

Analisis Potensi Bahaya pada Pekerjaan *Bore Pile* Proyek Jalan Tol Menggunakan Metode *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*

Aditia Ilham Pratama^{1,*}, Fitri Nugraheni²

¹Program Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

²Staf Pengajar Program Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

Article Info

Available online

Keywords:

Potensi Bahaya
FMEA
Bore Pile

Corresponding Author:

Aditia Ilham Pratama
23914001@students.uii.ac.id

Abstract

The Solo-Yogyakarta-NYIA Kulon Progo Toll Road Construction Project Section II Package 2.1. is located on two active faults, namely the opak fault and mataram fault. Based on the soil condition in the project, it tends to be loose sand category, so it can cause liquefaction potential. Like other construction projects, every project has its problems, one of which is construction safety. This research aims to identify potential hazards in bore pile work by considering disaster-prone area factors using the Root Cause Analysis method with Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) instruments. Risk control efforts, using FMEA can help identify potential hazards based on failure modes. In this way, appropriate control measures can be implemented. Each job is identified and described based on the Work Breakdown Structure (WBS) principle. Data were collected through observation and interviews, then analyzed by FMEA and verified by OHS Experts. The identification results showed 35 potential hazards originating from various failure modes, with the three main causes being workers who do not understand safe work methods (16 potential hazards), earthquakes due to fault activity (11 potential hazards) and incompetent operators (11 potential hazards). The human factor is the largest contributor to risk with unsafe actions dominating. This research shows that the FMEA method can analyze potential failures and their impacts, so it can be an important tool in bore pile risk control.

Copyright © 2025 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Latar Belakang

Pembangunan jalan tol di Indonesia menjadi salah satu prioritas utama pemerintah dalam mempercepat pertumbuhan ekonomi nasional (Hidayat dkk., 2023). Salah satu proyek strategis yang sedang berlangsung adalah Proyek Pembangunan Jalan Tol Solo - Yogyakarta - NYIA Kulon Progo Seksi II Paket 2.1. Namun, seperti halnya proyek konstruksi lainnya, pelaksanaan pembangunan ini tidak terlepas dari berbagai

risiko, termasuk risiko kecelakaan kerja. Menurut data dari Komite Keselamatan Konstruksi, sektor konstruksi jalan tol menjadi salah satu yang mencatat jumlah kecelakaan tertinggi, dengan total 22 kasus (Putra & Nugraheni, 2023). Hal ini menunjukkan pentingnya pengelolaan keselamatan kerja yang baik di lokasi proyek.

Lokasi proyek ini memiliki keunikan tersendiri, karena pada proyek jalan tol ini pembangunan berada di antara dua sesar aktif, yaitu Sesar Opak dan Sesar Mataram. Jarak Sesar Opak hanya sekitar 4 km dari

lokasi proyek, sementara Sesar Mataram berada kurang dari 1 km. Sesar Opak adalah patahan lempeng yang membentang sejauh 45 kilometer, dimulai dari Kecamatan Prambanan, Kabupaten Klaten, hingga bermuara di Kabupaten Bantul, tepatnya di sisi barat Pantai Depok (Afifuddin & Sunoko, 2024). Sementara itu, Sesar Mataram merupakan kelanjutan dari Sesar Dengkung yang melintas dari timur ke barat. Berdasarkan informasi dari BPBD DIY, Sesar Mataram berpapasan dengan Sesar Opak, dimulai dari utara Candi Boko dan memanjang di sekitar Selokan Mataram (Rizqi dkk., 2023). Berdasarkan kondisi geografis tersebut, potensi risiko geoteknik seperti pergeseran tanah atau gempa bumi menjadi salah satu tantangan tambahan dalam proyek ini.

Selain itu, kondisi tanah pada area zona 1 proyek merupakan pasir lepas. Menurut data BPBD DIY dari intensitas gempa yang pernah terjadi di Yogyakarta lebih dari 5 SR, maka pada pembangunan tol ini dapat berpotensi terjadi likuifaksi. Proyek jalan tol ini merupakan proyek *elevated* yaitu proyek konstruksi yang melibatkan pembangunan infrastruktur yang berada di atas permukaan tanah atau ditinggikan. Berdasarkan permasalahan tersebut objek pada penelitian ini adalah pada pekerjaan fondasi karena pekerjaan fondasi merupakan tahap penting atau pekerjaan kritis yang menentukan stabilitas dan keamanan struktur bangunan secara keseluruhan, serta pekerjaan fondasi ini merupakan pekerjaan yang terdekat akan dilaksanakan pada proyek ini. Pada proyek ini fondasi yang digunakan adalah fondasi *bore pile*.

