



The settlement behavior of replacement embankment with mortar foam and geofoam using LISA FEA

Aco Wahyudi Efendi ¹ 

¹ Universitas Tridharma, Jalan AW Syahrani No.7 Kota Balikpapan, Indonesia, 76123

 aw.efendi2018@gmail.com

Received 30-07-2023; revision date 7-08-2023, accepted date 10-08-2023

Abstract

The IKN area, especially in the dock and stockyard construction area, is in an area with soft surface soil and requires several options for handling the stockyard area with several materials that are being widely used and easy methods and provide economic value in development. The use of geoform can increase the CBR value of native soil and the use of geofoam as embankment material provides a higher safety factor value with a smaller deformation value besides that the foam mortar material contributes to a small decrease and stress on the surface of the native soil. This study provides a behavioral review of the vertical settlement and stresses that occur in the soil and gives special behavior to the Geofoam material in the presence of hydrostatic forces. The largest settlement that occurred was 0.0961 m on the surface of the foam mortar, while on the existing soil surface a settlement of 0.0288 m occurred, while the largest settlement that occurred was 0.04254 m on the surface of the geofoam, while on the existing soil surface a settlement of 0.0277 m occurred.

Keywords: Geofoam, LISA, Mortar Foam, Settlement, Stress

Perilaku penurunan menggunakan timbunan pengganti dengan mortar foam dan geofoam menggunakan LISA FEA

Abstrak

Kawasan IKN terutama pada daerah pembangunan dermaga dan stockyard berada pada area dengan tanah permukaan cenderung lunak dan membutuhkan beberapa opsi penanganan pada area stockyard dengan beberapa material yang sedang banyak digunakan dan metode yang mudah serta memberikan nilai ekonomis dalam pembangunan. Penggunaan geoform dapat meningkatkan nilai CBR tanah asli dan penggunaan geofoam sebagai material timbunan memberikan nilai faktor keamanan yang lebih tinggi dengan nilai deformasi yang lebih kecil selain itu pada material mortar foam memberikan kontribusi penurunan dan tegangan yang kecil pada permukaan tanah asli. Pada penelitian ini memberikan tinjauan perilaku terhadap penurunan vertikal dan tegangan yang terjadi pada tanah dan pemberian perilaku khusus pada material Geofoam dengan adanya gaya hidrostatik. Penurunan terbesar yang terjadi sebesar 0.0961 m pada permukaan mortar foam, sedang pada permukaan tanah existing terjadi penurunan sebesar 0.0288 m, sedangkan penurunan terbesar yang terjadi sebesar 0.04254 m pada permukaan geofoam, sedang pada permukaan tanah existing terjadi penurunan sebesar 0.0277 m.

Kata kunci: Geofoam, LISA, Mortar Foam, Penurunan, Tegangan

1. Pendahuluan

Pembangunan di Kawasan Ibu Kota Negara (IKN) Nusantara makin berkembang kian pesat, ini terlihat semakin padatnya lalu lintas dan kegiatan konstruksi di kawasan IKN Nusantara. Untuk mengakomodir logistik dari kebutuhan pembangunan ini adalah diperlukan pelabuhan logistik material konstruksi yang memadai untuk dapat memberikan support terbaik dalam pembangunan di kawasan IKN.

Dermaga logistik untuk kebutuhan IKN ini dibutuhkan untuk segera dibangun terutama material-material konstruksi yang cukup signifikan pemakaiannya. Stockyard adalah salah satu bagian dari dermaga untuk penyimpanan material yang datang berlebih dan sebagai cadangan dalam kebutuhan material konstruksi lainnya.

Kawasan IKN terutama pada daerah pembangunan dermaga dan stockyard berada pada area dengan tanah permukaan cenderung lunak dan membutuhkan beberapa opsi penanganan pada area stockyard dengan beberapa material yang sedang banyak digunakan dan metode yang mudah serta memberikan nilai ekonomis dalam pembangunan.

Penggunaan geoform dapat meningkatkan nilai CBR tanah asli kondisi unsoak menggunakan material pengisi EPS 29 mengindikasikan peningkatan 50 – 70 % dan peningkatan 15 – 150% pada kondisi soak, hal ini terjadi pada tanah kohesif dengan plastisitas tinggi (Anastasia Sri & Clementio, 2018).

Penggunaan geofoam sebagai material timbunan memberikan nilai faktor keamanan yang lebih tinggi dengan nilai deformasi yang lebih kecil (Andryan Suhendra, 2011).



Gambar 1. Penggunaan Geoform pengganti timbunan tanah pada proyek jalan (sumber : GeoTech Systems Corporation)

Penggunaan material mortar foam memberikan kontribusi penurunan dan tegangan yang kecil pada permukaan tanah asli (A. W. Efendi et al., 2022). Mortar foam memiliki kontribusi signifikan terhadap daya dukung dimana dari analisis deformasi dan juga tegangan-

tegangan yang terjadi, bahan busa mortar memberikan yang cukup kecil deformasi (I. A. W. Efendi, 2022). Pengaplikasian dari mortar foam ini telah dilakukan pada kegiatan perbaikan oprit jembatan Pinang di Sangatta Kutai Timur terlihat pada gambar 2. Penggunaan mortar foam ini dilakukan untuk mengakomodir permasalahan penurunan yang terjadi dan memberikan kontribusi terhadap pengurangan tekanan aktif tanah pada sisi belakang abutment eksisting.



