Penggunaan *Expanded Polystyrene (EPS) Geofoam* pada Timbunan Jalan Sebagai Alternatif Solusi Timbunan *Preloading* dalam Penanganan Tanah Lunak

N.A. Amrullah[1], A. Rifa'i[1*], S. Ismanti[1]
[1]Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
*Corresponding author: ahmad.rifai@ugm.ac.id

INTISARI

Penggunaan *expanded polystyrene* (EPS) *geofoam* sebagai material pengganti tanah pada timbunan jalan menjadi pilihan yang populer dalam konstruksi infrastruktur dalam beberapa dekade terakhir. Karakteristiknya yang sangat ringan dan memiliki kuat tekan tinggi membuatnya ideal untuk digunakan dalam mengatasi permasalahan pada tanah lunak. Alternatif penggunaan EPS *geofoam* dalam timbunan jalan menjadi pilihan yang menarik untuk menangani permasalahan akibat tanah lunak pada STA 48+175 – STA 48+525 proyek Jalan Tol Jogja – Bawen. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi rencana awal timbunan *preloading*, mengusulkan rancangan alternatif timbunan jalan dengan EPS *geofoam*, dan menganalisis pengaruh penggunaan bahan EPS sebagai material timbunan jalan. Rencana timbunan awal dievaluasi terhadap penurunan konsolidasi dan stabilitas timbunan. Selanjutnya dilakukan perancangan timbunan dengan EPS *geofoam* mengikuti standar dokumen NCHRP REPORT 529. Desain yang didapatkan kemudian digunakan untuk membandingkan timbunan EPS *geofoam* dengan timbunan tanah konvensional. Analisis yang dilakukan menggunakan kombinasi metode analitis dan numeris dengan PLAXIS 2D. Dari analisis yang dilakukan, penggunaan EPS terbukti dapat mereduksi penurunan timbunan hingga 0,811 m. Selain itu, reduksi beban timbunan akibat penggunaan EPS *geofoam* juga dapat meningkatkan stabilitas terhadap beban statis dan seismik.

Kata kunci: EPS, *geofoam*, timbunan jalan, tanah lunak, PLAXIS 2D.

1 PENDAHULUAN

Penggunaan *extended polystyrene* (EPS) *geofoam* sebagai material pengganti tanah pada timbunan jalan telah menjadi pilihan yang populer beberapa dekade terakhir. EPS *geofoam* adalah material berupa busa plastik seluler tertutup yang ringan namum memiliki kekuatan tekan yang tinggi (Chenari et al., 2017). Kepadatan EPS *geofoam* hampir 100 kali lebih kecil dari kepadatan sebagian besar jenis tanah timbunan dan sekitar 10 hingga 30 kali lebih ringan dari bahan pengisi ringan lainnya (Stark et al., 2004). Karakteristik ini membuatnya ideal untuk digunakan dalam mengatasi permasalahan konstruksi timbunan jalan di atas tanah lunak. Berat berlebih dari timbunan tanah di atas tanah lunak dapat menyebabkan masalah seperti terjadinya *settlement* yang besar dan ketidakstabilan timbunan (Anfifa et al., 2023; Gue & Gue, 2022). Penggunaan EPS *geofoam* sebagai pengganti tanah timbunan memberikan beberapa keuntungan, antara lain pengurangan beban vertikal pada tanah dasar akibat berkurangnya massa timbunan dan pengurangan waktu konstruksi karena proses pemasangan yang mudah dan sederhana (Leo et al., 2008).

Rencana proyek Jalan Tol Yogyakarta – Bawen merupakan salah satu Proyek Strategis Nasional yang terdiri dari 6 seksi pekerjaan. Seksi 3 dari proyek ini berlokasi di wilayah Kabupaten Magelang, ruas Borobudur – Magelang, tepatnya pada STA 24+000 sampai STA 32+100. Pada STA 48+175 – STA 48+525, direncanakan perbaikan tanah dasar berupa timbunan *preloading* dengan tinggi sekitar 13 – 15 m. Timbunan tanah dengan ketinggian tersebut memberikan beban tambahan yang besar di atas tanah dasar. Sementara itu, tanah lunak yang dibebani dengan beban yang besar berpotensi mengakibatkan penurunan berlebih pada tanah (Hardiyatmo, 2018). Alternatif penggunaan EPS *geofoam* sebagai material pengganti tanah untuk mereduksi beban timbunan dapat menjadi pilihan yang menarik untuk mengatasi masalah di atas. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi rencana awal timbunan *preloading*, mengusulkan rancangan alternatif timbunan jalan dengan EPS *geofoam*, dan menganalisis pengaruh penggunaan bahan EPS sebagai material timbunan jalan.

