

Tinjauan literatur identifikasi dan mitigasi risiko pekerjaan timbunan pada konstruksi jalan

Rizki Budiman^{1,*}, Melinda Dwi Rahmawati¹, Vendie Abma¹, Achyar Shadiq Abdul Rachman¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Article Info

Available online

Keywords:

Road embankment work
geotechnical risk
construction risk
management
occupational health and
safety (OHS)
Risk mitigation

Corresponding Author:

Rizki Budiman

Rizki.budiman@uii.ac.id

Abstract

Earth embankment works are a critical stage in road construction projects and are characterized by high levels of uncertainty due to the interaction of geotechnical conditions, construction methods, operational practices, and external factors. Inadequate control of embankment works may lead to slope instability, excessive settlement, construction delays, and occupational accidents, ultimately affecting road performance and sustainability. This study aims to systematically identify and synthesize potential risks associated with road embankment works through a literature review of scientific publications from 2015 to 2025. Relevant journal articles, conference proceedings, and books were collected from major scientific databases and analyzed qualitatively. Identified risks were classified into four main categories: technical and geotechnical risks, operational risks, occupational health and safety (OHS) risks, and external risks. The results indicate that slope failure and excessive settlement are the most dominant technical risks, while operational issues such as material supply delays and equipment productivity act as risk amplifiers. OHS risks are largely consequential, arising from inadequate control of technical and operational risks, whereas external factors such as extreme rainfall and social constraints serve as triggering factors. Based on the synthesis, a risk identification matrix and a layered mitigation strategy were developed to illustrate the interaction between risks and corresponding mitigation measures. The proposed framework provides a structured basis for risk-based decision-making in road embankment works and may support the development of more effective risk management practices in road infrastructure projects.

Copyright © 2026 Universitas Islam Indonesia

All rights reserved

Pendahuluan

Latar belakang

Konstruksi jalan sangat bergantung pada stabilitas timbunan sebagai pondasi utama. Lapisan subgrade yang dipadatkan dan lapisan timbunan di atasnya mendukung beban struktur perkerasan. Apabila material tanah timbunan bersifat lemah (misalnya tanah lunak) atau tidak memenuhi spesifikasi, daya dukung akan rendah sehingga timbunan mudah mengalami

penurunan dan keruntuhan lereng (Aktas dkk, 2025). Oleh karena itu, pekerjaan timbunan yang baik sangat penting untuk menjaga kinerja jalan. Namun dalam praktik konstruksi jalan sering muncul masalah seperti tanah longsor pada lereng timbunan, penurunan tanah dasar (*settlement*), penggunaan material timbunan yang tidak sesuai standar, serta gangguan cuaca ekstrem (hujan lebat, banjir) yang dapat merusak struktur timbunan (Johnston dkk, 2021). Misalnya, Nobahar & Khan (2024)

menegaskan bahwa kegagalan timbunan jalan tidak hanya dipengaruhi oleh satu parameter tunggal, melainkan merupakan hasil interaksi kompleks antara sifat geoteknik tanah, kondisi hidrologi, dan faktor iklim. Interaksi ini menyebabkan tingkat ketidakpastian yang tinggi dalam pekerjaan timbunan, terutama pada proyek jalan yang dibangun di atas tanah bermasalah atau pada wilayah dengan variabilitas iklim yang tinggi. Di sisi lain, dari perspektif pelaksanaan konstruksi, pekerjaan timbunan juga memiliki tingkat risiko keselamatan kerja yang relatif tinggi, seperti potensi tabrakan alat berat, tergulingnya peralatan pada area lereng, serta longsor galian yang dapat membahayakan pekerja dan mengganggu kelancaran proyek (Susanti, 2022).

Berbagai penelitian telah membahas risiko konstruksi jalan secara umum maupun risiko geoteknik secara parsial. Namun demikian, pembahasan mengenai pekerjaan timbunan masih tersebar dalam berbagai studi dengan fokus, pendekatan, dan metode analisis yang beragam. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya suatu sintesis literatur yang terstruktur untuk memahami pola, karakteristik, dan kecenderungan risiko yang paling dominan pada pekerjaan timbunan jalan. Oleh karena itu, penelitian ini disusun dalam bentuk literature review terhadap publikasi ilmiah periode 2015–2025, dengan tujuan mengidentifikasi dan mengklasifikasikan potensi risiko pekerjaan timbunan pada konstruksi jalan dari aspek teknis dan geoteknik, operasional pelaksanaan, keselamatan dan kesehatan kerja, serta faktor eksternal yang memengaruhi kinerja dan keberlanjutan infrastruktur jalan.

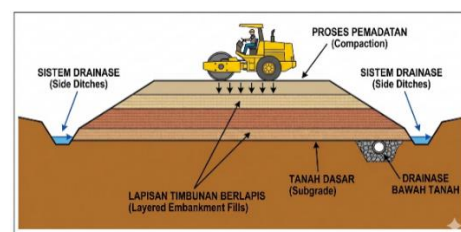
Pekerjaan timbunan jalan: aspek teknis dan metode pelaksanaan

Pekerjaan timbunan merupakan bagian fundamental dalam konstruksi jalan yang berfungsi membentuk elevasi dan geometri badan jalan sesuai dengan rencana desain. Secara teknis, timbunan berperan sebagai

lapisan struktural yang meneruskan beban lalu lintas dan berat perkerasan ke tanah dasar, sehingga kinerja timbunan sangat dipengaruhi oleh karakteristik tanah, kondisi hidrologi, serta mutu pelaksanaan di lapangan. Dalam konteks geoteknik, stabilitas timbunan ditentukan oleh kuat geser tanah, kepadatan hasil pemadatan, geometri lereng, serta kondisi drainase yang mengendalikan tekanan air pori.

