

Studi Komparasi Mortar Busa dan EPS Geofom Sebagai Alternatif Timbunan Pada Oprit Flyover Nurtanio Menggunakan Metode Elemen Hingga

Dhea Singgih Damayanti¹, Massalsabila Salwa¹, Bayu Wintoro^{1*}, Dea Ayu Maharanie¹

Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Kab. Bandung Barat¹

E-mail koresponden: bayu.wintoro@polban.ac.id

Abstrak

Pembangunan jembatan layang merupakan suatu usaha untuk mengurangi terjadinya kemacetan, Pembangunan jembatan layang merupakan suatu usaha untuk mengurangi terjadinya kemacetan, khususnya pada persimpangan kereta api dan jalan dengan volume kendaraan yang tinggi, salah satunya Jembatan Layang Nurtanio di Kota Bandung. Alternatif pembangunan timbunan di lokasi memiliki tantangan karena berada di wilayah dengan kepadatan penduduk yang tinggi dan terbatasnya area kerja serta kondisi tanah dasar dengan kategori kompresibilitas tinggi, yang membuat timbunan konvensional berpotensi mengalami penurunan tanah berlebih. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan mortar busa dan EPS geofom sebagai bahan timbunan ringan sebagai alternatif timbunan untuk Jembatan Layang Nurtanio, dengan mengevaluasi stabilitas serta penurunan tanahnya, selain itu membandingkan waktu dan biaya konstruksinya. Analisis stabilitas dan penurunan dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga (FEM) dalam hal ini Plaxis 2D, sementara untuk waktu dan biaya konstruksi dievaluasi berdasarkan analisis metode serta kuantitas pekerjaan. Hasil analisis menunjukkan bahwa timbunan tanah dengan menggunakan EPS geofom meningkatkan nilai faktor keamanan timbunan sebesar 65,45% pada kondisi statik, dan 26,49% dalam kondisi seismik, kemudian mereduksi penurunan tanah sebesar 59,47% dibandingkan penurunan tanah pada timbunan mortar busa. Secara konstruksi, EPS geofom mempersingkat masa konstruksi hingga 31,7% namun meningkatkan biaya sebesar 33,06% dibandingkan timbunan konvensional. EPS geofom memberikan performa yang lebih baik pada aspek stabilitas, reduksi penurunan tanah, serta efisiensi konstruksi, sementara mortar busa dianggap masih lebih ekonomis karena biaya konstruksi yang relatif lebih murah dibanding EPS geofom.

Kata kunci: EPS geofom, mortar busa, penurunan tanah, kestabilan lereng.

Abstract

The construction of flyovers is an effort to reduce traffic congestion, particularly at railway level crossings and roads with traffic volumes. One infrastructure is the Nurtanio Flyover in Bandung City. However, constructing its approach embankment is challenging because the project is located in a populated urban area with limited working space and highly compressible subgrade, making conventional embankments susceptible to excessive settlement. This study aims to compare foam mortar and EPS geofom as lightweight embankment materials for the Nurtanio Flyover approach embankment, evaluate their stability and settlement performance, and compare their construction duration and costs. The stability and settlement analyses were conducted using the finite element method (FEM) in PLAXIS 2D, while construction duration and costs were evaluated based on construction methods and Bill of Quantity (BoQ) analysis. The results show that EPS geofom increases the safety factor by 62.45% under static conditions and 26.49%

under seismic conditions, while reducing settlement by 59.47% compared to foam mortar. In terms of construction, EPS geofoam shortens the construction period by 31.70% but increases costs by 33.06%. EPS geofoam provides superior performance in terms of stability, settlement reduction, and construction efficiency, whereas foam mortar remains more economical due to its lower construction cost.

Kata kunci: EPS Geofoam, Foamed Mortar, Settlement, Slope Stability.

1. PENDAHULUAN

Flyover Nurtanio merupakan salah satu infrastruktur transportasi di Kota Bandung yang dibangun untuk meningkatkan kelancaran arus lalu lintas serta mengurangi konflik pada perlintasan sebidang antara jalan raya dan jalur kereta api. Flyover ini membentang sepanjang 550 meter dan menghubungkan Jalan Abdul Rahman Saleh dengan Jalan L.M.U. Nurtanio, sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 1**. Sebelum pembangunan flyover, kawasan tersebut mengalami permasalahan akibat tingginya volume kendaraan dan frekuensi perjalanan kereta api. Salah satu bagian penting dalam pembangunan flyover adalah pekerjaan oprit, yaitu struktur penghubung antara jalan pendekat dan struktur jembatan (Suryawan, 2025). Pada kawasan perkotaan dengan kepadatan lalu lintas tinggi, pelaksanaan pekerjaan tanah pada oprit memiliki tantangan tersendiri karena membutuhkan area kerja yang luas, berpotensi mengganggu arus lalu lintas, serta dapat memengaruhi utilitas di sekitar lokasi proyek. Selain itu, kondisi tanah dasar pada oprit Flyover Nurtanio memiliki kompresibilitas tinggi. Tanah dengan kompresibilitas tinggi memiliki daya dukung rendah dan berpotensi mengalami deformasi akibat pembebanan (Das, 2019), sehingga penggunaan timbunan konvensional dapat menyebabkan penurunan yang signifikan.



