

Analisis Stabilitas Timbunan Tinggi Pada Mortar Busa Menggunakan Metode Elemen Hingga Pada Proyek Pembangunan Jalan Baru Batas Kota Singaraja - Mengwitani

Lalu Arpi Wartoyo^{1*}, Yudhi Lastiasih¹, Rakhman Taufik², Izzuddin Ismawanto²

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya¹, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jakarta²
Koresponden*, Email: laluarpi85@gmail.com

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	04 Desember 2021	<i>On the location of new road construction of the Singaraja City Border to Mengwitani, there is limited land for right of way (Rumija) due to hilly area conditions. To overcome this problem, it is necessary to design a road embankment construction plan from a material that is safe and light enough, there fore foam mortar lightweight embankment has been found as an alternative method to protect against overload to the ground, with lightweight structural materials and high compressive resistance to support the load of traffic. Based on the current conditions, an analysis of the stability of the lightweight foam mortar will be carried out as an alternative for handling high embankments with vertical slope variations, 1:1, 1:2 and 1:3 and how it affects the earthquakes with Peak Ground Acceleration (PGA) values. 0.5g. The embankment stability analysis will be using Plaxis application. The results of the analysis show that if the embankment is sloping, the greater the safety factor that occurs. Based on the results of this analysis according to the variation of the slope of the upright embankment collapses so that there is no safety factor.</i>
Diperbaiki	09 Februari 2022	
Disetujui	09 Februari 2022	

Keywords: light-weight embankment, Foam Mortar, Slope, Singaraja, Mengwitani, Plaxis 2D

Abstrak

Pada lokasi Pembangunan Jalan Baru Batas Kota Singaraja-Mengwitani ini terdapat keterbatasan lahan untuk ruang milik jalan (Rumija) karena kondisi wilayah yang berbukit. Untuk mengatasi masalah tersebut, perlu adanya desain perencanaan konstruksi timbunan jalan dari material yang aman dan cukup ringan, timbunan ringan mortar busa telah ditemukan sebagai metode alternatif untuk melindungi dari beban berlebih ke tanah, dengan bahan struktur yang ringan dan tahanan tekan yang tinggi untuk menopang beban lalu lintas. Berdasarkan kondisi yang ada saat ini, maka akan dilakukan analisis stabilitas timbunan ringan mortar busa sebagai alternatif penanganan timbunan tinggi dengan variasi kemiringan tegak, 1:1, 1:2 dan 1:3 serta bagaimana pengaruhnya terhadap gempa dengan nilai *Peak Ground Acceleration (PGA)* 0,5g. Analisis stabilitas timbunan menggunakan aplikasi *Plaxis*. Hasil analisis menunjukkan bahwa apabila timbunan semakin landai maka semakin besar pula faktor keamanan yang terjadi. Berdasarkan hasil analisis tersebut variasi kemiringan timbunan tegak mengalami keruntuhan sehingga tidak didapatkan faktor keamanan.

Kata kunci: Timbunan ringan, Mortar Busa, Lereng, Singaraja, Mengwitani, Plaxis 2D

