

GEOTECHNICAL INVESTIGATION OF TIDAL FLOODING-RELATED ROAD SUBSIDENCE ON THE BONTANG-KUALA ROAD SECTION

Oleh

Aco Wahyudi Efendi¹, Tukimun², Rizki Satria Putra³, Amir Wardana⁴

¹Civil Engineering, Sebelas Maret University, Surakarta

²Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda

^{3,4} Civil Engineering, Coreteam P2JN Kaltim, Balikpapan

E-mail: ¹acowahyudiefendi@student.uns.ac.id, ²moonix.mgt@gmail.com,

³rizkisatriaputra92@gmail.com, ⁴amirwardana34@gmail.com

Article History:

Received: 03-10-2025

Revised: 28-10-2025

Accepted: 06-11-2025

Keywords:

Finite Element Method

Geotechnical Engineering

Land Subsidence

Pile Slab

Pile Embankment

Soft Soil

Tidal Flooding

Abstract: The Bontang-Kuala road in East Kalimantan Province faces major problems due to daily tidal flooding and significant road subsidence. The objective of this study is to conduct a geotechnical analysis of the current conditions and develop more efficient solutions. Field surveys, soil investigations, and numerical analysis using the finite element method were employed in this study. To validate soil parameters, a back-analysis was conducted using ten years of subsidence data, which indicated a subsidence of 39.58 cm. The analysis results showed that conventional embankment reinforcement cannot withstand the required traffic load and may collapse. There are three treatment options: Pile slab structure, pile embankment with soil fill, and pile embankment with mortar foam fill. It was proven that each option meets the stability and technical design settlement requirements.

PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur jalan merupakan elemen vital dalam mendukung konektivitas dan pertumbuhan ekonomi suatu wilayah. Namun, tantangan kondisi geoteknik lokal seringkali menjadi kendala utama dalam perencanaan dan pemeliharaan infrastruktur, terutama di wilayah pesisir yang memiliki lapisan tanah lunak yang tebal [(Coelho, Priest and ..., 2018; Likitlersuang, Pholkainuwatra and ..., 2018; Efendi and Safitri, 2024)]. Salah satu kasus yang menonjol adalah ruas jalan akses menuju kawasan Wisata Bontang Kuala, Kalimantan Timur, yang mengalami permasalahan ganda: banjir rob (genangan pasang surut air laut) dan penurunan badan jalan yang progresif.

Kondisi eksisting menunjukkan bahwa badan jalan tergenang setiap hari saat pasang dengan elevasi banjir mencapai 20-30 cm dari permukaan jalan. Bahkan, ketinggian banjir tertinggi yang pernah tercatat mencapai 1 meter dari permukaan jalan. Selain genangan, masalah yang lebih fundamental adalah penurunan (subsistensi) badan jalan yang diperkirakan mencapai 30 cm selama 10 tahun terakhir. Penurunan ini menyebabkan kerusakan struktural seperti retak-retak pada perkerasan jalan, yang mengganggu kenyamanan dan keamanan pengguna jalan. Analisis historis lokasi menunjukkan bahwa

area tersebut merupakan bekas muara yang ditimbun untuk dijadikan badan jalan, dikelilingi oleh vegetasi mangrove. Kondisi ini mengindikasikan bahwa badan jalan berdiri di atas lapisan tanah lunak dengan daya dukung rendah dan kompresibilitas tinggi.



Gambar 1. Plan akses Bontang-Kuala

Penanganan konvensional dengan hanya melakukan penimbunan ulang atau pelapisan ulang (overlay) tidak akan menjadi solusi permanen. Beban tambahan dari material timbunan justru dapat mempercepat laju penurunan konsolidasi pada lapisan tanah lunak di bawahnya. Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan rekayasa geoteknik yang komprehensif untuk mengatasi akar permasalahan tersebut [1]. Hal ini melibatkan perancangan struktur pondasi yang mampu mentransfer beban lalu lintas dan beban timbunan ke lapisan tanah keras yang lebih kompeten di kedalaman, sehingga kriteria kelaikan layanan (serviceability) struktur perkerasan dapat terpenuhi selama umur rencana (Azis and Soffan, 2020).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara mendalam kondisi geoteknik di lokasi studi, memvalidasi parameter tanah melalui analisis balik (back analysis), serta memodelkan dan membandingkan beberapa alternatif solusi perkuatan. Alternatif yang dianalisis mencakup penggunaan struktur Pile Slab dan Pile Embankment dengan material timbunan yang berbeda. Evaluasi tidak hanya didasarkan pada pemenuhan kriteria teknis (stabilitas dan deformasi) sesuai standar yang berlaku (Efendi, 2020; 2022a; 2022c; 2023a), tetapi juga mempertimbangkan efisiensi biaya pelaksanaan. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan solusi rekayasa yang paling optimal untuk penanganan banjir dan penurunan jalan di ruas Bontang-Kuala.

METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian ini disusun secara sistematis untuk memastikan hasil analisis yang akurat dan dapat dipertanggungjawabkan. Tahapan penelitian dibagi menjadi studi literatur, survei lapangan, investigasi tanah, dan analisis numerik.

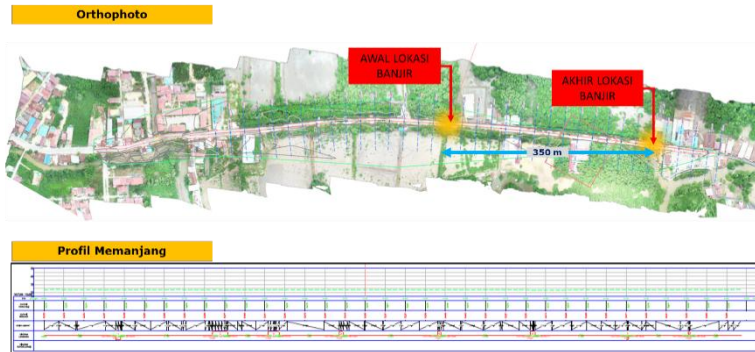
2.1. Studi Literatur dan Pengumpulan Data Sekunder Tahap awal meliputi studi literatur terkait mekanisme penurunan pada tanah lunak, desain timbunan jalan, dan teknologi perbaikan tanah (Panguriseng, 2017; Efendi, 2022c; Efendi, Do and Rachman, 2022; Efendi, 2023b). Referensi utama yang digunakan mencakup standar nasional dan internasional seperti SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik, Manual Desain Perkerasan Jalan 2024, serta pedoman dari Kimpraswil dan ACI. Data sekunder seperti peta lokasi dan citra satelit historis juga dikumpulkan untuk memahami evolusi

kondisi lapangan.

Survei Lapangan dan Investigasi Tanah Survei lapangan dilakukan untuk mengidentifikasi kondisi aktual di lokasi proyek. Kegiatan ini meliputi:

1. Pengukuran panjang segmen jalan yang terdampak banjir dan penurunan, yang teridentifikasi sepanjang 350 meter.

GAMBAR RENCANA AKSES BONTANG-KUALA



Gambar 2. Gambar rencana akses Bontang-Kuala

2. Wawancara dengan warga sekitar untuk mendapatkan data historis ketinggian banjir dan laju penurunan jalan.



Gambar 3. Kondisi banjir Bontang Kuala

3. Dokumentasi visual berupa foto-foto kondisi banjir dan kerusakan jalan.



Gambar 4. Badan jalan mengalami penurunan sekitar 30 cm dari elevasi saat setelah dibangun sampai sekarang (10 tahun)

Investigasi tanah dilakukan untuk mendapatkan parameter geoteknik yang esensial untuk pemodelan. Program investigasi meliputi:

1. Pengeboran Inti (Core Drilling): Dilakukan pada lima titik bor (BH-1 hingga BH-5) di sepanjang trase jalan untuk mengetahui stratifikasi lapisan tanah.



Gambar 5. Panjang rencana penanganan

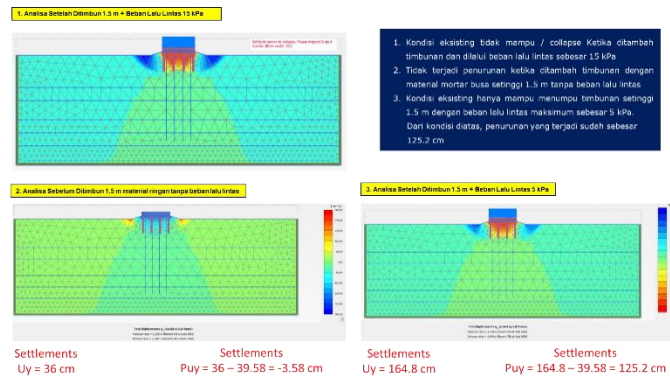
2. Uji Lapangan: Uji Penetrasi Standar (SPT) dilakukan bersamaan dengan pengeboran untuk mengetahui konsistensi dan kekuatan relatif lapisan tanah non-koheusif dan koheusif (Kouchaki, Bernhardt-Barry and ..., 2018; U and Horsfall, 2020; Ganiyu et al., 2021).