Gambar 2. Aplikasi Mortar foam pengganti timbunan tanah pada perbaikan oprit jembatan (sumber : BBPJN Kaltim)

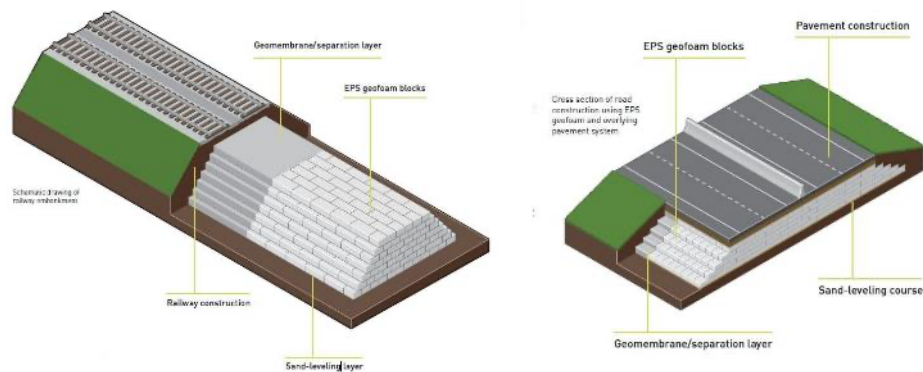
Dari hasil beberapa penelitian di atas, memberikan informasi penggunaan material mortar foam dan geoform sangat memberikan kontribusi yang signifikan dalam penggantian material timbunan tanah, untuk penelitian pada area stockyard kawasan dermaga di IKN ini melakukan permodelan dengan menggunakan software analisis numerik metode elemen hingga LISA V.8 (Lisensi) dan menganalisis perilaku dari penurunan yang terjadi dan nilai tegangan yang terjadi pada tanah ekisting.

2. Metode

Penggunaan bahan timbunan pengganti dari timbunan tanah pilihan dengan material terbaru salah satunya adalah material mortar foam dan geofoam, telah dilakukan penelitian dan pengaplikasiannya di beberapa pekerjaan jalan, longosran dan perbaikan akses ke jembatan seperti pada gambar 2. Dari beberapa penelitian memberikan informasi adanya peningkatan daya dukung dan berkurangnya nilai deformasi vertikal yang terjadi (Anastasia Sri & Clementio, 2018; A. W. Efendi et al., 2022; I. A. W. Efendi, 2022; Andryan Suhendra, 2011).

2.1. Material Geofoam

Geofoam merupakan salah satu material geosintetik yang dibuat dari polimer Expanded Polystyrene (EPS) dan Xtruded Polystyrene (XPS). EPS merupakan polimer yang banyak digunakan sebagai pembungkus dan konstruksi bangunan. Pembuatan balok EPS dimulai dari butir-butir resin berdiameter kurang dari 3 mm dan berisi sel mikroskopik mengandung zat pengembang (pentanes atau butanes sekitar 5% dari berat butir resin). Saat terpapar uap air bertekanan, dinding sel menjadi lunak dan zat pengembang akan memuai. Setiap butir resin akan memuai hingga 40 kali volume awal untuk membentuk suatu gumpalan. Setelah terstabilisasi beberapa saat pada suhu kamar, gumpalangumpalan tersebut dituangkan ke dalam cetakan berbentuk balok. Gumpalan-gumpalan di dalam cetakan memuai lebih lanjut dan melebur membentuk balok. Material geofoam harus dibuat dari butirbutir yang telah dimodifikasi yang mengandung aditif penghambat kebakaran (fire retardant).



Gambar 3. Pengaplikasian Geofoam pengganti timbunan (sumber : Geoguard)

Beberapa jenis dan nilai properti dari tiap jenis Geoform sesuai ASTM D6817 terlihat pada tabel 1.

Tabel 1. Material properties Geofoam sesuai ASTM D6817.

Physical Properties of EPS Geofoam					
TYPE - ASTM D6817	EPS12	EPS15	EPS19	EPS22	EPS29
Density, min. kg/m^3	11.2	14.4	18.4	21.6	28.8
Compressive Strength, min., kPa at 1%	15	25	40	50	75
Compressive Strength min., kPa at 5%	35	55	90	115	170
Compressive Strength min., kPa at 10%	40	70	110	135	200
Flexural Strength, min., kpa	69	172	207	276	345
Oxygen index, min., volume %	24	24	24	24	24

Physical Properties of XPS Geofoam						
TYPE - ASTM D6817	XPS20	XPS21	XPS26	XPS29	XPS36	XPS48
Density, min. kg/m^3	19.2	20.8	25.6	28.8	35.2	48
Compressive Strength, min., kPa at 1%	20	35	75	105	160	280
Compressive Strength min., kPa at 5%	85	110	185	235	335	535
Compressive Strength min., kPa at 10%	104	104	173	276	414	690
Flexural Strength, min., kpa	276	276	345	414	517	689
Oxygen index, min., volume %	24	24	24	24	24	24

2.1.1. Tekanan Hidrostatik

Tekanan hidrostatik adalah tekanan dari zat cair ke semua arah pada suatu benda. Tekanan ini terjadi karena adanya gaya gravitasi. Gaya gravitasi menyebabkan berat partikel air menekan partikel yang ada di bawahnya. Alhasil, partikel-partikel yang ada di bawah akan

saling memberikan tekanan hingga dasar air. Hal ini membuat tekanan di bawah lebih besar daripada tekanan yang ada di atas. Secara definisi, tekanan hidrostatik adalah tekanan yang diakibatkan oleh gaya yang ada pada zat cair terhadap suatu luas bidang tekan, pada kedalaman tertentu. Pemberian kondisi khusus dari tekanan hidrostatik pada elemen geofoam dikarenakan posisi stockyard berada pada pesisir Pantai dengan kondisi pasang surut air yang cukup signifikan, sehingga diperlukannya pengaplikasian tekanan hidrostatik pada material geofoam. Perhitungan tekanan hidrostatik sebagai berikut

$$P = \rho \times g \times h \dots \dots \dots (1)$$

P: tekanan hidrostatik (Pa) atau (N/m²)

g: percepatan gravitasi (m/s²)

ρ : massa jenis zat (kg/m³)

h: tinggi kolom zat cair (m)

Namun bobot substruktur harus lebih besar dari tekanan ke atas untuk memenuhi persyaratan peraturan yang berlaku, yaitu penjumlahan beban ke bawah per area tertentu harus lebih besar daripada beban vertikal per area tertentu. Beban ke bawah sekurang-kurangnya harus lebih besar dari 25% dibandingkan dengan beban ke atas akibat beban hidrostatik.