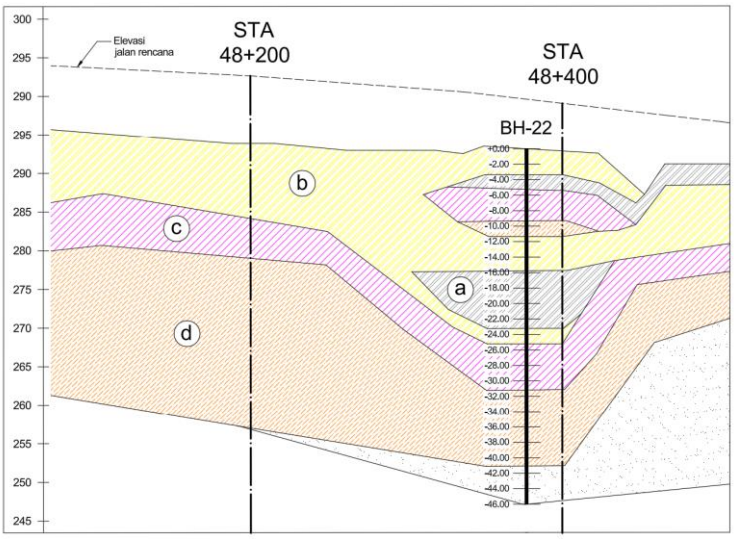
2 DATA DAN METODE

2.1 Studi Kasus

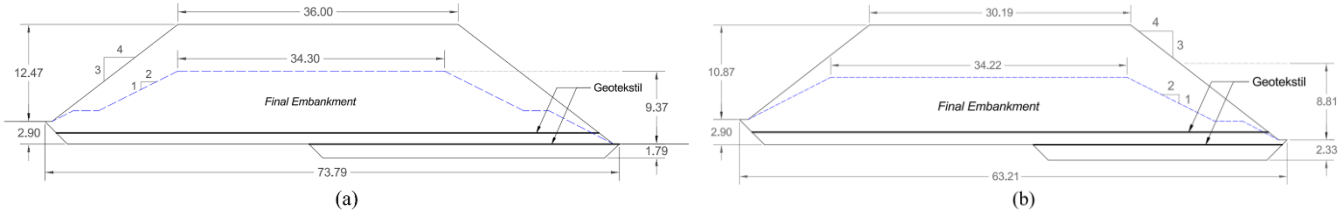
Penelitian ini meninjau ruas jalan pada STA 48+175 – STA 48+525 dari proyek Jalan Tol Yogyakarta – Bawen Seksi 3. Ruas jalan ini dipilih karena data stratigrafi menunjukkan adanya lapisan tanah lunak yang cukup tebal dibawah jalan rencana. Kondisi tersebut dapat menyebabkan penurunan konsolidasi berlebih dan berpotensi mengakibatkan kegagalan struktur. Kondisi tersebut diperparah dengan rencana timbunan *preloading* yang cukup tinggi, yaitu sekitar 13 – 15 m. Untuk menambah kapasitas dukung tanah dasar timbunan, konsultan merencanakan penggantian tanah dasar setebal 2 – 3 m dan aplikasi geotekstil di bawah timbunan dengan kuat tarik (T_{ult}) 100 kN/m.

2.2 Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang didapatkan dari konsultan perencana dan beberapa literatur terkait. Data tersebut meliputi data investigasi tanah, data rencana timbunan, dan data parameter EPS *geofoam*. Data investigasi tanah yang digunakan berupa data uji bor, uji laboratorium, dan stratigrafi tanah dasar. Data ini digunakan untuk interpretasi lapisan tanah dibawah timbunan dan parameter tanah yang diperlukan dalam analisis. Dari pengolahan data tanah yang dilakukan, jenis tanah dasar diklasifikasikan menjadi empat jenis tanah, yaitu lempung pasiran sangat lunak (a), lempung pasiran lunak (b), lanau lempung pasiran sedang (c), dan lanau lempung pasiran keras (d). Stratigrafi tanah dasar dari ruas jalan yang direncanakan ditunjukkan pada Gambar 1. Dari stratigrafi tersebut diketahui tanah dasar didominasi oleh lempung dan lanauan. Selanjutnya ditentukan parameter untuk masing-masing jenis tanah yang ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 1. Stratigrafi tanah dasar ruas jalan STA 47+700 – 48+400



Gambar 2. Geometri rencana timbunan jalan pada (a) STA 48+200 dan (b) STA 48+400

Tabel 1 Parameter tanah dasar dan tanah timbunan.

Jenis Tanah	γ_{unsat} (kN/m^3)	γ_{sat} (kN/m^3)	c (kPa)	φ (°)	E (kN/m^2)	ν	e_0	C_c	s_u (kPa)	k_x & k_y (m/hr)
(a) *Very Soft Clay*	12,85	16,44	15,79	10,11	2900	0,30	1,5	0,37	24,92	$8{,}60\times10^{-5}$
(b) *Soft Clay*	13,36	17,02	25,11	10,16	4000	0,30	1,3	0,31	25,90	$8{,}60\times10^{-5}$
(c) *Firm Silt*	13,81	16,05	40,91	18,20	8000	0,30	1,0	0,22	45,52	$8{,}60\times10^{-4}$
(d) *Hard Silt*	19,00	21,00	60,00	30,00	15000	0,30	0,80	0,16	70,00	$8{,}60\times10^{-4}$
(e) *Embankment Soil*	16,68	17,68	16,68	36,06	12000	0,30	-	-	-	$8{,}60\times10^{-3}$

Penelitian ini meninjau dua potongan timbunan, yaitu pada STA 48+200 dan 48+400. Geometri kedua potongan tersebut ditunjukkan pada Gambar 2. Potongan timbunan pada STA 48+200 mewakili tinggi timbunan terbesar sedangkan potongan timbunan pada STA 48+400 mewakili kondisi tanah dasar terburuk. Tebal perkerasan jalan yang direncanakan adalah 700 mm dengan kepadatan rerata yang disarankan Stark et al. (2004) sebesar 20 kN/m. Selanjutnya beban kendaraan ditentukan berdasarkan korelasi terhadap kelas jalan pada SNI 8460:2017. Karena Jalan Tol Yogyakarta – Bawen merupakan jalan kelas 1, maka beban lalu lintas yang digunakan adalah 15 kPa.

Kepadatan EPS *geofoam* merupakan faktor utama yang mempengaruhi sebagian besar parameter propertinya. Kekuatan kompresi, kekuatan geser, kekuatan tarik, kekuatan lentur, kekakuan, perilaku *creep* dan sifat mekanik lainnya dipengaruhi oleh kepadatannya (Elragi, 2000). *American Society for Testing and Material* (*ASTM*) mengeluarkan tabel spesifikasi tujuh tipe EPS dengan beberapa parameter kekuatannya (ASTM, 2017). Dalam penelitian ini ditentukan beberapa parameter untuk memodelkan EPS *geofoam* dengan model *Mohr Coulomb* seperti yang telah dilakukan Zianal et al. (2022). Parameter tersebut ditentukan dengan persamaan empiris yang diusulkan penelitian sebelumnya. Nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) ditentukan menggunakan persamaan yang didapatkan dari penelitian Beju & Mandal (2018), sedangkan rumus empiris untuk menentukan modulus elastis (E) dan *Poisson's ratio* (ν) diambil dari penelitian Eriksson & Tränk (1991) dan Horvath (1995).

2.3 Evaluasi Rencana Awal Timbunan *Preloading*

Evaluasi rencana awal timbunan *preloading* dilakukan untuk mengetahui kebutuhan perancangan alternatif penanganan tanah lunak berupa timbunan EPS *geofoam*. Evaluasi dilakukan terhadap penurunan konsolidasi yang terjadi dan stabilitas struktur timbunan terhadap beban statis menggunakan metode *finite element* pada *software* PLAXIS 2D. Dari hasil evaluasi juga diketahui penampang kritis dari ruas jalan yang ditinjau. Penampang kritis yang didapatkan kemudian digunakan sebagai acuan dalam perancangan timbunan EPS *geofoam*.

2.4 Perancangan Timbunan EPS *Geofoam*

Belum ada standar di Indonesia yang mengatur ketentuan penggunaan EPS *geofoam* sebagai material timbunan jalan. Pada penelitian ini perancangan timbunan EPS *geofoam* mengacu pada NCHRP REPORT 529 tentang pedoman dan standar yang direkomendasikan untuk aplikasi EPS *geofoam* pada timbunan jalan (Stark et al. 2004). Prosedur desain timbunan EPS *geofoam* setidaknya terdiri dari tiga tahap. Pertama adalah analisis stabilitas global/eksternal, yaitu keseluruhan sistem perkerasan meliputi EPS *geofoam*, *soil cover* di atas balok EPS, dan tanah dasar. Kedua adalah analisis stabilitas internal, yaitu memastikan tipe EPS yang digunakan mampu menahan tekanan yang bekerja pada tahap konstruksi hingga tahap pelayanan. Ketiga adalah desain sistem perkerasan yang mampu menahan beban yang bekerja di atasnya sekaligus sesuai dengan kapasitas balok EPS *geofoam* di bawahnya.