Penelitian tentang identifikasi bahaya yang dilakukan oleh Ihsan dan Nurcahyo (2022) dengan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Tujuan penelitian tersebut menganalisis risiko kecelakaan kerja pada Proyek Jalan Tol Ruas Sigli - Banda Aceh Struktur *Elevated* menggunakan metode FMEA. Hasil dari penelitian ini mendapatkan 46 potensi bahaya. Keterbatasan pada penelitian tersebut adalah tidak

mempertimbangkan faktor bencana, seperti yang kita tahu bahwa Aceh juga merupakan daerah rawan gempa. Pada penelitian Yusriliya & Nugraheni (2024), melakukan penelitian tentang identifikasi potensi bahaya pada pekerjaan fondasi *bore pile* dengan metode FMEA. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi potensi risiko yang dapat terjadi selama pelaksanaan pekerjaan fondasi *bore pile* pada Proyek Pembangunan Rusun Polsek Kawasan Mandalika. Hasil dari penelitian tersebut mendapatkan 14 kegagalan (*failure mode*) dengan 36 potensi bahaya. Pada penelitian tersebut juga tidak mempertimbangkan faktor bencana yang dapat terjadi pada lokasi atau daerah tersebut. Dari hasil tinjauan Pustaka tersebut, diketahui bahwa belum ada penelitian yang membahas faktor bencana yang mungkin terjadi selama pelaksanaan pekerjaan untuk mengidentifikasi potensi bahaya yang mungkin timbul.

Dengan demikian, sebagai upaya pengendalian risiko penelitian ini bertujuan untuk melakukan identifikasi bahaya untuk meminimalisir risiko dengan menambahkan tinjauan terhadap faktor bencana yang dapat terjadi pada proyek pembangunan Jalan Tol Solo - Yogyakarta - NYIA Kulon Progo Seksi II Paket 2.1. Pada penelitian ini digunakan metode *Root Cause Analysis* (RCA) bertujuan untuk mengidentifikasi potensi bahaya dengan *tools Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Dengan menggunakan metode tersebut, potensi bahaya dapat diidentifikasi berdasarkan berbagai jenis kegagalan (*failure mode*), seperti kegagalan dalam proses kerja, material yang digunakan, tenaga kerja yang terlibat, atau metode kerja yang diterapkan. Oleh karena itu, penelitian ini akan mengkaji pemanfaatan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) sebagai metode untuk mengidentifikasi potensi bahaya pada pekerjaan *bore pile* di proyek konstruksi jalan.

Kecelakaan Konstruksi dan Kecelakaan Kerja

Menurut Permen PUPR No. 10 Tahun 2021 bahwa kecelakaan konstruksi adalah peristiwa yang terjadi akibat kelalaian dalam tahap pelaksanaan konstruksi, karena pelaksanaannya tidak memenuhi Standar Keamanan, Keselamatan, Kesehatan, dan Keberlanjutan, yang berpotensi mengakibatkan korban jiwa, cedera, serta kehilangan waktu kerja. Berbeda dengan kecelakaan kerja pada umumnya, kecelakaan konstruksi mencakup seluruh kegiatan konstruksi dan lingkungan serta tidak berfokus pada pekerjanya saja melainkan juga terhadap alat dan material. Sedangkan kecelakaan kerja adalah kejadian tak terduga yang bisa menyebabkan atau berisiko menyebabkan cedera, sakit, kerusakan, atau kerugian lainnya (Standar AS/NZS 4801:2001). Kecelakaan kerja dapat dibagi menjadi beberapa jenis, tergantung pada jenis pekerjaan dan tingkat risikonya. Ada lingkungan kerja tertentu yang memiliki risiko kecelakaan jauh lebih tinggi dibandingkan dengan lingkungan kerja lainnya (Putri & Iestari, 2023).

