

Evaluasi Stabilitas dan Penurunan antara Timbunan Ringan Mortar Busa Dibandingkan dengan Timbunan Pilihan pada Oprit Jembatan (Studi Kasus: Flyover Antapani, Kota Bandung)

HAMDAN ATAMINI, BENNY MOESTOFA

Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung.
Email: hamdanatm08@gmail.com

ABSTRAK

Ada berbagai solusi yang dapat dilakukan agar suatu struktur dapat dibangun di atas tanah lunak. Salah satu solusi itu adalah pengurangan beban dengan menggunakan timbunan ringan. Analisis stabilitas dan penurunan dilakukan dengan membandingkan timbunan ringan (mortar busa) dan timbunan pilihan (tanah merah laterit) menggunakan perangkat lunak Plaxis Professional 8.6 berdasarkan metode elemen hingga. Penelitian ini menggunakan model Mohr-Coulomb untuk timbunan pilihan, sedangkan model Elastisitas Linier untuk timbunan ringan. Studi kasus ini dilakukan pada proyek Flyover Antapani (Kota Bandung, Jawa Barat). Penggunaan timbunan ringan menghasilkan nilai penurunan sebesar 3,53 cm dan faktor keamanan (FK) 2,74, sedangkan untuk timbunan pilihan nilai penurunannya sebesar 13,79 cm dengan faktor keamanan (FK) 1,36. Akhirnya dapat disimpulkan bahwa penggunaan timbunan ringan di atas tanah lunak akan menghasilkan penurunan lebih kecil (<74,40%) dengan faktor keamanan lebih besar (>50,36%) dibandingkan dengan timbunan pilihan.

Kata kunci: tanah lunak, timbunan, penurunan, faktor keamanan.

ABSTRACT

There are various solutions for a structure to be built on soft soil. One of these solutions is reduction of load using lightweight material embankment. Stability and settlement of the structure will be analyzed through comparison between lightweight embankment (foam mortar) with selected fill (lateritic soil) using Plaxis Professional 8.6 software based on Finite Element Method (FEM). This research use Mohr-Coulomb modeling for the selected fill, by using linier elasticity modelling for the lightweight embankment. A case study for this was conducted on Antapani Flyover project (Bandung, West Java). Resulting a settlement value of 3.53 cm with safety factor of 2.74 by using lightweight embankment, and a settlement value of 13.79 cm with safety factor of 1.36 by using the selected fill. Finally, the use of a lightweight material embankment on soft soil ground decrease settlement value (<74.40%) and increase safety factor (>50.36%).

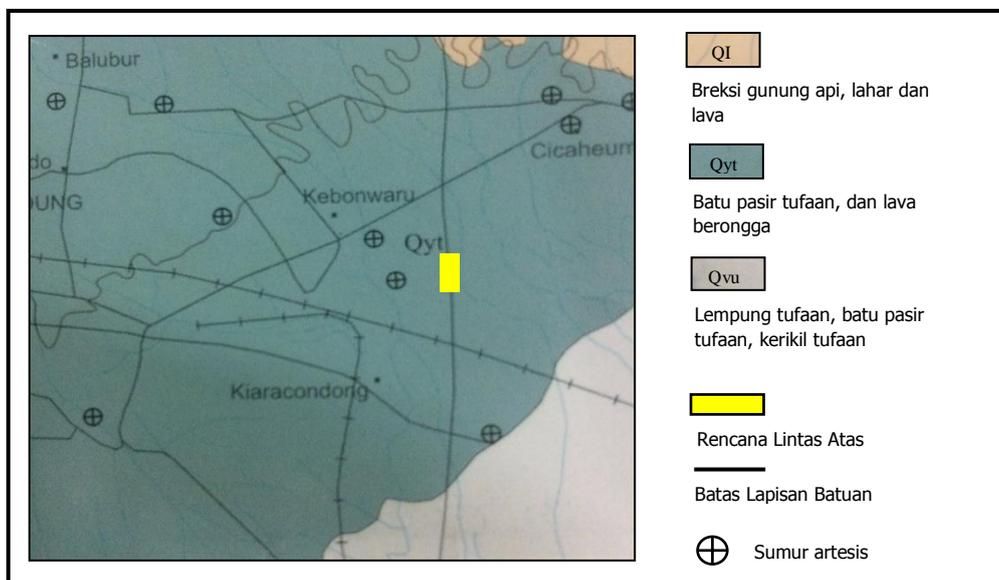
Keywords: soft soil, embankment, settlement, safety factor.

1. PENDAHULUAN

Ada berbagai solusi yang dapat dilakukan agar suatu struktur dapat dibangun di atas tanah lunak. Salah satu solusi itu adalah pengurangan beban dengan menggunakan material ringan mortar busa. Timbunan ringan ini merupakan salah satu solusi untuk mengatasi masalah penurunan dan stabilitas timbunan oprit jembatan. Timbunan ringan dibuat dengan mencampurkan bahan cairan pembentuk busa (*foam agent*) untuk membentuk mortar dengan berat isi yang rendah. Dengan karakteristik timbunan ringan tersebut, tegangan vertikal yang diterima tanah lunak akan jauh lebih kecil dibandingkan dengan timbunan pilihan, sehingga masalah penurunan dan stabilitas timbunan dapat diatasi.