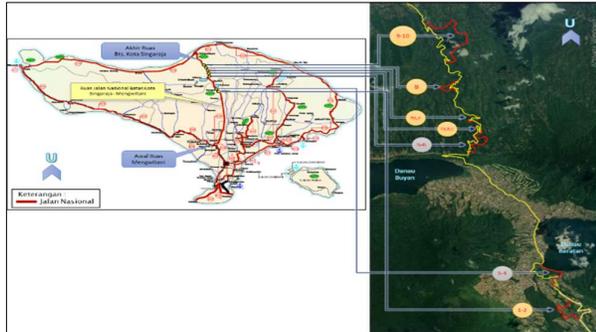
1. Pendahuluan

Pembangunan Jalan Baru Batas Kota Singaraja- Mengwitani adalah salah satu program pemerintah yang dimaksudkan untuk mengurangi waktu tempuh dari kota Denpasar menuju kota Singaraja dan memperbaiki geometrik titik *blackspot* pada ruas jalan Mengwitani-Singaraja dengan mengurangi jumlah tikungan, memperbaiki alinyemen eksisting yang berkelok-kelok dengan tikungan tajam menjadi tikungan yang lebih ideal dengan $R_{min} = 60$ m, memperbaiki kelandaian yang semula antara 8% - 12% menjadi maksimum 6%, lebar jalan yang semula bervariasi maksimum 7 meter dengan bahu 1 m sehingga kurang nyaman apabila dilalui oleh pengguna jalan terutama kendaraan besar menjadi lebar jalan 7 m dengan bahu 2 m diperkeras. Dari **Gambar 1** terdapat

trase jalan serta pembagian segmen dari Pembangunan Jalan Baru Batas Kota Singaraja-Mengwitani.

Pembangunan Jalan Baru Batas Kota Singaraja-Mengwitani dibangun diatas lapisan tanah dengan deskripsi sebagai berikut, Pada kondisi saat ini Pembangunan jalan baru Batas Kota Singaraja-Mengwitani saat ini sudah dilaksanakan Tahap I (SC 5-6) pada tahun 2019 terdapat penanganan timbunan tinggi menggunakan geogrid, kemiringan 1:2 pada ketinggian ± 20 meter, Pembangunan infrastruktur jalan memiliki peran yang sangat vital perkembangan ekonomi suatu daerah, pada lokasi pembangunan jalan ini terdapat keterbatasan lahan untuk Ruang Milik Jalan (Rumija) atau *Right Of Way (ROW)* karena kondisi wilayah yang berbukit, Untuk mengatasi masalah tersebut, perencanaan suatu desain

dituntut untuk mengeksplorasi penggunaan alternatif bahan yang cocok, alternatif geometri timbunan yang diperlukan, efektif dan efisien yang tidak mempengaruhi lokasi, waktu, kualitas, dan biaya dari suatu pekerjaan.



Gambar 1. Trase Pembangunan Jalan Baru Batas Kota Singaraja – Mengwitani [1]

Oleh karena itu perlu adanya desain perencanaan konstruksi timbunan jalan dari material yang aman dan cukup ringan, timbunan ringan telah ditemukan sebagai metode alternatif untuk melindungi dari beban berlebih ke tanah, dengan bahan struktur yang ringan dan tahanan tekan yang tinggi untuk menopang beban lalu lintas, telah dilakukan beberapa penelitian tentang timbunan ringan mortar busa. 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 6.810 mm, sedangkan apabila menggunakan timbunan ringan akibat beban merata 39,9 mm dan timbunan ringan akibat beban terpusat 98,3 mm [2]. Permodelan timbunan ringan mortar busa memiliki faktor aman paling besar dan nilai penurunan yang paling kecil [3].

Letak geografis Indonesia termasuk dalam cincin api pasifik, yang tidak lain gugusan gunung berapi di dunia. Hal ini yang kemudian menjadi penyebab kenapa di Indonesia sering sekali terjadi gempa bumi, baik vulkanik maupun tektonik. Pada 15 Oktober 2021 telah terjadi gempa dengan *magnitude* 5,1 yang berlokasi 18 km barat laut Bedugul dengan kedalaman 10 km [4]. Dengan adanya kejadian gempa tersebut perlu dilakukan analisis stabilitas timbunan tinggi dengan memperhitungkan faktor gempa. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kestabilan timbunan tinggi menggunakan mortar busa dengan variasi kemiringan tegak, 1:1, 1:2 dan 1:3.

2. Metode

A. Studi Pustaka

Penggunaan material ringan telah banyak dilakukan seperti menggunakan roda ban karet atau limbah buangan hasil produksi baja (*slag*), balai pengembangan pusat jalan dan jembatan belum lama ini mengembangkan suatu teknologi material ringan pengganti timbunan menggunakan mortar busa ringan [5].