Metode pelaksanaan pekerjaan timbunan umumnya meliputi tahapan penyiapan tanah dasar (*subgrade preparation*), penghamparan material timbunan secara berlapis, pengendalian kadar air, dan pemadatan menggunakan alat berat yang sesuai. Penghamparan dilakukan dalam ketebalan lapisan tertentu untuk memastikan energi pemadatan dapat bekerja secara efektif dan menghasilkan kepadatan yang seragam. Kegagalan dalam mengendalikan salah satu tahapan tersebut dapat menimbulkan permasalahan teknis seperti penurunan diferensial, deformasi permanen, dan ketidakstabilan lereng timbunan.

Pada kondisi tanah lunak atau tanah bermasalah, pekerjaan timbunan sering dikombinasikan dengan metode perbaikan tanah, seperti penggunaan geotekstil atau geogrid, preloading, serta sistem drainase vertikal. Metode-metode ini bertujuan untuk meningkatkan daya dukung tanah dasar, mempercepat konsolidasi, dan meningkatkan stabilitas timbunan. Dengan demikian, pemilihan metode kerja timbunan harus mempertimbangkan kondisi geoteknik setempat, spesifikasi teknis yang berlaku, serta risiko teknis yang berpotensi muncul selama dan setelah tahap konstruksi.



Gambar 1 Skema pekerjaan timbunan jalan

Risiko konstruksi dan aspek identifikasinya pada pekerjaan timbunan

Risiko dalam konstruksi didefinisikan sebagai kemungkinan terjadinya suatu kejadian yang dapat berdampak negatif terhadap pencapaian tujuan proyek, baik dari aspek mutu, waktu, biaya, maupun keselamatan kerja. Pada pekerjaan timbunan jalan, risiko bersifat kompleks karena melibatkan interaksi antara faktor teknis–geoteknik, metode pelaksanaan, sumber daya manusia, peralatan, serta pengaruh lingkungan eksternal. Oleh karena itu, identifikasi risiko menjadi tahap krusial dalam manajemen risiko konstruksi sebelum dilakukan analisis dan mitigasi risiko.

Secara konseptual, identifikasi risiko bertujuan untuk mengenali sumber risiko (*risk sources*), jenis risiko (*risk events*), serta potensi dampak yang ditimbulkannya (*risk consequences*). Dalam konteks pekerjaan timbunan, sumber risiko dapat berasal dari kondisi tanah dasar, mutu material timbunan, metode pelaksanaan, penggunaan alat berat, hingga faktor cuaca dan sosial. Risiko-risiko tersebut selanjutnya dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori utama, yaitu risiko teknis (geoteknik dan mutu), risiko operasional pelaksanaan, risiko keselamatan dan kesehatan kerja (K3), serta risiko eksternal.

Pendekatan identifikasi risiko pada pekerjaan timbunan umumnya dilakukan melalui kajian literatur, pengalaman proyek sebelumnya, serta analisis sistematis terhadap tahapan pekerjaan. Identifikasi risiko yang komprehensif memungkinkan peneliti dan praktisi untuk memahami pola risiko dominan dan hubungan antar-risiko, sehingga dapat menjadi dasar bagi penyusunan matriks risiko dan strategi mitigasi. Dengan demikian, teori risiko dan identifikasinya menjadi landasan konseptual yang penting dalam studi literatur mengenai risiko pekerjaan timbunan pada konstruksi jalan.



Gambar 2 Kerangka konseptual identifikasi risiko pekerjaan timbunan jalan

Metodologi

Penelitian ini menggunakan pendekatan *literature review* sistematis untuk mengidentifikasi dan mengelompokkan potensi risiko pekerjaan timbunan pada konstruksi jalan. Kajian dilakukan terhadap publikasi ilmiah yang relevan dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir (2015–2025), dengan fokus pada aspek teknis, operasional, keselamatan kerja, dan faktor eksternal yang memengaruhi kinerja pekerjaan timbunan.

Strategi pencarian literatur dilakukan melalui beberapa basis data ilmiah, antara lain *Google Scholar*, *MDPI* serta jurnal-jurnal teknik sipil nasional yang terakreditasi. Pencarian dilakukan menggunakan kombinasi kata kunci, seperti “risiko timbunan”, “*embankment risk*”, “*geotechnical risk*”, “*road construction risk*”, dan “*road construction safety*”.

Kriteria inklusi dalam kajian ini meliputi:

1. Artikel jurnal, prosiding konferensi, dan buku ilmiah yang diterbitkan pada periode 2010–2025.
2. Publikasi yang membahas pekerjaan tanah, timbunan, stabilitas lereng, atau risiko konstruksi jalan.

Literatur yang terpilih selanjutnya dianalisis secara kualitatif dengan cara mengelompokkan jenis-jenis risiko yang diidentifikasi oleh para peneliti sebelumnya. Setiap risiko diklasifikasikan ke dalam kategori risiko teknis dan geoteknik, risiko operasional, risiko keselamatan dan kesehatan kerja (K3), serta risiko eksternal. Selain itu, metode analisis risiko yang

digunakan dalam masing-masing penelitian juga dibandingkan untuk mengidentifikasi pendekatan yang paling umum dan relevan dalam konteks pekerjaan timbunan jalan.

Hasil dan Pembahasan

Bagian ini menyajikan hasil sintesis literatur terkait identifikasi potensi risiko pekerjaan timbunan pada konstruksi jalan serta pembahasannya secara sistematis. Risiko-risiko yang teridentifikasi dikelompokkan ke dalam empat kategori utama, yaitu risiko teknis (geoteknik dan mutu), risiko operasional pelaksanaan, risiko keselamatan dan kesehatan kerja (K3), serta risiko eksternal. Pengelompokan ini dimaksudkan untuk memberikan pemahaman yang terstruktur mengenai karakteristik, sumber, dan implikasi masing-masing kategori risiko terhadap kinerja dan keberlanjutan pekerjaan timbunan jalan.

