

ANALISIS STABILITAS DAN PENURUNAN TIMBUNAN MENGUNAKAN EPS GEOFOAM DENGAN VARIASI KONFIGURASI JALAN TOL BAYUNG LENCIR–TEMPINO

ANALYSIS OF EMBANKMENT STABILITY AND SETTLEMENT USING EPS GEOFOAM WITH VARYING CONFIGURATIONS ON THE BAYUNG LENCIR–TEMPINO TOLL ROAD

*Tommy Diaz Iskandar¹, Abdul Rochim², Rifqi Brilyant Arief²

^{1,2,3} Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung Semarang

*Email Korespondensi: Tom.diaz15@gmail.com

ABSTRACT

Road embankments constructed on soft soil typically experience significant settlement and low stability due to the soil's limited bearing capacity. The use of lightweight materials, such as Expanded Polystyrene (EPS) Geofoam, offers an alternative for reducing vertical loads and enhancing embankment performance. This study aims to analyze the impact of varying EPS Geofoam configurations on the settlement and stability of embankments on soft soil. The analysis was conducted for Section 3 of the Bayung Lencir–Tempino Toll Road using the finite element method via Plaxis 2D software, employing the Mohr-Coulomb model. The EPS Geofoam configurations examined involved replacing 0%, 50%, and 100% of the embankment height. Simulations included static and pseudo-static loading, as well as short-term and long-term consolidation analyses. The results indicate that the use of EPS Geofoam reduces settlement and increases the factor of safety. In the scenario without EPS, settlement reached 2.15 m after 10 years, with a factor of safety of 1.40. Using 50% EPS reduced settlement to 1.40 m with a factor of safety of 1.80, while 100% EPS resulted in 1.06 m of settlement and a factor of safety of 2.26. Settlement reductions were 34.9% for the 50% EPS configuration and 50.7% for the 100% EPS configuration compared to the condition without EPS. Although the 100% configuration yielded the best technical performance, the 50% configuration demonstrated significant performance improvements and offers a potentially more economical alternative. The study concludes that EPS Geofoam is effective in reducing settlement and enhancing embankment stability on soft soil; however, the analysis did not include field validation, potential differential settlement, or a detailed cost evaluation.

Keywords: EPS Geofoam, soft soil, settlement, stability, Plaxis 2D

ABSTRAK

Timbunan jalan pada tanah lunak umumnya mengalami penurunan besar dan stabilitas rendah akibat daya dukung tanah yang terbatas. Penggunaan material ringan seperti *Expanded Polystyrene* (EPS) Geofoam menjadi alternatif untuk mengurangi beban vertikal dan meningkatkan kinerja timbunan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi konfigurasi EPS Geofoam terhadap penurunan dan stabilitas timbunan pada tanah lunak. Analisis dilakukan pada Seksi 3 Jalan Tol Bayung Lencir–Tempino menggunakan metode elemen hingga melalui perangkat lunak Plaxis 2D dengan model Mohr-Coulomb. Variasi konfigurasi EPS Geofoam yang dikaji meliputi 0%, 50%, dan 100% dari tinggi timbunan. Simulasi mencakup pembebanan statis, pseudostatik, serta analisis konsolidasi jangka pendek dan jangka panjang. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan EPS Geofoam mengurangi penurunan dan meningkatkan faktor keamanan. Pada kondisi tanpa EPS, penurunan mencapai 2,15 m pada umur 10 tahun dengan faktor keamanan 1,40. Penggunaan EPS 50% menurunkan penurunan menjadi 1,40 m dengan faktor keamanan 1,80, sedangkan EPS 100% menghasilkan penurunan 1,06 m dengan faktor keamanan 2,26. Reduksi penurunan sebesar 34,9% pada EPS 50% dan 50,7% pada EPS 100% relatif terhadap kondisi tanpa EPS. Meskipun konfigurasi 100% memberikan kinerja teknis terbaik, konfigurasi 50% menunjukkan kinerja yang cukup signifikan dan berpotensi menjadi alternatif yang lebih ekonomis. Penelitian ini menyimpulkan bahwa EPS Geofoam efektif dalam mengurangi penurunan dan meningkatkan stabilitas timbunan pada tanah lunak, dengan catatan bahwa analisis belum mencakup validasi lapangan, potensi penurunan diferensial, dan evaluasi biaya secara rinci.

Kata kunci: EPS Geofoam, tanah lunak, penurunan, stabilitas, Plaxis 2D

1. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur jalan tol di Indonesia semakin berkembang untuk meningkatkan konektivitas dan efisiensi transportasi antarwilayah. Salah satu proyek strategis tersebut adalah Jalan Tol Bayung Lencir–Tempino, bagian dari jaringan Tol Trans Sumatera yang menghubungkan Provinsi Sumatera Selatan dan Jambi. Jalan tol ini memiliki panjang total 33,63 kilometer dan terbagi dalam tiga seksi, di mana Seksi 3 (STA 141+200–141+425 dan STA 141+775–141+900) merupakan salah satu segmen yang menghadapi tantangan geoteknik paling kompleks. Pada bagian ini, trase jalan melewati area persawahan dan rawa-rawa dengan kondisi tanah lunak yang sangat rentan terhadap penurunan (*settlement*) dan ketidakstabilan timbunan.

Karakteristik tanah lunak pada lokasi proyek menyebabkan timbunan setinggi 6–8 meter berpotensi mengalami deformasi besar dan kegagalan lereng apabila menggunakan material tanah konvensional. Oleh karena itu, diperlukan inovasi teknik untuk mengurangi tekanan vertikal pada tanah dasar serta meningkatkan stabilitas jangka panjang. Salah satu solusi yang banyak digunakan adalah *Expanded Polystyrene* (EPS) Geofoam, yaitu material ringan dengan berat volume 0,1–0,3 kN/m³ (Khalaj et al., 2020) yang mampu mengurangi beban timbunan secara signifikan tanpa mengurangi fungsi strukturalnya.