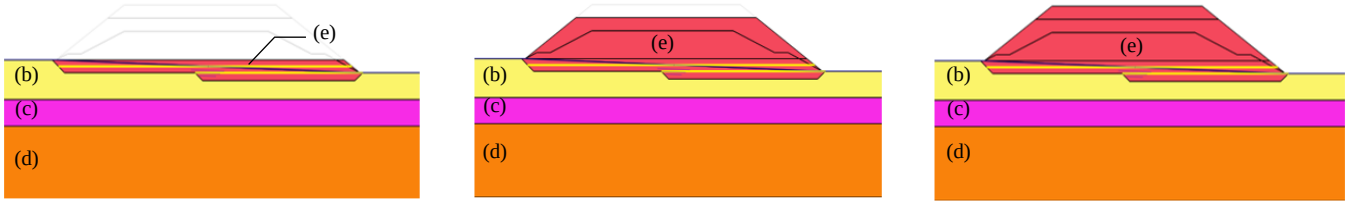
Pada awal perancangan timbunan EPS *geofoam*, penyederhanaan geometri timbunan dilakukkan untuk mempermudah perhitungan analitis. Hasil perhitungan analitis digunakan untuk memvalidasi pemodelan numeris pada PLAXIS 2D. Menurut Stark et al. (2004) timbunan EPS *geofoam* perlu dirancang dengan volume EPS *geofoam* minimum dan kepadatan terkecil yang dibutuhkan. Maka dari itu, perlu adanya optimalisasi tebal lapisan EPS dan pemilihan tipe EPS yang tepat. Desain timbunan EPS *geofoam* yang didapatkan kemudian diterapkan pada model sebenarnya (geometri sebelum disederhanakan) pada PLAXIS 2D. Model tersebut kemudian digunakan untuk membandingkan timbunan EPS *geofoam* dengan timbunan tanah konvensional sehingga diketahui pengaruh penggunaan EPS *geofoam* sebagai material timbunan jalan.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Evaluasi Rencana Timbunan Awal

Evaluasi yang dilakukan meliputi analisis penurunan konsolidasi tanah dasar dan stabilitas timbunan menggunakan metode numeris pada *software* PLAXIS 2D. Muka air tanah dianggap berada pada permukaan tanah dasar atau tanah pada kondisi jenuh. Lapisan tanah dasar dan tanah timbunan dimodelkan dengan model *Mohr Coulomb*. Untuk mengetahui perubahan penurunan dan stabilitas yang terjadi, maka tahapan konstruksi juga dimodelkan. Analisis yang dilakukan meninjau kondisi pada tahapan timbunan 1, timbunan 2, konsolidasi (4 bulan), timbunan 3, dan konsolidasi (3,5 bulan). Ilustrasi geometri timbunan pada masing-masing tahap tersebut ditunjukkan pada Gambar 3. Tahapan tersebut mengikuti rencana timbunan *preloading* dari konsultan perencana.

Hasil dari analisis konsolidasi dan stabilitas pada masing-masing tahapan ditunjukkan pada Tabel 2. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kedua timbunan mengalami penurunan akibat konsolidasi yang cukup besar, yaitu hingga 0,642



Timbunan 1 | Timbunan 2 dan Konsolidasi 4 bulan | Timbunan 3 dan Konsolidasi 3,5 bulan

Gambar 3 Tahapan konstruksi timbunan *preloading*

Tabel 2. Hasil evaluasi rencana awal timbunan.

Tahap	Timbunan 1	Timbunan 2	Konsolidasi (4 bulan)	Timbunan 3	Konsolidasi (3,5 bulan)
Penurunan konsolidasi maksimum (m)					
STA 48+200	-0,042	-0,285	-0,379	-0,576	-0,642
STA 48+400	-0,078	-0,845	-0,967	-1,683	-1,768
Factor of safety (*FS*) terhadap beban statis					
STA 48+200	4,7	1,8	1,8	1,5	1,6
STA 48+400	5,4	1,4	1,5	1,2	1,2

dan 1,768 m. Selain itu, Timbunan pada STA 48+400 belum memenuhi nilai minimum *factor of safety* (*FS*) stabilitas terhadap beban statis yang disyaratkan dalam SNI 8460:2017 (SNI, 2017), yakni 1,5. Dari hasil tersebut juga dapat diketahui bahwa timbunan pada STA 48+400 merupakan penampang kritis dari ruas jalan yang ditinjau.

3.2 Perancangan Timbunan EPS *Geofoam*

Timbunan dengan EPS *geofoam* memiliki tegangan lateral yang kecil, sehingga memiliki bentuk yang lebih sederhana dibanding timbunan tanah. Reduksi berat timbunan dengan EPS *geofoam* juga ditujukan agar dapat mengeliminasi proses konsolidasi awal dengan timbunan *preloading*. Karena harga EPS *geofoam* yang mahal, maka perlu dilakukan perencanaan tebal lapisan EPS *geofoam* yang efisien. Desain awal dari timbunan EPS *geofoam* yang direncanakan terdiri dari lapisan tanah dan EPS*22* setebal 2,15 dan 5,05 m.

Analisis yang dilakukan dalam perancangan timbunan EPS *geofoam* menurut NCHRP REPORT 529 meliputi analisis penurunan tanah dasar, kapasitas dukung tanah dasar, stabilitas lereng timbunan terhadap beban statis dan seismik, stabilitas terhadap gaya *uplift* akibat air, dan kontrol batas tegangan elastis balok EPS *geofoam* terhadap tekanan akibat beban lalu lintas. Analisis penurunan akibat konsolidasi mula-mula dilakukan dengan metode analitis dan numeris, sedangkan analisis stabilitas hanya dilakukan dengan metode numeris.

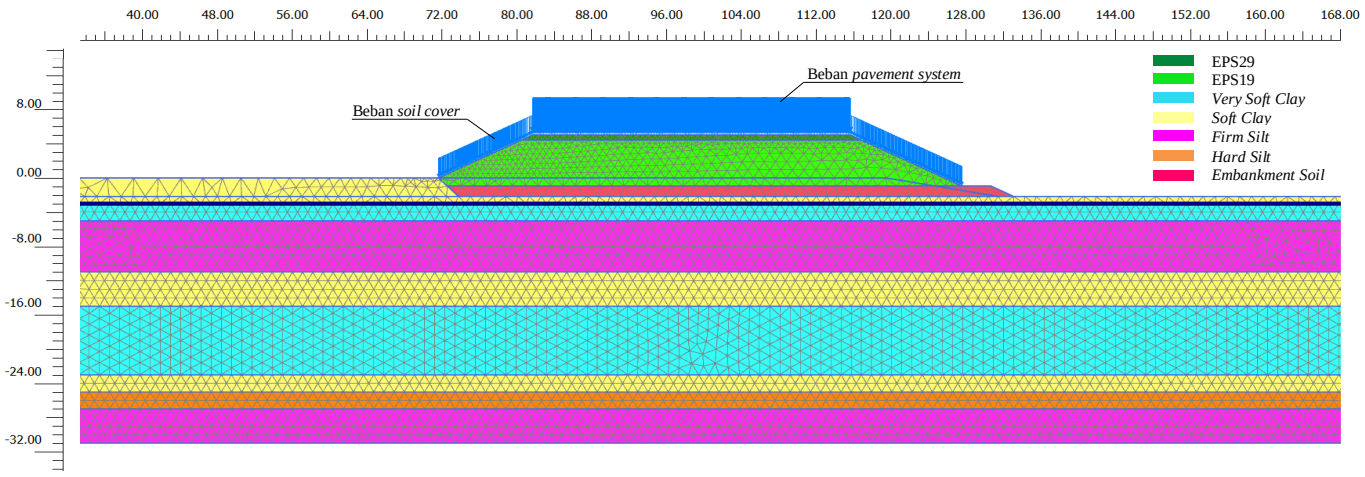
Hasil perhitungan dengan metode analitis menunjukkan penurunan total yang terjadi di bawah timbunan sebesar 0,152 m. Nilai ini melebihi penurunan maksimum pada timbunan jalan yang diizinkan, yaitu hanya 0,1 m selama masa layan (Manual Desain Perkerasan, 2017). Oleh karena itu, revisi desain dilakukan pada komposisi tebal lapisan EPS dan tanah pada timbunan. Tebal lapisan EPS diubah menjadi 6 m dan lapisan tanah menjadi 1,2 m. Dari perubahan tebal lapisan EPS *geofoam* tersebut penurunan yang terjadi menjadi 0,056 m. Hasil perhitungan analitis ini digunakan untuk memvalidasi hasil perhitungan dengan metode numeris pada PLAXIS 2D. Hasil perhitungan penurunan dengan PLAXIS 2D pada titik tinjau yang sama menunjukkan penurunan sebesar 0,046 m. Hasil analisis tersebut memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan perhitungan analitis. Hal tersebut disebabkan perhitungan penurunan konsolidasi pada PLAXIS 2D bergantung pada parameter kekakuan dari material, sedangkan pada perhitungan analitis besarnya penurunan lebih bergantung pada nilai koefisien konsolidasi (C_c) dan tengangan *overburden* yang terjadi. Selisih hasil yang cukup kecil menunjukkan pemodelan pada PLAXIS 2D cukup representatif dalam memodelkan penurunan yang terjadi.

Tanah dasar timbunan EPS *geofoam* umumnya merupakan tanah lunak, sehingga analisis kapasitas dukung tanah dasar dapat didasarkan pada nilai *undrained shear strength* (s_u). Dengan menggunakan FS = 3, diketahui nilai s_u tanah dasar (25,9 kPa) masih lebih besar dibanding nilai s_u yang dibutuhkan (24,76 kPa). Dengan kata lain, angka aman dari kapasitas dukung tanah dasar lebih besar dari 3 dan memenuhi syarat.

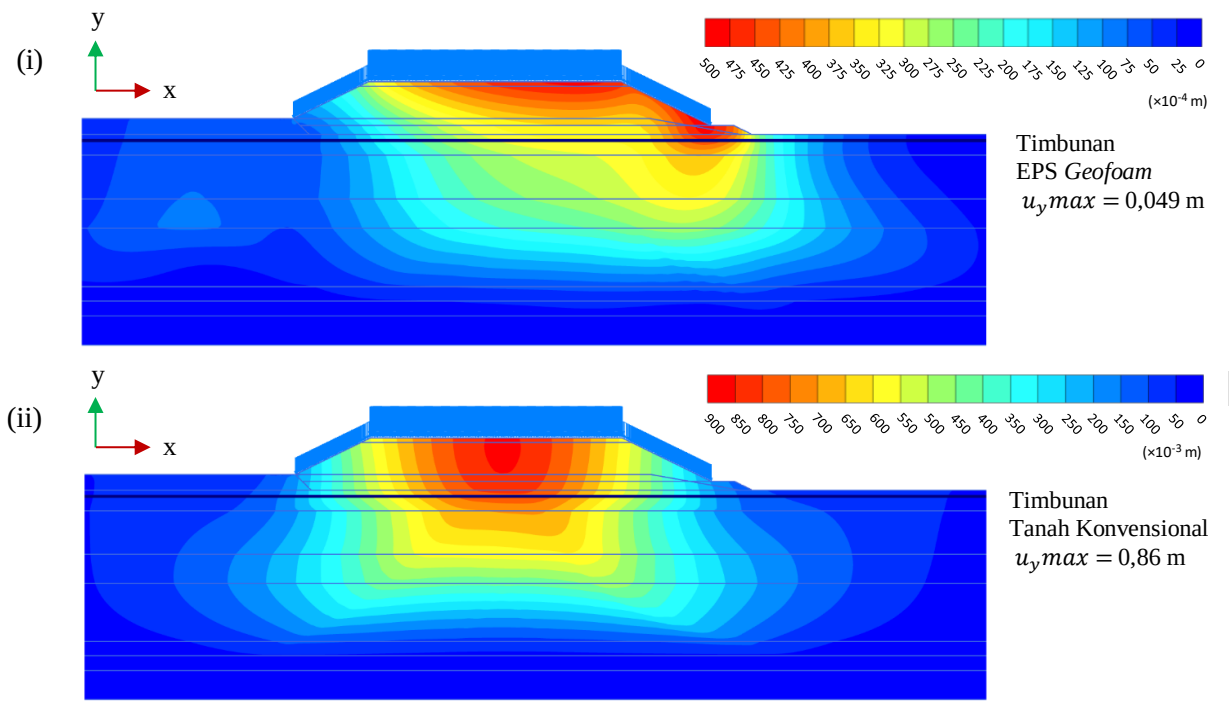
Analisis stabilitas eksternal dan internal dilakukan dengan metode numeris pada PLAXIS 2D. Pembebanan yang diterapkan adalah beban statis dan seismik. Beban statis yang bekerja pada analisis stabilitas meliputi beban dari timbunan, *pavement system*, dan *soil cover* dari balok EPS yang berada di tepi. Beban seismik diwakilkan dengan beban pseudostatis dengan menentukan nilai koefisien pseudostatis (k_h). Nilai *peak ground acceleration (PGA)* didapatkan dari *website* RSA Ciptakarya untuk Desain Sperktrum Indonesia (*https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/*). Nilai tersebut kemudian dikalikan dengan faktor amplifikasi untuk tanah lunak sehingga didapatkan nilai PGA_M sebesar 0,378 g. Menurut SNI 8460:2017, struktur dengan toleransi deformasi sebesar 2 mm dapat menggunakan nilai k_h sebesar 0,5 dari nilai PGA_M, sehingga nilai k_h yang digunakan dalam analisis seismik adalah 0,19. Dari analisis yang dilakukan didapatkan nilai *FS* terhadap beban statis dan pseudostatis berturut-turut adalah 4,9 dan 1,4. Nilai tersebut telah memenuhi nilai *FS* minimum menurut NCHRP REPORT 529 maupun SNI 8460:2017, yaitu 1,5 terhadap beban statis dan 1,2 terhadap beban seismik. Hasil kontrol keamanan terhadap gaya *uplift* dan kemungkinan terjadinya translasi akibat adanya air juga menunjukkan bahwa struktur timbunan memenuhi tegangan *overburden* yang dibutuhkan untuk menahan gaya *uplift* dari air, baik di antara balok EPS dengan tanah dasar maupun pada *interface* antarbalok EPS.

Salah satu karakteristik dari EPS *geofoam* yang harus menjadi perhatian adalah regangan yang diizinkan hanya kurang dari 1%. Setelah 1% regangan yang terjadi akan meningkat secara signifikan (Beju & Mandal, 2017). Maka dari itu, di akhir perancangan timbunan EPS *geofoam* perlu dilakukan analisis *load bearing capacity* dari balok EPS terhadap beban lalu lintas di atas permukaan jalan. Analisis dilakukan dengan perhitungan analitis yang didasarkan pada konsep distribusi tegangan akibat beban lalu lintas pada setiap lapisan balok EPS di dalam timbunan. Dengan mengetahui tegangan yang terjadi pada masing masing lapisan balok EPS, tipe EPS yang diperlukan untuk menahan tegangan tersebut dapat ditentukan. Hasil analisis menunjukkan distribusi tegangan dan tipe EPS yang diperlukan pada setiap lapisan. Tegangan yang terjadi pada lapisan pertama EPS *geofoaom* adalah 56,41 – 39,48 kPa, sedangkan pada lapisan selanjutnya tegangan yang terjadi lebih kecil dari 17,68 kPa dan akan terus berkurang seiring bertambahnya kedalaman titik tinjau. Berdasarkan hasil tersebut ditentukan penggunaan dua tipe EPS, yakni EPS 29 dengan batas tegangan elastis 75 kPa pada lapis pertama dan EPS 19 dengan batas tegangan elastis 40 kPa pada lapis selanjutnya.