Gambar 6. Borlog hasil penyelidikan tanah metode SPT(Boring)

3. Uji Laboratorium: Sampel tanah tak terganggu (undisturbed sample) dan terganggu (disturbed sample) yang diperoleh dari pengeboran diuji di laboratorium. Pengujian mencakup sifat-sifat fisis (berat isi, kadar air, batas-batas Atterberg) dan mekanis (uji geser, uji triaksial, dan uji konsolidasi) untuk mendapatkan parameter seperti kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), dan indeks kompresi (C_c). Berbagai metode pengujian beton standar seperti ASTM C805 dan ASTM C597 juga menjadi acuan dalam memastikan kualitas material konstruksi yang akan digunakan (Rashidian, Naeini and ..., 2018; Permanasari et al., 2019; Mumtaz, Rashid and Israr, 2020).





Gambar 9

Pemodelan Alternatif Penanganan: Tiga alternatif penanganan dimodelkan secara terpisah. Setiap model mencakup elemen perkerasan, timbunan (jika ada), dan struktur perkuatan berupa tiang pancang. Beban operasional (beban lalu lintas 15 kPa) dan beban mati struktur diterapkan sesuai kriteria desain.

1. Alternatif 1: Struktur Pile Slab.
2. Alternatif 2: Pile Embankment dengan Timbunan Tanah.
3. Alternatif 3: Pile Embankment dengan Timbunan Mortar Foam.

Evaluasi Hasil: Hasil dari setiap model dianalisis berdasarkan kriteria desain yang telah ditetapkan dalam SNI 8460:2017 dan pedoman lainnya [129]. Parameter yang dievaluasi meliputi:

1. Penurunan total maksimum (total settlement).
2. Defleksi lateral maksimum.
3. Gaya aksial dan momen lentur yang terjadi pada tiang.
4. Faktor keamanan (SF) stabilitas global.

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kondisi Geoteknik dan Stratifikasi Tanah Hasil investigasi tanah dari lima titik bor menunjukkan bahwa stratifikasi tanah di lokasi studi didominasi oleh lapisan tanah lempung dengan konsistensi yang bervariasi. Secara umum, profil tanah dari permukaan hingga kedalaman 34 meter dapat diuraikan sebagai berikut:

- 0 – 10 m: Lempung sangat lunak (very soft clay) dengan nilai N-SPT rata-rata 1,5.
- 10 – 14 m: Lempung lunak (soft clay) dengan nilai N-SPT rata-rata 3,67.
- 14 – 20 m: Lempung medium (medium clay) dengan nilai N-SPT rata-rata 6,33.
- 20 – 24 m: Lempung kaku (stiff clay) dengan nilai N-SPT rata-rata 13.
- 24 – 28 m: Lempung sangat kaku (very stiff clay) dengan nilai N-SPT rata-rata 24,33.
- 28 – 34 m: Lempung keras (hard clay) dengan nilai N-SPT rata-rata 35,33.

Lapisan tanah hingga kedalaman 14 meter yang terdiri dari lempung sangat lunak hingga lunak menjadi penyebab utama daya dukung rendah dan potensi penurunan konsolidasi yang besar. Parameter desain untuk material timbunan dan tanah dasar diambil dari Pedoman Kimpraswil dan SNI [142, 129]. Tabel 1 merangkum parameter tanah yang digunakan dalam analisis setelah melalui proses kalibrasi.

Tabel 1. Parameter Tanah Hasil Analisis Balik

No.	Kedalaman (m)	Jenis tanah	Model	Drainage Type	Konsistensi	%Clay	%Silt	%Sand	N-rata2	y _b (kn/m ³)	Y _{at} (kn/m ³)	Cu (kn/m ²)	c' (kn/m ²)	φ°	E _{so}	E _{sed}	E _{ur}	k _x (cm/dt)	k _x (m/hari)	k _y (m/hari)	v	C _c	C _s	e		
1	0	-	10	Lempung	SS	Undrained A	Sangat Lunak	41,42	40,28	18,3	1,50	15,52	16,52	9	0,9	10	1620	1620	4860	0,000000001	0,000000864	0,000000432	0,4	0,463	0,101	1,466
2	10	-	14	Lempung	SS	Undrained A	Lunak	42,7	39,55	17,75	3,67	15,86	16,86	22	2,2	10	3960	3960	11880	0,000000001	0,000000864	0,000000432	0,4	0,485	0,065	1,368
3	14	-	20	Lempung	MC	Undrained A	Medium	-	-	-	6,33	16,27	17,27	38	3,8	15	6840	6840	20520	0,000000001	0,000000864	0,000000432	0,38	-	-	-
4	20	-	24	Lempung	MC	Undrained A	Kaku	-	-	-	13,00	17,29	18,29	78	7,8	18	14040	14040	42120	0,000000001	0,000000864	0,000000432	0,35	-	-	-
5	24	-	28	Lempung	MC	Undrained A	Sangat Kaku	-	-	-	24,33	19,04	20,04	146	14,6	20	26280	26280	78840	0,000000100	0,000000864	0,000000432	0,3	-	-	-
6	28	-	34	Lempung	MC	Undrained A	Keras	-	-	-	35,33	20,73	21,00	212	21,2	25	38160	38160	114480	0,000000100	0,000000864	0,000000432	0,2	-	-	-