Kecelakaan kerja biasanya terjadi karena kombinasi berbagai faktor di lokasi kerja atau selama proses produksi. Penelitian menunjukkan bahwa kecelakaan kerja tidak terjadi secara kebetulan, melainkan disebabkan oleh satu atau lebih faktor penyebab yang terjadi bersamaan (Tarwaka, 2016). Keselamatan dalam konstruksi dipengaruhi oleh empat faktor utama: manusia, lingkungan, mesin, dan material. Penyebab kecelakaan kerja biasanya berkaitan dengan teori-teori kecelakaan yang telah berkembang sejak awal revolusi industri (Huda dkk., 2021). Kecelakaan kerja juga bisa terjadi karena kurangnya pengetahuan pekerja, rendahnya motivasi, minimnya pengawasan, kurangnya pelatihan, dan tidak tersedianya alat pelindung diri yang memadai (Berty & Nugraheni, 2024).

Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi (SMKK)

Menurut Permen PUPR No. 10 Tahun 2021 bahwa Sistem Manajemen Keselamatan

Konstruksi (SMKK) adalah elemen penting dalam manajemen proyek konstruksi yang bertujuan untuk memastikan keselamatan selama pelaksanaan pekerjaan konstruksi. Keselamatan dan kesehatan kerja (K3) seharusnya dirancang untuk meningkatkan produktivitas kerja secara optimal dengan menciptakan lingkungan kerja yang sehat, aman, nyaman, dan menyenangkan. Selain melindungi pekerja, K3 juga penting bagi perusahaan karena dapat mencegah kerugian akibat kecelakaan kerja dan hilangnya jam kerja. K3 mencakup pelayanan kesehatan serta pencegahan penyakit yang terkait dengan pekerjaan (Putri & Iestari, 2023).

Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi (SMKK) bertujuan untuk mengidentifikasi risiko atau bahaya dalam pekerjaan konstruksi agar risiko tersebut dapat dikendalikan melalui metode yang efektif. Dengan demikian, dampak negatifnya dapat dikurangi atau dihilangkan. SMKK juga dirancang untuk mencegah kecelakaan kerja secara terencana, terpadu, terkoordinasi, dan diawasi dengan baik. Tujuan utamanya adalah melindungi keselamatan dan kesehatan pekerja demi kesejahteraan bersama serta keberhasilan proyek (Berty & Nugraheni, 2024). Penerapan SMKK dimuat dalam bentuk dokumen yang terdiri dari rancangan konseptual, rencana keselamatan konstruksi, rencana mutu pekerjaan, program mutu, rencana kerja pengelolaan dan pemantauan lingkungan, serta rencana manajemen lalu lintas pekerjaan.

Root Cause Analysis (RCA)

Root Cause Analysis (RCA) adalah teknik yang digunakan untuk menyelesaikan masalah dengan cara menganalisis akar penyebabnya (Kuswardhana dkk., 2017). RCA membantu mengidentifikasi apa kesalahan yang terjadi, bagaimana kesalahan itu bisa terjadi, dan mengapa hal tersebut terjadi (Wibowo dkk., 2018). RCA digunakan untuk memahami faktor-faktor yang berkontribusi pada masalah, bukan hanya mengatasi gejala atau dampak yang terlihat. RCA sering diterapkan oleh perusahaan

untuk secara sistematis mengidentifikasi penyebab utama masalah.

Berbeda dengan metode pemecahan masalah lainnya, RCA membantu perusahaan untuk menghindari masalah serupa di masa depan. Dengan menganalisis akar penyebabnya, RCA memungkinkan perusahaan untuk mengungkap faktor-faktor yang mendasari masalah dan mengambil langkah-langkah yang tepat untuk mencegah terulangnya masalah tersebut. Tujuan utama dari RCA adalah untuk mengidentifikasi dan menganalisis akar penyebab masalah atau kejadian yang tidak diinginkan. Selain itu, RCA juga bertujuan untuk memahami faktor-faktor yang berkontribusi pada terjadinya masalah tersebut.

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) adalah metode yang digunakan untuk mengidentifikasi kemungkinan bentuk kegagalan dalam suatu sistem atau proses, serta untuk menilai dampak dari kegagalan tersebut. Metode ini membantu untuk mengetahui apa saja yang bisa gagal dalam suatu fungsi atau proses, dan bagaimana kegagalan itu dapat mempengaruhi sistem secara keseluruhan (Sukanta, 2018).

FMEA fokus pada dua hal utama yaitu penyebab kegagalan dan cara kegagalan itu terjadi. Setelah penyebab dan mekanisme kegagalan dikenali, kita bisa mengetahui kegagalan yang mungkin terjadi di masa depan (*potensial failure mode*). Proses ini sangat penting karena membantu untuk memprediksi dan menghindari masalah sebelum benar-benar terjadi. FMEA membantu perusahaan mengidentifikasi dan mengurangi risiko kegagalan sebelum masalah terjadi, sehingga meningkatkan kualitas produk dan proses. Dengan mencegah kegagalan yang tidak terdeteksi, FMEA juga mengurangi potensi kerugian biaya besar dan meningkatkan keselamatan, terutama di industri berisiko tinggi seperti konstruksi, manufaktur, dan otomotif.

FMEA dilakukan secara sistematis dimulai dengan mengidentifikasi fungsi atau proses yang akan dianalisis, seperti produk atau cara kerja yang sedang diterapkan. Selanjutnya, mode kegagalan, yaitu cara-cara kegagalan bisa terjadi dalam sistem atau proses tersebut, diidentifikasi. Kegagalan ini bisa berupa kerusakan komponen atau kegagalan prosedur. Setelah itu, langkah berikutnya adalah mengevaluasi dampak yang ditimbulkan oleh kegagalan tersebut, baik terhadap sistem secara keseluruhan maupun pengguna akhir, untuk memahami seberapa besar pengaruhnya.

Pada penelitian ini, FMEA digunakan untuk menganalisis potensi bahaya yang bisa timbul akibat kegagalan dalam berbagai aspek, seperti proses kerja, metode yang digunakan, atau bahkan material yang digunakan. Dengan melakukan analisis FMEA, kita bisa lebih siap untuk mengidentifikasi risiko dan mengambil langkah-langkah pencegahan yang tepat untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kegagalan atau kerusakan.

Metode Penelitian

Subjek dan Objek Penelitian

Pada penelitian ini, subjek penelitian adalah identifikasi potensi bahaya menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*. Objek penelitian ini adalah aktivitas yang terkait dengan pekerjaan *bore pile*. Penelitian ini dilakukan pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Solo - Yogyakarta - NYIA Kulon Progo Seksi II Paket 2.1.

Tahapan Penelitian

Pada sebuah penelitian harus disusun secara sistematis agar dapat memberikan hasil yang sesuai dengan tujuan dan relevan dengan permasalahan yang diangkat. Berikut merupakan tahapan yang dilakukan pada penelitian ini, yaitu:

1. Studi literatur

Tahap ini studi literatur dilakukan untuk pengumpulan dan memperdalam pemahaman berdasarkan berbagai sumber referensi, seperti buku, jurnal, dan

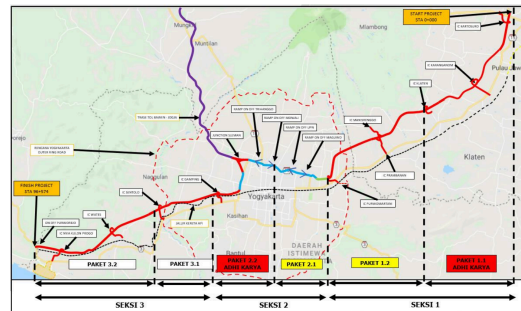
- dokumen terkait, untuk memahami teori, konsep, dan metode yang relevan.
2. Menentukan objek dan lokasi penelitian
Pada tahapan ini, untuk menentukan objek dan lokasi penelitian dilakukan observasi lapangan dan identifikasi permasalahan yang akan diteliti. Tahap ini didapatkan objek yang akan diteliti yaitu aktivitas pekerjaan *bore pile* di lokasi Proyek Pembangunan Jalan Tol Solo - Yogyakarta - NYIA Kulon Progo Seksi II Paket 2.1.
 3. Pengumpulan data
Pada tahap ini, pengumpulan data dilakukan dengan observasi lapangan, wawancara, dan data sekunder yang terkait. Data yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah item pekerjaan, metode pelaksanaan, dan dokumentasi berupa dokumen yang terkait.
 4. Analisis Data
Tahap Analisis data dilakukan dengan membuat *Work Breakdown Structure* (WBS) sesuai dengan urutan pekerjaan, kemudian dari masing-masing pekerjaan dilakukan identifikasi potensi bahaya yang mungkin muncul akibat kegagalan menggunakan metode FMEA. Setelah itu, hasil analisis divalidasi oleh tenaga ahli, yaitu Ahli K3, untuk memastikan keakuratan dan keandalannya. Verifikasi ini dilakukan oleh tenaga ahli K3 dengan kualifikasi pengalaman kerja di bidang K3 Konstruksi ≥ 5 tahun dan memiliki SKA minimal Ahli K3 Konstruksi – Madya.
 5. Hasil dan kesimpulan
Pada tahap ini, setelah analisis dilakukan, maka menguraikan hasil dari setiap proses hingga mendapatkan hasil akhir berupa kesimpulan. Kesimpulan menyajikan

ringkasan dari tujuan penelitian yang telah ditentukan pada bagian pendahuluan serta hasil yang telah didapatkan.

Data, Analisis, dan Pembahasan

Gambaran Umum Proyek

Lokasi penelitian yang dilakukan adalah pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Solo - Yogyakarta - NYIA Kulon Progo Seksi II Paket 2.1 dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Uraian Pekerjaan Bore Pile

Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Solo - Yogyakarta - NYIA Kulon Progo Seksi II Paket 2.1, pekerjaan *bore pile* terdiri dari sembilan pekerjaan utama yaitu pekerjaan persiapan, pengeboran awal, pemasangan casing, pengeboran lanjutan, pemasangan tulangan, instalasi *pipa tremie*, pengecoran, pelepasan *pipa tremie* dan pencabutan casing. Setiap pekerjaan dirinci secara sistematis berdasarkan prinsip *Work Breakdown Structure* (WBS), sehingga diperoleh total 11 rincian uraian pekerjaan. Berikut merupakan uraian pekerjaan *bore pile* sesuai dengan urutan pekerjaan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Uraian Pekerjaan *Bore Pile*

No.	Pekerjaan	Uraian Pekerjaan
		<i>Clearing area</i>
1	Persiapan	<i>Stake out titik bore pile</i> Perkuatan platform Perakitan tulangan
2	Pengeboran	Pengeboran awal sesuai dengan rencana per titik
3	Pemasangan casing	Pemasangan casing menggunakan <i>mobile crane</i>
4	Pengeboran lanjutan	Pengeboran lanjutan sesuai dengan rencana per titik
5	Pemasangan tulangan	Pemasangan tulangan menggunakan <i>mobile crane</i>

6	Instalasi <i>pipa tremie</i>	Pemasangan instalasi <i>pipa tremie</i> untuk pengecoran
7	Pengecoran	Penuangan beton ke dalam lubang <i>bore pile</i>
8	Pelepasan <i>pipa tremie</i>	Pelepasan <i>pipa tremie</i> menggunakan <i>mobile crane</i>
9	Pencabutan <i>casing</i>	Pencabutan <i>casing</i> menggunakan <i>mobile crane</i>

Analisis FMEA Pekerjaan Bore Pile

Data kegagalan diperoleh melalui observasi dan wawancara dianalisis menggunakan metode FMEA, lalu hasilnya diverifikasi oleh Ahli K3 yang terlibat dalam proyek tersebut. Setelah dilakukan verifikasi oleh para ahli dalam proyek, ditemukan hasil identifikasi kegagalan pada pekerjaan *bore pile*,

khususnya pada tahap penentuan titik pile. Kegagalan (*failure mode*) yang diidentifikasi adalah kesalahan dalam pemantauan dan pengawasan. Hal ini dapat menyebabkan berbagai dampak (*effect*). Penjelasan lebih detail mengenai analisis FMEA untuk pekerjaan *bore pile* dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. FMEA Pekerjaan *Bore Pile*