Risiko teknis (geoteknik dan mutu)

Berdasarkan sintesis literatur, pekerjaan timbunan pada konstruksi jalan memiliki tingkat risiko teknis yang tinggi karena sangat dipengaruhi oleh perilaku mekanik tanah, kondisi hidrologi, serta mutu pelaksanaan di lapangan. Risiko teknis yang paling dominan adalah ketidakstabilan lereng timbunan, yang umumnya disebabkan oleh rendahnya kuat geser tanah, terutama pada tanah lunak dengan daya dukung terbatas (Abramson dkk, 2001; Aktas dkk, 2025; Ghosh dkk, 2024). Pada kondisi tersebut, timbunan tidak mampu menahan gaya lateral dan mengalami penurunan faktor keamanan lereng, sehingga berpotensi mengalami keruntuhan progresif yang berdampak langsung pada kerusakan struktur jalan dan keselamatan pekerja.

Risiko ketidakstabilan lereng ini semakin meningkat akibat pengaruh curah hujan tinggi, yang menyebabkan peningkatan tekanan air pori dan penurunan kuat geser efektif tanah (Johnston dkk, 2021; Zhao dkk, 2024). Nobahar & Khan (2024) menegaskan bahwa kegagalan timbunan jalan merupakan hasil interaksi kompleks antara karakteristik

tanah ekspansif, kondisi hidrologi, dan variabilitas iklim, sehingga risiko longsoran menjadi lebih signifikan pada wilayah dengan intensitas hujan tinggi. Temuan ini juga diperkuat oleh kajian reliabilitas geoteknik yang menunjukkan bahwa faktor iklim memiliki kontribusi signifikan terhadap probabilitas kegagalan lereng timbunan (Gariano & Guzzetti, 2016; Ghosh dkk, 2024).

Selain longsoran, penurunan tanah dasar (*settlement*) merupakan risiko teknis utama yang sering terjadi pada pekerjaan timbunan di atas tanah lunak. Penurunan berlebihan dapat berlangsung akibat konsolidasi primer dan sekunder, sehingga menyebabkan amblesan badan jalan, ketidakrataan permukaan, serta retak pada lapisan perkerasan (Y. Li dkk, 2022; Siddiqui dkk, 2020). Penurunan yang tidak terkendali umumnya berkaitan dengan karakteristik kompresibilitas tanah, ketebalan timbunan, serta mutu pemadatan yang tidak optimal (Abramson dkk, 2001; Das, 2014).

Kualitas material timbunan juga menjadi sumber risiko teknis yang signifikan. Material dengan gradasi butiran yang tidak sesuai, kadar air di luar rentang optimum, atau tercemar bahan organik dapat menghasilkan kepadatan rendah dan kekuatan timbunan yang tidak memadai (Abramson dkk, 2001; Yasufukui dkk, 2015). Kondisi ini berpotensi menimbulkan deformasi permanen dan mempercepat kerusakan perkerasan jalan. Oleh karena itu, spesifikasi teknis pekerjaan jalan mensyaratkan pengendalian mutu material dan pemadatan secara ketat melalui pengujian laboratorium dan lapangan, seperti uji gradasi, CBR, dan kepadatan lapangan (Das, 2014; Xie dkk, 2025).

Risiko teknis lainnya berasal dari pelaksanaan pemadatan yang tidak optimal, termasuk ketebalan lapisan timbunan yang melebihi spesifikasi, jumlah lintasan alat pemadat yang tidak mencukupi, serta pemadatan pada kondisi kadar air yang tidak sesuai. Beberapa studi menunjukkan bahwa

kegagalan pemadatan merupakan penyebab utama terbentuknya rongga (*void*) dan penurunan diferensial pada timbunan jalan (Siddiqui dkk, 2020; Xie dkk, 2025). Hal ini menegaskan bahwa risiko teknis tidak hanya bersumber dari kondisi tanah, tetapi juga dari kualitas pengendalian mutu selama konstruksi.

Risiko operasional

Risiko operasional pada pekerjaan timbunan berkaitan erat dengan metode pelaksanaan konstruksi, pengelolaan alat berat, dan sistem logistik material. Penggunaan alat berat seperti *bulldozer*, *grader*, *roller*, dan *dump truck* atau alat berat lainnya menimbulkan potensi risiko tinggi apabila terjadi kegagalan mekanis, kesalahan operasional, atau koordinasi kerja yang tidak efektif. Studi manajemen risiko konstruksi menunjukkan bahwa gangguan operasional alat berat dapat berdampak langsung pada penurunan produktivitas dan peningkatan risiko kecelakaan kerja (Chen dkk, 2020; Liu dkk, 2025; Siddiqui dkk, 2020).

Faktor operasional lain yang signifikan adalah jarak sumber material timbunan (*borrow pit/quarry*) terhadap lokasi proyek. Jarak angkut yang jauh meningkatkan durasi siklus transportasi, biaya operasional, serta ketergantungan terhadap kondisi lalu lintas dan cuaca. Beberapa penelitian mengidentifikasi bahwa keterlambatan suplai material merupakan salah satu penyebab utama keterlambatan proyek jalan (Redeat Abate, 2017; Setiani dkk, 2023). Apabila tidak dikelola dengan baik, risiko operasional ini dapat memperbesar risiko teknis akibat pemadatan yang tergesa-gesa atau penggunaan material yang tidak sesuai spesifikasi.

Metode pelaksanaan timbunan, termasuk pengaturan ketebalan lapisan, pengendalian kadar air, serta pola lintasan pemadatan, juga sangat menentukan keberhasilan pekerjaan. Literatur menunjukkan bahwa ketidakkonsistenan metode pelaksanaan terhadap spesifikasi teknis merupakan sumber utama ketidaksesuaian mutu

pekerjaan timbunan (Liu dkk, 2025). Oleh karena itu, pengawasan dan pemantauan proses operasional secara berkelanjutan menjadi elemen penting dalam pengendalian risiko.

Risiko keselamatan (K3)

Pekerjaan timbunan termasuk dalam aktivitas konstruksi dengan tingkat risiko K3 yang tinggi karena melibatkan pergerakan alat berat dalam lingkungan kerja yang dinamis dan sering berada pada area lereng. Kecelakaan akibat tabrakan atau tergulingnya alat berat merupakan kejadian yang paling sering dilaporkan dalam proyek jalan (Ghaleh dkk, 2021; Susanti, 2022). Studi-studi keselamatan konstruksi menunjukkan bahwa sebagian besar kecelakaan tersebut dipicu oleh kombinasi kesalahan manusia, keterbatasan ruang kerja, serta lemahnya sistem manajemen keselamatan (Nazeer Ahamed & Mariappan, 2023; Pham dkk, 2020).

Selain kecelakaan mekanis, pekerja juga terpapar bahaya kesehatan lingkungan kerja, seperti debu konstruksi, kebisingan, dan getaran alat berat. Paparan jangka panjang terhadap debu dapat menyebabkan gangguan pernapasan, sementara kebisingan dan getaran berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan kronis (Abrar dkk, 2017). Regulasi keselamatan konstruksi secara eksplisit mensyaratkan identifikasi bahaya, penggunaan alat pelindung diri (APD), serta pengendalian lingkungan kerja sebagai bagian dari sistem manajemen keselamatan konstruksi (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Nomor 10 Tahun 2021 Tentang Pedoman Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi).

Risiko eksternal

Risiko eksternal merupakan risiko yang berada di luar kendali langsung pelaksana pekerjaan timbunan, namun memiliki pengaruh signifikan terhadap keberhasilan proyek. Cuaca ekstrem, khususnya hujan lebat dan banjir, merupakan faktor eksternal utama yang dapat menyebabkan jenuhnya

tanah timbunan, terhentinya aktivitas pemadatan, serta meningkatnya potensi longsor (Johnston dkk, 2021; Nobahar & Khan, 2024; Zhao dkk, 2024). Beberapa studi menunjukkan bahwa risiko cuaca merupakan salah satu kontributor utama keterlambatan proyek jalan dan peningkatan biaya konstruksi (Al-Hazim & Abusalem, 2015).

Selain faktor iklim, risiko sosial seperti sengketa lahan, penolakan masyarakat, dan kendala perizinan juga berpotensi menghambat pekerjaan timbunan. Meskipun tidak secara langsung memengaruhi stabilitas teknis timbunan, risiko sosial memiliki dampak signifikan terhadap jadwal dan biaya proyek (Zhasmukhambetova dkk, 2025). Oleh karena itu, pengelolaan pemangku kepentingan (*stakeholder management*) menjadi bagian integral dari strategi mitigasi risiko eksternal pada proyek jalan.

Metode analisis risiko

Dalam kajian literatur manajemen konstruksi, berbagai metode analisis risiko telah diterapkan untuk mengidentifikasi dan memprioritaskan risiko pada pekerjaan timbunan. Metode yang paling sering digunakan adalah *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) dan *Analytic Hierarchy Process* (AHP), meskipun metode probabilistik seperti simulasi Monte Carlo

juga mulai digunakan untuk menganalisis ketidakpastian waktu dan biaya. Misalnya, Heydaru & Fallah-Aliabadi (2021) mengombinasikan FMEA dan AHP untuk mengidentifikasi serta memberi bobot prioritas pada risiko proyek jalan bertingkat. FMEA digunakan untuk mengidentifikasi mode kegagalan potensial, seperti longsor galian atau kegagalan alat, sedangkan AHP berfungsi untuk menentukan tingkat kepentingan relatif setiap risiko berdasarkan kriteria dampak dan probabilitas. Selain itu, standar manajemen risiko seperti AS/NZS 4360:2004 banyak digunakan sebagai kerangka kerja umum dalam proses identifikasi, analisis, dan evaluasi risiko pada proyek konstruksi infrastruktur (Heydaru & Fallah-Aliabadi, 2021).

Tabel 1 menunjukkan bahwa berbagai studi lintas negara dengan pendekatan metodologis yang berbeda secara konsisten mengidentifikasi risiko longsor lereng, penurunan tanah, kecelakaan alat berat, serta gangguan cuaca ekstrem sebagai risiko dominan pada konstruksi infrastruktur jalan. Konsistensi temuan ini menegaskan bahwa pekerjaan timbunan merupakan salah satu tahap paling kritis dalam siklus konstruksi jalan dan memerlukan pendekatan pengelolaan risiko yang terintegrasi antara aspek teknis, operasional, keselamatan, dan eksternal.

Tabel 1 Contoh Identifikasi Risiko Dominan Berbagai Literatur

Peneliti & Tahun	Lokasi Studi	Metode Analisis	Risiko Tertinggi (Dominan)
(Susanti, 2022)	Indonesia (Undip)	Identifikasi Kualitatif, Kuantitatif (Klasifikasi K3)	Tabrakan alat berat, longsor galian
(Heydaru & Fallah-Aliabadi, 2021)	Iran (teknik sipil)	FMEA + AHP	Longsor (kecelakaan gantry crane)
(Nobahar & Khan, 2024)	AS (Luisiana)	Early Warning Protocol (kombinasi FEM, ML)	Kegagalan lereng timbunan ekspansif (longsor)
(Ghaleh dkk, 2021)	Iran (teknik sipil)	AHP (penundaan jalan)	Cuaca ekstrim (hujan lebat)

Tabel 2 Matriks Identifikasi Risiko Pekerjaan Timbunan Berbasis Sintesis Literatur

No	Potensi Risiko	Kategori Risiko	Sumber/Penyebab Utama	Dampak Teknis
1	Longsoran lereng timbunan	Teknis – Geoteknik	Kuat geser rendah, lereng curam, hujan	Kegagalan stabilitas, kerusakan struktur jalan
2	Penurunan berlebih (<i>settlement</i>)	Teknis – Geoteknik	Tanah lunak, konsolidasi, pemadatan tidak optimal	Amblesan, retak perkerasan, ketidakrataan
3	Material timbunan tidak sesuai spesifikasi	Teknis – Mutu Material	Gradasi buruk, kadar air tidak terkendali	Penurunan kekuatan, deformasi permanen
4	Kegagalan pemadatan	Teknis – Pelaksanaan	Ketebalan lapis berlebih, lintasan roller kurang	<i>Void, settlement</i> diferensial
5	Kecelakaan alat berat (terguling/tabrakan)	Operasional / K3	Human error, manajemen alat buruk	Cedera, kerusakan alat, downtime proyek
6	Paparan debu dan kebisingan	K3 – Lingkungan Kerja	Aktivitas hauling dan pemadatan	Gangguan pernapasan, keluhan sosial
7	Gangguan produktivitas alat	Operasional	Kerusakan alat, koordinasi buruk	Keterlambatan pekerjaan timbunan
8	Keterlambatan suplai material	Operasional – Logistik	Jarak <i>quarry</i> jauh, cuaca, lalu lintas	<i>Overrun</i> waktu dan biaya
9	Hujan lebat dan banjir	Eksternal – Iklim	Curah hujan tinggi, drainase buruk	Pekerjaan terhenti, longsoran masal
10	Sengketa lahan dan sosial	Eksternal – Sosial	Pembebasan lahan, resistensi masyarakat	Penundaan proyek, eskalasi biaya

Tabel 3 Matriks Potensi Mitigasi Risiko Pekerjaan Timbunan

No.	Risiko Dominan	Kategori Risiko	Strategi Mitigasi Utama	Bentuk Implementasi Teknis/Manajerial
1	Longsoran lereng timbunan	Teknis – Geoteknik	Peningkatan stabilitas lereng dan pengendalian air	Penyesuaian geometri lereng, pemasangan geotekstil, drainase permukaan dan <i>subdrain</i>
2	Penurunan berlebih (<i>settlement</i>)	Teknis – Geoteknik	Pengendalian konsolidasi dan peningkatan daya dukung	Perbaikan tanah, pembatasan tinggi timbunan, <i>monitoring settlement</i>
3	Material timbunan tidak sesuai spesifikasi	Teknis – Mutu Material	Penguatan sistem pengendalian mutu material	Seleksi <i>borrow pit</i> , uji laboratorium berkala, pengendalian kadar air dan gradasi
4	Kegagalan pemadatan	Teknis – Pelaksanaan	Optimalisasi metode pemadatan	Pengaturan ketebalan lapisan, jumlah lintasan roller, uji kepadatan lapangan
5	Kecelakaan alat berat	Operasional / K3	Integrasi K3 dalam metode kerja timbunan	Penataan jalur alat, pembatasan area lereng kritis, pelatihan operator
6	Paparan debu dan kebisingan	K3 – Lingkungan Kerja	Pengendalian lingkungan kerja	Penyiraman rutin, pembatasan jam kerja, penggunaan APD, peredam kebisingan
7	Gangguan produktivitas alat	Operasional	Peningkatan efisiensi dan koordinasi operasional	Penjadwalan alat berbasis produktivitas, pemeliharaan preventif alat berat
8	Keterlambatan suplai material	Operasional – Logistik	Manajemen logistik berbasis risiko	Diversifikasi sumber material, <i>buffer stock</i> , sinkronisasi jadwal hauling
9	Hujan lebat dan banjir	Eksternal – Iklim	Adaptasi terhadap risiko iklim	Penyesuaian jadwal pekerjaan tanah, sistem drainase sementara, monitoring cuaca
10	Sengketa lahan dan risiko sosial	Eksternal – Sosial	Penguatan manajemen pemangku kepentingan	Koordinasi perizinan, komunikasi masyarakat, penyesuaian tahapan konstruksi

Matriks Identifikasi Risiko

Matriks Identifikasi Risiko Pekerjaan Timbunan Berbasis Sintesis Literatur (Tabel 2) merepresentasikan hasil penggabungan temuan dari berbagai penelitian yang memiliki fokus, lokasi studi, dan pendekatan analisis yang berbeda. Alih-alih meninjau kembali setiap risiko secara terpisah, matriks ini memungkinkan identifikasi pola dominansi risiko dan hubungan lintas kategori risiko yang secara konsisten muncul dalam literatur pekerjaan timbunan jalan.

Berdasarkan pemetaan referensi pada Tabel 2, terlihat bahwa risiko teknis geoteknik (khususnya longsoran lereng dan penurunan tanah) merupakan risiko yang paling sering dilaporkan dan memiliki dukungan literatur paling luas. Studi-studi geoteknik menunjukkan bahwa kegagalan timbunan jarang disebabkan oleh satu faktor tunggal, melainkan oleh kombinasi sifat tanah, kondisi hidrologi, dan pengaruh lingkungan (Abramson dkk, 2001; Aktas dkk, 2025; Bagaskara & Sudardja, 2024; Ghosh dkk, 2024; Nobahar & Khan, 2024). Konsistensi temuan ini pada berbagai konteks geografis mengindikasikan bahwa risiko teknis pada timbunan bersifat inheren dan menjadi risiko dasar (*baseline risk*) dalam proyek konstruksi jalan.

Namun demikian, matriks juga memperlihatkan bahwa risiko teknis tersebut sering kali diperkuat oleh risiko operasional, khususnya yang berkaitan dengan mutu pelaksanaan dan logistik material. Beberapa penelitian manajemen konstruksi menegaskan bahwa keterbatasan suplai material, tekanan jadwal, dan gangguan operasional alat berat dapat memicu pengambilan keputusan teknis yang tidak optimal di lapangan, seperti pemadatan yang dipercepat atau penggunaan material marginal (Chen dkk, 2020; Heydaru & Fallah-Aliabadi, 2021; Liu dkk, 2025; Siddiqui dkk, 2020). Korelasi ini menjelaskan mengapa kegagalan pemadatan dan penurunan diferensial sering muncul

bersamaan dengan risiko keterlambatan proyek sebagaimana ditunjukkan dalam beberapa studi (Al-Hazim & Abusalem, 2015; Bagaskara & Sudardja, 2024).

Matriks identifikasi risiko juga mengungkapkan peran risiko eksternal sebagai faktor pemicu (*triggering factor*). Risiko cuaca ekstrem, yang banyak dilaporkan dalam literatur sebagai penyebab keterlambatan proyek jalan (Johnston dkk, 2021; Zhao dkk, 2024), pada konteks pekerjaan timbunan memiliki implikasi teknis yang lebih luas. Hujan lebat tidak hanya menghambat produktivitas, tetapi secara langsung memengaruhi stabilitas lereng melalui peningkatan tekanan air pori dan degradasi kuat geser tanah (Bagaskara & Sudardja, 2024; Gariano & Guzzetti, 2016; Nobahar & Khan, 2024). Hal ini menjelaskan mengapa risiko cuaca dalam matriks memiliki keterkaitan simultan dengan risiko teknis dan operasional.