2.2. Mortar Busa (Mortar Foam)

Busa mortar adalah beton yang mengandung massa jenis kesetimbangan volume agregat berat, antara 1140 dan 1840 kg/m³. Keunggulan beton adalah mampu menahan gaya tekan dengan baik, serta memiliki sifat tahan terhadap korosi dan pembusukan oleh kondisi lingkungan, beton segar dapat dengan mudah dicetak sesuai keinginan, cetakan juga dapat digunakan berulang kali sehingga lebih ekonomis, beton segar dapat disemprotkan pada permukaan beton lama yang retak atau dapat diisi ke dalam beton yang retak dalam proses perbaikan, beton segar dapat dipompa sehingga memungkinkan untuk dituang di tempat-tempat yang posisinya sulit, dan beton tahan aus dan api - tahan, jadi perawatannya lebih murah. Material komposit terdiri dari campuran foaming agent (cairan busa), semen, pasir dan air (Herry Vaza, n.d.; Panitia Teknis 91-01 Bahan Konstruksi Bangunan dan et al., n.d.).

Kekuatan tekan 28 hari spesimen yang dibuat menggunakan pembersih terdekat berbeda dari 4,07-4,82 MPa. Dapat dilihat bahwa semua desain campuran deterjen yang disampaikan dalam pekerjaan eksplorasi ini menghasilkan kekuatan tekan yang jauh di atas prasyarat dasar sebesar 1,38MPa yang ditetapkan oleh Spesifikasi ASTM C796-04 dan C 869-91. Sebagai contoh set ketebalan contoh diatur menggunakan deterjen lokal berubah dari 865-960 kg/m³ (Waheed et al., 2019).



Gambar 4. Mortar foam (sumber: Pusat Litbang Jalan dan Jembatan)

Tabel 2. Persyaratan kuat tekan dan kuat Tarik Material Mortar Foam.

Calculated equilibrium density maks, kg/m ³ (lb/ft ³)	Average 28-days splitting tensile strength min, MPa(psi)	Average 28-days compressive strength min, MPa(psi)
All lightweight aggregate		
1 760 (110)	2.2 (319.083)	28 (4061.06)
1 680 (105)	2.1 (304.579)	21 (3045.79)
1 600 (100)	2.0 (290.075)	17 (2465.64)
Combination of normal weight and lightweight aggregates		
1 840 (115)	2.3 (333.587)	28 (4061.06)
1 760 (110)	2.1 (304.579)	21 (3045.79)
1 680 (105)	2.1 (304.579)	17 (2465.64)

2.3. Metode elemen hingga (FEM)

Metode elemen hingga (FEM) adalah teknik matematika untuk menangani masalah pemeriksaan khusus. Strategi komponen terbatas mengkonsolidasikan beberapa ide numerik untuk menciptakan kondisi kerangka lurus atau nonlinier. Jumlah kondisi yang dibuat biasanya sangat besar, mencapai lebih dari 20.000 kondisi. Oleh karena itu, strategi ini sangat rendah nilainya kecuali jika PC yang masuk akal digunakan.

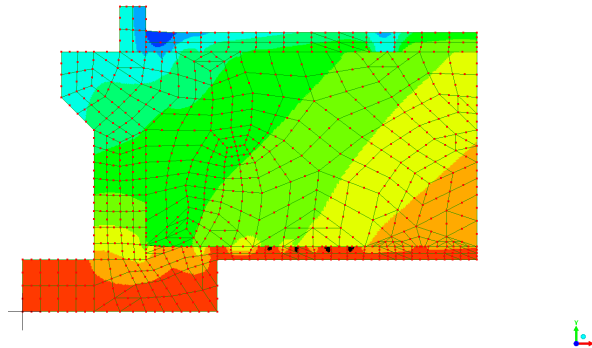
Metode elemen hingga menggunakan cara diskritisasi komponen untuk mengatasi masalah pelacakan relokasi simpul/asosiasi/grid dan kekuatan primer. Kondisi komponen diskrit dihubungkan dengan teknik kisi untuk pemeriksaan utama dan hasil yang didapat tidak dapat dibedakan dari penyelidikan tradisional untuk struktur. Diskritisasi harus dimungkinkan dengan komponen satu lapis (komponen garis), dua lapis (komponen bidang) atau tiga lapis (komponen volume/kontinum). Pendekatan ini menggunakan komponen kontinum untuk menentukan jawaban yang mendekati kenyataan (Carbonell et al., 2022; Chen et al., 2021; A. W. Efendi, 2022b; Recep & Sedat, 2021; Tong et al., 2017).

2.4. LISA

LISA, software pengujian analisis numerik, digunakan untuk mengukur kenaikan suhu untuk tiga model penukar intensitas yang berbeda. Ketiga jenis model tersebut adalah, disusun berdasarkan permodelan sederhana, model komponen garis, model cangkang, dan model kuat.

Model elemen hingga adalah jaring elemen. Setiap elemen memiliki node yang hanya menunjuk pada elemen. Elemen hanya dapat dihubungkan ke elemen lain node-to-node. Elemen edge-to-element-node tidak ada sambungan sama sekali. Elemen itu sendiri memiliki bentuk yang sangat sederhana seperti garis, segitiga, persegi, kubus, dan limas, terlihat seperti gambar 5.