Pemanfaatan EPS Geofoam dalam proyek jalan di tanah lunak telah terbukti memberikan manfaat berupa percepatan waktu konstruksi, pengurangan beban tanah dasar, dan peningkatan stabilitas timbunan (Siabil et al., 2020; Soundara & Selvakumar, 2020). Material ini juga memiliki ketahanan yang baik terhadap perubahan cuaca serta durabilitas yang dapat mencapai lebih dari 30 tahun (Tafreshi et al., 2020; Tran-Nguyen & Phan, 2020). Namun, dalam aplikasinya, EPS Geofoam memerlukan desain geoteknik yang cermat, terutama terkait ketebalan, posisi, ketinggian, dan konfigurasi susunan, yang semuanya sangat berpengaruh terhadap faktor keamanan dan performa penurunan tanah.

Penggunaan EPS Geofoam di Indonesia sebelumnya telah diterapkan pada proyek Tol Cisumdawu, di mana Rahardjo et al. (2023) menekankan pentingnya perlindungan terhadap muka air tanah dangkal serta kebutuhan pelapisan tambahan untuk menjaga kinerja material. Selain itu, penelitian-penelitian seperti (Khosravi & Arellano, 2024; Puppala et al., 2019; Wang & Huang, 2021a) menunjukkan bahwa variasi densitas, ketebalan, dan geometri pemasangan EPS sangat memengaruhi respons timbunan terhadap beban statis maupun dinamis.

Meskipun banyak penelitian membahas performa EPS Geofoam, belum ada kajian yang secara khusus menganalisis pengaruh variasi konfigurasi susunan EPS Geofoam secara berjenjang (misalnya 0%, 50%, dan 100% tinggi timbunan) dan penurunan pada timbunan jalan tol. Konfigurasi berjenjang ini berpotensi menghasilkan distribusi beban yang lebih merata dan perilaku deformasi yang berbeda dibandingkan pemasangan EPS secara penuh maupun parsial, sehingga penting untuk dievaluasi lebih lanjut. Selain itu, penelitian terdahulu umumnya berfokus pada aspek teknis tanpa membandingkan secara sistematis kinerja antar konfigurasi dan tanpa memberikan kriteria pemilihan konfigurasi yang dapat digeneralisasi. Kesenjangan inilah yang menjadi fokus penelitian ini.

Untuk mengisi research gap tersebut, penelitian ini melakukan analisis numerik menggunakan Plaxis 2D, yang telah umum digunakan untuk memodelkan deformasi tanah, analisis konsolidasi dengan metode elemen hingga. Analisis ini difokuskan pada perbandingan beberapa konfigurasi EPS Geofoam 0%, 50%, dan 100% untuk mengetahui pengaruhnya terhadap faktor keamanan (*safety factor*), besar penurunan (*settlement*), dan batas elastis EPS terhadap beban timbunan. Perilaku jangka panjang pada kondisi tanah lunak juga menjadi perhatian utama. Kebaruan penelitian ini terletak pada analisis sistematis hubungan antara persentase konfigurasi EPS dan respons geoteknik timbunan, serta identifikasi konfigurasi yang memberikan keseimbangan terbaik antara kinerja teknis dan potensi efisiensi material.

Studi dilakukan pada lokasi Seksi 3 Jalan Tol Bayung Lencir–Tempino sehingga hasil yang diperoleh dapat memberikan rekomendasi desain praktis, baik untuk optimasi penggunaan EPS Geofoam maupun untuk perancangan timbunan jalan pada area tanah lunak di proyek-proyek serupa di Indonesia.

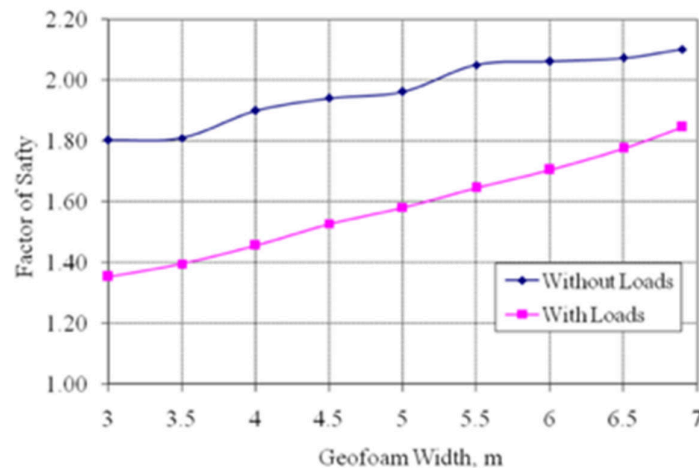
2. LANDASAN TEORI

Expanded Polystyrene (EPS) Geofoam digunakan sebagai material pengisi dalam timbunan untuk meningkatkan faktor keamanan serta mengurangi tingkat penurunan (Faishol et al., 2024). Penggunaan EPS Geofoam, baik secara penuh maupun parsial, memberikan perbedaan dalam cara timbunan merespons gaya yang bekerja, yang pada akhirnya mempengaruhi faktor keamanan dan tingkat penurunan timbunan tersebut (Anggraini et al., 2024).

EPS Geofoam sebagai material pengisi timbunan secara penuh berfungsi meningkatkan stabilitas dan mengurangi penurunan. Penelitian oleh EL-Kady & Badrawi (2014) pada timbunan jalan di tepi sungai menggunakan EPS Geofoam dengan dimensi

optimal menunjukkan efektivitasnya. Timbunan ini ditempatkan di atas tanah keras dengan kedalaman 1 meter, dengan variasi pada lebar, ketebalan, dan posisi material (EL-Kady & Badrawi, 2014). Analisis dilakukan menggunakan Metode Elemen Hingga pada Program Slide 16.003. Hasilnya menunjukkan bahwa mengganti sebagian timbunan dengan EPS Geofoam adalah solusi yang berhasil dan efisien untuk meningkatkan faktor keamanan lereng (EL-Kady & Badrawi, 2014).

Berdasarkan hasil kesetimbangan batas, penggunaan EPS Geofoam setebal 1,0 meter efektif dalam meningkatkan faktor keamanan baik dalam kondisi terbebani maupun tidak terbebani, dengan peningkatan sekitar 40% pada kondisi terbebani (Moghaddas Tafreshi et al., 2021). Posisi lapisan EPS Geofoam di awal jalan kurang efektif untuk meningkatkan faktor keamanan, sehingga lapisan ini dilengkapi dengan lapisan pasir setebal 0,5 m dianggap lebih efisien dan ekonomis. Lebar EPS Geofoam pada kasus lereng, baik dalam kondisi terbebani maupun tidak terbebani (Moghaddas Tafreshi et al., 2021), efektif meningkatkan faktor keamanan, dengan peningkatan faktor keamanan sebesar 34% dan 38% masing-masing dalam kondisi tanpa beban dan dengan beban. EPS Geofoam dengan ketebalan minimal 0,5 m digunakan dalam penelitian ini sebagai dimensi yang paling efektif. Pengaruh ketebalan, posisi, dan lebar EPS Geofoam terhadap nilai faktor keamanan.



Gambar 1. Pengaruh Ketebalan, Posisi, dan Lebar EPS pada nilai faktor aman

Sumber: El-Kady & Badrawi (2014)

EPS Geofoam juga digunakan sebagai material pengisi pada timbunan jalan tol di Indonesia, seperti pada Jalan Tol Krian-Legundi-Bunder-Manyar. Maulana et al. (2020) meneliti timbunan jalan tol di enam STA dengan ketinggian bervariasi antara 3,5 hingga 8,7 meter di atas tanah lunak sedalam 14 meter. Penelitian ini menggunakan EPS

Geofoam sebagai pengisi penuh dengan lapisan tanah penutup (soil cover) setebal 0,5 dan 1 meter. Analisisnya mencakup perhitungan berat dan stabilitas timbunan EPS Geofoam. Hasilnya menunjukkan bahwa timbunan dengan EPS Geofoam, yang memiliki berat volume ringan, menghasilkan kemampatan kecil sehingga tidak membutuhkan metode preloading, sedangkan timbunan tanpa EPS Geofoam memerlukan preloading untuk mengurangi kemampatan. Pada penelitian ini, EPS Geofoam dengan soil cover 0,5 meter digunakan. Susunan EPS Geofoam berbentuk trapesium dalam timbunan dapat mempengaruhi stabilitas.

Gunawan (2020) juga meneliti penggunaan EPS Geofoam pada timbunan di atas tanah dasar setinggi 3 meter dengan lapisan EPS Geofoam setinggi 3,6 meter dan subgrade setebal 0,9 meter, sehingga total tinggi timbunan mencapai 7,5 meter. Timbunan ini berada di atas tanah lempung pasir lunak, dengan analisis menggunakan Metode Elemen Hingga pada Program Plaxis. EPS Geofoam diletakkan di atas tanah dasar untuk menangani masalah muka air tanah yang tinggi, menunjukkan bahwa EPS Geofoam efektif dalam meningkatkan performa jalan dan mengurangi kebutuhan tanah urug, menghemat waktu dan biaya konstruksi. Penggunaan EPS Geofoam menghilangkan kebutuhan backhoe dan truk untuk penggalian dan pengangkutan tanah, sehingga lebih ramah lingkungan dibandingkan preloading konvensional (Diyajee, 2022). Proses konsolidasi selama enam bulan memastikan penyesuaian dan pemadatan tanah untuk menjaga stabilitas jalan. Meskipun biaya EPS Geofoam lebih tinggi dibandingkan preloading, pengurangan waktu konstruksi membuatnya layak dipertimbangkan. Tahapan konstruksi EPS Geofoam akan digunakan sebagai referensi dalam pemodelan staged construction dengan Program Plaxis 2D dan 3D, serta konsolidasi.

Penurunan tanah lunak akibat pembebanan timbunan terjadi melalui proses konsolidasi, yaitu pengurangan volume tanah akibat keluarnya air pori dari dalam tanah. Proses ini berlangsung dalam jangka waktu tertentu, tergantung pada koefisien konsolidasi dan panjang drainase. Dalam konteks timbunan di atas tanah lunak, penurunan total terdiri atas penurunan segera (*immediate settlement*), penurunan konsolidasi primer, dan penurunan sekunder (*creep*). Penggunaan EPS Geofoam mengurangi beban yang bekerja, sehingga tegangan efektif yang menyebabkan konsolidasi juga berkurang. Hal ini menjelaskan mengapa penurunan pada konfigurasi dengan EPS lebih kecil dibandingkan tanpa EPS. Dalam penelitian ini, analisis

konsolidasi dilakukan untuk membandingkan penurunan pada umur 1 tahun dan 10 tahun, yang mewakili fase konsolidasi primer dan jangka panjang.

Analisis stabilitas timbunan dilakukan menggunakan metode *strength reduction* dalam Plaxis 2D, yang menghasilkan faktor keamanan (*safety factor*) berdasarkan rasio kekuatan geser tanah terhadap tegangan yang bekerja. Mekanisme keruntuhan yang dievaluasi adalah keruntuhan lereng (*slope failure*), di mana bidang gelincir berkembang dari kaki lereng hingga ke dalam tanah dasar. Penggunaan EPS Geofom mengurangi beban yang bekerja pada tanah dasar, sehingga tegangan geser yang harus ditahan oleh tanah juga berkurang. Dengan demikian, faktor keamanan meningkat. Selain itu, EPS Geofom juga mengubah distribusi tegangan dan bidang gelincir, sehingga mekanisme keruntuhan yang terjadi dapat berbeda dibandingkan timbunan konvensional.

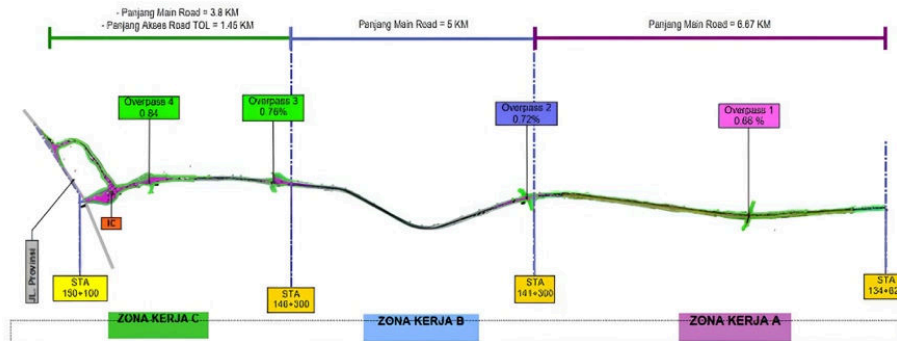
Model Mohr-Coulomb yang digunakan dalam penelitian ini merupakan model elastis-plastis sederhana yang mengasumsikan perilaku tanah sebagai material homogen dan isotropik. Model ini mampu merepresentasikan kuat geser tanah dengan parameter kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ), tetapi memiliki keterbatasan dalam merepresentasikan perilaku tanah lunak yang bersifat *strain-softening*, *creep*, dan ketergantungan waktu. Oleh karena itu, hasil analisis konsolidasi jangka panjang perlu diinterpretasikan dengan hati-hati, karena model ini tidak sepenuhnya menangkap perilaku viskoelastik tanah lunak. Keterbatasan ini diakui sebagai keterbatasan penelitian, dan penelitian lanjutan disarankan menggunakan model konstitutif yang lebih canggih seperti *Soft Soil Creep* atau *Modified Cam-Clay*.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis analisis numerik untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan Expanded Polystyrene (EPS) Geofom terhadap stabilitas dan penurunan timbunan pada tanah lunak. Analisis dilakukan menggunakan metode elemen hingga (Finite Element Method/FEM) dengan perangkat lunak Plaxis 2D, yang mampu memodelkan perilaku tanah secara elastis-plastis serta interaksi tanah-struktur. Penelitian dilakukan pada Seksi 3 Jalan Tol Bayung Lencir-Tempino (STA 141+200–141+425 dan STA 141+775–141+900), yang memiliki kondisi tanah lunak dengan potensi penurunan tinggi. Data yang digunakan berupa data sekunder, meliputi:

- Parameter tanah hasil investigasi geoteknik
- Geometri penampang timbunan
- Data pembebanan (timbunan dan lalu lintas)

- Parameter material EPS Geofoam berdasarkan standar Bina Marga



Gambar 2. Lokasi Penelitian

Variabel penelitian dalam studi ini disusun untuk mengidentifikasi hubungan antara penggunaan EPS Geofoam terhadap respons geoteknik timbunan pada tanah lunak. Variabel yang digunakan meliputi variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol yang ditetapkan untuk menjaga konsistensi dalam proses analisis numerik.

Tabel 1. Variabel Data

Jenis Variabel	Parameter
Variabel bebas	Konfigurasi EPS (0%, 50%, 100%)
Variabel terikat	Settlement, Safety Factor
Variabel kontrol	Parameter tanah, geometri, beban

Pemodelan dilakukan menggunakan Plaxis 2D dengan asumsi plane strain. Tanah dimodelkan menggunakan model Mohr-Coulomb, sedangkan EPS Geofoam dimodelkan sebagai material ringan elastis.

Parameter utama yang digunakan dalam pemodelan meliputi berat isi (γ), kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), modulus elastisitas (E), dan rasio Poisson (ν).

Hasil analisis dievaluasi berdasarkan:

Tabel 2. Parameter Evaluasi

Parameter	Keterangan
Settlement	Penurunan total tanah
Safety Factor	Stabilitas lereng

Analisis dilakukan untuk membandingkan pengaruh variasi konfigurasi EPS Geofoam terhadap peningkatan stabilitas dan pengurangan penurunan timbunan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter tanah yang digunakan dalam pemodelan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter Tanah

Konsistensi	Material Model	N-SPT	E (kN/m ²)	yunsat	ysat	C (kN/m ²)	Phi (°)	Ksat (m/day)
Stiff Clay	Mohr-Coulomb	11	11000	18	19	25	25	1.00E-04
Soft Clay	Mohr-Coulomb	4	4000	14	15	10	15	1.00E-03
Very Soft Clay	Mohr-Coulomb	2	2000	14	15	8	10	1.00E-03
Very Stiff Clay	Mohr-Coulomb	23	23000	18	19	25	30	1.00E-04
Medium Clay	Mohr-Coulomb	7	7000	17	18	10	17	1.00E-04
Stiff Clay	Mohr-Coulomb	11	11000	17	18	25	25	1.00E-04
Hard Clay	Mohr-Coulomb	42	42000	18	19	35	40	1.00E-05

Berdasarkan Tabel 3, lapisan tanah pada lokasi penelitian didominasi oleh tanah lunak dengan konsistensi sangat lunak hingga lunak yang memiliki nilai kohesi dan modulus elastisitas yang rendah. Kondisi ini menunjukkan bahwa tanah memiliki sifat kompresibel tinggi sehingga sangat rentan terhadap penurunan akibat pembebanan timbunan. Lapisan tanah di bawahnya memiliki konsistensi yang lebih tinggi, yaitu lunak hingga sedang dan kaku hingga sangat kaku, yang berperan sebagai lapisan pendukung dengan kemampuan menahan beban yang lebih baik. Perbedaan karakteristik antar lapisan ini sangat berpengaruh terhadap distribusi tegangan dan deformasi yang terjadi pada hasil pemodelan.

Parameter pembebanan yang digunakan dalam analisis disajikan pada Tabel 4.

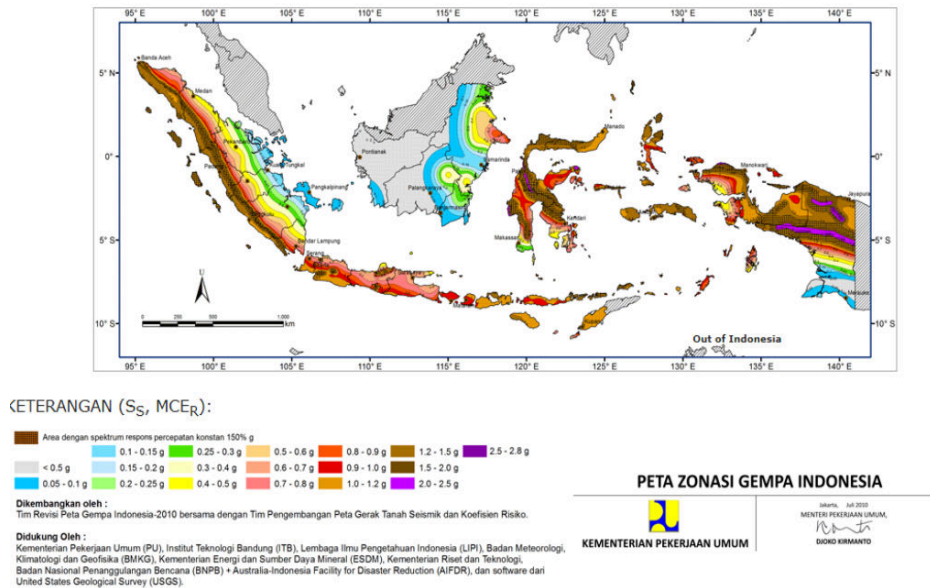
Tabel 4. Parameter Pembebanan

Jenis Beban	Nilai	Satuan	Keterangan
Beban lalu lintas	10 – 20	kPa	Beban merata

Pembebanan dalam pemodelan terdiri dari berat sendiri timbunan sebagai beban utama serta beban lalu lintas yang dimodelkan sebagai beban merata di permukaan. Beban timbunan merupakan faktor dominan yang mempengaruhi besarnya tegangan vertikal pada tanah dasar, sedangkan beban lalu lintas memberikan kontribusi tambahan terhadap peningkatan tegangan. Kombinasi kedua beban ini digunakan untuk merepresentasikan

kondisi aktual di lapangan sehingga hasil analisis dapat mencerminkan perilaku timbunan secara realistis.

Parameter beban gempa yang digunakan dalam analisis mengacu pada pendekatan pseudostatik yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta Zonasi Gempa Indonesia

(Puslitbangkim PU, 2012)

Beban gempa dimodelkan menggunakan koefisien percepatan horizontal (K_h) yang diterapkan sebagai gaya inersia pada sistem. Nilai koefisien gempa yang digunakan berkisar antara 0,1 hingga 0,15, yang mencerminkan kondisi wilayah dengan tingkat aktivitas seismik menengah. Pendekatan pseudostatik ini digunakan untuk mensimulasikan pengaruh gempa terhadap stabilitas timbunan secara sederhana namun tetap representatif.

Analisis numerik dilakukan menggunakan perangkat lunak Plaxis 2D dengan pendekatan plane strain untuk mengevaluasi pengaruh variasi konfigurasi EPS Geofoam terhadap perilaku timbunan pada tanah lunak. Variasi yang dianalisis meliputi kondisi tanpa EPS (0%), penggunaan parsial (50%), dan penggunaan penuh (100%) dari tinggi timbunan.

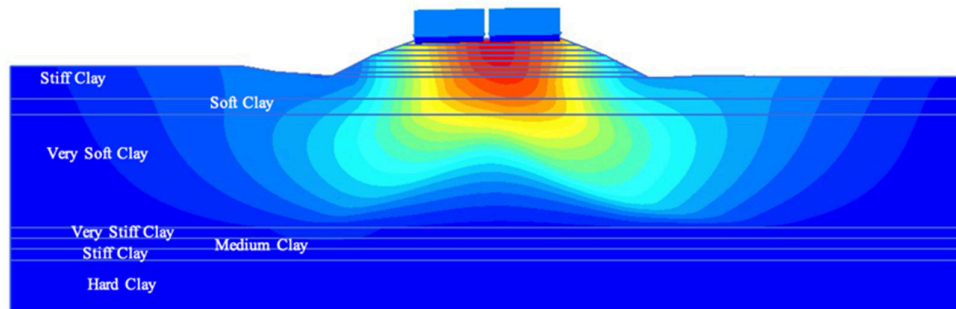
Hasil utama berupa penurunan (settlement) dan faktor keamanan (safety factor) disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Analisis

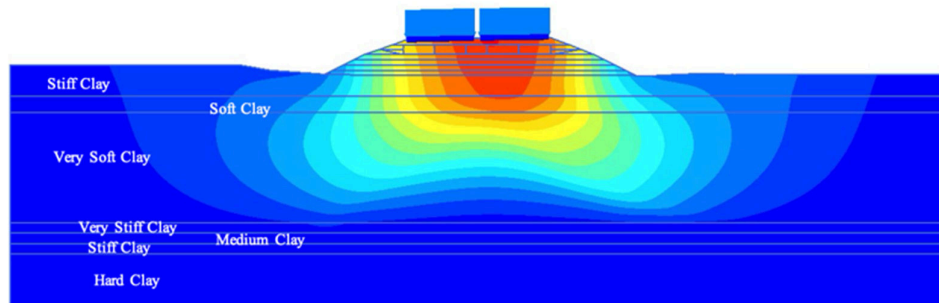
Variasi EPS	Settlement 1 tahun (m)	Settlement 10 tahun (m)	Safety Factor
0%	1,90	2,15	1,40
50%	1,20	1,40	1,80
100%	1,00	1,06	2,26

Berdasarkan Tabel 3, terlihat bahwa peningkatan proporsi EPS Geofoam memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan settlement dan peningkatan faktor keamanan. Pada kondisi tanpa EPS, nilai penurunan mencapai 2,15 m dalam jangka waktu 10 tahun dengan faktor keamanan sebesar 1,40 yang menunjukkan kondisi mendekati batas kritis. Penggunaan EPS sebesar 50% mampu menurunkan settlement menjadi 1,40 m serta meningkatkan faktor keamanan menjadi 1,80. Sementara itu, penggunaan EPS 100% menghasilkan penurunan paling kecil sebesar 1,06 m dengan faktor keamanan tertinggi sebesar 2,26.

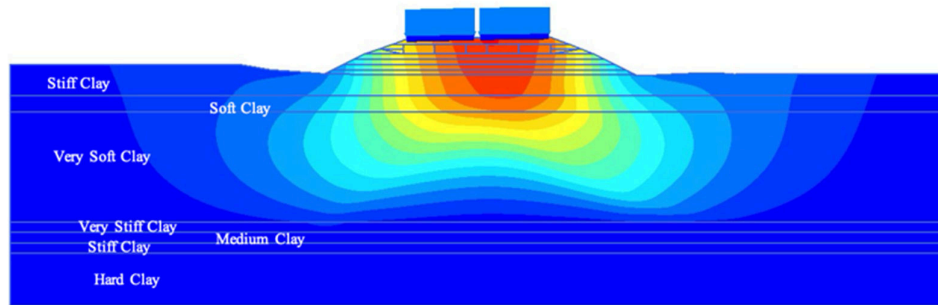
Perilaku deformasi tanah akibat variasi penggunaan EPS Geofoam ditunjukkan pada Gambar 4 hingga Gambar 6.



Gambar 4. Konsolidasi Geofoam 0% 10 tahun Settlement 1,9 m



Gambar 5. Konsolidasi Geofoam 50% 10 tahun Nilai Settlement 1,4 m



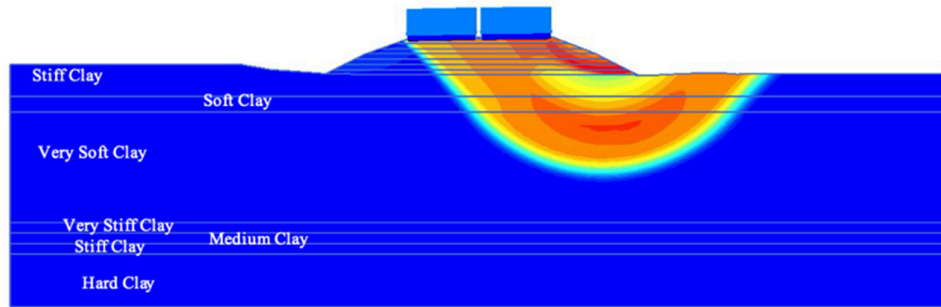
Gambar 6. Konsolidasi Geofoam 100% 10 tahun Nilai Sattlement 1,06 m

Berdasarkan hasil pemodelan, penurunan terbesar terjadi pada kondisi tanpa EPS, yaitu sebesar 2,15 m. Kondisi ini menunjukkan bahwa seluruh beban timbunan diteruskan langsung ke tanah lunak sehingga menyebabkan proses konsolidasi yang signifikan. Pada penggunaan EPS sebesar 50%, penurunan berkurang menjadi 1,40 m atau mengalami reduksi sekitar 34,9% dibandingkan kondisi tanpa EPS. Selanjutnya, pada konfigurasi 100%, penurunan menjadi 1,06 m atau berkurang sekitar 50,7%.

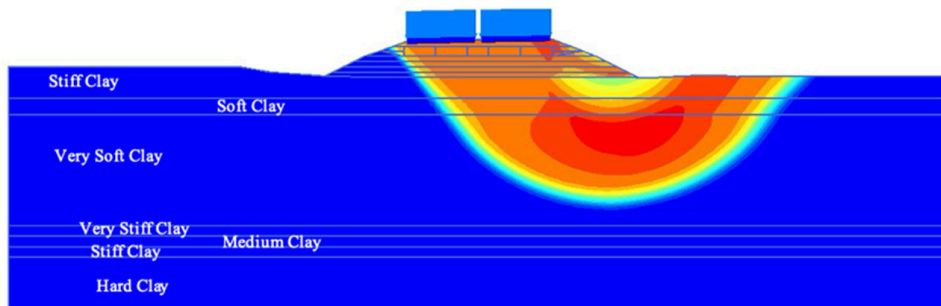
Perbedaan deformasi juga terlihat dari kontur perpindahan hasil pemodelan. Pada kondisi tanpa EPS, zona deformasi berkembang lebih dalam dan luas ke lapisan tanah lunak. Sebaliknya, pada penggunaan EPS, deformasi menjadi lebih dangkal dan terkonsentrasi di area timbunan. Hal ini menunjukkan bahwa EPS Geofoam berperan dalam mengurangi transfer beban ke tanah dasar akibat berat jenisnya yang rendah, sehingga tekanan efektif yang bekerja menjadi lebih kecil dan proses konsolidasi dapat diminimalkan.

Selain itu, perbandingan antara settlement pada 1 tahun dan 10 tahun menunjukkan bahwa pada penggunaan EPS 100%, peningkatan penurunan relatif kecil. Kondisi ini mengindikasikan bahwa proses konsolidasi berlangsung lebih cepat mencapai kondisi stabil dibandingkan dengan timbunan tanpa EPS.

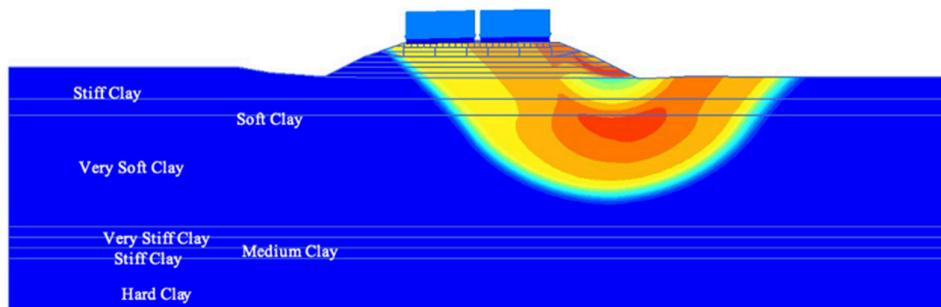
Hasil analisis stabilitas menggunakan metode strength reduction ditunjukkan pada Gambar 7 hingga Gambar 9.



Gambar 7. SF Konsolidasi 10 Tahun Geofoam 0% 1,4



Gambar 8. SF Konsolidasi 10 Tahun Geofoam 50% 1,8

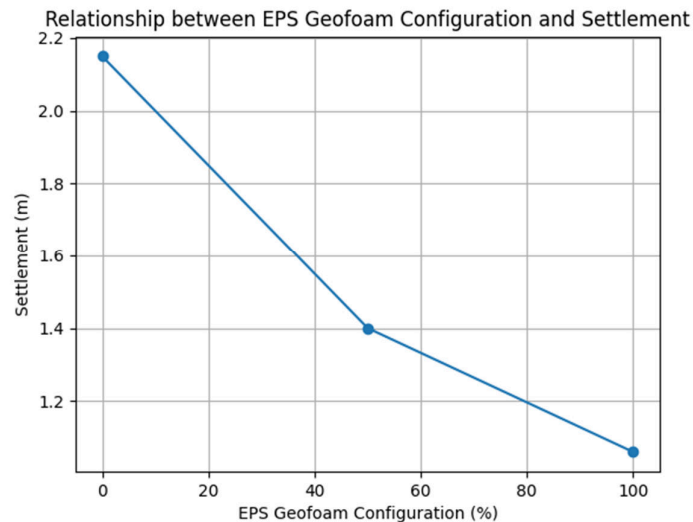


Gambar 9. SF Konsolidasi 10 Tahun Geofoam 100% 2,26

Nilai faktor keamanan pada kondisi tanpa EPS sebesar 1,40 menunjukkan kondisi yang mendekati batas kritis. Penggunaan EPS sebesar 50% meningkatkan nilai faktor keamanan menjadi 1,80, sedangkan pada penggunaan 100% meningkat menjadi 2,26 yang menunjukkan kondisi sangat stabil.