Material timbunan dengan mortar busa yang merupakan (*foamed embankment mortar*) atau disebut juga sebagai *high grade soil* yang terdiri dari campuran antara pasir + cairan *foaming agent* + semen + air dengan berat isi basah antara $0,5 \text{ t/m}^3$ – $1,2 \text{ t/m}^3$ atau lebih ringan dari timbunan material pilihan (*selected fill*). Material timbunan ringan dengan mortar busa mempunyai beberapa keunggulan diantaranya:

1. ringan dan kekuatannya cukup tinggi untuk *subgrade* dan pondasi perkerasan jalan,
2. berat isi dan kuat tekan campuran ini dapat didesain sesuai kebutuhan,
3. kemudahan dalam pelaksanaan karena dapat memadat sendiri,
4. material campuran mortar busa dapat mengembang sampai dengan 4 kali volume awal sehingga kebutuhan material dapat dikurangi.

Timbunan dengan material ringan dapat mengurangi berat timbunan dan dapat mengurangi tegangan yang terjadi pada tanah di bawah timbunan serta akan mengurangi penurunan dan masalah ketidakstabilan timbunan tersebut. Pada pelaksanaannya timbunan mortar busa ringan ini telah diterapkan di Indonesia pada timbunan dibawah badan jalan dan pada timbunan pendekat jembatan (*oprit*).

B. Pengumpulan dan Analisa Data Lapangan

Data-data yang digunakan dalam analisis ini adalah data sekunder, yaitu sebagai berikut :

- a) Data pelaksanaan Pembangunan Jalan Baru Batas Kota Singaraja – Mengwitani (Shortcut 5-6) yang meliputi:
 - *cross section* jalan,
 - peta lokasi.
- b) Data tanah yang mencakup:
 - *stratigrafi* tanah,
 - data hasil uji *Standart Penetration Test (SPT)*,
 - *bore log*,
 - sifat fisik tanah,
 - sifat teknis tanah.

c) Analisa Parameter Tanah

Lokasi yang akan dianalisa adalah lokasi dengan timbunan tinggi pada Pembangunan Jalan Baru Batas Kota Singaraja – Mengwitani (Shortcut 5-6) STA 1+450 dengan ketinggian eksisting 20 meter.

Nilai N_{SPT} dikoreksi dengan Persamaan 1 untuk perhitungan $(N_1)_{60}$ yang diambil dari SNI 4153-2008, yaitu:

$$(N_1)_{60} = N_M \times C_N \times C_E \times C_B \times C_R \times C_S \quad (1)$$

dimana:

$(N_1)_{60}$ = nilai SPT yang dikoreksi terhadap pengaruh efisiensi tenaga 60%;

N_M = hasil uji SPT di lapangan;

C_N = faktor koreksi terhadap tegangan vertikal efektif (nilainya $\leq 1,70$);

C_E = faktor koreksi terhadap rasio tenaga palu

C_B = faktor koreksi terhadap diameter bor

C_R = faktor koreksi untuk panjang batang SPT

C_S = koreksi terhadap tabung contoh (samplers)

Sebagian besar jenis tanah pada lokasi yang akan di analisis adalah tanah berpasir sehingga pemodelan yang digunakan pada aplikasi Plaxis adalah metode *Undrained A*. *Undrained A* dipilih karena parameter yang digunakan kondisi parameter efektif. Untuk nilai modulus elastisitas yang diinput adalah E50. Nilai E50 didapat dari grafik korelasi hubungan $(N_1)_{60}$ dan E50 [6]. Nilai *poisson ratio* didapat dari tabel korelasi jenis tanah dan *poisson ratio* [7]. Nilai kohesi efektif (c') didapat dari 2/3 dikali nilai kohesi (c) dari pengujian laboratorium. Nilai sudut geser dalam efektif (ϕ') didapat dari 2/3 dikali nilai sudut geser dalam (ϕ) dari pengujian laboratorium, sedangkan pada lapisan tanah yang tidak diuji sifat teknis tanah, nilai sudut geser dalam (ϕ) diambil dari tabel korelasi perkiraan harga sudut geser berdasarkan NSPT. Tabel korelasi tersebut juga dapat digunakan untuk memperkirakan nilai berat jenis volume (γ_{sat}). Untuk nilai koefisien permeabilitas di dapat dari tabel korelasi deskripsi tanah dengan nilai koefisien permeabilitas [8].