Dalam Tugas Akhir ini dilakukan evaluasi terhadap perilaku dan kinerja deformasi stabilitas dan penurunan timbunan ringan Mortar Busa dibandingkan timbunan pilihan tanah merah laterit. Selain harga yang terjangkau dan mudah didapat, tanah merah laterit sangat banyak digunakan sebagai material timbunan, karena sifat tanahnya berbutir sedang sampai kasar serta mudah dipadatkan, sehingga cocok digunakan sebagai bahan timbunan oprit jembatan.

Manfaat kegiatan penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi tentang sejauh mana efektivitas penggunaan timbunan ringan mortar busa dibandingkan timbunan pilihan tanah merah laterit pada oprit jembatan di atas tanah lunak. Geologi lokal studi kasus flyover Antapani, Kota Bandung dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Peta geologi lokal Flyover Antapani (Sumber: Silitonga, 1973)

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah Lunak

Tanah lunak merupakan tanah kohesif yang terdiri dari sebagian besar butir-butir yang sangat halus seperti lempung atau lanau. Tanah lunak secara umum mempunyai karakteristik sebagai berikut:

1. Kuat geser rendah.
2. Bila kadar air bertambah, kuat gesernya berkurang.
3. Bila struktur tanah terganggu, kuat gesernya berkurang.
4. Bila basah bersifat plastis dan mudah mampat.
5. Menyusut bila kering dan mengembang bila basah.
6. Memiliki kompresibilitas yang besar.

7. Berubah volume dengan bertambahnya waktu akibat rangkai pada beban yang konstan.

2.2 Timbunan Ringan Mortar Busa

Material timbunan ringandengan mortar busa terdiri dari campuran antara cairan *foaming agent*, semen, air dan pasir. Timbunan ringan mortar busa memiliki beberapa kriteria sebagai berikut:

1. Mempunyai berat yang ringan, sehingga nilai kepadatan dari material campuran mortar busa tersebut mempunyai nilai densitas 0,5 – 1,2 t/m³.
2. Mempunyai nilai flow (kekentalan adukan) yang diindikasikan untuk memudahkan pelaksanaan di lapangan. Nilai flow yang diisyaratkan pada pedoman geoteknik umumnya berkisar 180 + 20 mm.
3. Saat pelaksanaan mudah disemprotkan dengan menggunakan alat mesin penyemprot dan dapat padat sendiri, karena berperilaku seperti mortar beton, dimana material campuran tersebut dapat mengeras sesuai dengan waktup emeraman (*curing time*) yang ditetapkan.
4. Mempunyai kuat tekan yang cukup tinggi.

Agar menghasilkan material ringan yang memenuhi persyaratan, maka dibuatlah desain timbunan ringan dengan mortar busa untuk bangunan jalan dengan kriteria desain seperti tampak pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Kriteria Desain Mortar Busa untuk Bangunan Jalan

Desain Mix Formula	Kuat Tekan Minimum 14 hari		Densitas kering maksimum [gr/cm ³]
	[kPa]	[kg/cm ²]	
1. Lapis fondasi-bawah atau <i>subbase</i>	800	8	0,6
2. Lapis fondasi atau <i>base</i>	2.000	20	0,8

(Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015)

2.3 Timbunan Pilihan

Jenis tanah yang dapat digunakan sebagai material timbunan pilihan untuk timbunan oprit jembatan adalah tanah berbutir sedang hingga kasar. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 3 – 2010 (2010), timbunan yang diklasifikasikan sebagai timbunan pilihan harus terdiri dari bahan tanah atau batu yang memenuhi semua ketentuan di atas dan memiliki sifat-sifat tertentu yang tergantung dari maksud penggunaannya. Seluruh timbunan pilihan harus memiliki nilai CBR paling sedikit 10% setelah 4 hari perendaman. Bahan timbunan pilihan yang digunakan, baik pada lereng, pekerjaan stabilisasi timbunan atau pada situasi lainnya memerlukan kuat geser yang cukup. Apabila dilaksanakan dengan pemadatan kering normal, maka timbunan pilihan dapat berupa timbunan batu atau kerikil bergradasi baik atau lempung pasiran atau lempung berplastisitas rendah. Jenis bahan yang dipilih tergantung pada kecuraman dari lereng timbunan yang akan dibangun atau pada tekanan yang akan dipikul.

2.4 Stabilitas

Stabilitas ditunjukkan dengan nilai Faktor Keamanan (FK). Timbunan dianggap berada pada titik kritis keruntuhan jika faktor keamanan (FK) = 1, serta berada pada kondisi stabil jika FK yang dimiliki lebih besar dari satu (FK > 1) atau dengan kata lain memiliki kekuatan yang lebih (*reserve strength*). Berikut kriteria FK minimum untuk kondisi jangka pendek atau selama masa pelaksanaan timbunan yang diperlihatkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Faktor Keamanan Minimum untuk Perhitungan Stabilitas

Kelas Jalan	Faktor Keamanan
I	1,4
II	1,4
III	1,3
IV	1,3

(Sumber: Pd T-11-2005-B, 2005)

2.5 Penurunan

Kriteria penurunan timbunan selama masa konstruksi serta kecepatan penurunan yang disyaratkan dapat dilihat pada **Tabel 3**. Dimana s adalah jumlah penurunan selama masa konstruksi dan S_{tot} adalah penurunan total yang diperkirakan. Kriteria ini berlaku untuk timbunan jalan di atas tanah dasar yang lunak.