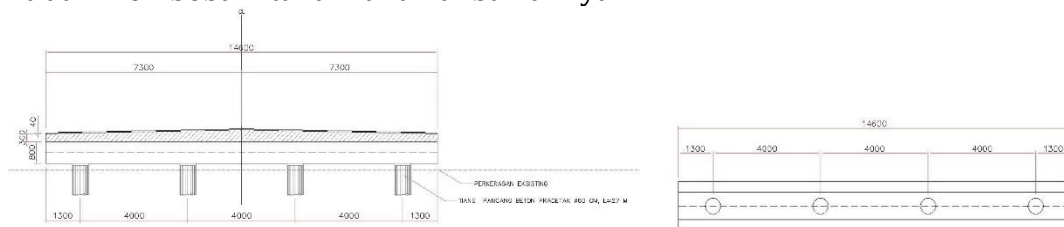
Validasi Model melalui Analisis Balik Analisis balik dilakukan untuk memverifikasi keandalan parameter tanah yang digunakan. Dengan mensimulasikan riwayat pembebanan selama 10 tahun, model numerik menghasilkan total penurunan sebesar 39,58 cm. Nilai ini sedikit lebih besar namun masih sesuai dengan penurunan yang diamati di lapangan (sekitar 30 cm). Hal ini menunjukkan bahwa parameter tanah yang digunakan dalam analisis cukup konservatif dan dapat merepresentasikan kondisi aktual dengan baik.

Selanjutnya, dilakukan simulasi penambahan timbunan setinggi 1,5 m dengan beban lalu lintas 15 kPa pada model eksisting. Hasilnya menunjukkan bahwa struktur jalan mengalami keruntuhan (collapse) dengan penurunan total mencapai 164,8 cm. Analisis ini mengkonfirmasi bahwa tanah dasar tidak memiliki kapasitas dukung yang cukup, sehingga perlu dengan sistem pondasi dalam mutlak diperlukan.

Analisis Kinerja Alternatif Penanganan Tiga alternatif penanganan dengan sistem pondasi tiang dianalisis untuk mengevaluasi kinerjanya dalam menahan beban dan membatasi deformasi. Kriteria desain utama yang harus dipenuhi antara lain:

1. Penurunan maksimum total: < 25,4 mm (1 inch).
2. Defleksi lateral maksimum (SLS): < 12,5 mm.
3. Faktor Keamanan (SF) untuk daya dukung aksial dan momen: > 2,5.

Alternatif 1: Struktur Pile Slab Alternatif ini menggunakan tiang pancang beton berdiameter 60 cm yang menopang sebuah pelat beton bertulang (slab) di atasnya. Pelat ini berfungsi sebagai perkerasan jalan sekaligus mentransfer beban langsung ke tiang, sehingga beban tidak membebani tanah lunak di bawahnya.

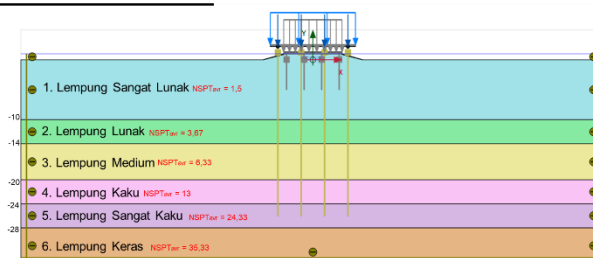


Gambar 10. Tipikal Penanganan Alternatif 1: Pile Slab

Hasil Analisa:

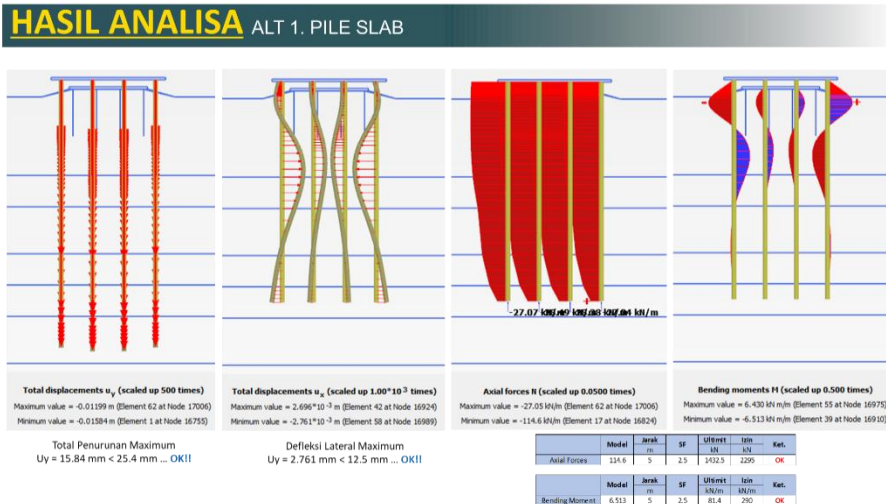
1. Total penurunan maksimum: 15,84 mm, lebih kecil dari batas izin 25,4 mm (OK).
2. Defleksi lateral maksimum: 2,761 mm, lebih kecil dari batas izin 12,5 mm (OK).