Dari perspektif keselamatan dan kesehatan kerja, pemetaan referensi pada matriks menunjukkan bahwa risiko K3 bersifat konsekuensial, yaitu muncul sebagai dampak lanjutan dari kegagalan pengendalian risiko teknis dan operasional. Beberapa studi keselamatan konstruksi melaporkan bahwa kecelakaan alat berat pada proyek jalan umumnya terjadi pada kondisi medan kerja yang tidak stabil atau pada fase pekerjaan tanah dengan intensitas tinggi (Ghaleh dkk, 2021; Heydaru & Fallah-Aliabadi, 2021; Susanti, 2022)(Nazeer Ahamed & Mariappan, 2023; Pham dkk, 2020). Dengan demikian, risiko K3 pada pekerjaan timbunan tidak dapat dipisahkan dari kondisi teknis lereng dan efektivitas pengelolaan operasional, sebagaimana tercermin dalam hubungan antar kategori risiko pada Tabel 2.

Selain itu, matriks menunjukkan bahwa risiko sosial dan kelembagaan, seperti sengketa lahan dan resistensi masyarakat, meskipun tidak berdampak langsung terhadap stabilitas timbunan, memiliki efek sistemik terhadap pengambilan keputusan

teknis dan manajerial. Beberapa penelitian mengindikasikan bahwa penundaan akibat masalah sosial sering menyebabkan perubahan urutan kerja, pemadatan yang tidak optimal, serta tekanan biaya yang berdampak pada kualitas pelaksanaan pekerjaan tanah (Zhasmukhambetova dkk, 2025). Temuan ini memperkuat argumen bahwa risiko eksternal perlu dipertimbangkan dalam kerangka pengelolaan risiko timbunan secara holistik.

Secara keseluruhan, korelasi antara referensi dan risiko yang ditunjukkan dalam Tabel 2 menegaskan bahwa pekerjaan timbunan merupakan sistem risiko terintegrasi, di mana risiko teknis, operasional, K3, dan eksternal saling berinteraksi dan memperkuat satu sama lain. Oleh karena itu, matriks identifikasi risiko yang dikembangkan dalam penelitian ini tidak hanya berfungsi sebagai ringkasan literatur, tetapi juga sebagai alat konseptual untuk memahami dinamika risiko pekerjaan timbunan. Matriks ini dapat digunakan sebagai dasar dalam analisis risiko lanjutan, baik melalui pendekatan kuantitatif seperti AHP dan FMEA maupun melalui integrasi dengan sistem digital seperti BIM berbasis risiko pada proyek konstruksi jalan.

Potensi Mitigasi Risiko

Potensi mitigasi risiko pekerjaan timbunan yang dirumuskan dalam Matriks Potensi Mitigasi Risiko Pekerjaan Timbunan (

Tabel 3) didasarkan pada temuan literatur bahwa kegagalan timbunan umumnya merupakan hasil interaksi berlapis antara risiko teknis, operasional, keselamatan kerja, dan faktor eksternal, bukan akibat satu risiko tunggal (Bagaskara & Sudardja, 2024; Heydaru & Fallah-Aliabadi, 2021; Hsein Juang dkk, 2015). Oleh karena itu, mitigasi risiko diarahkan untuk mengurangi probabilitas dan dampak risiko dominan secara simultan, sekaligus memutus keterkaitan sebab-akibat antar-risiko (*risk interaction*).

Untuk risiko teknis seperti geoteknik, literatur secara konsisten menunjukkan

bahwa peningkatan stabilitas lereng dan pengendalian tekanan air pori merupakan strategi mitigasi paling efektif terhadap longsoran timbunan (Abramson dkk, 2001; Gariano & Guzzetti, 2016; Nobahar & Khan, 2024). Penggunaan perkuatan tanah seperti geotekstil dan geogrid, serta optimalisasi geometri lereng, terbukti mampu meningkatkan faktor keamanan lereng dan mengurangi deformasi lateral timbunan (Bergado dkk, 2002; Wang dkk, 2024). Selain itu, sistem drainase yang memadai berperan penting dalam mengendalikan pengaruh curah hujan terhadap perilaku mekanik tanah, sebagaimana dilaporkan dalam studi-studi kegagalan timbunan akibat iklim ekstrem (Nobahar & Khan, 2024; Zhao dkk, 2024).

Risiko penurunan tanah dasar (*settlement*) dimitigasi melalui strategi yang berfokus pada pengendalian konsolidasi dan peningkatan daya dukung tanah. Literatur geoteknik menunjukkan bahwa penerapan *preloading*, *vertical drain*, serta pembatasan tinggi timbunan efektif dalam mempercepat disipasi tekanan air pori dan mengurangi penurunan pasca konstruksi (Abramson dkk, 2001; Ghosh dkk, 2024; Xie dkk, 2025). Strategi mitigasi *settlement* yang efektif harus diterapkan sejak tahap perencanaan, karena penurunan diferensial sering kali menjadi penyebab utama kegagalan fungsional perkerasan jalan (Das, 2014).

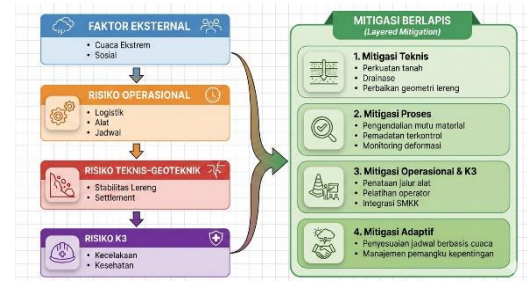
Pada aspek mutu material dan pelaksanaan, strategi mitigasi diarahkan pada penguatan sistem pengendalian mutu. Studi-studi terdahulu menunjukkan bahwa material timbunan yang tidak memenuhi persyaratan gradasi dan kadar air merupakan faktor laten yang memperbesar risiko kegagalan teknis di tahap operasional (Abramson dkk, 2001; Phoon & Tang, 2019; Yasufukui dkk, 2015). Oleh karena itu, seleksi sumber material, pengujian laboratorium berkala, serta pengendalian pemadatan lapangan menjadi bagian penting dari mitigasi berbasis proses, sebagaimana juga direkomendasikan dalam spesifikasi teknis pekerjaan jalan (Das, 2014; L. Li dkk, 2019).