Tabel 3. Kriteria Penurunan Timbunan

Kelas Jalan	Penurunan yang Disyaratkan Selama Masa Konstruksi, s/S_{tot}	Kecepatan Penurunan Setelah Konstruksi [mm/tahun]
I	> 90%	< 20
II	> 85%	< 25
III	> 80%	< 30
IV	> 75%	< 30

(Sumber: Pt T-10-2002-B, 2002)

2.6 Plaxis Professional 8.6 (Berbasis Metode Elemen Hingga)

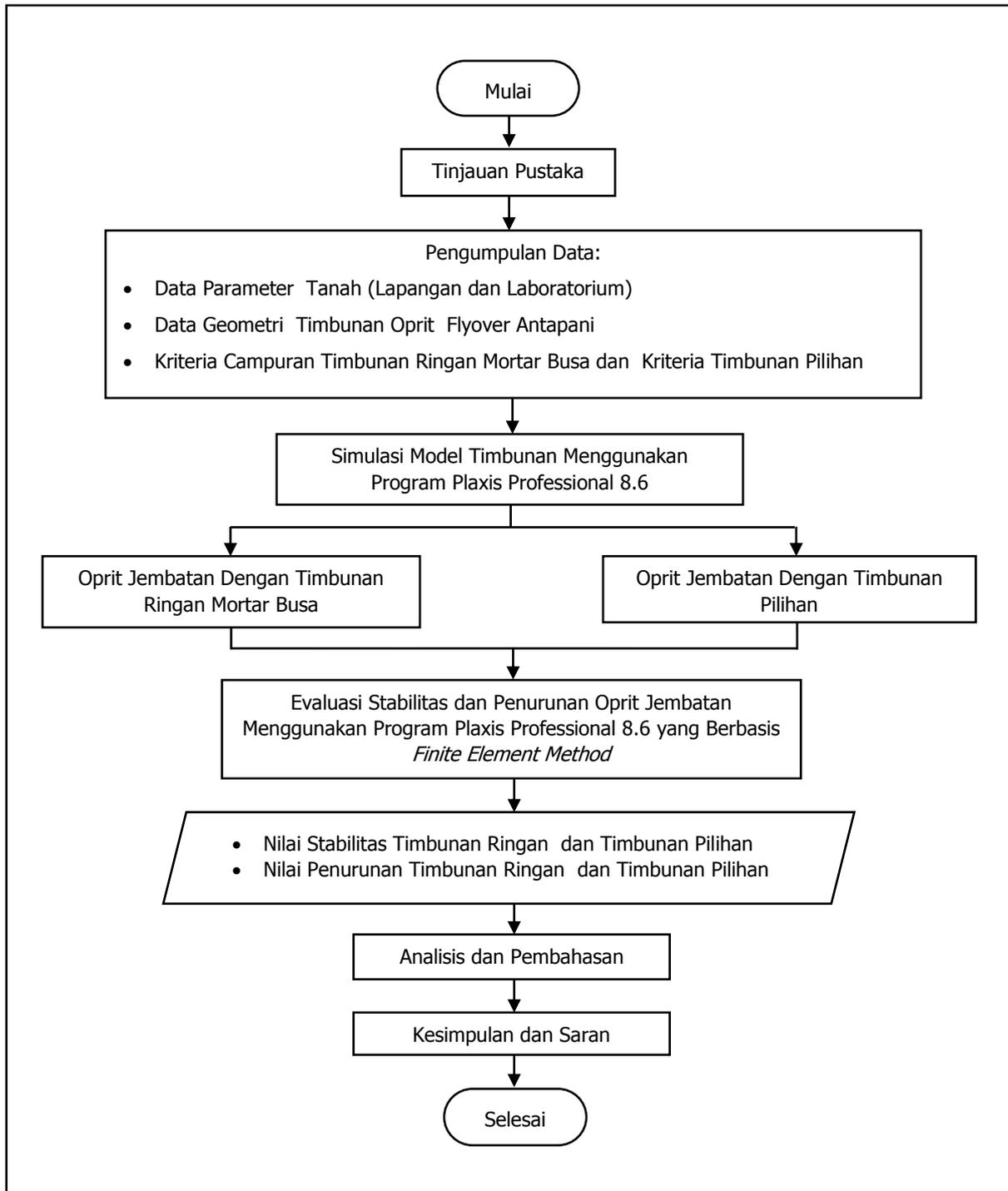
Metode elemen hingga (*Finite Element Method*) adalah metode perhitungan yang didasarkan pada konsep diskretisasi, yaitu pembagian suatu sistem struktur, massa atau benda padat menjadi elemen-elemen yang lebih kecil. Metode elemen hingga juga merupakan metode pendekatan, semakin kecil pembagian elemen-elemen kecil semakin akurat perhitungan pendekatan melalui metode elemen hingga. Metode ini dapat digunakan untuk mengetahui deformasi ataupun tegangan yang terjadi pada suatu elemen yang disebabkan oleh distribusi beban atau gaya.

Plaxis adalah program analisis geoteknik, terutama untuk analisis stabilitas dan penurunan tanah berbasis metode elemen hingga, dan mampu melakukan analisis yang dapat mendekati perilaku sebenarnya. Dengan bantuan program Plaxis, tanah dapat dimodelkan untuk mengetahui perilaku tanah tersebut. Untuk menganalisis timbunan pada oprit jembatan dan lapisan-lapisan tanah di bawahnya dapat dimodelkan dengan cepat dan tepat.

3. ANALISIS DATA

3.1 Tahapan Kegiatan Penelitian

Untuk memberikan gambaran yang jelas tentang tahapan kegiatan penelitian yang dilakukan, maka dapat dilihat bagan alir penelitian pada **Gambar 2**:



Gambar 2. Bagan alir penelitian

3.2 Parameter Timbunan

Parameter timbunan ringan mortar busa disesuaikan berdasarkan data yang ada pada lokasi studi kasus, sedangkan untuk timbunan pilihan menggunakan tanah merah laterit, baik dengan maupun tanpa dinding penahan tanah (DPT) berupa beton. Parameter timbunan dan material pendukung lainnya dapat di lihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Parameter Timbunan dan Material Pendukunglain yang Digunakan

Jenis	Material Model	Drainage Type	γ_{unsat} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	v'	C [kN/m ²]	ϕ [°]	E' [kN/m ²]
Perkerasan	Linier Elastic	Non porous	24	24	0,15	-	-	27.805.575
Timbunan Ringan 800 kPa	Linier Elastic	Non porous	6	6	0,15	-	-	578.470
Timbunan Pilihan	Mohr-Coulomb	Undrained	18	19	0,3	5	25	10.000
Dinding Penahan Tanah	Linier Elastic	Non porous	24	24	0,15	-	-	27.805.575

3.3 Parameter Tanah Dasar

Berdasarkan hasil penyelidikan lapangan dan pengujian laboratorium yang dilakukan Pusat Penelitian Jalan dan Jembatan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, maka parameter tanah dasar pada lokasi studi kasus dapat dilihat pada **Tabel 5**.

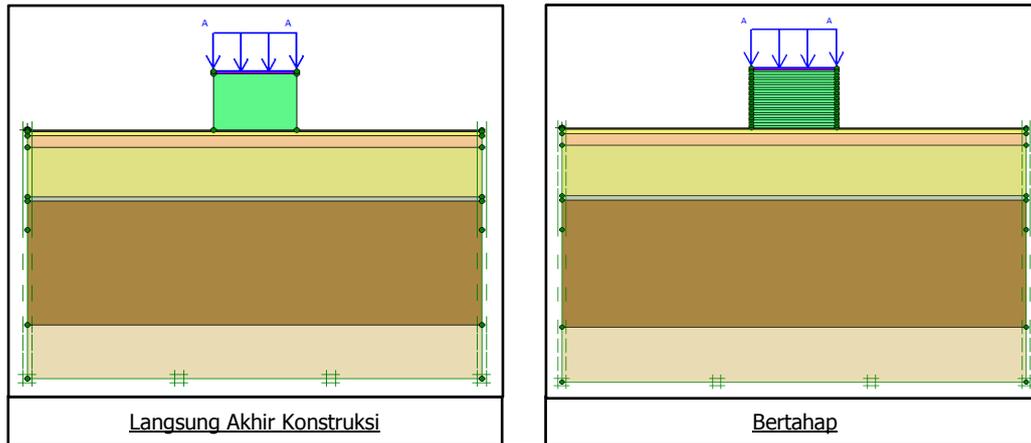
Tabel 5. Parameter Tanah Dasar

Kedalaman	Jenis	Material Model	Drainage Type	γ_{unsat} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	C [kN/m ²]	ϕ [°]	v'	E' [kN/m ²]	λ^*	K^*
0,0 - 0,2	Aspal	Linier Elastic	Non porous	24	24	-	-	0,15	200.000	-	-
0,2 - 0,7	Gravel	Mohr Column	Drained	21	22	-	35	0,3	300.000	-	-
0,7 - 2,0	Clayey Silt	Soft Soil	Undrained	14,9	15,9	44	-	0,3	-	0,085	0,017
2,0 - 8,0	Clayey Silt	Mohr Column	Undrained	14,9	15,9	37	-	0,3	9.250		
8.0 - 8,5	Silty Sand	Mohr Column	Drained	16,9	17,9	2	34,7	0,3	9.300	-	-
8,5 - 23,5	Sand, Gravel	Mohr Column	Drained	23	24	-	41,0	0,3	68.400		
23,5 - 30,0	Sand	Mohr Column	Drained	19	20	-	35,7	0,3	15.083	-	-

3.4 Pemodelan dan Hasil Analisis Stabilitas dan Penurunan pada Mortar Busa

Pemodelan timbunan sesuai dengan data dari studi kasus Flyover Antapani dengan lebar 9 m dan tinggi 7,15 m. Timbunan dimodelkan dengan dua sudut pandang, yaitu secara langsung pada akhir konstruksi dan bertahap sesuai tebal lapisan per 30 cm. Dua sudut pandang ini untuk membedakan apakah secara bertahap yang dilakukan pada studi kasus dapat mengurangi penurunan maupun meningkatkan stabilitas timbunan dibandingkan metode secara langsung pada akhir konstruksi. Pemodelan dilakukan dengan bantuan Plaxis Professional 8.6 yang dapat dilihat pada **Gambar 3**.

Evaluasi Stabilitas dan Penurunan antara Timbunan Ringan Mortar Busa Dibandingkan dengan Timbunan Pilihan pada Oprit Jembatan (Studi Kasus: Flyover Antapani, Kota Bandung)

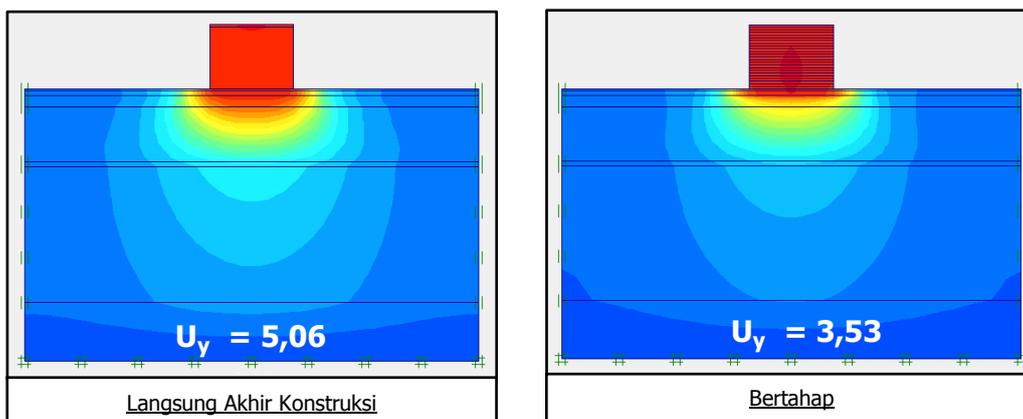


Gambar 3. Pemodelan timbunan ringan

Dari hasil analisis diperoleh besarnya nilai penurunan dan nilai faktor keamanan timbunan ringan mortar busa yang dapat dilihat pada **Tabel 6**, dan diagram deformasinya dapat dilihat pada **Gambar 4**.

Tabel 6. Hasil Analisis Plaxis Professional 8.6 Timbunan Ringan Mortar Busa

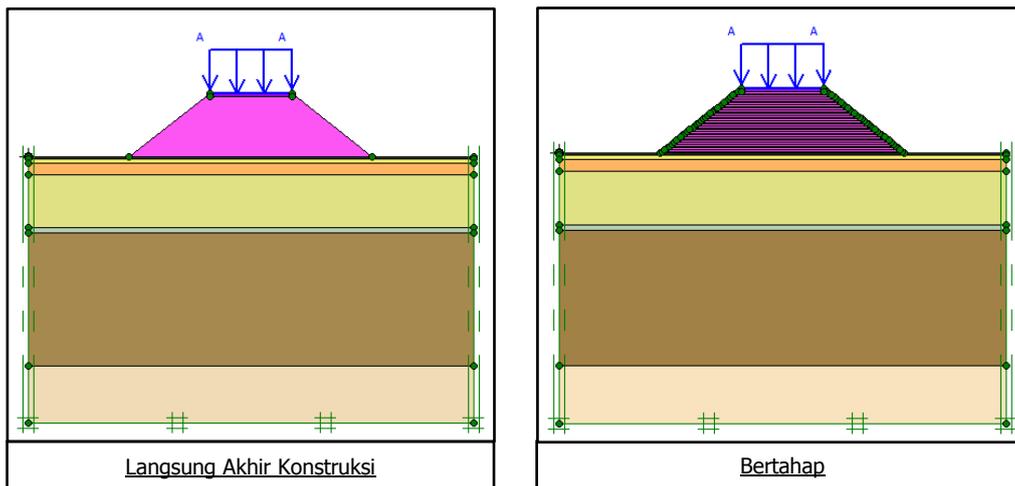
Model Analisis	Penurunan [cm]	Faktor Keamanan
Langsung Akhir Konstruksi	5,06	2,34
Bertahap	3,53	2,74



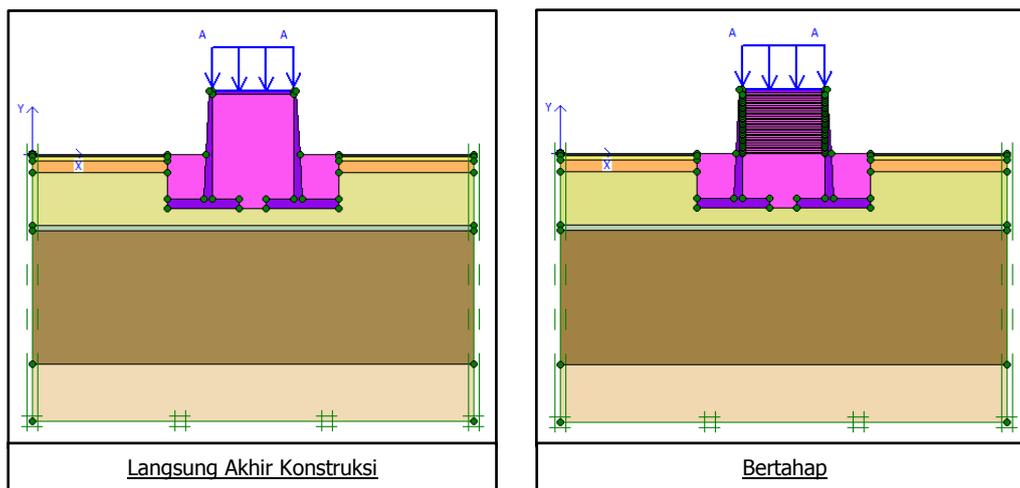
Gambar 4. Diagram deformasi (U_y) timbunan ringan

3.5 Pemodelan dan Hasil Analisis Stabilitas dan Penurunan pada Timbunan Pilihan

Apabila timbunan pilihan diperlakukan seperti timbunan ringan (dimensi sesuai kondisi studi kasus) dengan ketinggian 2,8 m, maka timbunan akan runtuh. Untuk itu pemodelan timbunan dilakukan dengan dua tipe, yaitu timbunan dengan kemiringan lereng 1:1,25 dan timbunan dengan dinding penahan tanah (DPT) berupa beton. Dua sudut pandang model analisis, baik secara langsung pada akhir konstruksi maupun bertahap dilakukan pula pada timbunan pilihan dengan ketebalan perlapis sebesar 20 cm sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 3 - 2010. Hasil pemodelan menggunakan Plaxis Professional 8.6 dapat dilihat pada **Gambar 5** dan **Gambar 6**.



Gambar 5. Pemodelan timbunan pilihan dengan kemiringan lereng 1:1,25



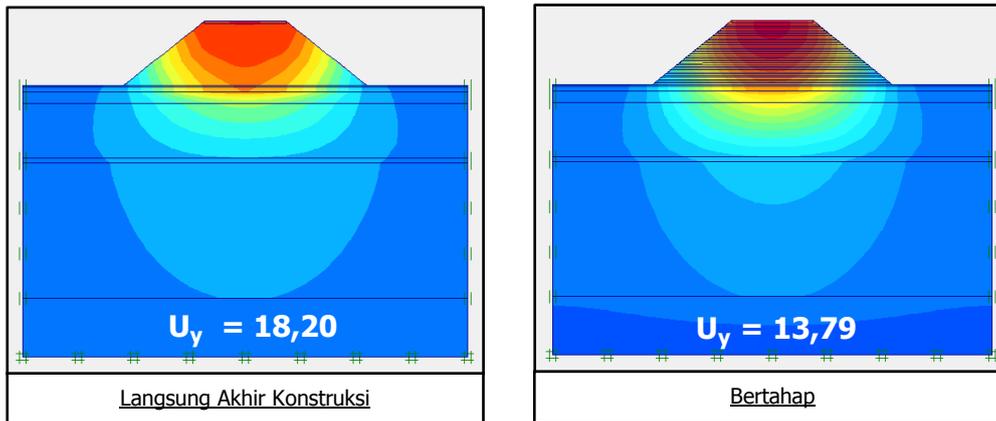
Gambar 6. Pemodelan timbunan pilihan dengan DPT

Dari hasil analisis diperoleh besarnya nilai penurunan dan nilai faktor keamanan timbunan pilihan dengan kemiringan lereng 1:1,25 maupun dengan dinding penahan tanah yang dapat dilihat pada **Tabel 7**, dan diagram deformasinya ditunjukkan pada **Gambar 7**, dan **Gambar 8**.

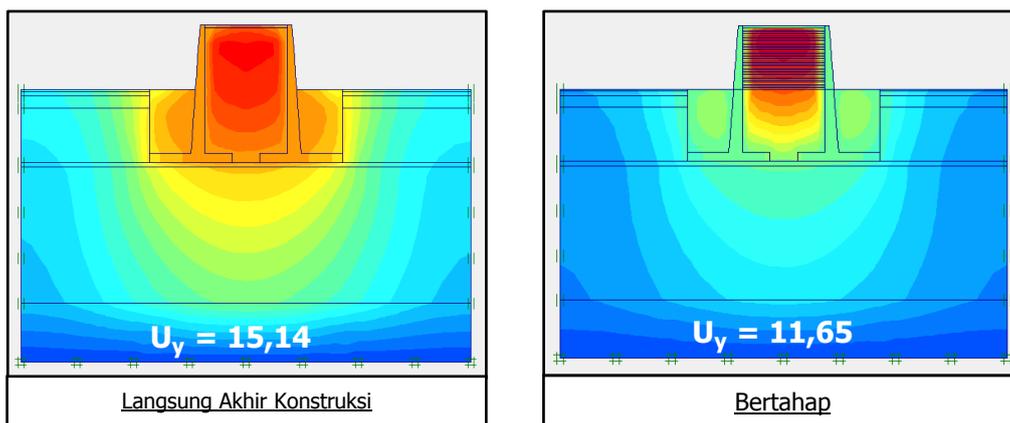
Tabel 7. Hasil Analisis Plaxis Professional 8.6 Timbunan Pilihan (Tanah Laterit)

Model Analisis	Penurunan [cm]	Faktor Keamanan
Langsung Akhir Konstruksi (1:1,25)	18,20	1,15
Bertahap (1:1,25)	13,79	1,36
Langsung Akhir Konstruksi (DPT)	15,14	3,30
Bertahap (DPT)	11,65	3,79

Evaluasi Stabilitas dan Penurunan antara Timbunan Ringan Mortar Busa Dibandingkan dengan Timbunan Pilihan pada Oprit Jembatan (Studi Kasus: Flyover Antapani, Kota Bandung)