STRATIFIKASI TANAH



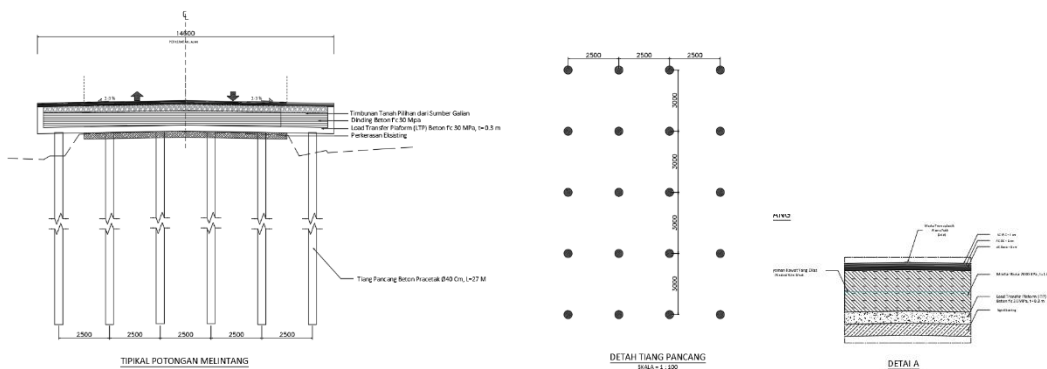
Gambar 11. Hasil analisis permodelan metode Pile Slab

Analisis gaya dalam menunjukkan bahwa gaya aksial maksimum (114,6 kN/m) dan momen lentur maksimum (6,513 kNm/m) masih berada dalam kapasitas izin tiang dengan $SF > 2,5$ (OK).



Gambar 12. Hasil analisis permodelan Pile Slab

Alternatif 2: Pile Embankment dengan Timbunan Tanah Alternatif ini menggunakan tiang pancang beton berdiameter 40 cm yang diatur dalam kelompok untuk mendukung timbunan tanah pilihan. Di atas tiang dipasang Load Transfer Platform (LTP) untuk menyebarkan beban timbunan ke kepala-kepala tiang.

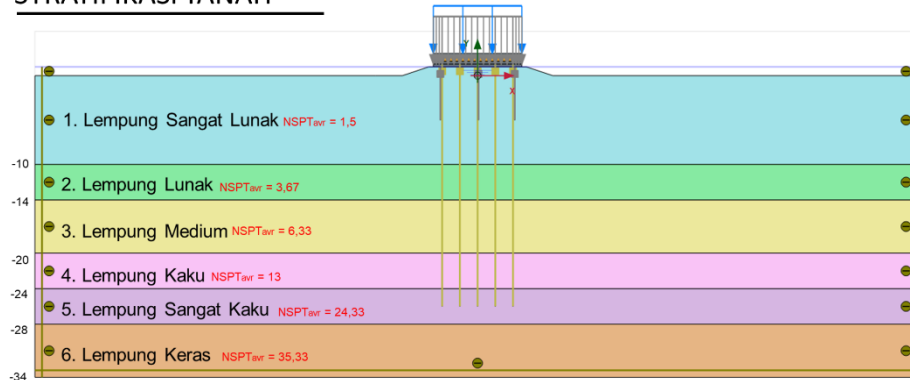


Gambar 13. Tipikal penanganan alternatif 2: Pile Embankment+Timbunan Tanah

Hasil Analisa:

1. Penurunan setelah 20 tahun: 3,0 mm, jauh di bawah batas izin 100 mm (OK).

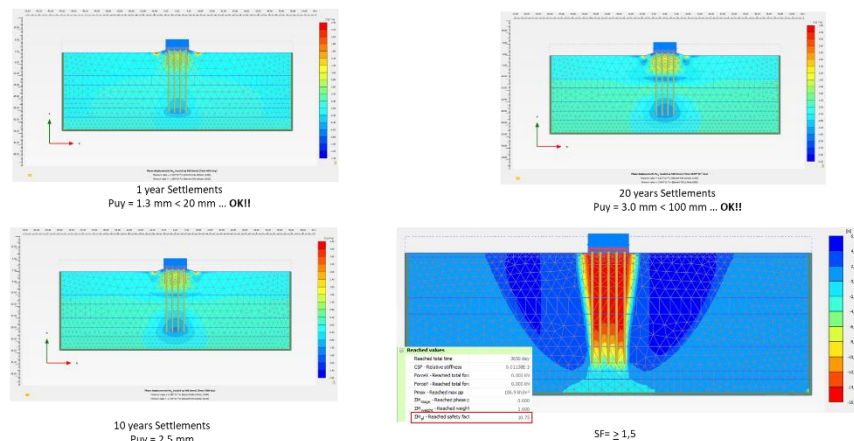
STRATIFIKASI TANAH



Gambar 14. Stratifikasi tanah metode Pile Embankment+Timbunan Tanah

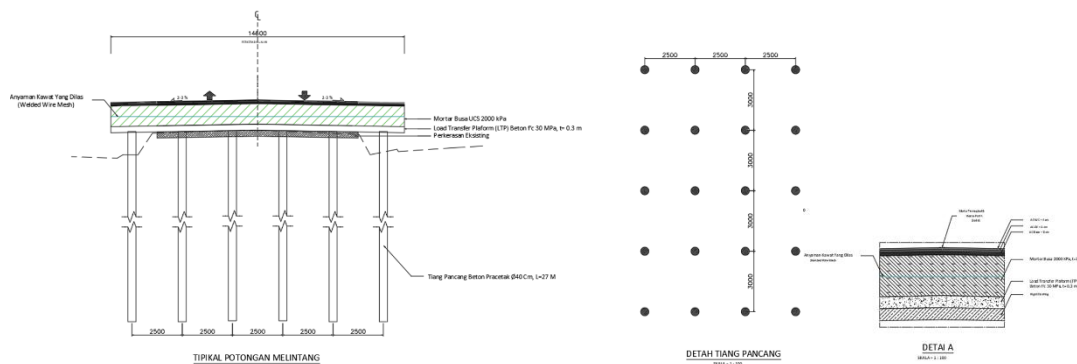
2. Defleksi lateral maksimum: 4,2 mm, lebih kecil dari batas izin 12,5 mm (OK).
3. Total penurunan maksimum setelah konstruksi: 13 mm, lebih kecil dari batas izin 25,4 mm (OK).
4. Faktor keamanan daya dukung aksial dan momen juga terpenuhi (OK).

HASIL ANALISA ALT.2 PILE EMBANKMENT (TIMBUNAN TANAH)



Gambar 15. Hasil analisis permodelan metode Pile Embankment+Timbunan Tanah

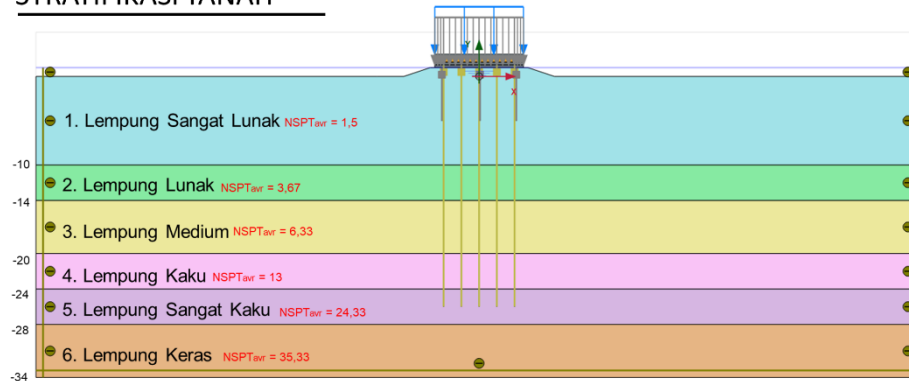
Alternatif 3: Pile Embankment dengan Timbunan Mortar Foam Struktur ini mirip dengan Alternatif 2, namun material timbunan tanah digantikan dengan material ringan mortar foam (busa 2000 kPa). Penggunaan material ringan bertujuan untuk mengurangi beban mati yang bekerja pada sistem pondasi.