Strategi mitigasi risiko operasional difokuskan pada pengurangan ketidakpastian pelaksanaan melalui perencanaan logistik dan manajemen alat berat. Literatur manajemen konstruksi menunjukkan bahwa gangguan produktivitas alat dan keterlambatan suplai material sering kali memicu kompromi kualitas pelaksanaan, yang pada akhirnya meningkatkan risiko teknis dan risiko K3 (Chen dkk, 2020; Kerzner, 2009; Liu dkk, 2025; Setiani dkk, 2023; Zhasmukhambetova dkk, 2025). Diversifikasi sumber material, penyediaan *buffer stock*, serta pemeliharaan preventif alat berat direkomendasikan sebagai strategi mitigasi untuk menstabilkan alur pekerjaan timbunan (Nazeer Ahamed & Mariappan, 2023; Zhasmukhambetova dkk, 2025).

Dari perspektif keselamatan dan kesehatan kerja, strategi mitigasi risiko K3 pada pekerjaan timbunan tidak dapat dipisahkan dari kondisi teknis dan operasional. Kecelakaan alat berat sering terjadi pada area lereng yang tidak stabil atau pada fase pekerjaan tanah dengan intensitas tinggi (Susanti, 2022). Oleh karena itu, integrasi K3 ke dalam metode kerja melalui penataan jalur alat, pembatasan area kritis, serta pelatihan operator merupakan strategi mitigasi konsekuensial yang efektif dalam menurunkan tingkat kecelakaan kerja (Nazeer Ahamed & Mariappan, 2023; Pham dkk, 2020).

Untuk risiko eksternal, literatur menekankan pentingnya strategi mitigasi adaptif terhadap ketidakpastian iklim dan faktor sosial. Studi-studi proyek jalan menunjukkan bahwa penyesuaian jadwal pekerjaan tanah berdasarkan prakiraan cuaca serta penyediaan drainase sementara dapat mengurangi dampak hujan lebat terhadap stabilitas timbunan (Gariano & Guzzetti, 2016; Zhao dkk, 2024). Sementara itu, risiko sosial seperti sengketa lahan dan resistensi masyarakat perlu dimitigasi melalui pengelolaan pemangku kepentingan dan koordinasi perizinan yang efektif, karena risiko ini terbukti memiliki dampak tidak

langsung terhadap mutu dan keselamatan pelaksanaan pekerjaan timbunan (Zhasmukhambetova dkk, 2025).



Gambar 3 Mitigasi Risiko Pekerjaan Timbunan Bersifat Berlapis

Secara keseluruhan, strategi mitigasi yang dirumuskan berdasarkan matriks dan didukung literatur menunjukkan bahwa mitigasi risiko pekerjaan timbunan bersifat berlapis (*layered mitigation*) dan proaktif, dengan fokus utama pada pencegahan kegagalan teknis, stabilisasi proses pelaksanaan, integrasi keselamatan kerja, serta adaptasi terhadap faktor eksternal (Gambar 3). Pendekatan ini sejalan dengan prinsip manajemen risiko konstruksi modern yang menempatkan mitigasi sebagai bagian dari sistem pengambilan keputusan, bukan sekadar respons terhadap kegagalan (Heydaru & Fallah-Aliabadi, 2021; Nobahar & Khan, 2024).

Kesimpulan

Pekerjaan timbunan pada konstruksi jalan merupakan tahapan kritis dengan risiko tinggi yang bersifat multidimensional akibat interaksi faktor teknis–geoteknik, operasional, keselamatan dan kesehatan kerja (K3), serta faktor eksternal. Sintesis literatur periode 2010–2025 menunjukkan bahwa ketidakstabilan lereng dan penurunan tanah dasar merupakan risiko dominan, sementara risiko operasional dan eksternal berperan sebagai pemicu yang dapat memperbesar kegagalan teknis dan meningkatkan risiko K3.

Matriks identifikasi dan mitigasi risiko yang dikembangkan memberikan kerangka konseptual terstruktur untuk memahami pola risiko dan merumuskan strategi mitigasi

berlapis yang proaktif. Ke depan, penelitian lanjutan disarankan mengembangkan analisis risiko kuantitatif dan integrasi matriks risiko dengan pendekatan digital, seperti BIM atau sistem pemantauan berbasis data, untuk meningkatkan efektivitas pengelolaan risiko pekerjaan timbunan jalan.