C. Analisa Beban Gempa

Berdasarkan Peta Sumber dan bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 ISBN 978-602-5489-01-3 [9], sesuai pasal 7 SNI 8460:2017 Gempa rencana untuk lereng galian dan timbunan ditetapkan dengan kemungkinan terlewat besarnya selama umur rencana 50 tahun adalah 2% atau setara dengan periode ulang 500 tahun [10]. Untuk Pulau Bali *Peak Ground Acceleration (PGA)* berwarna kuning dengan nilai 0,4g – 0,5g dengan asumsi ada kenaikan *PGA* pada tahun berikutnya.

Berdasarkan hasil N_{SPT} , tanah pada lokasi lokasi penelitian dominan tanah keras ($N_{SPT} > 50$). Berdasarkan SNI 8460:-2017 faktor amplifikasi untuk tanah keras adalah 1 yang kemudian Faktor amplifikasi tersebut dikalikan dengan *Peak Ground Acceleration (PGA)* sebagai beban gempa yang akan dimasukkan ke dalam aplikasi Plaxis.

D. Analisa Menggunakan Aplikasi Plaxis

Analisis stabilitas timbunan pada penelitian ini hanya menganalisa kestabilan untuk timbunan tinggi 20 meter dengan beberapa variasi kemiringan menggunakan aplikasi Plaxis V21. Karena kondisi tanah dasar pada lokasi yang ditinjau adalah tanah dengan deskripsi pasir kerikilan sangat padat dengan muka air tanah berada jauh dibawah tanah dasar maka tidak dihitung kestabilan terhadap gaya angkat. Analisis menggunakan aplikasi Plaxis pada Pembangunan Jalan Baru Batas Kota Singaraja–Mengwitani (SC 5-6) STA 1+450 menggunakan beberapa pemodelan kemiringan yaitu:

1. kestabilan penggunaan timbunan pilihan (eksisting) dengan kemiringan 1,3 : 2,
2. kestabilan penggunaan timbunan mortar busa (eksisting) dengan kemiringan 1,3 : 2,
3. kestabilan penggunaan timbunan mortar busa dengan kemiringan tegak,
4. kestabilan penggunaan timbunan mortar busa dengan kemiringan 1:1,
5. kestabilan penggunaan timbunan mortar busa dengan kemiringan 1:2,
6. kestabilan penggunaan timbunan mortar busa dengan kemiringan tegak 1:3.

3. Hasil dan Pembahasan

A. Parameter Tanah

Dari pengujian *bore log* dalam dan *Standart Penetration Test (SPT)* didapatkan nilai parameter tanah. Deskripsi tanah dapat dilihat pada **Tabel 1**. Koreksi nilai N_{SPT} menggunakan nilai *overburden*, $CE = 1$ palu otomatis, $CB = 1$ diameter bor 100 mm, $CR = 0.8$ panjang batang 4 m, $CS = 1$ pengambilan contoh menggunakan tabung standar.

Tabel 1. Deskripsi dan Koreksi Nilai N_{SPT}

Kedalaman (m)	Deskripsi	N_{SPT}	$(N_1)_{60}$	Layer
0 – 34	Pasir Kerikilan sangat padat	60	32,2	1

Parameter tanah dan material timbunan mortar busa yang diinput pada aplikasi Plaxis adalah *secant modulus* (E_{50}),

poisson ratio (ν), koefisien permeabilitas (k), kohesi efektif (c'), sudut geser dalam efektif (ϕ'), dan sudut dilatansi efektif (ψ'). Nilai parameter mekanis tanah dapat dilihat pada **Tabel 2**, Nilai parameter mekanis tanah dapat dilihat pada **Tabel 3** dan nilai parameter timbunan dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 2. Nilai Parameter Mekanis Tanah