Gambar 16. Tipikal penanganan metode Pile Embankment+Mortar Foam
Hasil Analisa:

1. Penurunan setelah 20 tahun: 2,2 mm, lebih kecil dari batas izin 100 mm (OK).

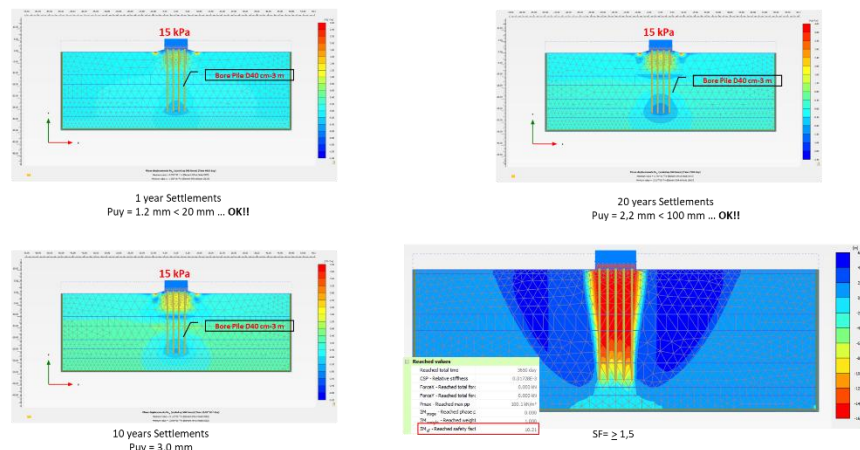
STRATIFIKASI TANAH



Gambar 17. Stratifikasi tanah metode Pile Embankment+Mortar Foam

2. Defleksi lateral maksimum: 4,2 mm, lebih kecil dari batas izin 12,5 mm (OK).
3. Total penurunan maksimum setelah konstruksi: 10,9 mm, lebih kecil dari batas izin 25,4 mm (OK).
4. Faktor keamanan daya dukung aksial dan momen juga terpenuhi (OK).

HASIL ANALISA ALT.2 PILE EMBANKMENT (MORTAR FOAM)



Gambar 18. Hasil analisis permodelan metode Pile Embankment+Mortar Foam

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis geoteknik dan evaluasi alternatif penanganan untuk ruas jalan Bontang-Kuala, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Permasalahan utama pada lokasi studi adalah kombinasi dari genangan banjir rob dan penurunan badan jalan yang disebabkan oleh lapisan tanah dasar berupa lempung sangat lunak hingga lunak dengan daya dukung yang sangat rendah.
2. Analisis numerik yang telah divalidasi dengan data historis menunjukkan bahwa kondisi eksisting tidak stabil dan akan mengalami keruntuhan jika menerima beban timbunan tambahan tanpa adanya sistem perkuatan yang memadai.
3. Tiga alternatif penanganan yang diusulkan, yaitu (1) Struktur Pile Slab, (2) Pile Embankment dengan timbunan tanah, dan (3) Pile Embankment dengan timbunan mortar foam, seluruhnya terbukti memenuhi kriteria desain teknis. Ketiganya mampu mengendalikan penurunan dan deformasi lateral dalam batas-batas yang diizinkan oleh standar nasional (SNI).
4. Berdasarkan perbandingan estimasi biaya, Struktur Pile Slab merupakan alternatif dengan kebutuhan biaya paling minimum. Dengan demikian, struktur ini direkomendasikan sebagai solusi terpilih untuk proyek penanganan banjir dan penurunan jalan di ruas Bontang-Kuala karena paling optimal dari segi teknis dan ekonomis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alile, O.M., 2007. Evaluation of Soil Profile on Aquifer Layer of Three Location in Edo State. *International Journal of Physical Sciences*, 2.
- [2] Azis, A. and Soffan, S., 2020. *PERENCANAAN PERKERASAN LENTUR OVERLAY DENGAN MENGGUNAKAN METODE AASHTO 1993 DAN METODE ANALISA KOMPONEN 1987 PADA RUAS* [online] eprints.umm.ac.id. Available at: <<https://eprints.umm.ac.id/58474/>>.
- [3] Coelho, B.Z., Priest, J. and ..., 2018. Dynamic behaviour of transition zones in soft soils during regular train traffic. ... *F: Journal of Rail and ...* [online] <https://doi.org/10.1177/0954409716683078>.
- [4] Efendi, A.W., 2020. Modeling of soil subsidence in IKN using numerical analysis of the finite element method LISA V. 8. *researchgate. net*. [online] Available at: <https://www.researchgate.net/profile/Aco-Efendi/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>.
- [5] Efendi, A.W., 2022a. Analysis of Strengthening of Soil Subsidence on Land in Tanjung Priok. *Journal of Science and Education Research*. [online] Available at: <<http://jurnal.insanmulia.or.id/index.php/jsr/article/view/5>>.
- [6] Efendi, A.W., 2022b. Analysis of Strengthening of Soil Subsidence on Land in Tanjung Priok. *Journal of Science and Education Research*. [online] Available at: <<http://jurnal.insanmulia.or.id/index.php/jsr/article/view/5>>.
- [7] Efendi, A.W., 2022c. Repair analysis of Pinang Bridge oprit subsidence with mortar