Gambar 7. Bidang deformasi (U_y) timbunan pilihan dengan kemiringan lereng 1:1,25



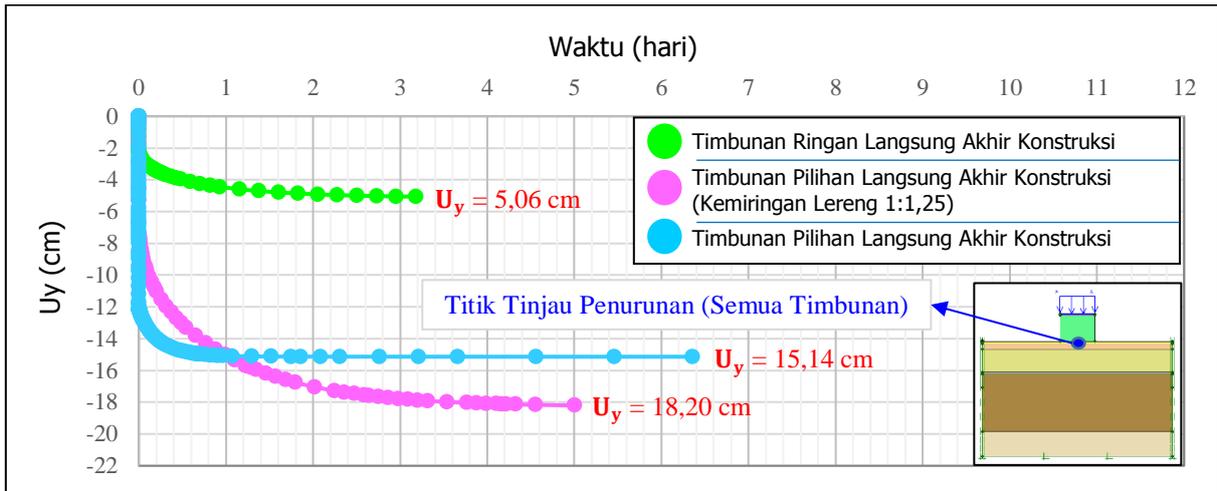
Gambar 8. Bidang deformasi (U_y) timbunan pilihan dengan DPT

3.6 Perbandingan Penurunan dan Stabilitas Antara Timbunan Ringan Mortar Busa dan Timbunan Pilihan

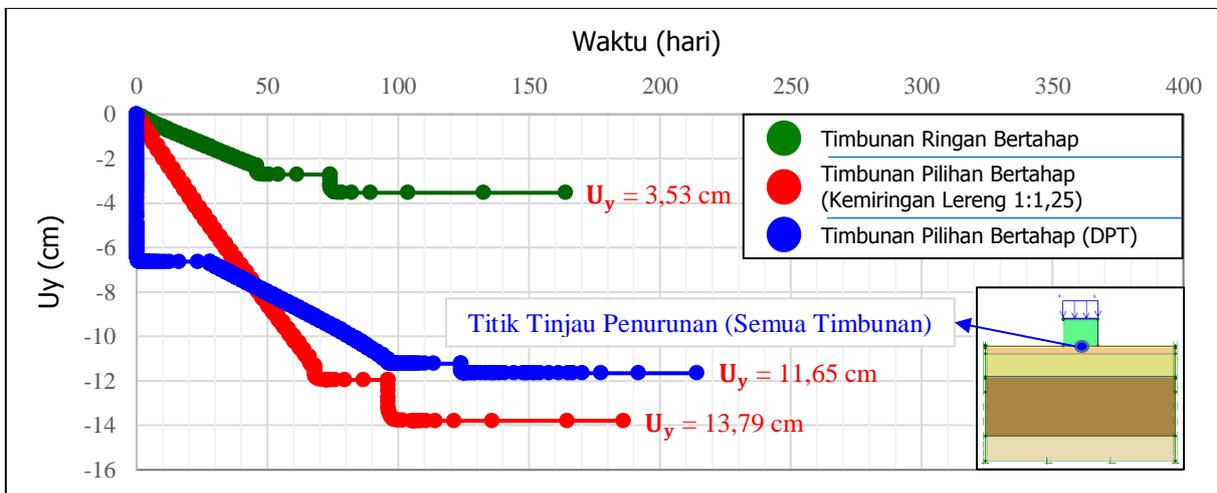
Hasil analisis timbunan oprit jembatan di Flyover Antapani dilakukan dengan membandingkan timbunan ringan mortar busa dan timbunan pilihan tanah merah laterit. Untuk membuktikan efektivitas penggunaan timbunan ringan mortar busa, terutama dapat mengurangi besarnya penurunan dan meningkatkan stabilitas timbunan, maka dilakukan perbandingan tersebut dan hasilnya dapat dilihat pada **Tabel 8**, **Gambar 9**, **Gambar 10** dan **Gambar 11**.