Gambar 1. Flyover Nurtanio
Sumber: Pikiran Rakyat (2025)

Berdasarkan kondisi tersebut, pembangunan oprit Flyover Nurtanio menerapkan teknologi timbunan ringan berupa mortar busa sebagai alternatif pengganti timbunan tanah konvensional, seperti yang disajikan pada **Gambar 2 (a)**. Mortar busa merupakan material ringan yang tersusun dari campuran pasir, semen, air, dan bahan pembentuk busa (*foam agent*).

Berdasarkan spesifikasi Direktorat Jenderal Bina Marga, material mortar busa memiliki berat isi kering maksimum sebesar $0,8 \text{ t/m}^3$ untuk campuran dengan kuat tekan minimum (*Unconfined Compressive Strength/UCS*) 2000 kPa dan $0,6 \text{ t/m}^3$ untuk campuran dengan kuat tekan minimum 800 kPa (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2024). Terdapat alternatif timbunan ringan yang berpotensi memberikan kinerja lebih baik, yaitu *Expanded Polystyrene (EPS) Geofoam*. Material ini berbahan dasar polistirena yang diproses menjadi blok dengan struktur sel tertutup dan memiliki rongga udara di dalamnya (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2023). EPS *geofoam* memiliki densitas yang sangat rendah, yaitu sekitar 1% dari densitas tanah konvensional, sehingga mampu mengurangi beban tambahan pada tanah dasar. Selain itu, material ini memiliki keunggulan berupa kemudahan pemasangan, pemotongan sesuai kebutuhan desain, serta waktu pelaksanaan yang relatif cepat (Umer, 2025). Material ini telah diterapkan pada berbagai proyek infrastruktur di Indonesia, seperti Jalan Tol Cisumdawu Seksi 5A seperti yang disajikan pada **Gambar 2 (b)**, Trans Sumatra Toll Road, dan Jalan Tol Yogyakarta Bawen Seksi 3.



(a)



(b)

Gambar 2. Timbunan Ringan Mortar Busa dan EPS *Geofoam*
 Sumber: Dokumentasi Proyek Flyover Nurtanio; Kompas.com (2023)

Perbedaan karakteristik mekanik antara mortar busa dan EPS *geofoam* dapat memengaruhi kinerja timbunan. Meskipun mortar busa dan EPS *geofoam* telah banyak digunakan sebagai material timbunan ringan, diperlukan kajian komparatif pada kondisi spesifik oprit Flyover Nurtanio untuk menentukan material yang memiliki kinerja yang lebih efektif dan efisien.

Corrugated-Mortar Busa Pusjatan (CMP) merupakan teknologi timbunan ringan yang dikembangkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan sebagai alternatif pengganti timbunan tanah konvensional. Material ini tersusun dari campuran agregat halus, semen, air, dan *foam agent* yang membentuk struktur berpori dengan densitas rendah (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2024). Spesifikasi teknis mortar busa untuk bangunan jalan mengacu pada SKh-2.7.2 tentang Material Ringan Mortar-Busa, sebagaimana disajikan pada **Tabel 1**. Mortar busa memiliki beberapa keunggulan, antara lain berat isi dan kuat tekan yang dapat dirancang sesuai kebutuhan, bersifat *self-compacting* sehingga tidak memerlukan pemadatan mekanis, serta memiliki kestabilan yang baik selama masa konstruksi dan pelayanan (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2024). Berat isinya yang rendah mampu mengurangi tekanan lateral pada struktur penahan (Iqbal, 2020). Selain itu, mortar busa mampu mengembang sampai empat kali lipat dari volume awal (Hamdhan,

2017). Dari sisi pelaksanaan, mortar busa dapat dipompa dan dicor langsung di lokasi tanpa pemadatan berlapis.

Tabel 1. Spesifikasi Desain Mortar Busa untuk Bangunan Jalan

No	Fungsi Desain	Densitas Kering Maksimum (gr/cm ³)	Kuat Tekan Minimum (Umur 14 Hari)	
			kPa	kg/cm ²
1	Lapis Pondasi (<i>Base</i>)	0.8	2000	20
2	Lapis Pondasi Bawah/Timbunan (<i>Subbase</i>)	0.6	800	8

Sumber : Kementerian PUPR (2024)

Expanded Polystyrene (EPS) *Geofoam* merupakan material timbunan ringan berbasis busa termoplastik dengan struktur sel tertutup yang memiliki berat kurang dari 1% berat tanah (The EPS Industry Alliance, 2012). Material ini memiliki daya tahan yang baik terhadap pelapukan, pelarutan, dan korosi, serta mudah dipasang, dipotong, dan dibentuk sesuai kebutuhan proyek. Selain itu, kuat tekannya dapat dirancang sesuai kebutuhan, mampu mengurangi beban vertikal yang bekerja pada tanah dasar karena massa timbunan yang lebih ringan, meskipun biaya material relatif lebih tinggi (A. Febriansya, 2024) (Umer, 2025) (N.A. Amrullah, 2025). Tetapi, karena berat jenisnya yang lebih rendah dibandingkan air, material ini cenderung mengapung ketikaterendam yang menyebabkan gaya angkat (*uplift*) (Gunawan, 2020). Spesifikasi teknis EPS *geofoam* untuk pekerjaan jalan mengacu pada SKh. 1.3.24 yang diterbitkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga, sebagaimana disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Spesifikasi EPS *Geofoam*

No	Tipe	EPS 22
1	Densitas, min (kg/m ³)	21,6
2	Kuat tekan min pada deformasi 1% (kPa)	50,0
3	Kuat tekan min pada deformasi 5% (kPa)	115,0
4	Kuat tekan min pada deformasi 10% (kPa)	135,0
5	Kuat lentur min (kPa)	240,0
6	Indeks oksigen min (% volume)	24,0

Sumber : Kementrian PUPR (2023)

Stabilitas tanah merupakan suatu konsep yang digunakan untuk menilai kemampuan suatu massa tanah atau timbunan dalam menahan deformasi atau kegagalan saat dikenai beban. Faktor keamanan (FK) pada analisis stabilitas didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya penahan terhadap gaya pendorong (Hardiyatmo, 2018), sebagaimana dituliskan dalam **Persamaan 1**.

$$FK = \frac{\tau}{\tau_d} \tag{1}$$

Keterangan:

τ = Tahanan geser maksimal yang dikerahkan oleh tanah (kN/m²)

τ_d = Tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor (kN/m²)

Penurunan terjadi ketika lapisan tanah dibebani sehingga tanah akan mengalami regangan. Regangan ini disebabkan oleh dua hal, yaitu ketika tanah mengalami perubahan susunan dan berkurangnya rongga pori dari dalam tanah (Hardiyatmo, 2018). Penurunan tanah akibat pembebanan terdiri atas penurunan segera (*immediate settlement*) dan penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*).

Berdasarkan Pedoman Perencanaan Teknis Timbunan Material Ringan Mortar-Busa Untuk Konstruksi Jalan, besarnya nilai penurunan segera dapat dilakukan menggunakan metode yang dikembangkan oleh Janbu (1956), dan dihitung menggunakan **Persamaan 2**.

$$S_i = \mu_0 \times \mu_1 \times \frac{q_n \times B}{E} \quad (2)$$

Keterangan:

μ_0 = Faktor koreksi untuk kedalaman fondasi

μ_1 = Faktor koreksi untuk lapisan tanah tebal terbatas

B = Lebar timbunan (m)

q_n = Tambahan tegangan netto (kN/m²)

E = Modulus elastisitas tanah (kN/m²).

Penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*) adalah penurunan yang terjadi pada tanah berbutir halus yang terletak di bawah muka air tanah akibat proses keluarnya air dari rongga pori tanah secara bertahap (Hardiyatmo, 2018). Penurunan konsolidasi dapat dibedakan menjadi penurunan konsolidasi primer dan penurunan konsolidasi sekunder. Terdapat dua kondisi yaitu kondisi tanah terkonsolidasi normal (*normally consolidation*), yang dapat dihitung menggunakan **Persamaan 3**.

$$S_c = \frac{C_c \times H}{1 + e_0} \times \log \frac{p'_o + \Delta p}{p'_o} \quad (3)$$

Dan kondisi tanah terkonsolidasi berlebih (*overly consolidated*), yang dihitung berdasarkan **Persamaan 4** dan **Persamaan 5**.

Jika $p'_1 < p'_c$

$$S_c = \frac{C_r \times H}{1 + e_0} \times \log \frac{p'_o + \Delta p}{p'_o} \quad (4)$$

Dengan $p'_1 = p'_o + \Delta p$

Jika $p'_o < p'_c < p'_1$

$$S_c = \frac{C_r \times H}{1 + e_0} \times \log \frac{p'_c}{p'_o} + \frac{C_c \times H}{1 + e_0} \times \log \frac{p'_o + \Delta p}{p'_c} \quad (5)$$

Keterangan:

C_c = Indeks pemampatan

C_r = Indeks rekompresi

e_0 = Angka pori awal

H = Tebal lapisan tanah (m)

P_o' = Tekanan overburden efektif (kN/m^2)
 P_c' = Tekanan prakonsolidasi (kN/m^2)
 Δp = Distribusi tegangan vertikal (kN/m^2).

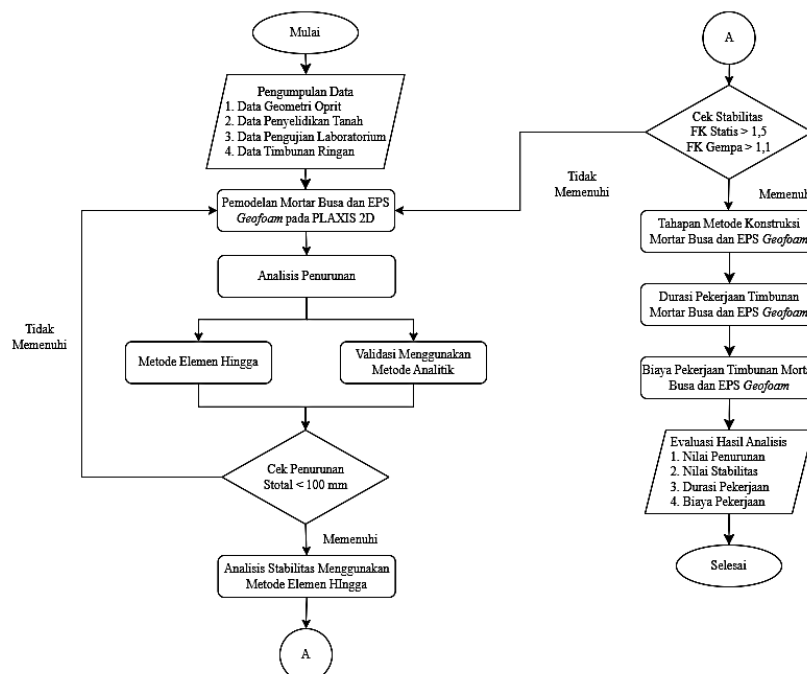
Syarat faktor keamanan lereng telah diatur dalam SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik. Sedangkan batasan penurunan timbunan di atas tanah lunak diatur dalam Manual Desain Perkerasan Jalan tahun 2017. Kedua kriteria desain terkait stabilitas dan penurunan disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Kriteria Desain Stabilitas dan Penurunan

No	Parameter Analisis	Nilai	Sumber
1	Penurunan (mm)	100	Manual Desain Perkerasan Jalan (2017)
2	Faktor Keamanan Statik	1,5	SNI 8460:2017
3	Faktor Keamanan Gempa	1,1	SNI 8460:2017

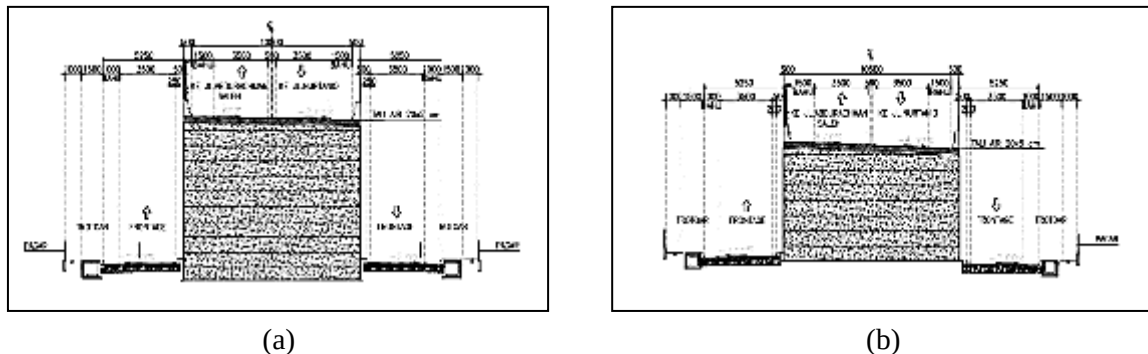
2. METODOLOGI PENELITIAN

Adapun langkah-langkah dalam penyelesaian penelitian disajikan dalam bentuk diagram alir yang disajikan pada **Gambar 3**.



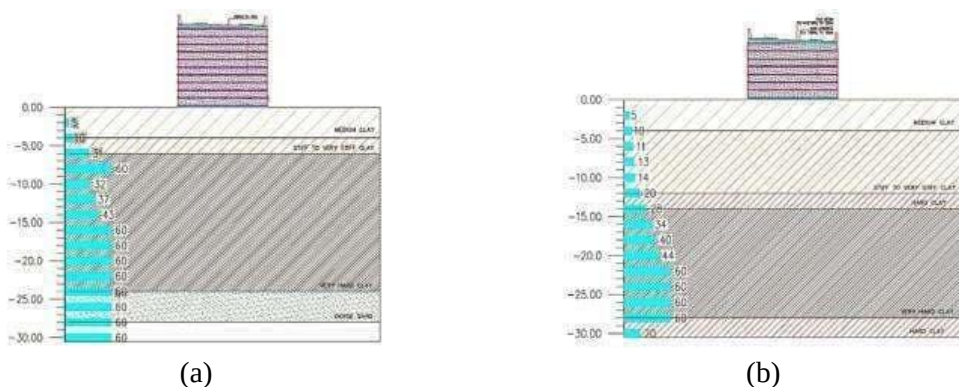
Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data penyelidikan tanah, data pengujian laboratorium, dan data parameter timbunan ringan. Penelitian ini meninjau dua potongan timbunan, yaitu pada Abutment 1 pada STA. 0 + 075 sampai STA. 0 + 125 (a) setinggi 10 meter dan Abutment 2 pada STA. 0 + 250 sampai STA. 0 + 350 (b) setinggi 7 meter. Potongan geometri dari masing-masing tinjauan ditunjukkan pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Geometri Timbunan Oprit pada Abutment 1 (a) dan Abutment 2 (b)

Berdasarkan data penyelidikan tanah, jenis tanah dasar pada abutment 1 diklasifikasikan menjadi 4 jenis tanah, yaitu lempung lunak, lempung kaku, lempung sangat keras, dan pasir padat. Pada abutment 2 tanah dasar diklasifikasikan menjadi 4 jenis tanah yaitu, lempung lunak, lempung kaku, lempung keras, dan lempung sangat keras. Stratigrafi tanah pada kedua abutment tersebut ditunjukkan pada Gambar 1 dan **Gambar 5**.



Gambar 5. Stratigrafi tanah pada Abutment 1 (a) dan Abutment 2 (b)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Parameter Material

Pada penelitian ini digunakan parameter tanah serta parameter material timbunan ringan. Parameter tanah pada Abutment 1 dan Abutment 2 diperoleh berdasarkan hasil pengujian laboratorium serta korelasi dari buku *Correlations of Soil and Rock Properties in Geotechnical Engineering* (Jay Ameratunga, 2017), yang disajikan pada **Tabel 4**. Sementara itu, material

timbunan ringan yang digunakan terdiri atas mortar busa dengan kuat tekan bebas (UCS) 800 kPa dan EPS *geofoam* tipe EPS22. Parameter kedua material tersebut disajikan pada **Tabel 5**.

Tabel 4. Parameter Tanah Oprit Abutment 1 dan Abutment 2

Parameter	Abutment 1				Abutment 2				
	Kedalaman Tanah (m)								
	0 – 2	2 – 4	4 – 24	24 – 28	0 – 2	2 – 10	10 – 14	14 – 28	28 – 30
γ_{unsat}	10,68	16,97	18,85	20,11	14,54	19,35	21,92	21,99	21,84
γ_{sat}	16,5	20,11	21,99	23,25	45	54	120	256	100
c'_{ref}	3	5	25	1	5	5	12	26	10
ϕ'	8	22	23	32	17	21	23	25	23
E'	6903,88	10000	50300	35910	9061,345	10853,32	24000	51143	20000
ν'	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

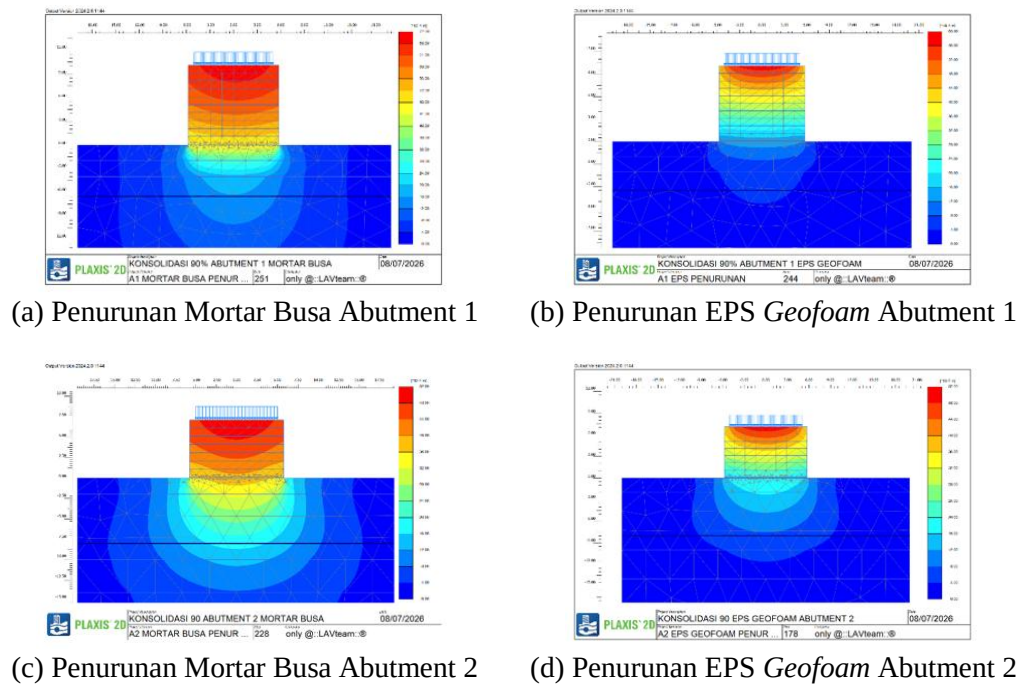
Tabel 5. Parameter Timbunan Ringan

Parameter	Timbunan Ringan	
	Mortar Busa	EPS <i>Geofoam</i>
γ_{unsat}	6	0,216
γ_{sat}	6	0,216
E	22230	5000
ν	0,216	0,15

Pemodelan numerik dilakukan menggunakan metode elemen hingga pada PLAXIS 2D dengan pendekatan *plane strain*. Pada pemodelan tanah dasar, digunakan model konstitutif Mohr-Coulomb. Parameter yang digunakan dalam model ini meliputi modulus elastisitas (E), angka Poisson (ν), kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), dan sudut dilatasi (ψ). Lapisan tanah lempung dimodelkan dengan kondisi *Undrained A*, yaitu kondisi analisis untuk tanah jenuh dengan mempertimbangkan parameter efektif (The Bentley Subsurface Company, 2025), berupa kohesi efektif (c'_{ref}), sudut geser efektif (ϕ'), modulus elastisitas efektif (E') dan angka Poisson (ν). Sementara itu, lapisan tanah pasir dimodelkan dengan kondisi *Drained*. Material mortar busa dan EPS *geofoam* dimodelkan menggunakan model *Linear Elastic* dengan tipe material *Non-Porous*. Dalam pemodelan numerik ini, kondisi tanah dasar diasumsikan berdasarkan kondisi yang lebih konservatif untuk merepresentasikan kondisi lapangan yang kurang menguntungkan. Pendekatan tersebut bertujuan untuk memberikan evaluasi keamanan terhadap stabilitas dan penurunan timbunan ringan, meskipun dapat menghasilkan respons analisis yang lebih konservatif dibandingkan dengan kondisi aktual di lapangan. Pemodelan ini memiliki keterbatasan dalam merepresentasikan kondisi lapangan secara menyeluruh karena pendekatan *plane strain* dan model material yang digunakan merupakan penyederhanaan dari kondisi aktual di lapangan.

3.2 Analisis Penurunan

Berdasarkan hasil analisis numerik menggunakan metode elemen hingga, diperoleh nilai penurunan pada oprit Abutment 1 sebesar 0,047 m untuk timbunan mortar busa dan 0,014 m untuk timbunan EPS *geofoam*. Pada oprit Abutment 2, nilai penurunan yang diperoleh sebesar 0,039 m untuk timbunan mortar busa dan 0,020 m untuk timbunan EPS *geofoam*. Penurunan yang lebih kecil pada timbunan EPS *geofoam* disebabkan oleh berat isi material yang lebih rendah sehingga tegangan tambahan yang diteruskan ke tanah dasar berkurang dan deformasi yang terjadi menjadi lebih kecil dibandingkan mortar busa.



Gambar 6. Penurunan Mortar Busa dan EPS *Geofoam* pada Abutment 1 dan Abutment 2

Kemudian hasil analisis numerik tersebut divalidasi menggunakan perhitungan secara analitis terhadap penurunan segera dan penurunan konsolidasi primer.

1. Penurunan Segera

Perhitungan penurunan segera dianalisis berdasarkan metode Janbu (1956) yang dihitung berdasarkan **Persamaan 2**. Hasil perhitungan penurunan segera timbunan mortar busa dan EPS *geofoam* pada Abutment 1 dan Abutment 2 disajikan pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Hasil Penurunan Segera

No	Material	Si (m)	
		Abutment 1	Abutment 2
1	Mortar Busa	0.013	0.007
2	EPS <i>Geofoam</i>	0.001	0.00006

2. Penurunan Konsolidasi Primer

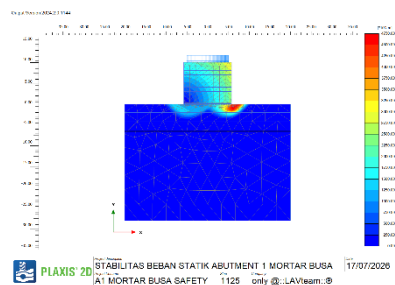
Perhitungan penurunan konsolidasi primer dilakukan berdasarkan lapisan tanah kompresibel. Berdasarkan stratigrafi tanah pada Gambar 4, lapisan kompresibel pada Abutment 1 dan Abutment 2 berada sampai kedalaman 2 m. Hasil pengujian laboratorium menunjukkan nilai tekanan prakonsolidasi (P_c') sebesar 68,5 kN/m². Nilai tekanan *overburden* (P_o') lebih kecil dibandingkan tekanan prakonsolidasi, dengan nilai *Overconsolidation Ratio* (OCR) lebih besar dari 1. Berdasarkan kondisi tersebut, tanah diklasifikasikan sebagai tanah *overconsolidated*. Perhitungan penurunan konsolidasi primer pada kondisi tanah *overconsolidated* dilakukan menggunakan **Persamaan 5**. Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer akibat timbunan mortar busa dan EPS geofom pada Abutment 1 dan Abutment 2 disajikan pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Hasil Penurunan Konsolidasi Primer

Cc	H (m)	e ₀	P _c ' (kN/m ²)	P _o ' (kN/m ²)	C _r	ΔP (kN/m ³)	Sc (m)
Abutment 1 Mortar Busa							
0.22	2.00	1.20	68.50	13.38	0.04	41.56	0.048
Abutment 1 EPS Geofom							
0.22	2.00	1.20	68.50	13.38	0.04	12.70	0.023
Abutment 2 Mortar Busa							
0.22	2.00	1.84	68.50	9.46	0.04	32.58	0.039
Abutment 2 EPS Geofom							
0.22	2.00	1.84	68.50	9.46	0.04	12.38	0.022

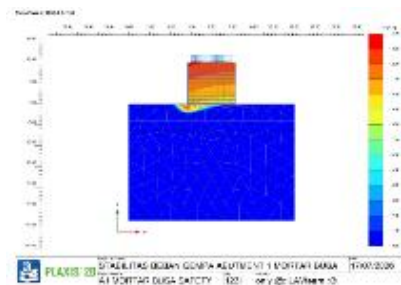
3.3 Analisis Stabilitas

Analisis stabilitas dilakukan pada dua kondisi pembebanan, yaitu kondisi statik dan kondisi gempa. Pada kondisi statik, pembebanan berupa beban merata yang merupakan akumulasi dari berat sendiri oprit dan beban lalu lintas. Beban lalu lintas mengacu pada ketentuan dalam SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik, dengan total beban yang diterapkan sebesar 23,3 kN/m². Sementara itu, analisis pada kondisi gempa dilakukan menggunakan pendekatan pseudostatik dengan mempertimbangkan koefisien percepatan gempa horizontal (k_h) sebesar 0,2575 g dan koefisien percepatan gempa vertikal (k_v) sebesar 0,0515 g.



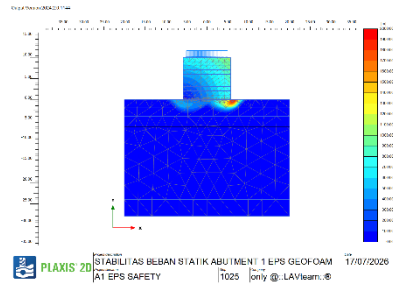
(a) Stabilitas Kondisi Statik

Mortar Busa Abutment 1



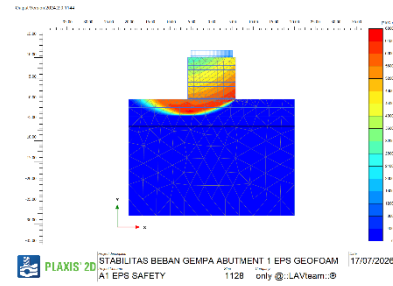
(b) Stabilitas Kondisi Gempa

Mortar Busa Abutment 1



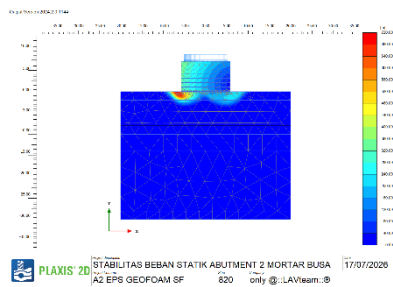
(c) Stabilitas Kondisi Statik

EPS *geofoam* Abutment 1



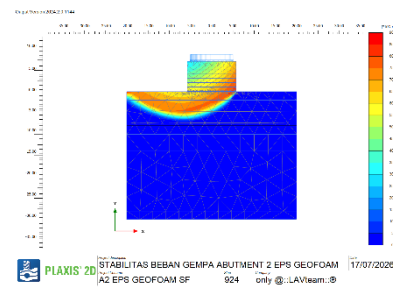
(d) Stabilitas Kondisi Gempa

EPS *geofoam* Abutment 1



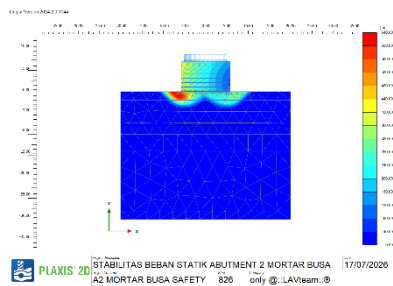
(e) Stabilitas Kondisi Statik

Mortar Busa Abutment 2



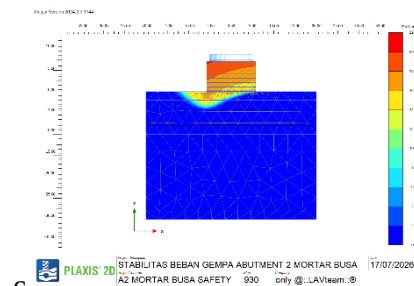
(f) Stabilitas Kondisi Gempa

Mortar Busa Abutment 2



(g) Stabilitas Kondisi Statik

EPS *geofoam* Abutment 2



(h) Stabilitas Kondisi Gempa

EPS *geofoam* Abutment 2

Gambar 7. Stabilitas Mortar Busa dan EPS *Geofoam* pada Abutment 1 dan Abutment 2

Hasil analisis stabilitas timbunan mortar busa dan EPS *geofoam* pada Abutment 1 dan Abutment 2 disajikan pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Hasil Analisis Numerik Stabilitas

No	Material	Faktor Keamanan	
		Kondisi Statik	Kondisi Gempa
Abutment 1			
1	Mortar Busa	1,914	1,102
2	EPS Geofoam	5,746	2,805
Abutment 2			
1	Mortar Busa	2,25	1,314
2	EPS Geofoam	5,383	2,656

3.4 Rencana Anggaran Biaya

Rencana Anggaran Biaya (RAB) dianalisis berdasarkan koefisien pekerjaan yang meliputi kebutuhan tenaga kerja, material, dan peralatan. Harga satuan dasar (HSD) masing-masing sumber daya mengacu pada Jurnal Edisi 42 Tahun 2023 tentang Harga Satuan Dasar, yang kemudian disesuaikan dengan tingkat inflasi pada lokasi penelitian. Perhitungan biaya dilakukan berdasarkan volume pekerjaan timbunan mortar busa dan EPS *geofoam*. Hasil analisis Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada Abutment 1 dan Abutment 2 disajikan pada **Tabel 9**.

Tabel 9. Biaya Konstruksi Timbunan Mortar Busa dan EPS *Geofoam*

No	Uraian	Satuan	Volume (m ³)	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah (Rp.)
1	Pekerjaan Mortar busa				
1.1	Abutment 1	m ³	9488.488	1,554,422.07	14,749,115,355.98
1.2	Abutment 2	m ³	4087.843	1,554,422.07	6,354,233,398.22
	Total				21,103,348,754.20
2	Pekerjaan EPS Geofoam				
2.1	Abutment 1	m ³	3527	6,070,056.30	21,409,088,559.66
2.2	Abutment 2	m ³	1596	6,070,056.30	9,687,809,850.08
	Total				31,096,898,409.74

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan EPS *geofoam* sebagai material timbunan ringan pada oprit Flyover Nurtanio memberikan kinerja teknis yang lebih baik dibandingkan mortar busa, ditinjau dari peningkatan faktor keamanan, penurunan yang lebih kecil, serta durasi pelaksanaan yang lebih singkat. Keunggulan tersebut menunjukkan bahwa EPS *geofoam* berpotensi menjadi alternatif timbunan ringan yang efektif untuk pembangunan oprit pada tanah lunak, terutama pada kawasan perkotaan dengan keterbatasan ruang kerja dan tuntutan percepatan konstruksi. Dalam implementasinya di lapangan, penggunaan EPS *geofoam* dapat dipertimbangkan pada proyek yang mengutamakan aspek stabilitas, pengendalian penurunan, dan efisiensi waktu pelaksanaan, meskipun memerlukan investasi awal yang lebih tinggi

dibandingkan mortar busa. Dengan demikian, EPS *geofoam* merupakan alternatif timbunan ringan yang lebih efektif apabila ditinjau dari aspek teknis dan waktu pelaksanaan, sedangkan mortar busa menjadi alternatif yang lebih efisien dari aspek biaya.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Febriansya, I. D. (2024). Environmental implications of styrofoam waste and its utilization as lightweight fill material for embankment construction. *E3S Web of Conferences*, 1 - 10.
- Das, B. M. (2019). *Advanced Soil Mechanics Fifth Edition*. London: CRC Press.
- Gunawan, A. (2020). Geofoam: a potential for Indonesia's soil problem. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 1-9.
- Hamdhan, F. &. (2017). Analisis Stabilitas dan Penurunan pada Timbunan Mortar Busa Ringan Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Reka Racana*, 59 - 69.
- Hardiyatmo, H. C. (2018). *Mekanika Tanah II Edisi 6*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Holtz, R., D., & Kovacs, W.D. (1981). *An Introduction to Geotechnical Engineering*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Iqbal, W. &. (2020). Efektifitas material ringan mortar-busa sebagai timbunan oprit pada konstruksi struktur turap. *Jurnal Jalan dan Jembatan* (2), 87-101.
- Janbu, N., Bjerrum, L., & Kjaernsli, B. (1956). *Veiledning ved løsning av fundamenteringsoppgaver*. Norwegian Geotechnical Institute, Publication No. 16.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2015). *Perencanaan Teknis Timbunan Material Ringan Mortar Busa untuk Konstruksi Jalan*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2023). *EXPANDED POLYSTYRENE (EPS) GEOFOAM SKh.1.3.24*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian PUPR.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2024). *Spesifikasi Khusus Material Ringan Mortar-Busa SKh-2.7.21*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian PUPR.
- N.A. Amrullah, A. R. (2025). Penggunaan Expanded Polystyrene (EPS) Geofoam pada Timbunan Jalan Sebagai Alternatif Solusi Timbunan Preloading dalam Penanganan Tanah Lunak. *Simposium Nasional Teknologi Infrastruktur*, 1-7.
- Suryawan, S. S. (2025). Perbaikan Timbunan Oprit Jembatan Menggunakan Mortar Foam dengan Kondisi Tanah yang Mengalami Penurunan. *Jurnal Simetrik (Sipil, Mesin, Listrik)*, 229-235.
- The Bentley Subsurface Company. (2025). *PLAXIS 2D 2025.1 Reference Manual*. Exten: Bentley System.
- The EPS Industry Alliance. (2012). *Expanded Polystyrene (EPS) Geofoam Applications & Technical Data*. Crofton: The EPS Industry Alliance.
- Umer, F. (2025, March 4). *What Are the Key Benefits of Using EPS Geofoam*. Retrieved from Construction How: <https://constructionhow.com/what-are-the-key-benefits-of-using-eps-geofoam/>