Daftar Pustaka

- Abramson, L. W., Lee, T. S., Sharma, S., & Boyce, G. M. (2001). *Slope stability and stabilization methods (2nd ed.)* (2nd ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Abrar, A., Cheema, K. J., Saif, S., & Mahmood, A. (2017). Health status assessment of workers during construction phase of highway rehabilitation projects around lahore, Pakistan. *Journal of Occupational Health*, 59(1), 74–80. <https://doi.org/10.1539/joh.16-0123-FS>
- Aktas, G., Keskin, M. S., Cetin, S. Y., Akyildiz, M. H., & Saybak, V. (2025). Stability Enhancement of Road Embankments Using Geogrid and Jet Grouting: A Finite Element Approach for Sustainable Infrastructure. *Processes*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/pr13092965>
- Al-Hazim, N., & Abusalem, Z. (2015). Delay and cost overrun in road construction projects in Jordan. *International Journal of Engineering & Technology*, 4(2), 288. <https://doi.org/10.14419/ijet.v4i2.4409>
- Bagaskara, R. A., & Sudardja, H. (2024). Evaluasi perubahan tanah timbunan menjadi slab on pile sts martadinata. *Seminar Nasional Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta*.
- Bergado, D. T., Long, P. V., & Srinivasa Murthy, B. R. (2002). A case study of geotextile-reinforced embankment on soft ground. *Geotextiles and Geomembranes*, 20(6), 343–365. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0266-1144\(02\)00032-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0266-1144(02)00032-8)
- Chen, L., Mei, L., Zeng, B., Yin, K., Shrestha, D. P., & Du, J. (2020). Failure probability assessment of landslides triggered by earthquakes and rainfall: a case study in Yadong County, Tibet, China. *Scientific Reports*, 10(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73727-4>
- Das, B. M. (2014). *Principles of Geotechnical Engineering (8th ed.)*. Cengage Learning.
- Gariano, S. L., & Guzzetti, F. (2016). Landslides in a changing climate. *Earth-Science Reviews*, 162, 227–252. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.earscir.2016.08.011>
- Ghaleh, M. B. R., Pourroostam, T., Mansour Sharifloo, N., Majrouhi Sardroud, J., & Safa, E. (2021). Delays in the road construction projects from risk management perspective. *Infrastructures*, 6(9). <https://doi.org/10.3390/infrastructures6090135>
- Ghosh, D., Banerjee, A., Puppala, A. J., & Kumar, P. (2024). Exploring the Influence of Climate Change on Earthen Embankments with Expansive Soil. *Geosciences (Switzerland)*, 14(2), 1–16. <https://doi.org/10.3390/geosciences14020037>
- Heydaru, A., & Fallah-Aliabadi, S. (2021). Application of FMEA and AHP in Elevated Highway Construction Project Risk Assessment. *Occupational Health*, 5(2), 988.
- Hsein Juang, C., Zhang, J., & Gong, W. (2015). Reliability-based assessment of stability of slopes. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 26(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/26/1/012006>
- Johnston, I., Murphy, W., & Holden, J. (2021). A review of floodwater impacts on the stability of transportation embankments. *Earth-Science Reviews*, 215, 103553. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.earscir.2021.103553>
- Kerzner, H. (2009). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling* (10th Editi). John Wiley & Sons, Inc.
- Li, L., Cui, F., Ferreira, P., Xiao, H., & Jie, H. (2019). Experimental study of embankments with different reinforcement materials and spacing between layers. *Geotextiles and Geomembranes*, 47(4), 477–482. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2019.03.003>
- Li, Y., Wang, Y., Wang, L., & Xie, J. (2022). Investigating the effects of stakeholder collaboration strategies on risk prevention performance in a digital innovation ecosystem. *Industrial Management & Data Systems*, 122(9), 2045–2071. <https://doi.org/https://doi.org/10.1108/IMDS-12-2021-0805>
- Liu, J., Tang, H., & Feng, R. (2025). Unraveling the evolutionary patterns of construction accidents: a risk assessment framework based on average mutual information theory. *Scientific Reports*, 15(1), 1–26. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-98229-z>
- Nazeer Ahamed, M. F., & Mariappan, M. (2023). A study to determine human-related errors at the level of top management, safety supervisors & workers during the implementation of safety practices in the construction industry. *Safety Science*, 162, 106081. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106081>
- Nobahar, M., & Khan, S. (2024). Proactive Measures for Preventing Highway Embankment Failures on Expansive Soil: Developing an Early Warning Protocol. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(20).

- <https://doi.org/10.3390/app14209381>
Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Nomor 10 Tahun 2021 Tentang Pedoman Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi.
- Pham, K. T., Vu, D. N., Hong, P. L. H., & Park, C. (2020). 4D-BIM-based workspace planning for temporary safety facilities in construction SMES. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(10), 1–22. <https://doi.org/10.3390/ijerph17103403>
- Phoon, K. K., & Tang, C. (2019). Characterisation of geotechnical model uncertainty. *Georisk*, 13(2), 101–130. <https://doi.org/10.1080/17499518.2019.1585545>
- Redeat Abate. (2017). A Study on Causes of Non-Excusable Delays and Excusable but Non-Compensable Delays of Road Construction Projects (Case Study in Selected ERA Projects). *Thesis*.
- Setiani, Y., Saputra, A. D., & Jusi, U. (2023). Identifying factors behind delays of material supply at road construction projects in Siak Regency, Riau Province. *AIP Conference Proceedings*, 2599. <https://doi.org/10.1063/5.0115699>
- Siddiqui, F., Sargent, P., & Montague, G. (2020). The use of PCA and signal processing techniques for processing time-based construction settlement data of road embankments. *Advanced Engineering Informatics*, 46, 101181. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101181>
- Susanti, R. (2022). Identifikasi Dan Penanganan Risiko K3 Pada Proyek Jalan. *Jurnal Bangunan*, 27(2), 55–68.
- Wang, G., Zhang, X., Liu, X., Chang, Z., & Liu, Z. (2024). Large-scale Field Tests of the Performance of Geogrid-reinforced Piled Embankment over Soft Soil. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 28(2), 655–672. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s12205-023-0837-y>
- Xie, J. Bin, Wu, B., Jia, R. G., Yang, Y. C., Li, K. N., & Zhang, X. M. (2025). Influencing Factors and Control Measures for Post-Construction Settlement of High-Fill Red Clay Embankment. *Eng*, 6(12), 1–18. <https://doi.org/10.3390/eng6120363>
- Yasufukui, N., Ishikura, R., & Taniyama, M. (2015). Compaction quality on the embankment slope and its evaluation method. *15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ARC 2015: New Innovations and Sustainability*, 2622–2626. <https://doi.org/10.3208/jgssp.JPN-082>
- Zhao, W., Mao, H., Sun, L., Lu, X., & Sun, S. (2024). Effect of Rainfall and Water Level Rise and Fall on Stability of Core Wall Embankment. *Water (Switzerland)*, 16(23). <https://doi.org/10.3390/w16233340>
- Zhasmukhambetova, A., Evdorides, H., & Davies, R. J. (2025). Critical Risk Factors Affecting Time and Cost in Highway Construction: A Global Systematic Literature Review. *Future Transportation*, 5(4).