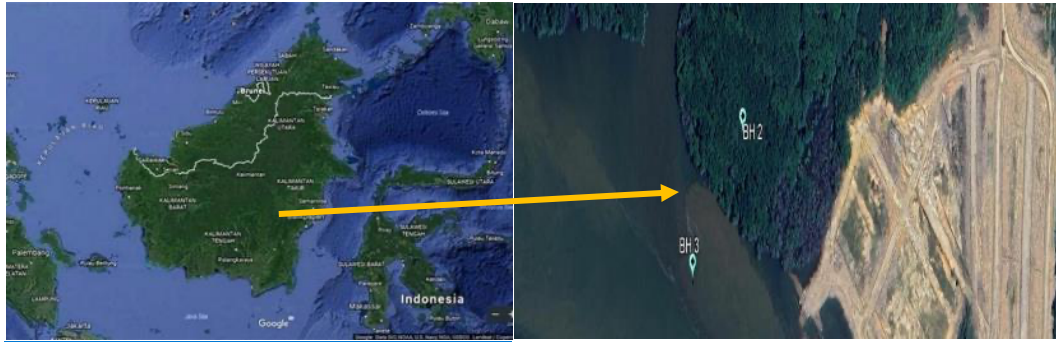
Setiap elemen diformulasikan untuk mematuhi hukum sains tertentu. Misalnya dalam analisis statis, elemen diformulasikan untuk menghubungkan perpindahan dan tegangan menurut teori mekanika bahan. Dalam kasus getaran modal, elemen diformulasikan untuk mengikuti bentuk defleksi dan frekuensi menurut teori dinamika struktural. Demikian pula dalam analisis termal unsur-unsur hubungan temperatur dan kalor menurut teori perpindahan kalor. Jadi, penting bagi Anda untuk memiliki pemahaman tentang teori fisika yang mendasarinya sebelum menggunakan perangkat lunak analisis elemen hingga (Akçay et al., 2021; A. W. Efendi, 2020, 2022a, 2022c, 2022a, 2023c, 2023b, 2023a, 2023d; A. W. Efendi et al., 2022; A. W. Efendi & Weijia, 2023; I. A. W. Efendi, 2022).



Gambar 5. Permodelan LISA (sumber: AW Efendi, 2022)

3. Hasil dan Pembahasan

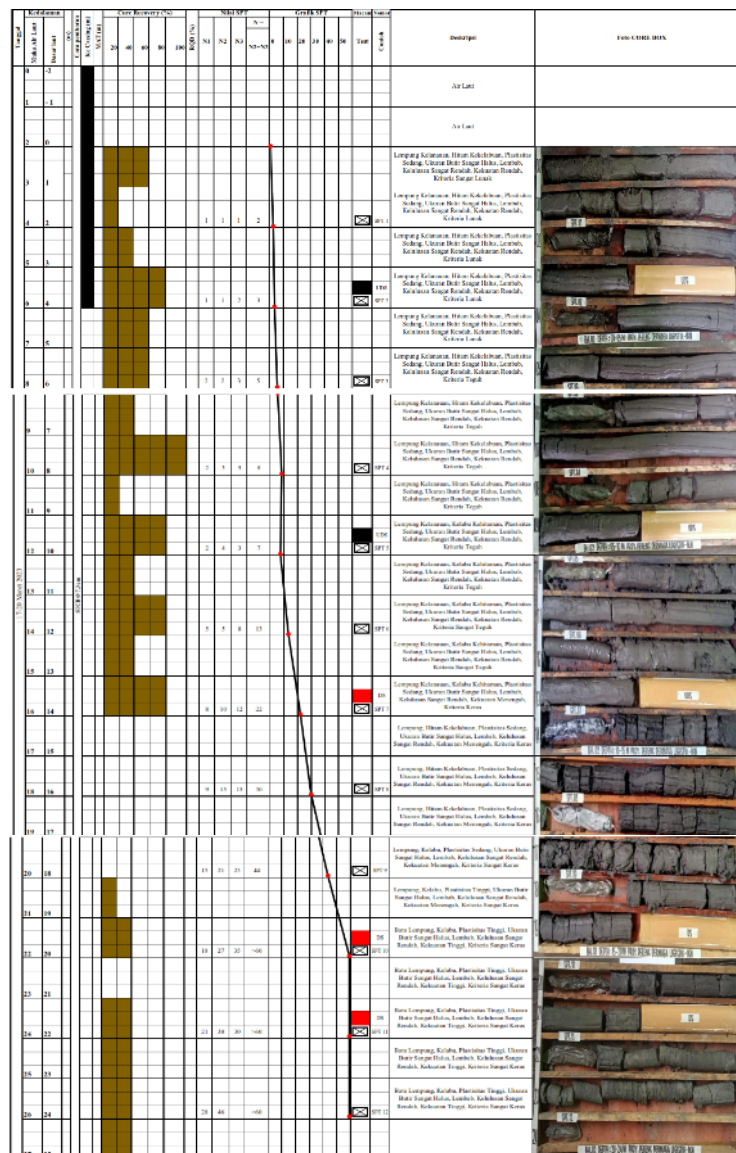
Pada penelitian ini peneliti membandingkan hasil penurunan tanah existing setelah dilakukan penambahan timbunan setinggi 4 m dengan menambahkan material pengganti timbunan tanah menggunakan mortar foam dan geofoam dan diberikan beban sebesar 18 kN/m³ sehingga menghasilkan nilai penurunan dan tegangan yang terjadi pada lokasi tanah existing stockyard dermaga IKN. Adapun data tanah yang digunakan adalah data hasil penyelidikan tanah dengan metode SPT pada BH-02, terlihat posisi penyelidikan sesuai pada gambar 6.



Gambar 6. Lokasi penyelidikan tanah metode SPT.

3.1. Parameter material

Hasil penyelidikan tanah ditampilkan dalam bentuk borlog hasil SPT, seperti pada gambar 7.



Gambar 7. Hasil penyelidikan tanah metode SPT (sumber: Geosindo, 2022)

Dari data NSPT borlog ini dilakukan pendekatan untuk nilai propertis tanah pada setiap lapisan tanah existing dan dilakukan korelasi nilai modulus elastisitas, poison rasio dan berat jenis tanah. Dan berdasarkan hasil laboratorium setelah dilakukan pengujian mekanis pada jenis tanah tersebut, terlihat pada tabel 3.