- form using LISA FEA. *Journal of Research and Inovation in Civil* [online] Available at: <<https://jurnal.politap.ac.id/index.php/rigid/article/view/1193>>.
- [8] Efendi, A.W., 2023a. PEMODELAN PENURUNAN TANAH DI IBU KOTA NEGARA NUSANTARA MENGGUNAKAN ANALISIS NUMERIK METODE ELEMEN HINGGA LISA V. 8. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil* [online] Available at: <<https://www.ejournal.warmadewa.ac.id/index.php/paduraksa/article/view/5643>>.
- [9] Efendi, A.W., 2023b. The Settlement Behavior Using Replacement Embankment with Mortar Foam and Geofoam using LISA FEA. *Nusantara Civil Engineering Journal*. [online] Available at: <<http://ojs.poltekba.ac.id/ojs/index.php/nuce/article/view/484>>.
- [10] Efendi, A.W., 2024. ChatGPT application in ground settlement analysis using LISA V. 8 FEA. *Research of Scientia Naturalis*. [online] Available at: <<https://journal.ypidathu.or.id/index.php/scientia/article/view/826>>.
- [11] Efendi, A.W., Do, Y. and Rachman, N.F., 2022. Behavior of Rail Ballast Layer Using Mortar Foam with LISA-FEA. *Journal of Railway Transportation and* [online] Available at: <<https://www.jrtt.org/jrtt/article/view/8>>.
- [12] Efendi, A.W. and Safitri, N., 2024. Behavior of Cakar Ayam Modifikasi (CAM) foundation on soft soil with LISA V. 8 FEA. *Kurva S: Jurnal Keilmuan dan Aplikasi* [online] Available at: <https://www.researchgate.net/profile/Aco-Efendi/publication/381226408_Behavior_of_Cakar_Ayam_Modifikasi_CAM_foundation_on_soft_soil_with_LISA_V8_FEA/links/6662669285a4ee7261ab122a/Behavior-of-Cakar-Ayam-Modifikasi-CAM-foundation-on-soft-soil-with-LISA-V8-FEA.pdf>.
- [13] Ganiyu, S.A., Oladunjoye, M.A., Olobadola, M.O., Aizebeokhai, A.P. and Badmus, B.S., 2021. Investigation of incessant road failure in parts of Abeokuta, Southwestern Nigeria using integrated geoelectric methods and soil analysis. *Environmental Earth Sciences*, [online] 80(4). <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09446-4>.
- [14] Kouchaki, B.M., Bernhardt-Barry, M.L. and ..., 2018. A laboratory investigation of factors influencing the electrical resistivity of different soil types. ... *Testing Journal*. [online] Available at: <https://drive.google.com/file/d/1RZDew5XlHqBFpNfDAN8QW7j_ZCdQ860m/view>.
- [15] Li, Y., Hu, Y., Huang, F., Li, S. and Sun, Z., 2021. A novel method for the stability assessment of soil slopes with multi-layers based on the upper bound limit analysis. *KSCE Journal of civil Engineering*. [online] <https://doi.org/10.1007/s12205-021-1170-y>.
- [16] Likitlersuang, S., Pholkainuwatra, P. and ..., 2018. Numerical modelling of railway embankments for high-speed train constructed on soft soil. *Journal of* [online] Available at: <<http://yo-1.ct.ntust.edu.tw/jge/files/articlefiles/v13i3201810191165496335.pdf>>.
- [17] Mumtaz, J., Rashid, I. and Israr, J., 2020. Laboratory modelling of strength and deformation characteristics of a high swelling soil treated with industrial wastes. *Arabian Journal of Geosciences*. [online] <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05786-w>.

-
- [18] Panguriseng, D., 2017. *Dasar-dasar Teknik Perbaikan Tanah*. Yogyakarta: Pustaka AQ.
- [19] Permanasari, I.N.P., Akbar, M.F., Handayani, G. and Hendarajaya, L., 2019. Determination of The Type of Soil Using 2D Geoelectric Method And Laboratory Analysis for Landslide Area Cililin West Java. *Journal of Physics: Conference Series*, [online] 1127, p.12042. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1127/1/012042>.
- [20] Rashidian, V., Naeini, S.A. and ..., 2018. Laboratory testing and numerical modelling on bearing capacity of geotextile-reinforced granular soils. *International Journal of ...* [online] <https://doi.org/10.1080/19386362.2016.1269042>.
- [21] U, A.B. and Horsfall, O.I., 2020. Shallow Depth Soil Resistivity Investigations and Subsurface Lithology for Corrosivity Assessment along Obama-Kolo Creek Pipeline Using Geoelectric Method. *Asian Journal of Applied Science and Technology*, [online] 4(1), pp.98–106. <https://doi.org/10.38177/ajast.2020.4109>.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN