

ANALISIS PENGARUH KETEBALAN DAN KEPADATAN GEOFOAM EPS TERHADAP PENURUNAN DAN DISTRIBUSI TEGANGAN TIMBUNAN JALAN

Andrew Bob Bryan Karo-karo^a dan Eri Susanto Hariyadi^b

^aInstitut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

^bInstitut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi ketebalan (1 m, 2 m, dan 3 m) dan kepadatan (Kelas 15, 22, dan 39) Geofom Expanded Polystyrene (EPS) terhadap penurunan dan distribusi tegangan pada timbunan jalan yang dibangun di atas tanah *clayshale* problematik. Analisis dilakukan melalui simulasi numerik metode elemen hingga menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D pada kondisi *plane strain*, dengan geometri model diadaptasi dari desain Proyek Jalan Tol Cisumdawu (STA 40+300). Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketebalan merupakan faktor dominan dalam mereduksi tegangan pada tanah dasar, sementara kepadatan berpengaruh signifikan terhadap penurunan di permukaan. Berdasarkan analisis, direkomendasikan kombinasi paling optimal yaitu penggunaan Geofom EPS Kelas 39 dengan ketebalan 2 meter. Kombinasi ini memberikan keseimbangan terbaik antara reduksi tegangan vertikal maksimal (41,7%) untuk stabilitas tanah dasar dan reduksi penurunan permukaan yang signifikan (29,03%) untuk kinerja layanan jalan.

Kata kunci: Geofom EPS, Timbunan Ringan, Clayshale, Penurunan, Distribusi Tegangan, Metode Elemen Hingga, PLAXIS 2D

1. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur strategis di Indonesia, seperti jalan tol, seringkali dihadapkan pada tantangan kondisi geologi yang kompleks. Salah satu tantangan utama adalah konstruksi di atas formasi *clayshale* yang problematik, seperti yang banyak ditemukan di Provinsi Jawa Barat. Material ini menjadi penyebab utama dari berbagai isu ketidakstabilan geoteknik pada banyak proyek infrastruktur. Karakteristik utama yang membuat *clayshale* sangat problematik adalah sifat teknisnya yang sangat sensitif terhadap perubahan kondisi lingkungan. Proses pelapukan (*weathering*) akibat siklus pembasahan dan pengeringan dapat menyebabkan degradasi atau *slaking*, di mana material batuan ini kehilangan kekuatan gesernya secara drastis dan berperilaku seperti tanah lempung dengan konsistensi lunak. Penambahan beban dari timbunan jalan konvensional di atas formasi ini akan meningkatkan tegangan geser dan tekanan air pori, yang dapat dengan mudah memicu kegagalan stabilitas.

Untuk mengatasi tantangan ini, pendekatan rekayasa yang dapat meminimalkan beban yang bekerja pada lapisan *clayshale* yang lemah menjadi krusial. Penggunaan Geofom Expanded Polystyrene (EPS) sebagai material timbunan ultra-ringan merupakan salah satu solusi rekayasa yang paling efektif. Dengan massa jenis yang hanya sekitar 1-2% dari material timbunan tanah, Geofom EPS mampu mengurangi beban mati secara signifikan (Stark et al., 2004). Prinsip utama dari aplikasi ini adalah menggantikan volume besar material timbunan berat untuk mereduksi tegangan vertikal dan horizontal pada tanah dasar, sehingga secara langsung menurunkan gaya pendorong akibat gravitasi yang dapat memicu kelongsoran.

Meskipun Geofom EPS adalah teknologi yang telah teruji, optimasi desainnya sangat bergantung pada parameter kunci. Kinerja timbunan sangat ditentukan oleh dua parameter utama, yaitu ketebalan lapisan yang secara langsung mengatur besarnya reduksi beban dan kepadatan material yang berkorelasi dengan kekakuan dan kuat tekannya (Horvath, 1995). Kepadatan akan memengaruhi perilaku deformasi internal dari blok EPS itu sendiri. Oleh karena itu, penelitian ini menyajikan sebuah analisis numerik yang sistematis untuk mengkuantifikasi pengaruh variasi ketebalan dan kepadatan Geofom EPS terhadap kinerja timbunan, dengan parameter kinerja utama adalah penurunan dan distribusi tegangan. Tujuan akhirnya adalah untuk memberikan panduan desain berbasis data guna menentukan kombinasi yang paling efektif untuk aplikasi timbunan ringan pada kondisi geoteknik yang serupa.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan sepenuhnya melalui metode simulasi numerik elemen hingga untuk menganalisis respons timbunan jalan secara kuantitatif.

Model konseptual

Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak geoteknik PLAXIS 2D dengan asumsi kondisi *plane strain*. Asumsi ini valid karena struktur timbunan jalan memiliki panjang yang sangat dominan dibandingkan dengan dimensi penampang melintangnya. Geometri model, yang merepresentasikan timbunan jalan dengan lebar total 32 meter, diadaptasi dari gambar Rencana Teknik Akhir (DED) Proyek Jalan Tol Cisumdawu pada lokasi STA 40+300.

Variabel penelitian

Studi parametrik ini melibatkan sembilan skenario pemodelan yang berbeda, yang dibentuk dari kombinasi variabel bebas berikut:

- 1) Ketebalan Geofom EPS: Divariasikan pada tiga level, yaitu 1 m, 2 m, dan 3 m.
- 2) Kepadatan Geofom EPS: Divariasikan pada tiga kelas sesuai standar ASTM D6817, yaitu Kelas 15

(14,4 kg/m³), Kelas 22 (21,6 kg/m³), dan Kelas 39 (38,4 kg/m³).

Parameter kinerja yang ditinjau sebagai variabel terikat adalah penurunan vertikal (u_y) dan distribusi tegangan vertikal efektif (σ'_{yy}) pada tanah dasar.

Parameter material

Parameter untuk setiap material dalam model ditentukan berdasarkan kombinasi data dari laporan geoteknik proyek, korelasi empiris dari literatur (Das, 2014), dan standar teknis yang relevan. Lapisan tanah dasar (*clayshale* dan *tuff*) dimodelkan menggunakan model konstitutif *Hardening Soil* dan *Soft Soil* untuk menangkap perilaku non-linear tanah secara akurat. Material Gefoam EPS dimodelkan sebagai material *Linear-Elastic*, yang valid untuk analisis pada tingkat tegangan kerja. Elemen struktur seperti *shotcrete* dan pelat beton dimodelkan sebagai elemen *Plate*. Rangkuman parameter material utama yang digunakan dalam simulasi disajikan pada Tabel 1 sampai Tabel 4.

Tabel 1. Rangkuman Parameter Tanah

Parameter	Satuan	Soil and interface			
		Tuff	Weathered Clayshale	Fresh Clayshale	Embankment
General					
Soil model		Soft Soil	Hardening Soil	Hardening Soil	Hardening Soil
Drainage Type		Drained	Drained	Drained	Drained
γ_{unsat}	kN/m ³	16	18	20	16
γ_{sat}	kN/m ³	18	20	21	19
e_{init}		0.9	0.6	0.3	0.5
n_{init}		0,4737	0,375	0,2308	0,3333
Mechanical					
E'_{ref}	kN/m ²	-	-	-	25000
ν (nu)		-	-	-	-
C_c		0,189	0,099	0,009	-
C_s		0,02835	0,01485	0,00135	-
ν_{ur}		0,2	0,2	0,2	0,2
c'_{ref}	kN/m ²	4	13	30	5
ϕ' (phi)	°	29	20	20	31
ψ (psi)	°	0	0	0	1
Groundwater					
k_x	m/day	0,000864	0,00000864	0,000000864	3,499
k_y	m/day	0,000864	0,00000864	0,000000864	3,499

Tabel 2. Rangkuman Parameter EPS

Parameter	Satuan	Soil and interface		
		EPS 15	EPS 22	EPS 39
General				
Soil model		Linear Elastic	Linear Elastic	Linear Elastic
Drainage Type		Non-porous	Non-porous	Non-porous
γ_{unsat}	kN/m ³	0,141	0,212	0,377
γ_{sat}	kN/m ³	-	-	-
e_{init}		0,5	0,5	0,5
n_{init}		0,3333	0,3333	0,3333
Mechanical				
E'_{ref}	kN/m ²	2500	5000	10300
ν (nu)		0,12	0,12	0,12

Tabel 3. Rangkuman Parameter Struktur

Parameter	Satuan	Plates		
		Shorcrete	Pelat Beton	Lean Concrete
General				
Material type		Elastic	Elastic	Elastic
w	kN/m/m	2,4	4,8	3,6
Mechanical				
EA ₁	kN/m	2350000	5148000	2229000
EI	kN/m	1958	17168	4177
v (nu)	kN m ² /m	0,15	0,15	0,15

Tabel 4. Rangkuman Parameter Geomembran

Parameter	Satuan	Geogrids
		Geomembran
General		
Material type		Elastic
Mechanical		
EA ₁	kN/m	350

Simulasi Konstruksi Bertahap

Untuk mensimulasikan proses konstruksi di lapangan secara realistis, analisis dilakukan dengan metode konstruksi bertahap (*staged construction*). Urutan simulasi adalah sebagai berikut:

1. Fase Inisial: Menghitung kondisi tegangan awal tanah (*in-situ stress*) sebelum konstruksi menggunakan prosedur K0.
2. Fase Konstruksi: Mengaktifkan seluruh elemen timbunan (tanah, EPS, dan struktur perkuatan) untuk mensimulasikan penambahan beban akibat konstruksi.
3. Fase Pembebanan: Menerapkan beban layanan total sebesar 25 kPa di atas permukaan timbunan, yang merepresentasikan kombinasi beban mati perkerasan dan beban hidup lalu lintas.
4. Fase Konsolidasi: Menganalisis perilaku penurunan jangka panjang dengan menjalankan simulasi untuk periode waktu 75 tahun, untuk memastikan proses disipasi tekanan air pori berlebih telah mencapai kondisi akhirnya.

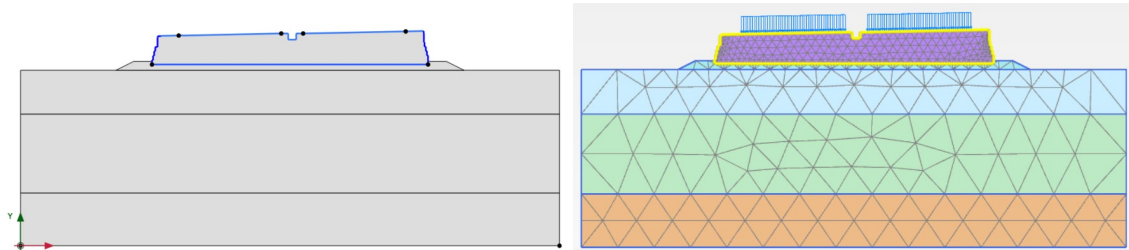
Konfigurasi model elemen hingga

Keakuratan hasil dari sebuah analisis numerik sangat bergantung pada seberapa representatif model yang dibangun

dalam mensimulasikan kondisi nyata. Bagian ini memberikan justifikasi teknis di balik setiap pilihan pemodelan.

Geometri model dan jaringan elemen

Geometri model diadaptasi dari DED Proyek Jalan Tol Cisumdawu (STA 40+300) dengan asumsi *plane strain*. Domain model kemudian didiskritisasi menjadi sebuah jaring elemen hingga (*mesh*). Model ini menggunakan elemen *15-node triangle*, sebuah elemen orde tinggi yang mampu memberikan perhitungan regangan dan tegangan yang jauh lebih akurat, terutama pada area dengan gradien tegangan tinggi seperti pada interaksi tanah-struktur. Kerapatan jaring global diatur pada tingkat "Medium" dan dikombinasikan dengan perbaikan jaring lokal (*local refinement*) pada zona-zona kritis di sekitar elemen struktur dan antarmuka untuk menyeimbangkan akurasi dan efisiensi komputasi. Keseluruhan volume Geofom EPS dimodelkan sebagai poligon tunggal yang kontinu dan homogen, sebuah idealisasi yang valid secara mekanis karena metode instalasi di lapangan (pola bersusun dan penggunaan konektor mekanis) dirancang untuk memastikan sistem berperilaku sebagai satu kesatuan monolitik.



Gambar 1. Geometri Model dan Jaringan Elemen Hingga (Mesh)

Model Konstitutif Material

Pemilihan model konstitutif yang tepat sangat krusial untuk mendapatkan simulasi yang realistis.

- 1) Tanah Dasar dan Timbunan: Untuk merepresentasikan perilaku tanah yang non-linear, digunakan model elasto-plastis canggih. Lapisan Silt/Tuff yang paling kompresibel dimodelkan dengan Model Soft Soil untuk menangkap perilaku konsolidasi secara akurat. Sementara itu, material yang lebih kaku seperti *clayshale* dan timbunan granular dimodelkan dengan Model Hardening Soil untuk mensimulasikan kekakuan yang bergantung pada tegangan (*stress-dependent stiffness*) dan pengerasan akibat regangan plastis.
- 2) Geofom EPS: Material ini dimodelkan menggunakan Model Elastis Linear dengan tipe drainase *Non-porous*. Asumsi ini valid karena pada tegangan kerja, respons EPS berada dalam rentang linear, dan sebagai material sel-tertutup, ia tidak mengalami tekanan air pori.
- 3) Elemen Struktur: Komponen beton (*shotcrete*, pelat beton, *lean concrete*) dimodelkan sebagai elemen Plate, yang secara efisien merepresentasikan struktur ramping yang menahan gaya aksial dan momen lentur. Lapisan geomembran dimodelkan sebagai elemen Geogrid, yang secara akurat menangkap perilaku material yang hanya menahan gaya tarik.

Pemodelan Interaksi dan Tahapan Simulasi

Untuk mensimulasikan pergerakan relatif (selip atau pemisahan) pada bidang kontak antar material, digunakan elemen Interface. Pada kontak tanah-struktur, digunakan faktor reduksi kekuatan standar ($R_{inter} = 0,7$). Namun, pada kontak EPS-Geomembran, properti geser didefinisikan secara langsung (adhesi $c_a = 22$ kPa, sudut geser $\delta = 11^\circ$) berdasarkan data uji laboratorium dari literatur untuk akurasi yang lebih tinggi.

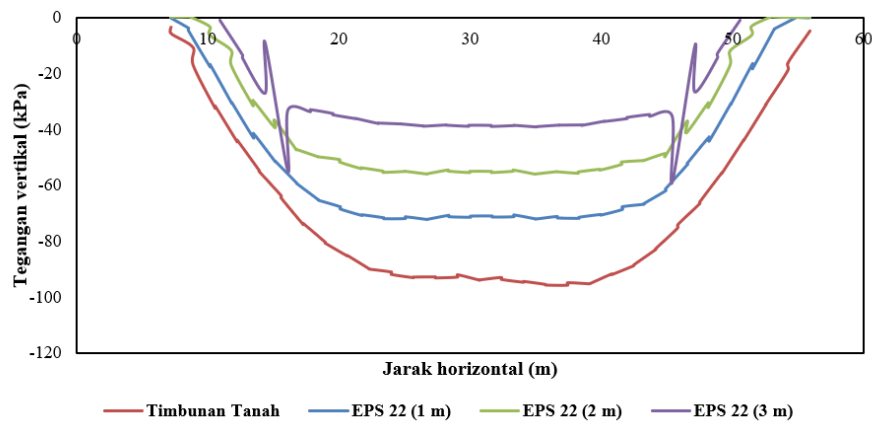
Simulasi proses konstruksi dilakukan menggunakan metode konstruksi bertahap (*staged construction*) untuk merepresentasikan urutan pekerjaan di lapangan secara realistis, yang dibagi menjadi empat fase kalkulasi berurutan: Fase Inisial (menghitung tegangan *in-situ*), Fase Konstruksi (mengaktifkan timbunan), Fase Pembebanan (menerapkan beban lalu lintas), dan Fase Konsolidasi (analisis penurunan jangka panjang selama 75 tahun).

3. HASIL DAN ANALISIS

Bagian ini menyajikan temuan utama dari sembilan skenario simulasi numerik, dengan fokus pada pengaruh variasi ketebalan dan kepadatan EPS terhadap distribusi tegangan dan pola penurunan. Tabel 5 dan Tabel 6 merangkum hasil kinerja kuantitatif untuk semua skenario yang diuji, termasuk kasus kontrol (timbunan tanah penuh) sebagai pembandingan.

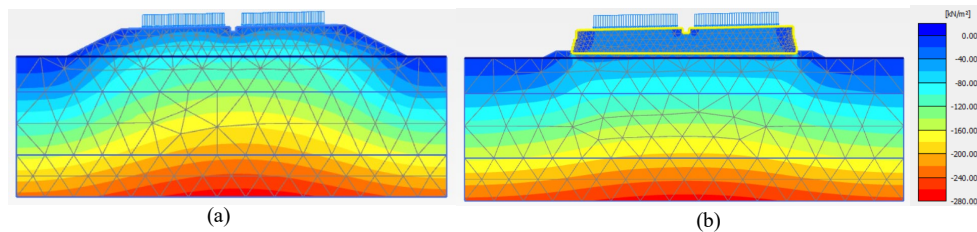
Pengaruh terhadap distribusi tegangan vertikal

Hasil simulasi secara konsisten menunjukkan bahwa ketebalan lapisan EPS merupakan faktor yang paling dominan dalam mereduksi tegangan vertikal pada tanah dasar. Gambar 2 menyajikan perbandingan profil distribusi tegangan vertikal di sepanjang permukaan tanah dasar untuk berbagai skenario ketebalan. Profil untuk timbunan tanah menunjukkan distribusi tegangan yang tinggi dan meluas. Sebaliknya, penggunaan timbunan EPS secara drastis mereduksi tegangan di area tengah dan mengubah profil distribusi, di mana terlihat adanya konsentrasi tegangan di dekat tepi timbunan.



Gambar 2. Profil Tegangan Vertikal Tanah Dasar vs Ketebalan EPS

Perbedaan fundamental dalam mekanisme distribusi beban ini divisualisasikan secara lebih jelas melalui output kontur tegangan dari metode elemen hingga pada Gambar 3. Pada kasus timbunan tanah konvensional (Gambar 3a), beban disalurkan secara luas, menghasilkan profil tegangan berbentuk "bola lampu" (*stress bulb*) yang klasik. Namun, pada sistem timbunan EPS dengan perkuatan (Gambar 3b), tekanan lateral dari EPS ditahan oleh dinding *shotcrete* kaku. Akibatnya, dinding *shotcrete* berfungsi seperti dua pondasi jalur (*strip foundation*) yang mengonsentrasikan sebagian beban ke tanah di bawahnya.



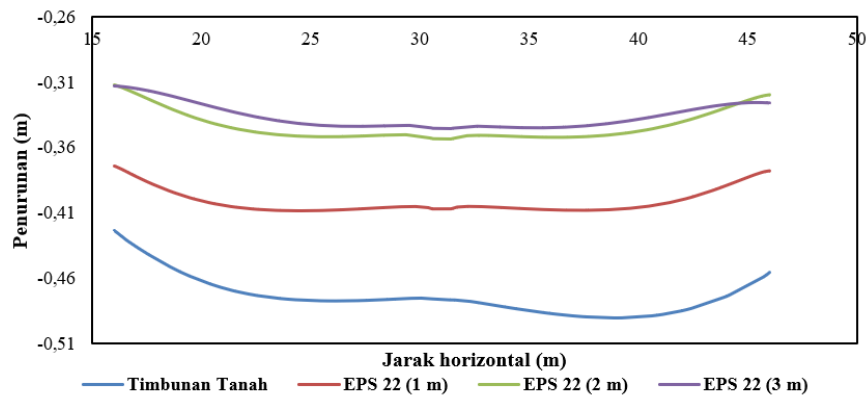
Gambar 3. Kontur Tegangan Vertikal: (a) Timbunan Tanah Penuh vs (b) Timbunan EPS 3 m

Sebuah fenomena penting yang teramati adalah bahwa hubungan antara ketebalan dan reduksi tegangan tidak bersifat linear. Setelah mencapai titik efektivitas maksimum pada ketebalan 2 meter, penambahan ketebalan lebih lanjut hingga 3 meter justru menyebabkan tegangan vertikal pada tanah dasar sedikit meningkat kembali menjadi sekitar 61,8 kPa. Fenomena ini tidak dapat dijelaskan hanya dengan perhitungan reduksi beban satu dimensi. Hal ini mengindikasikan adanya mekanisme interaksi tanah-struktur dua dimensi yang kompleks. Seiring bertambahnya volume blok EPS yang sangat ringan, pengaruh relatif dari elemen-elemen perkuatan yang kaku dan berat (dinding *shotcrete* dan pelat beton) menjadi lebih dominan. Sistem komposit ini mulai berperilaku seperti sebuah "kotak" semi-kaku yang cenderung mengkonsentrasikan tegangan di bawah tepi-tepinya, sehingga mengubah pola distribusi tekanan di pusat timbunan.

Di sisi lain, variasi kepadatan EPS (Kelas 15, 22, dan 39) menunjukkan pengaruh yang sangat kecil dan dapat diabaikan terhadap tegangan di tanah dasar. Hal ini terjadi karena perbedaan berat jenis antar kelas EPS sangatlah kecil jika dibandingkan dengan komponen beban lain yang bekerja, seperti berat lapisan tanah, pelat beton, dan beban lalu lintas.

Pengaruh terhadap penurunan permukaan

Berbeda dengan pengaruhnya terhadap tegangan, baik ketebalan maupun kepadatan EPS menunjukkan pengaruh yang signifikan dalam mengurangi penurunan di permukaan timbunan. Gambar 4 menunjukkan perbandingan profil penurunan di permukaan timbunan untuk berbagai variasi ketebalan. Serupa dengan perilaku di tanah dasar, profil penurunan paling dalam terjadi pada timbunan tanah konvensional. Penggunaan lapisan EPS dengan ketebalan yang semakin besar secara progresif menghasilkan profil penurunan yang lebih dangkal, yang mengindikasikan penurunan total yang lebih kecil.



Gambar 4. Profil Penurunan Permukaan vs Ketebalan EPS

Penurunan total di permukaan merupakan superposisi dari dua komponen utama: penurunan pada lapisan tanah dasar ($\Delta_{\text{tanah dasar}}$) dan kompresi internal yang terjadi di dalam blok EPS itu sendiri ($\Delta_{\text{internal EPS}}$).

Ketebalan EPS berperan mengurangi komponen $\Delta_{\text{tanah dasar}}$ melalui mekanisme reduksi beban, sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya. Sementara itu, kepadatan EPS secara langsung mengontrol komponen $\Delta_{\text{internal EPS}}$. Material EPS dengan kepadatan lebih tinggi (misalnya Kelas 39) memiliki Modulus Elastisitas (E) yang jauh lebih besar, yang berarti material tersebut lebih kaku. Ketika dibebani oleh perkerasan dan lalu lintas, blok EPS yang lebih kaku akan mengalami kompresi internal yang jauh lebih kecil dibandingkan blok EPS yang lebih lunak (misalnya Kelas 15).

Perbedaan kompresi internal inilah yang menjadi penyebab utama mengapa, untuk ketebalan yang sama, penggunaan EPS dengan kepadatan lebih tinggi selalu menghasilkan total penurunan permukaan yang lebih kecil. Sebagai contoh, pada ketebalan 3 meter, penggunaan EPS Kelas 39 menghasilkan penurunan 33,74 cm, sementara EPS Kelas 15 menghasilkan penurunan 36,21 cm (Tabel 2). Temuan ini menegaskan bahwa untuk mengontrol kinerja layanan (*serviceability*) perkerasan jalan, pemilihan EPS dengan kepadatan dan kekakuan setinggi mungkin merupakan faktor yang krusial.

IMPLIKASI DESAIN DAN REKOMENDASI OPTIMAL

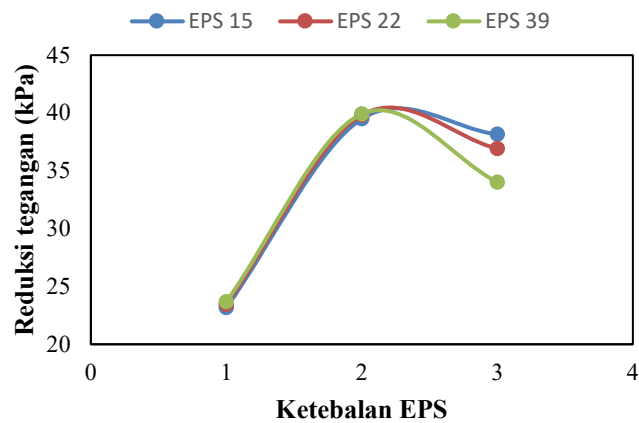
Analisis hasil simulasi memberikan implikasi desain yang penting. Terdapat sebuah *trade-off* antara dua tujuan rekayasa utama: stabilitas tanah dasar (dimaksimalkan dengan reduksi tegangan) dan kinerja layanan perkerasan (dimaksimalkan dengan reduksi penurunan). Data pada Tabel 6 menunjukkan bahwa skenario yang memberikan reduksi penurunan absolut terendah (3 m - Kelas 39) tidak sama dengan skenario yang memberikan reduksi tegangan absolut terendah (2 m - Kelas 39). Hal ini menuntut sebuah keputusan rekayasa untuk memilih kombinasi yang paling seimbang dan efektif secara keseluruhan.

Fenomena respons tegangan yang non-linear, di mana efektivitas reduksi mencapai puncaknya pada ketebalan 2 meter, menggarisbawahi pentingnya memandang timbunan Geofom bukan sebagai material tunggal, melainkan sebagai sebuah sistem komposit. Kinerja akhir sangat ditentukan oleh interaksi yang kompleks antara isian ringan (EPS), struktur perkuatan kaku (*shotcrete*), dan tanah dasar. Pendekatan desain yang hanya berfokus pada sifat material EPS secara terisolasi akan gagal menangkap perilaku sistem yang krusial ini.

Berdasarkan analisis *trade-off*, kombinasi ketebalan 2 meter dengan Geofom EPS Kelas 39 direkomendasikan sebagai solusi yang paling optimal dari sembilan skenario yang diteliti. Justifikasi untuk rekomendasi ini adalah kombinasi ini berhasil mencapai reduksi tegangan vertikal paling maksimal (41,7%), yang merupakan faktor paling kritis untuk menjamin stabilitas jangka panjang dan mencegah kegagalan pada tanah dasar *clayshale* yang problematik. Pada saat yang sama, kombinasi ini tetap memberikan reduksi penurunan permukaan yang sangat signifikan (29,03%), hanya sedikit di bawah nilai terbaik yang dicapai oleh skenario 3 meter (31,20%). Dengan demikian, skenario 2 meter dengan EPS Kelas 39 menawarkan keseimbangan kinerja terbaik, memaksimalkan keamanan stabilitas sambil tetap menjamin kinerja layanan yang sangat baik, menjadikannya pilihan yang paling efisien dan efektif secara rekayasa.