Tabel 3. Propertis material tanah hasil SPT

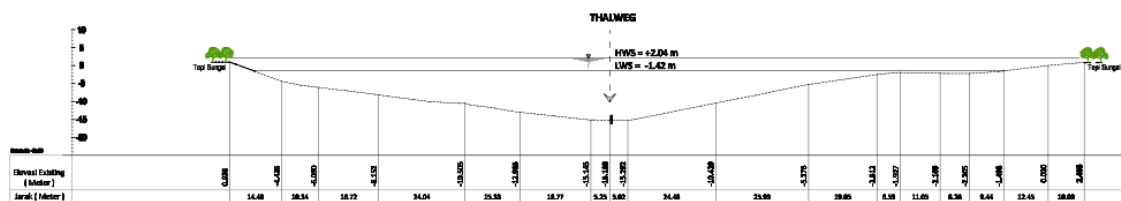
Kedalaman (m)	Tipe Tanah	Kepadatan (kN/m ³)	N SPT Rata-rata	Tegangan Efektif $c=c_u=k.N$ (kN/m ²)	Es (kN/m ²) $E_s = (500 \text{ s/d } 1500) * C_u$	ν
-2	Lempung kelanauan hitam kekelabuan sangat lunak	20.22	0.66666667	18.00	9000	0.42
6	Lempung kelanauan hitam kekelabuan teguh	20.35	5.0	21.50	10750	0.4
14	Lempung kelanauan hitam kekelabuan sangat teguh	20.69	10.0	50.00	25000	0.3
16	Lempung kelanauan hitam kekelabuan keras	22.90	28.7	143.33	71666.66667	0.25
22	Bt Lempung Kelabu sangat keras	23.70	60.0	300.00	150000	0.2
26						

Tabel 4. Propertis material Mortar foam dan Geofoam

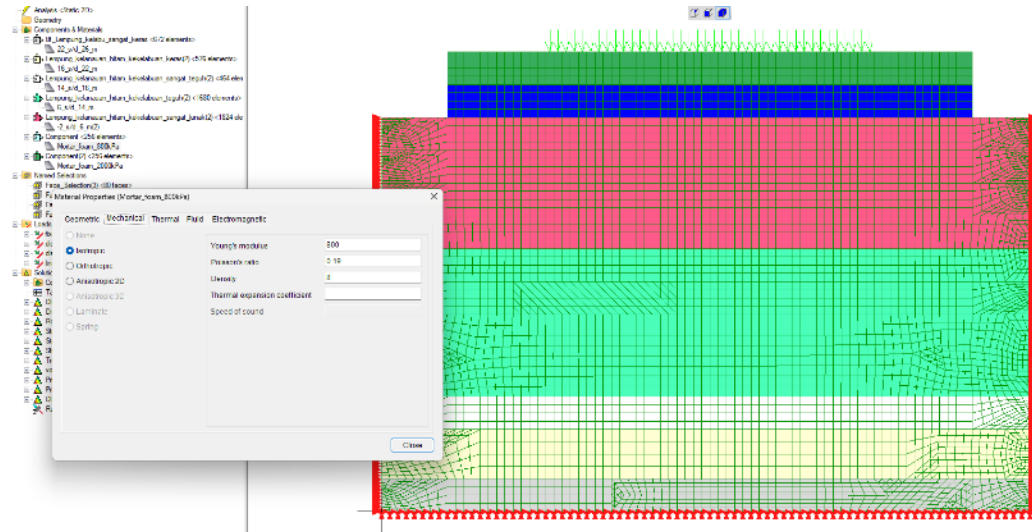
Material	Berat Jenis (kN/m ³)	Poison rasio	Modulus Elastisitas (kN/m ²)
Mortar foam 800 kPa	8	0.19	800
Mortar foam 2000 kPa	10	0.19	2,000
Geofoam EPS 22	0.216	0.227128	5,000

3.2. Permodelan dan Perilaku Mortar Foam

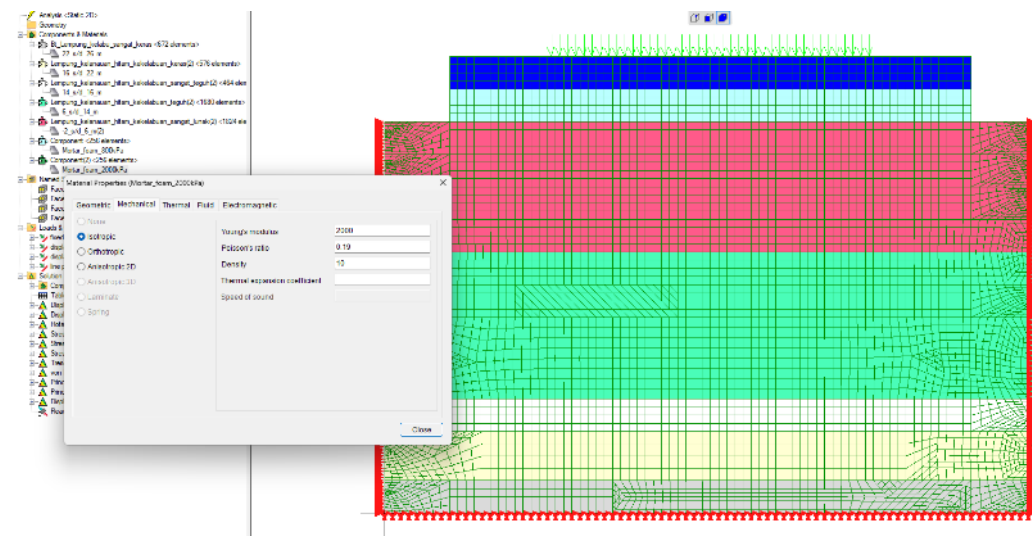
Pada permodelan mortar foam diberikan dua lapisan jenis mortar foam, dimana ketinggian lapisan tersebut adalah 4 meter sesuai dengan kebutuhan elevasi rencana terlihat pada gambar 8, dengan 2 meter terbawah menggunakan mortar foam 800 kPa, seperti pada gambar 9(a) dan pada lapisan atas mortar foam menggunakan mortar foam 2000 kPa, seperti pada gambar 9(b).



Gambar 8. Typical lokasi stockyard (sumber: BBPJK, 2022)



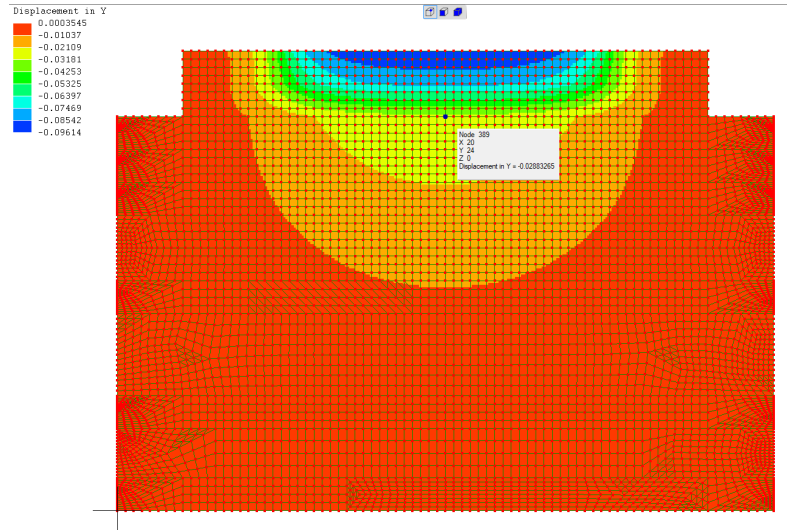
(a)



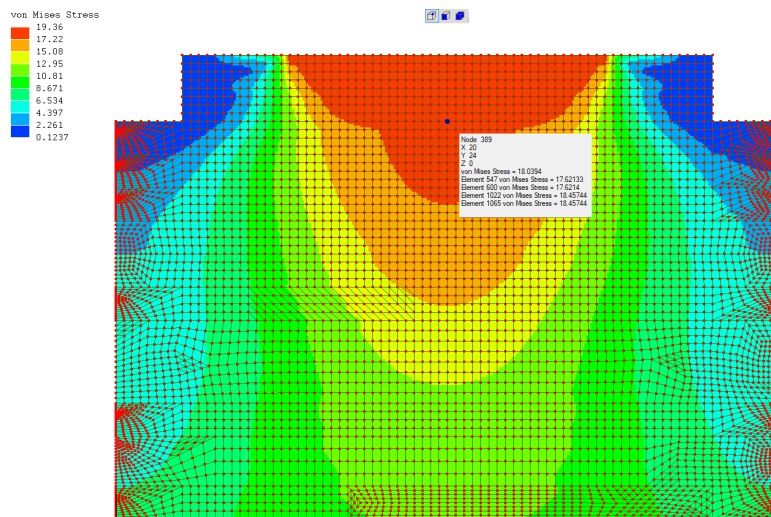
(b)

Gambar 9. (a) Parameter mortar foam 800 kPa.
(b) Parameter mortar foam 2000 kPa.

Penurunan terbesar yang terjadi sebesar 0.0961 m pada permukaan mortar foam, sedang pada permukaan tanah existing terjadi penurunan sebesar 0.0288 m terlihat pada gambar 10. Sedangkan tegangan tanah yang terjadi paling besar di permukaan mortar foam yaitu 19,36 kN/m², sedang tegangan yang terjadi pada permukaan tanah existing yaitu 18,039 kN/m² terlihat pada gambar 11.



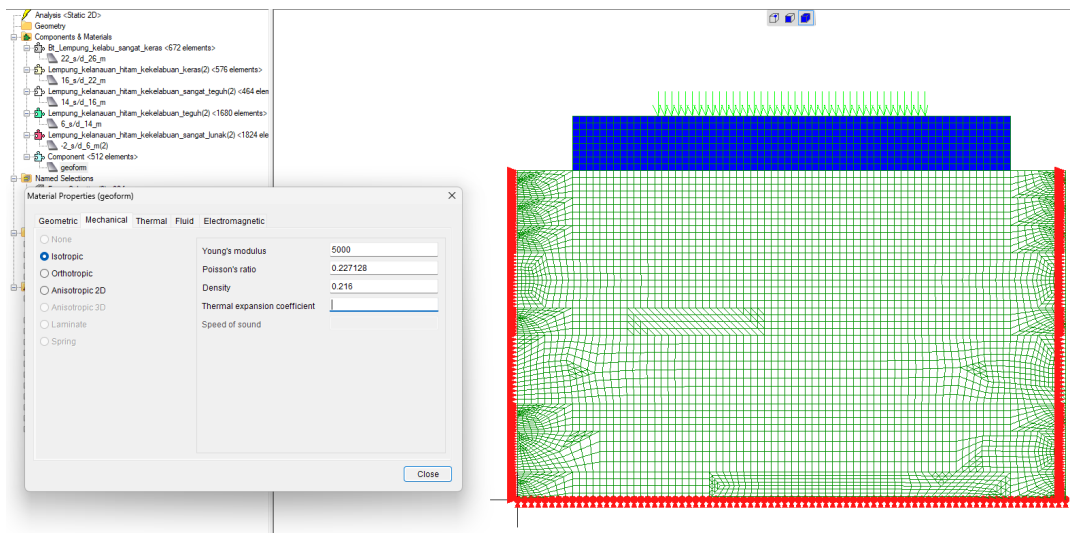
Gambar 10. Penurunan yang terjadi.



Gambar 11. Tegangan yang terjadi pada tanah.

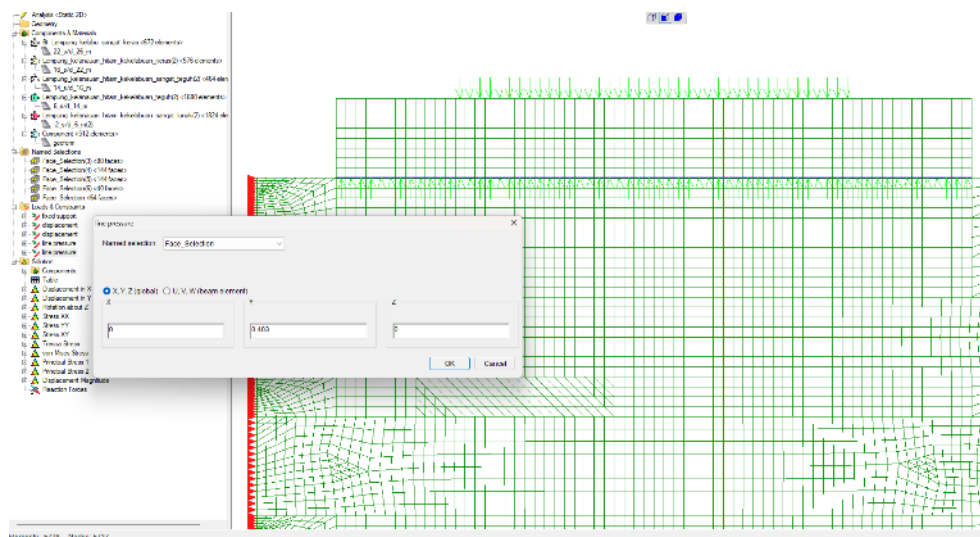
3.3. Permodelan dan Perilaku Geofoam

Pada permodelan geofoam dengan ketinggian 4 meter sesuai kondisi kebutuhan elevasi rencana stockyard pada gambar 8 dari permukaan tanah asli dengan parameter material sesuai pada tabel 4 dengan jenis geoform EPS 22, seperti pada gambar 11.