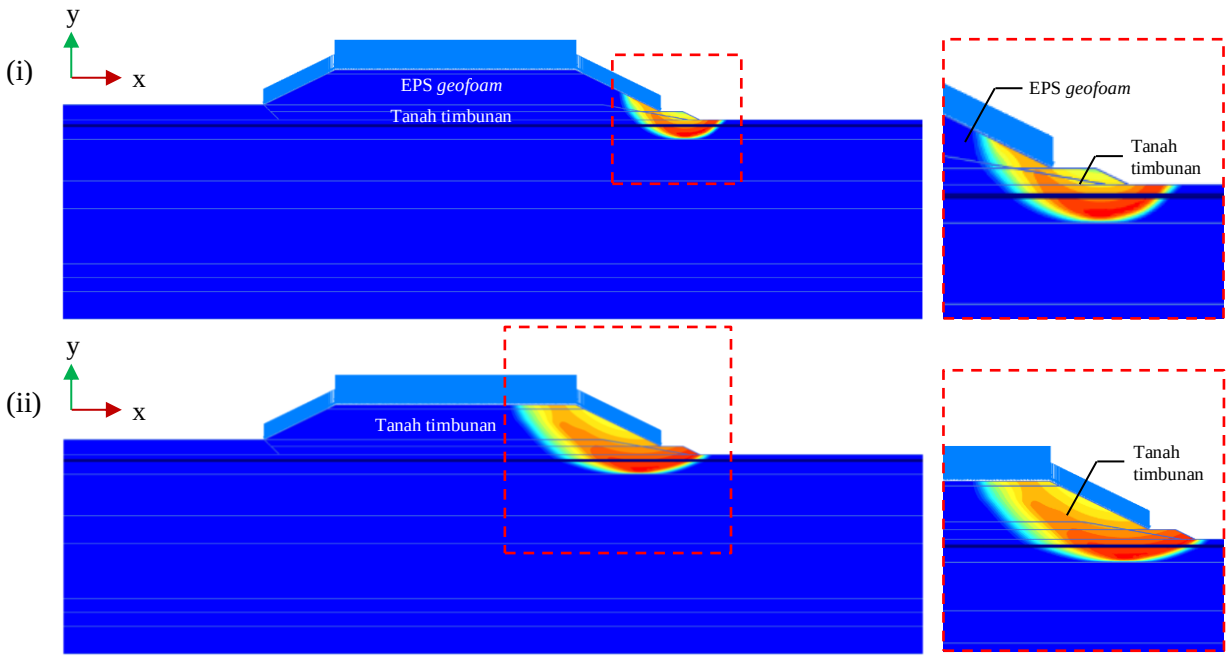
Desain yang didapatkan dari perancangan di atas kemudian dimodelkan pada PLAXIS 2D dengan geometri timbunan sebenarnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Dari analisis yang dilakukan, penurunan maksimum yang terjadi adalah 0,049 m. Nilai tersebut masih memenuhi syarat penurunan yang diizinkan pada timbunan jalan (0,1 m). Distribusi penurunan konsolidasi yang terjadi pada timbunan EPS *geofoam* dan timbunan tanah konvensional ditunjukkan pada Gambar 5. Pada Gambar 5(ii) terlihat bahwa penurunan terbesar terjadi di tengah timbunan, sedangkan pada Gambar 5(i) justru penurunan terbesar terjadi dibagian tepi. Hal tersebut menunjukkan bahwa EPS *geofoam* dapat secara signifikan mereduksi beban yang besar akibat timbunan. Dari analisis stabilitas didapatkan FS terhadap beban statis dan seismik berturut-turut adalah 4,9 dan 1,2. Model selubung kegagalan dari masing-masing timbunan ditunjukkan pada Gambar 6. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa kegagalan cenderung terjadi pada material tanah di dalam timbunan. Hal tersebut mungkin terjadi akibat beban terbesar terjadi pada material tanah pada timbunan.



Gambar 4. Model desain akhir timbunan EPS *geofoam* pada PLAXIS 2D



Gambar 5. Kontur deformasi vertikal (u_y) (i) timbunan EPS *geofoam* dan (ii) timbunan tanah konvensional pada PLAXIS 2D



Gambar 6. Selubung kegagalan (i) timbunan EPS *geofoam* dan (ii) timbunan tanah konvensional pada PLAXIS 2D

3.3 Pengaruh Penggunaan EPS *Geofoam*

Pengaruh dari penggunaan EPS *geofoam* dapat diketahui melalui perbandingan model timbunan EPS *geofoam* dan timbunan tanah konvensional pada kondisi yang sama. Perbandingan dilakukan dengan mengganti material EPS *geofoam* pada model sebelumnya dengan material tanah timbunan kemudian melakukan analisis yang sama, yaitu analisis penurunan konsolidasi dan stabilitas terhadap beban statis dan seismik. Dari analisis konsolidasi didapatkan penurunan akibat konsolidasi pada timbunan tanah sebesar 0,860 m dan dari hasil analisis stabilitas didapatkan nilai FS terhadap beban statis dan pseudostatis berturut-turut adalah 1,49 dan 1,07.

4 KESIMPULAN

Evaluasi rencana timbunan *preloading* menunjukkan penampang kritis ruas jalan tinjauan ada pada STA 48+400 dengan FS terhadap pembebanan statis kurang dari 1,5 (1,2). Alternatif timbunan dengan EPS *geofoam* yang direncanakan memiliki tebal lapisan EPS dan tanah timbunan berturut-turut 6 dan 1,2 m. Dengan desain tersebut reduksi penurunan konsolidasi dapat mencapai 0,811 m atau 94,3% dari penurunan timbunan dengan tanah konvensional. Dengan ini, penurunan yang terjadi tinggal 0,049 m sehingga timbunan *preloading* tidak diperlukan. Selain itu, terjadi juga peningkatan stabilitas timbunan terhadap beban statis dan seismik. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa penggunaan EPS *geofoam* pada timbunan jalan efektif untuk mereduksi penurunan pada tanah dasar, sehingga dapat mengeliminasi rencana timbunan *preloading* serta meningkatkan stabilitas timbunan akibat adanya reduksi beban vertikal secara signifikan.

REFERENSI

Anfifa, F., Rifa'i, A., & Ismanti, S. (2023). *Analisis Stabilitas Timbunan Menggunakan Expanded Polystyrene (EPS) Geofoam Sebagai Material Pengisi Di Atas Tanah Lunak*.

Beju, Y., & Mandal, J. (2018). *Evaluation of the shear strength properties of expanded polystyrene geofoam using direct shear test*. The 11th International Conference on Geosynthetics, Seoul, Korea.

Beju, Y. Z., & Mandal, J. N. (2017). Expanded Polystyrene (EPS) Geofoam: Preliminary Characteristic Evaluation. *Procedia Engineering*, *189*, 239–246. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.038

Chenari, R. J., Firoozfar, A., Attari, S., Izadi, A., & Shafiei, S. E. (2017). Deformation Characteristics of Sand Geofoam Blocks using Large-Scale Oedometer Apparatus. *Civil Engineering Journal*, *3*(8), 585–593.

Elragi, A. F. (2000). *Selected Engineering Properties and Applications of EPS Geofoam*. University of New York.

Eriksson, L., & Tränk, R. (1991). *Properties of Expanded Polystyrene, Laboratory Experiments*. Swedish Geotechnical Institute.

Gue, S. S., & Gue, C. S. (2022). Geotechnical Challenges on Soft Ground. *Journal of Civil Engineering, Science and Technology*, *13*(2), 84–96. https://doi.org/10.33736/jcest.4760.2022

Hardiyatmo, H. C. (2018). *Mekanik Tanah 2*. Gadjah Mada University Press.

Horvath, J. S. (1995). *Geofoam Geosynthetic*. Horvath Engineering.

Https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/. (n.d.). https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/

Leo, C. J., Kumruzzaman, M., Wong, H., & Yin, J. H. (2008). Behavior of EPS Geofoam in True Triaxial Compression Tests. *Geotextiles and Geomembranes*, *26*(2), 175–180.

Manual Desain Perkerasan (REVISI Juni 2017) (No. 04/SE/Db/2017). (2017).

Specification for Rigid Cellular Polystyrene Geofoam. (2017). ASTM International.

Standar Nasional Indonesia 8460:2017 Persyaratan perancangan geoteknik. (2017).

Stark, T. D., Arellano, D., Horvath, J. S., & Lehchinsky, D. (2004). *NCHRP REPORT 529 Guideline and Recommended Standard for Geofoam Applications in Highway Embankments* (p. 13759). Transportation Research Board. https://doi.org/10.17226/13759

Stark, T. D., Arellano, D., Horvath, J. S., & Leshchinsky, D. (2004). *Geofoam Applications in the Design and Construction of Highway Embankments* (No. 65; p. 21944). Transportation Research Board of The National Academies. https://doi.org/10.17226/21944

Zianal, N. F. A., Yusof, M. F., Madun, A., Pakir, F., Abu Talib, M. K., & Abu Talib, Z. (2022). Numerical Modelling of Soft Soil Improvement Using Expanded Polystyrene Geofoam for Road Embankment. *Journal of Sustainable Underground Exploration*, *2*(1). https://doi.org/10.30880/jsue.2022.02.01.007