Tabel 5. Rangkuman Hasil Reduksi Tegangan dari Variabel Kontrol

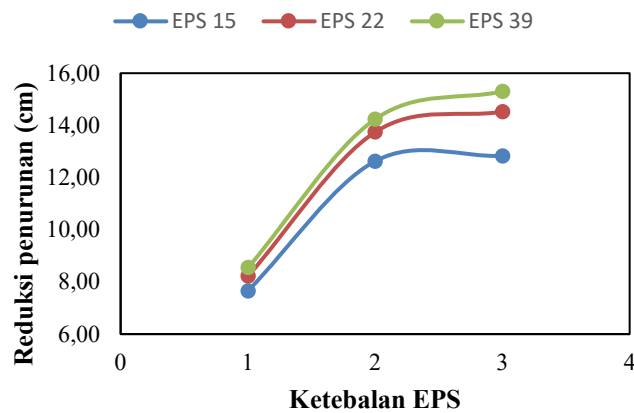
Ketebalan EPS (m)	Reduksi Tegangan [%]		
	EPS 15	EPS 22	EPS 39
1	24.19	24.48	24.72
2	41.22	41.56	41.66
3	39.82	38.52	35.50



Gambar 5. Grafik Reduksi Tegangan dari Variabel Kontrol

Tabel 6. Rangkuman Hasil Reduksi Penurunan dari Variabel Kontrol

Ketebalan EPS (m)	Reduksi Penurunan [%]		
	EPS 15	EPS 22	EPS 39
1	15.61	16.75	17.42
2	25.75	28.02	29.03
3	26.16	29.62	31.20



Gambar 6. Grafik Reduksi Penurunan dari Variabel Kontrol

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis numerik yang telah dilakukan, ditarik beberapa kesimpulan utama. Pertama, ketebalan Geofoam EPS merupakan faktor dominan dalam mereduksi tegangan pada tanah dasar, dengan efektivitas optimal tercapai pada ketebalan 2 meter yang mampu mereduksi tegangan hingga 41,7%. Penambahan ketebalan lebih lanjut justru sedikit menaikkan kembali tegangan akibat interaksi kompleks dengan struktur perkuatan. Kedua, kepadatan (dan kekakuan) EPS adalah faktor dominan dalam mengontrol penurunan di permukaan timbunan dengan cara meminimalkan kompresi internal blok EPS, namun memiliki pengaruh yang dapat diabaikan pada tegangan di tanah dasar. Semakin tinggi kepadatan, semakin kecil penurunan di permukaan. Ketiga, berdasarkan analisis *trade-off* antara tujuan stabilitas dan kinerja layanan, kombinasi yang paling efektif secara keseluruhan adalah penggunaan Geofoam EPS Kelas 39 dengan ketebalan 2 meter. Kombinasi ini memberikan keseimbangan terbaik antara reduksi tegangan vertikal maksimal untuk keamanan tanah dasar dan reduksi penurunan permukaan yang signifikan untuk menjamin durabilitas perkerasan jalan.

DAFTAR PUSTAKA

- Das, B. M. (2014). *Principles of Geotechnical Engineering*. Cengage Learning, Stamford.
- Frydenlund, T. E., and Aabøe, R. (2012). "40 years of experience with the use of EPS geofoam in road construction". *4th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications*, Oslo, Norwegia.
- Horvath, J. S. (1995). *Geofoam Geosynthetic: A Monograph on the Material Properties and Engineering Applications of Expanded Polystyrene*. InFRM, Scarsdale.
- Pramudita, R. A., Prahara, E., and Susila, E. (2016). "Behavior of Embankment on Weathered Clay Shale". *The 20th Annual Conference of the Association of Geotechnical Societies in Southeast Asia*, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Puppala, A. J., Chittoori, B., and Pedarla, A. (2019). "Design and construction of lightweight EPS geofoam embedded geomaterial embankment system for control of settlements". *Transportation Geotechnics*, Vol. 20, 100245.
- Stark, T. D., Arellano, D., Horvath, J. S., and Leshchinsky, D. (2004). *Geofoam for lightweight fill in slope stability applications*. NCHRP Report 529, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Wesley, L. D. (2016). "Unsaturated Clay Shale, Their Properties and Slope Stability Problems in Indonesia". *The 20th Annual Conference of the Association of Geotechnical Societies in Southeast Asia*, Kuala Lumpur, Malaysia.