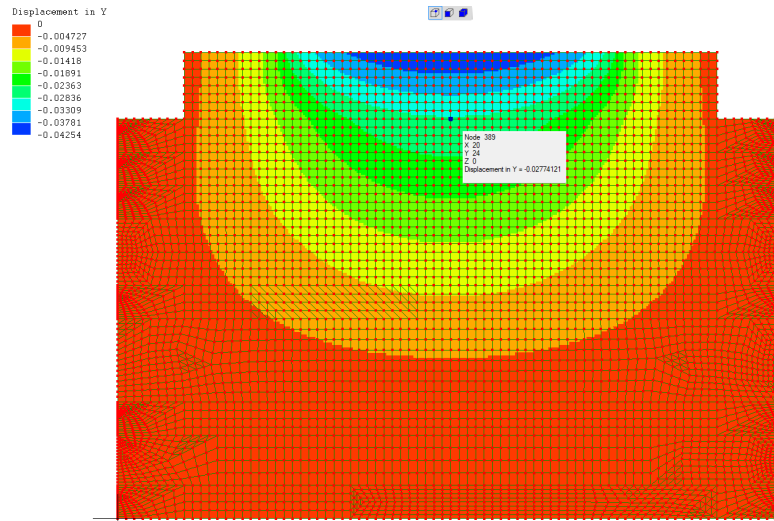
Gambar 11. Parameter Geofom.

Selain diberi beban tumpukan stockyard sebesar 20 kN/m^3 , pada geofom diberikan kondisi khusus yaitu adanya gaya hidrostatik dengan massa jenis air laut sebesar 0.01026 kN/m^3 dan indikasi air pasang setinggi 4 meter dari permukaan tanah asli sehingga didapat nilai tekanan hidrostatik adalah 0.402 kN/m^3 . Terlihat pada gambar 12.

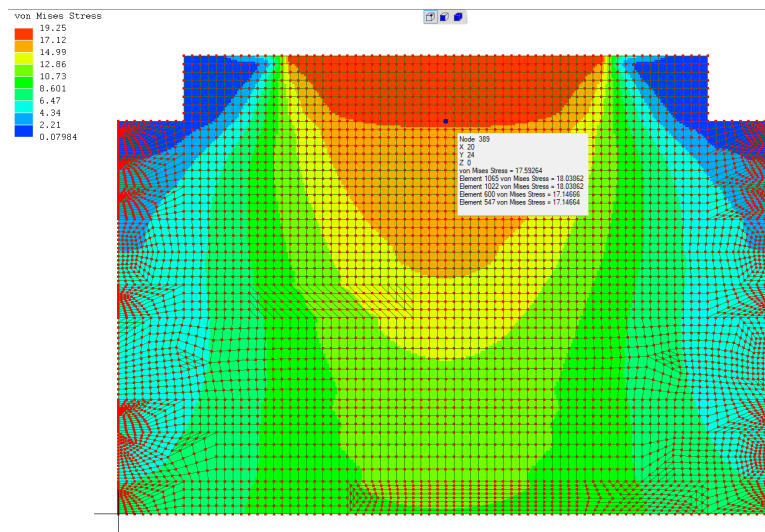


Gambar 12. Gaya hidrostatik

Penurunan terbesar yang terjadi sebesar 0.04254 m pada permukaan geofom, sedang pada permukaan tanah existing terjadi penurunan sebesar 0.0277 m terlihat pada gambar 13. Sedangkan tegangan tanah yang terjadi paling besar di permukaan geofom yaitu 19.25 kN/m^2 , sedang tegangan yang terjadi pada permukaan tanah existing yaitu 17.59 kN/m^2 terlihat pada gambar 14.



Gambar 13. Penurunan yang terjadi pada Geofoam.



Gambar 14. Tegangan yang terjadi pada tanah asli.

Kesimpulan

Hasil analisis menunjukkan bahwa pada beberapa kondisi material pengganti timbunan tanah terjadi beberapa perilaku yang ditinjau terhadap penurunan vertical dan tegangan yang terjadi pada tanah. Dan pemberian perilaku khusus pada material Geofoam dengan adanya gaya hidrostatik.

Penurunan terbesar yang terjadi sebesar 0.0961 m pada permukaan mortar foam, sedang pada permukaan tanah existing terjadi penurunan sebesar 0.0288 m, sedangkan penurunan terbesar yang terjadi sebesar 0.04254 m pada permukaan geofoam, sedang pada permukaan tanah existing terjadi penurunan sebesar 0.0277 m.

Pada tegangan tanah yang terjadi paling besar di permukaan mortar foam yaitu 19,36 kN/m², sedang tegangan yang terjadi pada permukaan tanah existing yaitu 18,039 kN/m², namun tegangan tanah yang terjadi paling besar di permukaan geofoam yaitu 19.25 kN/m², sedang tegangan yang terjadi pada permukaan tanah existing yaitu 17.59 kN/m².