No.	Uraian Pekerjaan	Failure Mode	Effect
1	<i>Clearing area</i>	- Operator tidak kompeten	- Alat berat/kendaraan rusak - Alat berat terperosok/terguling - Pekerja terkena alat berat saat manuver/ <i>swing</i> - <i>Bucket excavator</i> mengenai <i>truck</i> - Operator terjatuh saat keluar/masuk <i>excavator</i>
		- Gempa akibat aktivitas sesar	- Alat berat terperosok/terguling - Pekerja dan Operator cedera - Alat berat/pekerja tertimpa pohon - Penundaan jadwal kerja, produktivitas menurun
		- Likuifaksi pada tanah pasir lepas	- Alat berat terperosok/terguling - Pekerja dan Operator cedera
		- Kesalahan menentukan posisi koordinat	- Posisi <i>bore pile</i> tidak sesuai - Kegagalan struktur
		- Kesalahan saat pemantauan dan pengawasan	- Penempatan <i>bore pile</i> tidak sesuai - Kegagalan struktur
		- Platform tidak stabil	- Alat berat terperosok/terguling - Pekerja dan Operator cedera
		- Pekerja tidak memahami metode yang aman	- Tangan pekerja tertusuk/terjepit/ tergores besi tulangan/kawat bendrat - Pekerja terkena alat pemotong besi - Pekerja tersandung besi tulangan - Kaki pekerja terimpa besi tulangan
		- Pekerja tidak berpengalaman	- Penyambungan tulangan tidak sesuai - Kegagalan struktur
		- Pekerja tidak memahami metode yang aman	- Pekerja terjatuh ke lubang galian - Pekerja terkena alat bor - Alat berat/kendaraan rusak
		- Operator tidak kompeten	- Kesalahan dalam pengeboran - Alat bor mengenai pekerja sekitar - Alat berat terperosok/terguling - Pekerja dan Operator cedera
2	Pengeboran awal sesuai dengan rencana per titik	- Platform tidak stabil	- Alat berat terperosok/terguling - Pekerja dan Operator cedera
		- Tidak ada rambu	- Alat berat terperosok/terguling - Terjatuh ke dalam lubang galian - Orang tidak berkepentingan masuk area proyek
		- Curah hujan tinggi	- Alat berat terperosok/terguling - Tanah galian longsor/runtuh - Pekerja terjatuh
		- Tidak ada inspeksi alat	- Alat berat/kendaraan rusak
		- Gempa akibat aktivitas sesar	- Alat berat terperosok/terguling - Pekerja dan Operator cedera - Tanah galian longsor/runtuh

		- Likuifaksi pada tanah pasir lepas	- Penundaan jadwal kerja, produktivitas menurun - Alat berat terperosok/terguling - Pekerja dan Operator cedera - Tanah galian longsor/runtuh
3	Pemasangan <i>casing</i> menggunakan <i>mobile crane</i>	- Pekerja tidak memahami metode yang aman - <i>Operator</i> tidak kompeten	- <i>Casing</i> terjatuh karena tidak terpasang dengan aman - Pekerja terkena alat berat saat <i>manuver/swing</i> - Alat berat terguling karena tidak seimbang

Lanjutan Tabel 2. FMEA Pekerjaan *Bore Pile*

No.	Uraian Pekerjaan	Failure Mode	Effect
3	Pemasangan <i>casing</i> menggunakan <i>mobile crane</i>	- Penempatan <i>casing</i> tidak sesuai - Tidak ada rambu - Gempa akibat aktivitas sesar - Likuifaksi pada tanah pasir lepas	- Tanah galian longsor karena tidak tertahan oleh <i>casing</i> - Pekerja tertabrak alat berat - Orang tidak berkepentingan masuk area proyek - Pekerja terkena alat berat saat <i>manuver/swing</i> - Alat berat terperosok/terguling - Pekerja dan Operator cedera - Tanah galian longsor/runtuh - Penundaan jadwal kerja, produktivitas menurun - Keretakan/kerusakan pada <i>casing</i> - Alat berat terperosok/terguling - Pekerja dan Operator cedera - Tanah galian longsor/runtuh - Keretakan/kerusakan pada <i>casing</i>
4	Pengeboran selanjutnya sesuai dengan rencana per titik	- Pekerja tidak memahami metode yang aman - <i>Operator</i> tidak kompeten - Tidak ada inspeksi alat - <i>Platform</i> tidak stabil - Tidak ada rambu - Tanah galian tidak stabil - Curah hujan tinggi - Gempa akibat aktivitas sesar - Likuifaksi pada tanah pasir lepas	- Pekerja terjatuh ke lubang galian - Pekerja terkena alat bor - Alat berat/kendaraan rusak - Kesalahan dalam pengeboran - Alat bor mengenai pekerja sekitar - Alat bor mengenai <i>casing</i> - Alat berat/kendaraan rusak - Alat berat terperosok/terguling - Pekerja dan <i>Operator</i> cedera - Alat berat terperosok/terguling - Terjatuh ke dalam lubang galian - Orang tidak berkepentingan masuk area proyek - Tanah galian longsor/runtuh - Alat berat terperosok/terguling - Tanah galian longsor/runtuh - Pekerja terjatuh di sekitar area galian - Alat berat terperosok/terguling - Pekerja dan Operator cedera - Tanah galian longsor/runtuh - Penundaan jadwal kerja, produktivitas menurun - Keretakan/kerusakan pada <i>casing</i> - Alat berat terperosok/terguling - Pekerja dan Operator cedera - Tanah galian longsor/runtuh - Keretakan/kerusakan pada <i>casing</i>
5	Pemasangan tulangan menggunakan <i>mobile crane</i>	- <i>Operator</i> tidak kompeten - Tidak ada inspeksi alat - Tidak ada inspeksi material - Pekerja tidak memahami metode yang aman - Curah hujan tinggi	- Alat berat/kendaraan rusak - Pekerja terimpa tulangan - Penempatan tulangan tidak sesuai - Alat berat/kendaraan rusak - Besi tulangan berkarat - Tulangan tidak sesuai spesifikasi - Kegagalan struktur - Pekerja terkena <i>swing mobile crane</i> - Pekerja tertimpa tulangan - Pekerja tertabrak alat berat - Alat berat tergelincir

- Tidak ada rambu
- Pekerja terjatuh
- Pekerja tertabrak alat berat
- Orang tidak berkepentingan masuk area proyek
- Pekerja terkena alat berat saat manuver/swing
- Gempa akibat aktivitas sesar
- Alat berat terperosok/terguling
- Pekerja dan Operator cedera
- Tanah galian longsor/runtuh
- Penundaan jadwal kerja, produktivitas menurun
- Kerusakan pada besi tulangan
- Likuifaksi pada tanah pasir lepas
- Alat berat terperosok/terguling
- Pekerja dan Operator cedera