Tabel 8. Perbandingan Timbunan Ringan dan Timbunan Pilihan

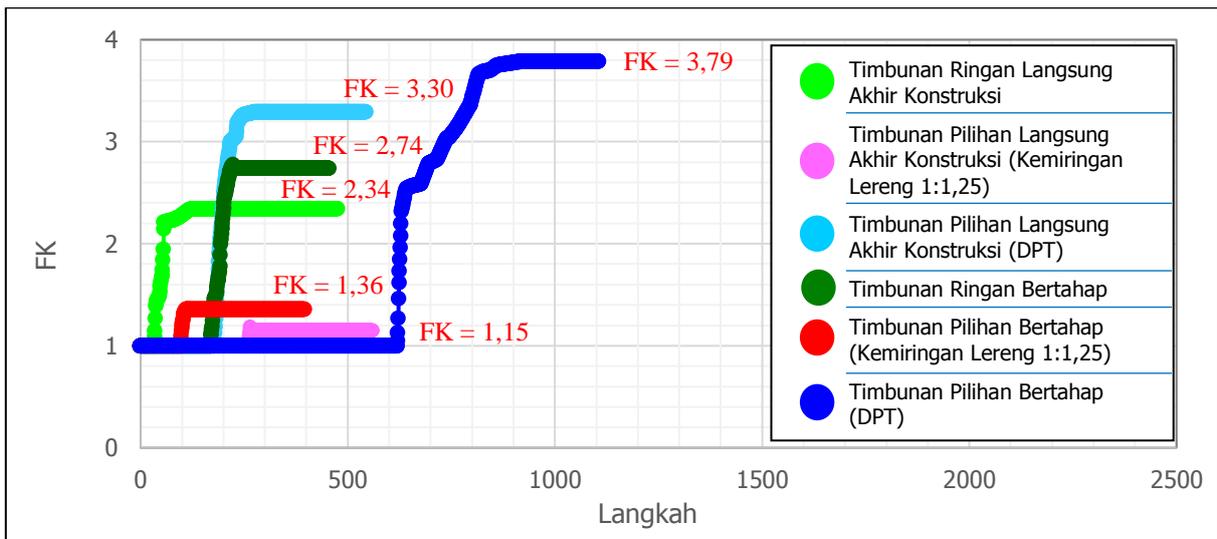
Jenis Timbunan	Model Analisis	Penurunan [cm]	Faktor Keamanan
Timbunan Ringan Mortar Busa	Langsung Akhir Konstruksi	5,06	2,34
Timbunan Pilihan Tanah Laterit (1:1,25)	Langsung Akhir Konstruksi	18,20	1,15
Timbunan Pilihan Tanah Laterit (DPT)	Langsung Akhir Konstruksi	15,14	3,30
Timbunan Ringan Mortar Busa	Bertahap	3,53	2,74
Timbunan Pilihan Tanah Laterit (1:1,25)	Bertahap	13,79	1,36
Timbunan Pilihan Tanah Laterit (DPT)	Bertahap	11,65	3,79



Gambar 9. Grafik perbandingan penurunan timbunan langsung akhir konstruksi



Gambar 10. Grafik perbandingan penurunan timbunan bertahap



Gambar 11. Grafik perbandingan stabilitas (FK) timbunan

4. KESIMPULAN

1. Berdasarkan perbandingan penurunan yang terjadi antara timbunan pilihan tanah merah laterit dan timbunan ringan mortar busa secara bertahap, maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan timbunan ringan mortar busa di atas tanah lunak akan menghasilkan penurunan yang lebih kecil (<74,40%) dibandingkan dengan timbunan pilihan tanah merah laterit, karena timbunan mortar busa dapat mengurangi besarnya penurunan yang terjadi akibat berat isi materialnya ringan.
2. Ditinjau dari nilai faktor keamanan secara bertahap, maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan timbunan ringan di atas tanah lunak akan menghasilkan faktor keamanan yang lebih besar (>50,36%) dibandingkan timbunan pilihan, karena sifat mortar busa yang kaku seperti beton meningkatkan stabilitas timbunan tersebut.
3. Faktor keamanan pada timbunan pilihan tanah merah laterit dengan Dinding Penahan Tanah (DPT) akan lebih besar dibandingkan timbunan ringan mortar busa, karena stabilitas timbunan pilihan telah diatasi dengan DPT, akibat tingkat kekakuan beton yang jauh lebih besar dibandingkan dengan mortar busa.
4. Berdasarkan hasil analisis, maka tampak jelas bahwa penurunan langsung pada akhir konstruksi lebih besar dari pada secara bertahap, karena dengan beban sekaligus akan mengakibatkan tegangan dalam tanah lebih besar dibandingkan secara bertahap.

DAFTAR RUJUKAN

- Departemen Pekerjaan Umum. (2005). *Pd-T-11-2005-B Stabilisasi Dangkal Tanah Lunak untuk Kontruksi Timbunan Jalan (dengan Semen dan Cerucuk)*. Indonesia: Departemen Pekerjaan Umum.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. (2002). *Pt-T-10-2002-B Panduan Geoteknik 4 - Desain dan Kontruksi - Timbunan Jalan pada Tanah Lunak*. Bandung: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- Kementerian Pekerja Umum Direktorat Jenderal Bina Marga. (2010). *Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3, Devisi 3*. Indonesia: Kementerian Pekerjaan Umum.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2015). *Surat Edaran Nomor: 42/SE/M/2015 Tentang Pedoman Perencanaan Teknis Timbunan Material Ringan Mortar Busa untuk Kontruksi Jalan*. Indonesia: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia.
- Silitonga, P.H. (1973). *Peta Geologi Lembar Bandung, Djawa*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.