Daftar Pustaka

- Akcay, N., Gökalp, A. S., Günlemez, A., & ... (2021). Comparison of LISA vs INSURE Technique Using Nasal Intermittent Positive Pressure Ventilation (NIPPV) Support In Preterm Infants: A Randomized Controlled Trial. *Medical Journal of ...*. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=13059319&AN=150026811&h=oa0JPzH%2F7kU0O6pXKM9bccbhmpQEDKIgq3iXNk0ZUZxlRjSTzIU5R%2BKnlbrndMQP950wl66%2B7I p5scAz0%2BViPA%3D%3D&crl=c>
- Anastasia Sri, L., & Clementio, J. (2018). Efek EPS geofoam sebagai material pengisi terhadap nilai CBR laboratorium pada tanah kohesif daerah Bandung. *HATTI , SEAGC. Jakarta*.
- Carbonell, J. M., Monforte, L., Ciantia, M. O., Arroyo, M., & ... (2022). Geotechnical particle finite element method for modeling of soil-structure interaction under large deformation conditions. In ... and *Geotechnical ...* Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674775521001943>
- Chen, X., Pan, L., Xu, L., & Shi, C. (2021). Three-Dimensional Vehicle–Curved Track Dynamic Model Based on FEM and DEM. ... *Journal of Structural Stability and ...*. <https://doi.org/10.1142/S0219455421501790>
- Effendi, A. W. (2020). *Modeling of soil subsidence in IKN using numerical analysis of the finite element method LISA V. 8.* researchgate.net. https://www.researchgate.net/profile/Aco-Effendi/publication/367090313_Modeling_of_soil_subsidence_in_IKN_using_numerical_analysis_of_the_finite_element_method_LISA_V8/links/63c0f9964c7e7c4e5125262a/Modeling-of-soil-subsidence-in-IKN-using-numerical-analysis-of-the-finite-element-method-LISA-V8.pdf
- Effendi, A. W. (2022a). Behavior Analysis of Building Structures After a Fire with FEA LISA V. 8. *Kurva S: Jurnal Keilmuan Dan Aplikasi Teknik ...*. <http://ejurnal.untag-smd.ac.id/index.php/TEKNIKD/article/view/6413>
- Effendi, A. W. (2022b). Computing steel frame analysis of behavior semi-rigid connection. *International Journal of Advanced Science and ...*. <http://www.ijasca.org/index.php/ijasca/article/view/17>
- Effendi, A. W. (2022c). Structural Design Tuak River Pedestrian Suspension Bridge Anchor Block Type Rigid Symmetric with LISA. *Elektrise: Jurnal Sains Dan Teknologi Elektro*. <https://jurnal.itscience.org/index.php/elektrise/article/view/1572>
- Effendi, A. W. (2023a). Behavior of Railroad Bridge Girders Due to Brake Loads with LISA V. 8 FEA. ... *Conference on Railway and Transportation (ICORT ...*. <https://www.atlantispress.com/proceedings/icort-22/125985594>
- Effendi, A. W. (2023b). Desain Kandang Sperma Ideal untuk Sapi menggunakan LISA V. 8 FEA. *Jurnal Sintesis: Penelitian Sains, Terapan Dan ...*. <https://www.jurnal.iik.ac.id/index.php/jurnalsintesis/article/view/71>
- Effendi, A. W. (2023c). PEMODELAN PENURUNAN TANAH DI IBU KOTA NEGARA NUSANTARA MENGGUNAKAN ANALISIS NUMERIK METODE ELEMEN HINGGA LISA V. 8. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil ...*. <https://www.ejournal.warmadewa.ac.id/index.php/paduraksa/article/view/5643>
- Effendi, A. W. (2023d). Simulation of fire exposure behavior to building structural elements using LISA FEA V. 8. *International Journal of Advanced Science and ...*. <http://www.ijasca.org/index.php/ijasca/article/view/31>

- Efendi, A. W., Do, Y., & Rachman, N. F. (2022). Behavior of Rail Ballast Layer Using Mortar Foam with LISA-FEA. *Journal of Railway Transportation and* <https://www.jrtt.org/index.php/jrtt/article/view/8>
- Efendi, A. W., & Weijia, C. (2023). Buffer stops behavior due to rail impact loads with LISA FEA. *Journal of Railway Transportation and Technology.* <https://jrtt.org/index.php/jrtt/article/view/20>
- Efendi, I. A. W. (2022). Repair analysis of Pinang Bridge oprit subsidence with mortar form using LISA FEA V. 8. In *Journal of Research and Inovation in Civil* https://www.researchgate.net/profile/Aco-Efendi/publication/364959931_Repair_analysis_of_Pinang_Bridge_oprit_subsidence_with_mortar_form_using_LISA_FEA/links/63612e80431b1f53005fc528/Repair-analysis-of-Pinang-Bridge-oprit-subsidence-with-mortar-form-using-LISA-FEA.pdf
- Herry Vaza. (n.d.). *TEKNOLOGI MATERIAL RINGAN MORTAR-BUSA UNTUK JALAN DIATAS TANAH LUNAK*. Pusat Litbang Jalan dan Jembatan Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Irpan Hidayat, & Andryan Suhendra. (2011). APLIKASI GEOFOAM SEBAGAI MATERIAL TIMBUNAN DI ATAS TANAH LUNAK ; *ComTech*, 2(1), 106–116.
- Panitia Teknis 91-01 Bahan Konstruksi Bangunan dan, Rekayasa Sipil pada Subpanitia Teknis 91-01/S2 Rekayasa Jalan dan Jembatan melalui, & Gugus Kerja Geoteknik Jalan, Pusat Penelitian Jalan dan Jembatan. (n.d.). *Perancangan campuran material ringan mortar-busa untuk konstruksi jalan*. KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT.
- Recep, A., & Sedat, S. (2021). Investigation of the Consolidation Behavior of Soft Soil Improved with Vertical Drains by Finite Element Method. *International Journal of Engineering and Applied* <https://dergipark.org.tr/en/pub/ijeas/issue/66141/1002115>
- Tong, X., Ma, Q., & Yang, X. (2017). The finite element analysis of magnetic storm geoelectric field based on the three-dimensional electrical structure. In *2017 IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ei2.2017.8245386>
- Waheed, A., Arshid, M. U., Mehboob, S., Ahmed, A., & ... (2019). Preparation of Low Cost Foam Concrete Using Detergent. ... *Journal.* <https://tj.uettaxila.edu.pk/index.php/technical-journal/article/view/853>



This work is licensed under a Creative Commons Attribution Non-Commercial 4.0 International License