan ringan akibat beban terpusat ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 4 Model geometri timbunan konvensional



Gambar 5 Model geometri timbunan ringan akibat beban merata



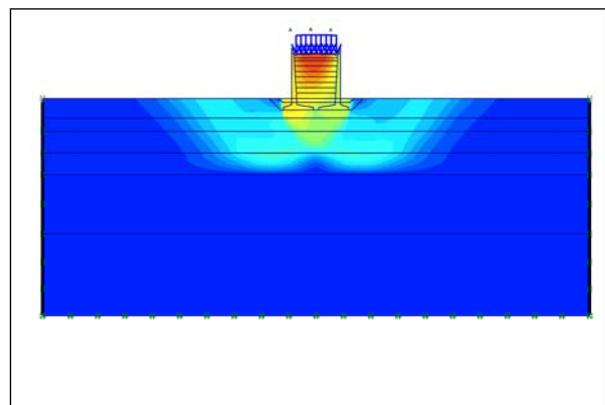
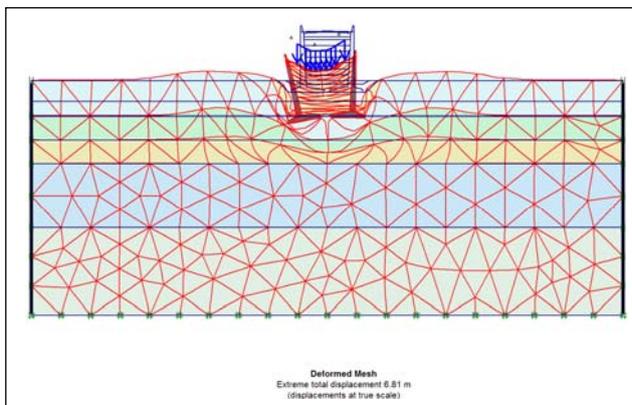
Gambar 6 Model geometri timbunan ringan akibat beban terpusat

Hasil keluaran (*output*) program Plaxis untuk timbunan konvensional, timbunan ringan akibat beban merata dan timbunan ringan akibat beban terpusat adalah sebagai berikut:

Kondisi jaring elemen terdeformasi pada timbunan merupakan kondisi dimana jaring-elemen-hingga mengalami deformasi. Deformasi yang dimaksud bisa dalam bentuk penurunan dan juga bentuk pengembangan. Nodal-nodal yang bekerja pada Gambar 7, 8 dan 9 tersebut mengalami penurunan. Hal ini bisa dianalogikan elemen-elemen tanah yang mengalami pergerakan atau penurunan ke bawah akibat adanya beban yang bekerja

diatasnya. Hal Ini juga bisa kategorikan sebagai perpindahan total elemen-elemen tanah yang terjadi akibat adanya faktor-faktor yang bekerja, seperti tegangan vertikal dan tekanan air pori.

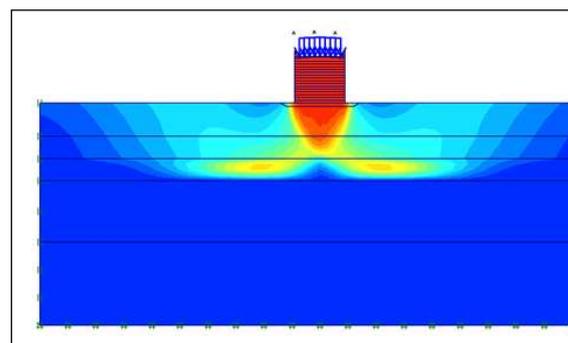
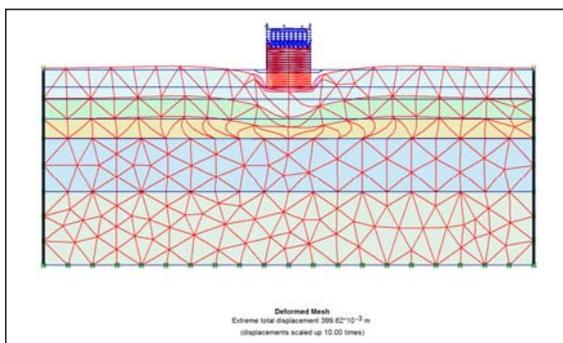
Hasil analisis pada timbunan konvensional menunjukkan bahwa tanah dasar tidak mampu menahan beban berat timbunan sendiri yang berupa material tanah karena pada model terlihat bahwa oprit jembatan mengalami deformasi yang sangat besar yaitu lebih dari 6 m seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Pola dan besarnya deformasi konstruksi timbunan konvensional