Pola bidang longsor yang dihasilkan dari pemodelan menunjukkan bahwa pada kondisi tanpa EPS, bidang gelincir berkembang lebih dalam hingga mencapai lapisan tanah lunak. Sementara itu, pada penggunaan EPS, bidang gelincir menjadi lebih dangkal dan terbatas pada area timbunan. Hal ini menunjukkan bahwa EPS Geofoam mampu mengurangi tegangan geser yang bekerja pada tanah dasar, sehingga meningkatkan rasio antara kuat geser tanah terhadap tegangan yang bekerja dan pada akhirnya meningkatkan stabilitas lereng.

Hubungan antara persentase penggunaan EPS Geofoam dan besaran settlement ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Hubungan persentase EPS terhadap settlement

Grafik menunjukkan bahwa peningkatan penggunaan EPS Geofoam berbanding terbalik dengan nilai settlement. Penurunan terbesar terjadi pada perubahan dari 0% ke 50%, sedangkan peningkatan dari 50% ke 100% masih menunjukkan penurunan namun dengan laju yang lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan EPS Geofoam memiliki efektivitas tinggi dalam mengurangi penurunan, terutama pada tahap awal penggunaannya, meskipun penggunaan penuh tetap memberikan hasil paling optimal.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan EPS Geofoam memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan kinerja timbunan pada tanah lunak. Penggunaan material ringan ini mampu mengurangi penurunan hingga lebih dari 50% serta meningkatkan faktor keamanan hingga mencapai kondisi sangat stabil. Temuan ini konsisten dengan penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa EPS Geofoam efektif dalam mengurangi penurunan dan meningkatkan stabilitas timbunan pada tanah lunak (EL-Kady & Badrawi, 2014; Rahardjo et al., 2023).

Konfigurasi EPS 100% memberikan hasil paling optimal dalam mengurangi *settlement* dan meningkatkan stabilitas. Namun demikian, konfigurasi 50% juga menunjukkan peningkatan yang cukup signifikan sehingga dapat dipertimbangkan sebagai alternatif yang lebih ekonomis dalam implementasi di lapangan. Perlu ditegaskan bahwa klaim "optimum" dalam penelitian ini bersifat teknis, bukan ekonomis. Konfigurasi 100% memberikan kinerja teknis terbaik, tetapi belum tentu optimum secara

ekonomi karena membutuhkan volume EPS yang lebih besar. Evaluasi biaya secara kuantitatif disarankan untuk penelitian lanjutan.

Hasil ini menunjukkan bahwa EPS Geofoam efektif berfungsi sebagai material pengganti timbunan konvensional dalam mengurangi beban yang diteruskan ke tanah dasar, sehingga sangat sesuai untuk diterapkan pada konstruksi jalan di atas tanah lunak. Secara mekanis, pengurangan beban oleh EPS menurunkan tegangan efektif pada tanah dasar, yang selanjutnya mengurangi konsolidasi dan penurunan. Peningkatan faktor keamanan terjadi karena tegangan geser yang harus ditahan oleh tanah berkurang, sehingga rasio antara kuat geser tanah dan tegangan yang bekerja meningkat.

Perbandingan dengan penelitian terdahulu: Hasil penelitian ini konsisten dengan temuan EL-Kady & Badrawi (2014) yang menunjukkan bahwa EPS Geofoam setebal 1,0 meter efektif meningkatkan faktor keamanan sekitar 40% pada kondisi tertebani. Penelitian ini juga sejalan dengan Moghaddas Tafreshi et al. (2021) yang menunjukkan bahwa EPS Geofoam mampu mengurangi penurunan pada fondasi perkerasan. Perbedaan utama penelitian ini terletak pada analisis variasi konfigurasi berjenjang (0%, 50%, 100%) dan identifikasi hubungan non-linear antara persentase EPS dan penurunan.

Keterbatasan penelitian: Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, model Mohr-Coulomb tidak sepenuhnya merepresentasikan perilaku tanah lunak yang bersifat *strain-softening* dan *creep*. Kedua, validasi model terbatas pada kontrol internal. Ketiga, analisis penurunan diferensial tidak dilakukan secara rinci. Keempat, evaluasi biaya tidak dilakukan secara kuantitatif. Kelima, parameter tanah dan EPS perlu diverifikasi terhadap data aktual proyek. Keterbatasan ini membuka peluang untuk penelitian lanjutan yang menggunakan model konstitutif yang lebih canggih, validasi lapangan, analisis penurunan diferensial, dan evaluasi biaya.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis numerik menggunakan Plaxis 2D terhadap timbunan pada tanah lunak dengan variasi konfigurasi *Expanded Polystyrene* (EPS) Geofoam, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut. Penggunaan EPS Geofoam memberikan pengaruh signifikan terhadap penurunan (*settlement*) timbunan. Pada kondisi tanpa EPS, penurunan mencapai 2,15 m dalam jangka waktu 10 tahun. Penggunaan EPS sebesar 50% mampu menurunkan nilai *settlement* menjadi sekitar 1,40 m atau berkurang sebesar 34,9%, sedangkan penggunaan EPS 100% menghasilkan penurunan sebesar 1,06 m atau berkurang hingga 50,7%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar proporsi EPS

Geofoam, semakin kecil penurunan yang terjadi akibat berkurangnya beban vertikal pada tanah dasar.

Selain itu, penggunaan EPS Geofoam juga meningkatkan stabilitas timbunan secara signifikan. Nilai faktor keamanan pada kondisi tanpa EPS sebesar 1,40 meningkat menjadi 1,80 pada penggunaan EPS 50%, dan mencapai 2,26 pada penggunaan EPS 100%. Peningkatan ini menunjukkan bahwa EPS Geofoam efektif dalam mengurangi tegangan yang bekerja pada tanah sehingga meningkatkan rasio kuat geser tanah terhadap tegangan yang terjadi. Peningkatan faktor keamanan terutama dipengaruhi oleh pengurangan beban timbunan, yang selanjutnya mengurangi tegangan geser pada tanah dasar.

Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa konfigurasi EPS Geofoam 100% memberikan kinerja paling optimal dalam mengurangi penurunan dan meningkatkan stabilitas timbunan pada tanah lunak. Namun demikian, penggunaan EPS sebesar 50% juga memberikan peningkatan performa yang cukup signifikan sehingga dapat dipertimbangkan sebagai alternatif yang lebih ekonomis dalam penerapan di lapangan. Klaim "optimum" dalam penelitian ini bersifat teknis, bukan ekonomis. Konfigurasi 100% memberikan kinerja teknis terbaik, tetapi pemilihan konfigurasi akhir harus mempertimbangkan aspek biaya, ketersediaan material, dan kemudahan pelaksanaan.

Secara keseluruhan, EPS Geofoam dapat direkomendasikan sebagai solusi efektif dalam perencanaan timbunan jalan pada tanah lunak, terutama pada proyek infrastruktur dengan risiko penurunan dan ketidakstabilan yang tinggi. Kontribusi ilmiah penelitian ini terletak pada analisis sistematis hubungan antara persentase konfigurasi EPS dan respons geoteknik timbunan, serta identifikasi hubungan non-linear antara persentase EPS dan penurunan.

Penelitian ini memiliki keterbatasan. Pertama, model Mohr-Coulomb tidak sepenuhnya merepresentasikan perilaku tanah lunak yang bersifat *strain-softening* dan *creep*. Kedua, validasi model terbatas pada kontrol internal. Ketiga, analisis penurunan diferensial tidak dilakukan secara rinci. Keempat, evaluasi biaya tidak dilakukan secara kuantitatif. Kelima, parameter tanah dan EPS perlu diverifikasi terhadap data aktual proyek. Penelitian lanjutan disarankan untuk: (1) menggunakan model konstitutif yang lebih canggih seperti *Soft Soil Creep* atau *Modified Cam-Clay*; (2) melakukan validasi

lapangan; (3) menganalisis penurunan diferensial; (4) melakukan evaluasi biaya secara kuantitatif; (5) mengevaluasi pengaruh gempa secara lebih rinci.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, M., Dhamrodji, P., & Maizir, H. (2024). Geofoam Block in Soft Soil Embankment Applications: A Review. *OP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1321, No. 1, p. 012019)*. IOP Publishing.
- Diyaljee, V. (2022). Discussion of “Experimental Evaluation of Geocell and EPS Geofoam as Means of Protecting Pipes at the Bottom of Repeatedly Loaded Trenches” by S. N. Moghaddas Tafreshi, N. Joz Darabi, A. R. Dawson, and M. Azizian. *International Journal of Geomechanics*, 22(6).
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)gm.1943-5622.0002398](https://doi.org/10.1061/(asce)gm.1943-5622.0002398)
- EL-Kady, M., & Badrawi, E. (2014). Effect of Geofoam on Slope Stabilizing. *The International Conference on Civil and Architecture Engineering*, 10(10).
<https://doi.org/10.21608/iccae.2014.44094>
- Faishol, A., Wijayanti, L., & Mulyadi, M. (2024). Inovasi Struktural: Pemanfaatan Geofoam Expanded Polystyrene (Eps) Dalam Pembangunan Infrastruktur Modern. *Jurnal Teknik Sipil*, 17(1), 46-61.
- Gunawan, A. (2020). Geofoam: A potential for Indonesia’s soil problem. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 426(1).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/426/1/012004>
- Khalaj, O., Siabil, S. M. A. G., Azizian, M., Tafreshi, S. N. M., Mašek, B., Kepka, M., Kavalir, T., Křížek, M., & Jirková, H. (2020). Experimental and numerical investigation of Expanded Polystyrene (EPS) geofoam samples under monotonic loading. *Geomechanics and Engineering*, 22(6).
<https://doi.org/10.12989/gae.2020.22.6.475>
- Khosravi, M., & Arellano, D. (2024). Selection of adequate EPS-block geofoam for use in embankments subjected to seismic loads. *Transportation Geotechnics*, 101286.
- Maulana, A., Mochtar, N. E., & Kumalasari, P. T. (2020). Alternatif Perencanaan Timbunan dan Perbaikan Tanah Dasar pada Jalan Tol Krian-Legundi-Bunder-Manyar (STA 12+434 s/d STA 12+684). *Jurnal Teknik ITS*, 8(2).
<https://doi.org/10.12962/j23373539.v8i2.45914>
- Moghaddas Tafreshi, S. N., Ghotbi Siabil, S. M. A., & Azizian, M. (2021). EPS Geofoam Pavement Foundations Overlaid by Geocell-Reinforced Soil under Static Loading: Large-Scale Tests and Numerical Modeling. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 33(4). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0003615](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0003615)
- Puppala, A. J., Ruttanaporamakul, P., & Congress, S. S. C. (2019). Design and construction of lightweight EPS geofoam embedded geomaterial embankment system for control of settlements. *Geotextiles and Geomembranes*, 47(3).
<https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2019.01.015>
- Rahardjo, P. P., Anggoro, B. W., Wijaya, M., & Seourin, D. P. (2023). EPS-Geofoam as Lightweight material for Replacement of Embankment Fill to Overcome Landslide Problems at STA 40+200 of Cisumdawu Toll Road, West Java. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1249(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1249/1/012001>

- Siabil, S. M. A. G., Tafreshi, S. N. M., & Dawson, A. R. (2020). Response of pavement foundations incorporating both geocells and *Expanded Polystyrene* (EPS) geofoam. *Geotextiles and Geomembranes*, 48(1).
<https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2019.103499>
- Soundara, B., & Selvakumar, S. (2020). Experimental Investigation on the Swelling Behavior of Expansive Soils with EPS Geofoam Inclusion. *Indian Geotechnical Journal*, 50(4). <https://doi.org/10.1007/s40098-019-00385-3>
- Tafreshi, S. N. M., Darabi, N. J., & Dawson, A. R. (2020). Combining EPS geofoam with geocell to reduce buried pipe loads and trench surface rutting. *Geotextiles and Geomembranes*, 48(3). <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2019.12.011>
- Tran-Nguyen, H. H., & Phan, V. P. (2020). Investigation of compressive behaviors of geofoams made in vietnam. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 80.
https://doi.org/10.1007/978-981-15-5144-4_50
- Wang, J., & Huang, J. (2021a). Full-scale field study of using geofoam to reduce earth pressures on buried concrete culverts. *Geotextiles and Geomembranes*, 49(5).
<https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2021.05.008>