Nama Layer	k (m/day)	c' (kN/m ²)	ϕ' (°)	ψ' (°)	E_{50} (kN/m ²)
1	8.64	0	26,67	17,78	41798,97

Tabel 3. Nilai Parameter Fisis Tanah

Nama Layer	N_{SPT}	Konsistensi	γ_{sat} (kN/m ³)
Layer 1	60	Very Dense	22,07

Tabel 4. Parameter Timbunan

Nama Layer	k (m/day)	c' (kN/m ²)	ϕ' (°)	ψ' (°)	E (kN/m ²)
Timbunan mortar busa	1×10^{-12}	0	43,83	29,22	145000
Timbunan Pilihan	5×10^{-1}	5	42	12	64000

B. Pengaruh Terhadap Gempa

Berdasarkan SNI 8460:2017 pendekatan modifikasi Mononabe-Okabe diasumsikan bahwa koefisien seismik vertikal (k_v) = 0, koefisien seismik horizontal (k_h) = *Peak Ground Acceleration (PGA)* yang telah disesuaikan dengan kondisi lokasi situs [9]. Pada aplikasi plaxis, beban gempa dihitung dengan sistem *pseudostatik*. Reduksi 50% dari koefisien seismik horizontal dapat diberlakukan jika deformasi tanah permanen yang terjadi berkisar 1-2 inci. Koefisien seismik horizontal (k_h) dapat dilihat pada **Tabel 5**.

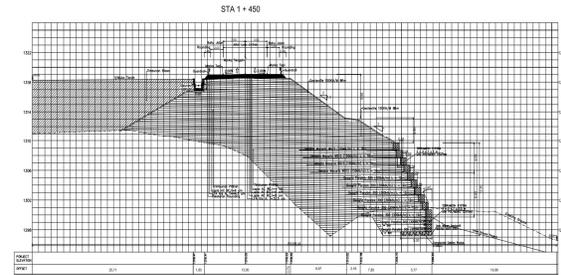
Tabel 5. Nilai Koefisien Seismik Horizontal

STA	Klasifikasi Situs	PGA (g)	FPGA	PGAM (g)	k_h
1+450	Tanah Sedang (SD)	0,5	1,00	0,50	0,25

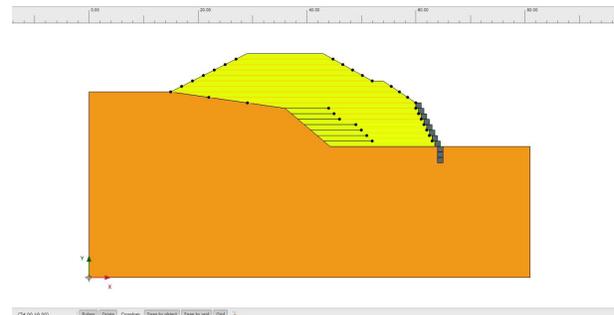
C. Pemodelan pada STA 1+450

Cross section STA 1+450 pada *asbuilt drawing*. dapat dilihat pada **Gambar 2**. Pemodelan pada aplikasi Plaxis dengan tipe *plane strain* dengan *element* 15 nodes. Pemodelan pada Plaxis dapat dilihat pada **Gambar 3**.

Setelah selesai melakukan pemodelan, proses selanjutnya adalah dengan *mesh* digunakan *generate mesh* dengan *element distribution medium*. proses *mesh* ini membagi seluruh model dalam beberapa bagian dengan bentuk segitiga. Proses selanjutnya dilanjutkan dengan memasukkan parameter muka air tanah di bawah lapisan tanah dasar.



Gambar 1. Cross Section asbuilt drawing STA 1+450



Gambar 2. Pemodelan Cross Section asbuilt drawing STA 1+450

Proses selanjutnya adalah adalah *staged construction* dengan memberikan variasi terhadap kemiringan timbunan yang di analisis. Masing-masing tahapan memiliki *calculation type* yang berbeda. Pada tahapan *initial phase* digunakan *Gravity Loading*. Tahapan selanjutnya adalah mengaktifkan geogrid, geotextile dan *gabbion* dengan *calculation type plastic*. Untuk tahapan gempa menggunakan *Calculation type plastic*. Pada setiap tahapan gempa, nilai koefisien seismik horizontal dimasukkan pada item *model conditions* selanjutnya *pseudostatic*. Pada setiap tahapan konstruksi ditambahkan tahapan dengan *calculation type safety*, untuk menghitung faktor keamanan dari timbunan yang dianalisa.

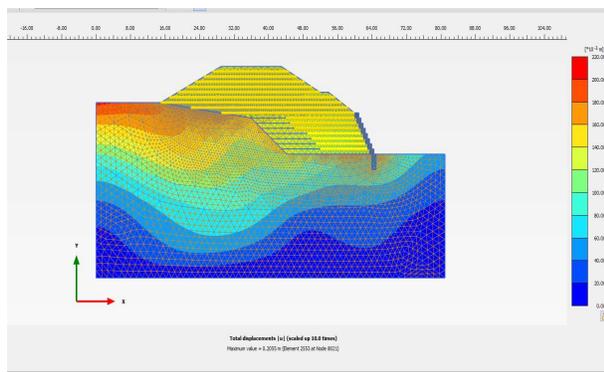
Pada **Gambar 6** menunjukkan nilai faktor keamanan pada *phase SF*. Faktor keamanan yang didapat adalah 1.606. timbunan tersebut masih aman karena faktor keamanan masih diatas 1,5.

Pada *phase safety factor* digunakan untuk melihat nilai faktor keamanan lereng dengan variasi beban gempa yang

ditinjau. Berikut contoh output dari aplikasi plaxis pada phase *safety factor* dapat dilihat pada **Gambar 7**.

Reached values	
Reached total time	0.000 day
CSP - Relative stiffness	0.1438
ForceX - Reached total force	0.000 kN
ForceY - Reached total force	0.000 kN
Pmax - Reached max pp	996.6 kN/m ²
ΣM _{stage} - Reached phase p	0.000
ΣM _{weight} - Reached weight	1.000
ΣM _{sf} - Reached safety fact	1.606

Gambar 3. Nilai Faktor keamanan pada *Plaxis*



Gambar 7. Output Total Displacement pada *Plaxis*

Analisis deformasi dilakukan pada kaki timbunan bagian kanan bawah yaitu pada koordinat $x = 64.500$ $y = 24.000$, deformasi horizontal yang terjadi adalah $69,210 \times 10^{-3}$ m, menunjukkan bahwa pada kondisi pemodelan eksisting, kaki timbunan bagian kanan bawah bergeser arah horizontal sebesar 6,92 cm. kaki timbunan bagian kiri memiliki ketinggian yang lebih tinggi dari kaki timbunan bagian kanan. Puncak lereng tersebut berada pada koordinat $x = 15.000$ $y = 34.000$. Deformasi yang terjadi pada lereng tersebut adalah 133.516×10^{-3} m. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada kondisi pemodelan eksisting, puncak lereng bagian kiri bergeser arah horizontal sebesar 13,35 cm. Deformasi yang terjadi pada kaki timbunan bagian kanan lebih kecil jika dibandingkan dengan deformasi kaki timbunan bagian kiri. Hal tersebut terjadi karena lereng kiri lebih tinggi dari pada lereng kanan. Analisis deformasi dapat dilihat pada **Gambar 8**.

Rekapitulasi faktor keamanan pada beberapa kondisi variasi kemiringan dapat dilihat pada **Tabel 5**. Berdasarkan **Tabel 5**, kondisi eksisting yang menggunakan timbunan pilihan dengan kemiringan 1,3:2 serta menggunakan perkuatan *geogrid*, *geotextile* dan juga *gabion* menghasilkan faktor keamanan sebesar 1,606. Apabila kondisi eksisting dengan

perkuatan menggunakan timbunan mortar busa maka menghasilkan faktor keamanan sebesar 1,606. Hasil dari Fadilah, dkk menyatakan bahwa penggunaan timbunan tanah biasa dan timbunan mortar busa diatas tanah lunak menghasilkan faktor keamanan yang lebih besar untuk penggunaan timbunan mortar busa dibandingkan dengan timbunan tanah biasa, karena sifat mortar busa yang ringan sehingga memiliki berat volume yang lebih kecil daripada timbunan biasa sehingga tegangan yang terima oleh lapisan tanah dasar juga menjadi lebih kecil [11]. Penelitian yang sama juga pernah dilakukan oleh Hamdan Atamini, dkk, dimana hasil dari penelitian tersebut menyatakan bahwa penggunaan timbunan tanah pilihan (tanah merah laterit) memiliki SF dan penurunan yang lebih besar dibandingkan dengan timbunan ringan mortar busa diatas tanah lunak. Adapun hasil *safety factor* dan penurunan yang terjadi adalah nilai penurunan sebesar 3,53 cm dan faktor keamanan (FK) 2,74 untuk penggunaan timbunan mortar busa sedangkan untuk timbunan pilihan nilai penurunannya sebesar 13,79 cm dengan faktor keamanan (FK) 1,36 [12].

Soil element	Node	Local number	X [m]	Y [m]	u_x [10^{-3} m]	u_y [10^{-3} m]	[u] [m]
Clay_25 - El_2529	957	1	64.500	24.000	69.210	17.248	0.071
gabion	647	2	64.500	25.000	62.715	17.691	0.065
Soil_11_1	643	3	64.000	25.000	62.616	14.600	0.064
	645	4	64.500	24.500	65.996	17.656	0.068
	649	5	64.250	25.000	62.712	16.098	0.065
	652	6	64.250	24.500	66.004	16.052	0.068
	644	7	64.500	24.250	67.637	17.538	0.070
	646	8	64.500	24.750	64.337	17.692	0.067
	648	9	64.375	25.000	62.716	16.892	0.065
	650	10	64.125	25.000	62.685	15.324	0.065
	651	11	64.125	24.750	64.335	15.296	0.066
	653	12	64.375	24.250	67.646	16.763	0.070
	654	13	64.375	24.500	66.000	16.943	0.068
	655	14	64.375	24.750	64.336	16.882	0.067
	656	15	64.250	24.750	64.335	16.086	0.066

Gambar 8. Detail Deformasi Pada Titik Tinjau

Tabel 3. Rekapitulasi Faktor Keamanan

No.	Jenis Timbunan	Variasi Kemiringan	Faktor Kemanan
1.	Timbunan Pilihan	Eksisting (1,3:2)	1.606
2.	Timbunan Mortar Busa	Eksisting (1,3:2)	2,719
3.	Timbunan Mortar Busa	Tegak	-
4.	Timbunan Mortar Busa	1:1	2,652
5.	Timbunan Mortar Busa	1:2	2,701
6.	Timbunan Mortar Busa	1:3	2,778

Dari penelitian sebelumnya dapat diambil kesimpulan bahwa penggunaan timbunan ringan mortar busa memiliki manfaat yaitu cocok digunakan sebagai timbunan pondasi

jalan dan oprit jembatan diatas tanah lunak serta tidak membutuhkan pemadatan (*self compacted*).

Setelah dilakukan analisis, semakin landai kemiringan timbunan maka semakin besar pula faktor keamanan yang terjadi, tetapi pada penelitian ini apabila dilakukan timbunan mortar busa tegak maka mengalami keruntuhan sehingga tidak didapatkan faktor keamanan. Faktor keamanan untuk variasi kemiringan timbunan mortar busa 1:1 sebesar 2,652, kemiringan timbunan mortar busa 1:2 sebesar 2,701, kemiringan timbunan mortar busa 1:3 sebesar 2,778.

4. Kesimpulan

Pada analisis faktor keamanan timbunan tinggi 20 meter menggunakan timbunan ringan dengan material mortar busa dengan pengaruh beban gempa, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada kondisi eksisting, perkuatan dengan menggunakan *geogrid*, *geotextile* dan *gabion* faktor keamanan yang didapat adalah 1,606 sedangkan dengan menggunakan perkuatan timbunan mortar busa didapatkan faktor keamanan sebesar 2,791.
2. Pada pemodelan dengan variasi kemiringan yang berbeda, menunjukkan bahwa semakin landai kemiringan yang digunakan maka semakin besar pula faktor keamanan yang terjadi, yaitu : faktor keamanan untuk variasi kemiringan timbunan mortar busa 1:1 sebesar 2,652, kemiringan timbunan mortar busa 1:2 sebesar 2,701, kemiringan timbunan mortar busa 1:3 sebesar 2,778.
3. Berdasarkan hasil analisis tersebut variasi kemiringan timbunan tegak mengalami keruntuhan sehingga tidak didapatkan faktor keamanan. Untuk itu perlu perencanaan perkuatan tambahan untuk variasi kemiringan ini, dapat berupa *geotextile* ataupun dinding penahan.
4. Timbunan ringan mortar busa sangat baik digunakan pada timbunan pondasi jalan dan oprit jembatan diatas tanah lunak serta pada lokasi tanah keras yang terdapat keterbatasan lahan untuk Ruang Milik Jalan (Rumija) atau Right Of Way (ROW) karena kondisi wilayah yang berbukit.

Daftar Pustaka

- [1] Satuan Kerja Pelaksanaan Jalan Nasional Wilayah III Provinsi Bali, "Kerangka Acuan Rencana Usaha Dan/Atau Kegiatan Pembangunan Jalan Baru Batas Kota Singaraja-Mengwitani", Bali, 2017.
- [2] Deni Hidayat, Yusep Muslih Purwana, Florentina Pungky Pramesti "Analisis Material Ringan Dengan Mortar Busa Pada Konstruksi Timbunan Jalan," *Jurnal Universitas Muhammadiyah Jakarta*, 2016.
- [3] Gigih Bramantya, "Analisis Nilai Stabilitas Dan Penurunan Pada Timbunan Ringan Mortar Busa Dan Timbunan Tanah Konvensional Pada Oprit Jembatan," *Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia*, 2021.
- [4] USGS, 2021, <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>, diakses November 2021.
- [5] Abramson, L.W, *Slope Stability and Stabilization Methods*, New Jersey: Wiley, 1996.
- [6] Gouw, T.L., Saptyanto, Krisandi, "Hitung Balik Nilai Kekakuan Tanah dari hasil Pile Loading Test dengan Menggunakan Program Plaxis," *HATTI*, Des, 2012.
- [7] Bowles, Joseph E., "Foundation Analysis and Design", Thrid Edition, New York : Mc. Graw-Hill Companies, Inc, 1982.
- [8] Look, Burt, "Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables", London : Taylor & Francis/Balkema, 2007.
- [9] Pusat Studi Gempa Nasional, "Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017", Jakarta, 2017.
- [10] Badan Standardisasi Nasional, "Standar Nasional Indonesia SNI 8460:2017 Persyaratan perancangan geoteknik", Jakarta, 2017.
- [11] Rifki Fadilah, Indra Noer Hamdhan, "Analisis Stabilitas dan Penurunan pada Timbunan Mortar Busa Ringan Menggunakan Metode Elemen Hingga", Jurusan Teknik Sipil Itenas, 2017.
- [12] Hamdan Atamini, Benny Moestofa, "Evaluasi Stabilitas dan Penurunan antara Timbunan Ringan Mortar Busa Dibandingkan dengan Timbunan Pilihan pada Oprit Jembatan (Studi Kasus: Flyover Antapani, Kota Bandung)," Jurusan Teknik Sipil Itenas, 2017.