Hasil analisis pada timbunan ringan akibat beban merata menunjukkan bahwa deformasi yang terjadi sebesar 39,9 mm. Penyebabnya adalah karena tebal lapisan

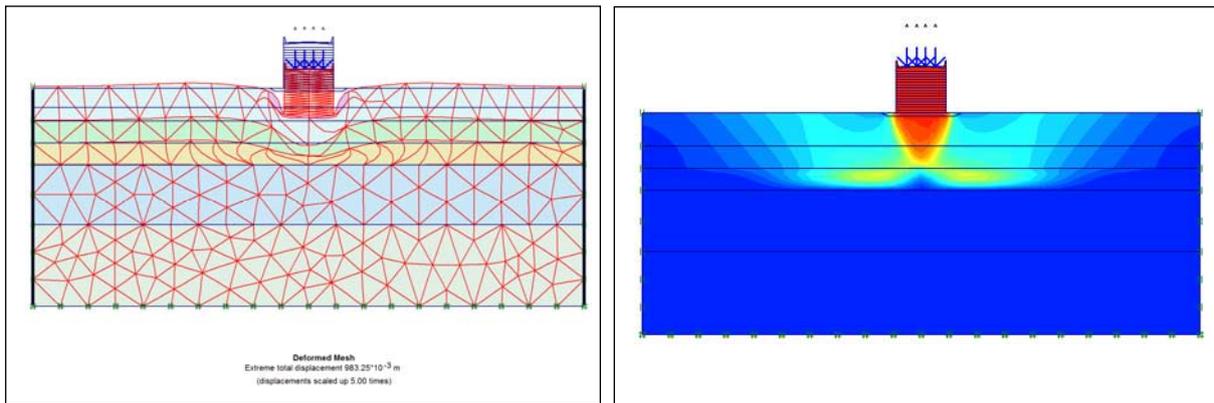
berupa pasir yang cukup tebal sehingga penurunan terbesar terletak pada lokasi dilakukannya timbunan ringan seperti terlihat pada Gambar 9.



Gambar 8 Pola dan besarnya deformasi konstruksi timbunan dengan mortar busa akibat beban merata

Hasil analisis pada timbunan ringan akibat beban terpusat menunjukkan bahwa deformasi yang terjadi sebesar 98,3mm. Penyebabnya adalah karena tebal lapisan berupa pasir yang cukup tebal sehingga penurunan terbesar terletak pada lokasi

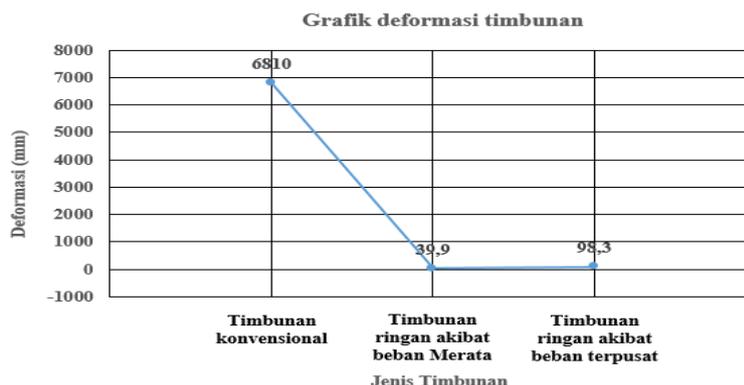
dilakukannya timbunan ringan seperti terlihat pada Gambar 10.



Gambar 9 Pola dan besarnya deformasi konstruksi timbunan dengan mortar busa akibat beban terpusat

Hasil analisis dari 3 (tiga) jenis timbunan, jika digambarkan dalam bentuk grafik semakin jelas terlihat, bahwa penggunaan material ringan dengan mortar

busa dapat mereduksi besarnya penurunan dibandingkan timbunan konvensional seperti ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10 Grafik perbandingan nilai deformasi dan persentase deformasi pada timbunan

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis perhitungan timbunan dengan mortar busa dan timbunan tanpa mortar busa menggunakan program Plaxis, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Penggunaan material ringan dengan mortar busa sebagai material pengisi timbunan memberikan beberapa keuntungan yaitu deformasinya lebih rendah jika dibandingkan dengan timbunan konvensional. Penurunan tanah dasar akibat konstruksi timbunan konvensional mengalami penurunan sebesar 6810 mm, sedangkan apabila menggunakan timbunan ringan akibat

beban merata 39,9 mm dan timbunan ringan akibat beban terpusat 98,3 mm.

2. Hasil analisis menggunakan Plaxis juga menunjukkan bahwa tanah dasar tidak mampu menahan beban berat timbunan sendiri yang berupa material tanah karena pada model terlihat bahwa oprit jembatan mengalami deformasi yang sangat besar yaitu lebih dari 6 meter. Dalam hal ini terlihat bahwa penggunaan material ringan untuk konstruksi timbunan jalan dapat mereduksi besar penurunan dibandingkan timbunan yang menggunakan tanah urugan biasa.

5. Saran

Perlu adanya perbandingan perhitungan analisis menggunakan program Plaxis dan perhitungan manual pada deformasi timbunan konvensional dengan timbunan ringan

6. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Yusep Muslih, ST., MT., Ph.D. dan Ibu Florentina Pungky Pramesti, ST., MT., Ph.D. selaku dosen pembimbing tesis yang telah memberikan bimbingan, arahan serta bantuan selama berlangsungnya penelitian ini.

7. DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO, 2010. *LRFD Bridge Design and Specification*. Fifth Edition. Washington DC. United States of America.
- Aldiamar, 2015. *Laporan Akhir: Paket Kerja Teknologi Overpass Menggunakan Struktur Baja Bergelombang*. Laporan Penelitian Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan. Indonesia. Departemen Pekerjaan Umum.
- Brinkgreve, R.B.J. & Broere. 2008. 2D – Version 9.0 Manual, Delft University of Technology & PLAXIS b. v., The Netherlands.
- Czesław Machelski, 2015. *Stiffness Of Railway Soil-Steel Structures*. Studia Geotechnica et Mechanica. Vol. 37, No. 4. Wrocław University of Technology.
- Febrijanto, 2008. *Laporan Akhir Penyusunan DED Uji Coba Skala Penuh Timbunan Badan Jalan Dengan Material Ringan*. Laporan Penelitian Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan. Departemen Pekerjaan Umum.
- Handayani, 2007. *Timbunan Badan Jalan Dengan Bahan Timbunan Ringan*. Laporan Penelitian Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan. Indonesia. Departemen Pekerjaan Umum.
- Hidayat dan Suhendra, 2011. *Aplikasi Geofom Sebagai Material Timbunan Di Atas Tanah Lunak*, ComTech Vol.2 No. 1 Juni 2011: 106-116, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Binus University, Jakarta Barat.
- Iqbal, 2012. *Kajian Penanganan Tanah Lunak Dengan Timbunan Jalan Mortar Busa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan. Bandung.
- Irdhiani, 2008. *Pemanfaatan Beton Styrofoam Ringan Sebagai Pengganti Tanah Urug Pada Raft Footing Untuk Meningkatkan Jumlah Beban Di Atas Tanah Lunak*. Jurnal SMARTek, Vol. 6, No. 1, Pebruari 2008: 1 – 8.
- Kemen. PU, 2011. *Konsensus R0 Pedoman Perencanaan Timbunan Jalan dengan Menggunakan Material Ringan Beton Busa*. Kementerian Pekerjaan Umum.
- Kimpraswil. 2002b. Pt T-10-2002-B. *Panduan Geoteknik 4: Desain dan Konstruksi*. Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah (Kimpraswil).
- Sutubadi and Khatibi, 2013. *Effect of soil properties on stability of soil-steel culverts*. Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences, 37: 79 – 90. Department of Civil Engineering. University of Tabriz. Tabriz. Iran.
- Tian Wenling et al, 2009. *Application Of Foamed Concrete In Road Engineering*. Civil Engineering Institute of Hebei University of Technology (Civil Engineering Technology Research Center of HeBei Province). Tianjin.