Lanjutan Tabel 2. FMEA Pekerjaan *Bore Pile*

No.	Uraian Pekerjaan	Failure Mode	Effect
5	Pemasangan tulangan menggunakan <i>mobile crane</i>	- Likuifaksi pada tanah pasir lepas	- Tanah galian longsor/runtuh - Kerusakan pada besi tulangan
6	Pemasangan instalasi <i>pipa tremie</i> untuk pengecoran	- Pekerja tidak memahami metode yang aman	- <i>Pipa tremie</i> terjatuh karena tidak terpasang dengan aman - Pekerja terkena <i>pipa tremie</i> - Pekerja tergores kawat seling - Pekerja tergores saat memutar <i>concrete bucket</i> - Pekerja terjepit saat penyambungan <i>pipa tremie</i>
		- Gempa akibat aktivitas sesar	- Alat berat terperosok/terguling - Pekerja dan Operator cedera - Tanah galian longsor/runtuh - Penundaan jadwal kerja, produktivitas menurun - Keretakan/kerusakan pada <i>pipa tremie</i>
		- Likuifaksi pada tanah pasir lepas	- Alat berat terperosok/terguling - Pekerja dan Operator cedera - Tanah galian longsor/runtuh - Keretakan/kerusakan pada <i>pipa tremie</i>
7	Penuangan beton ke dalam lubang <i>bore pile</i>	- Pekerja tidak memahami metode yang aman	- Pekerja terkena tumpahan beton - Pekerja terjatuh - Pekerja tertabrak <i>truck mixer</i> - Pekerja terkena <i>swing mobile crane</i>
		- Curah hujan tinggi	- Alat berat tergelincir - Pekerja terjatuh - Beton tidak sesuai dengan spesifikasi
		- Gempa akibat aktivitas sesar	- Alat berat terperosok/terguling - Pekerja dan Operator cedera - Tanah galian longsor/runtuh - Penundaan jadwal kerja, produktivitas menurun - Retakan pada beton yang belum mengeras
		- Likuifaksi pada tanah pasir lepas	- Alat berat terperosok/terguling - Pekerja dan Operator cedera - Tanah galian longsor/runtuh - Retakan pada beton yang belum mengeras
8	Pekerjaan pelepasan <i>pipa tremie</i>	- Pekerja tidak memahami metode yang aman	- <i>Pipa tremie</i> terjatuh karena tidak terpasang dengan aman - Pekerja terkena <i>pipa tremie</i> - Pekerja tergores kawat seling - Pekerja tergores saat memutar <i>concrete bucket</i> - Pekerja terjepit saat melepas <i>pipa tremie</i>
		- Gempa akibat aktivitas sesar	- Alat berat terperosok/terguling - Pekerja dan Operator cedera - Penundaan jadwal kerja, produktivitas menurun - <i>Pipa tremie</i> terjatuh
		- Likuifaksi pada tanah pasir lepas	- Alat berat terperosok/terguling - Pekerja dan Operator cedera - <i>Pipa tremie</i> terjatuh
9	Pencabutan <i>casing</i> menggunakan <i>mobile crane</i>	- Pekerja tidak memahami metode yang aman	- <i>Casing</i> terjatuh karena tidak terpasang dengan aman - Pekerja terkena <i>swing mobile crane</i>

- | | |
|-------------------------------------|---|
| - Operator tidak kompeten | - Alat berat terguling karena tidak seimbang |
| - Tidak ada rambu | - Penarikan casing mengganggu ikatan beton |
| - Gempa akibat aktivitas sesar | - Pekerja tertabrak alat berat |
| | - Orang tidak berkepentingan masuk area proyek |
| | - Pekerja terkena alat berat saat manuver/swing |
| | - Alat berat terperosok/terguling |
| | - Pekerja dan Operator cedera |
| | - Penundaan jadwal kerja, produktivitas menurun |
| | - Casing terjatuh |
| - Likuifaksi pada tanah pasir lepas | - Alat berat terperosok/terguling |
| | - Pekerja dan Operator cedera |
| | - Casing terjatuh |

Berdasarkan Tabel 2 di atas, ditemukan bahwa terdapat 14 jenis kegagalan (*failure mode*) yang bervariasi, masing-masing memiliki karakteristik dan dari uraian pekerjaan yang berbeda. Kegagalan-kegagalan ini dapat memberikan dampak yang signifikan terhadap kegiatan pekerjaan di lapangan, dengan menghasilkan sebanyak 43 potensi bahaya yang dapat memengaruhi kinerja dan keselamatan secara keseluruhan.

Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis dan verifikasi yang telah dilakukan, potensi bahaya dalam pekerjaan *bore pile* pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Solo - Yogyakarta - NYIA Kulon Progo Seksi II Paket 2.1 dapat dilihat pada Tabel 2. Hasil identifikasi menunjukkan adanya 43 potensi bahaya yang berasal dari berbagai kegagalan (*failure mode*). Dari data yang disajikan pada tabel tersebut, dapat diidentifikasi tiga penyebab utama potensi bahaya dalam pekerjaan *bore pile*. Kegagalan akibat pekerja yang tidak memahami metode kerja yang aman menjadi penyebab paling signifikan dengan kontribusi

terhadap 16 potensi bahaya. Gempa bumi akibat aktivitas sesar menduduki posisi kedua, menyumbang 11 potensi bahaya. Selain itu, operator yang tidak kompeten juga memberikan kontribusi yang sama, yakni 11 potensi bahaya. Hal ini menunjukkan bahwa dua dari tiga penyebab utama potensi bahaya berasal dari faktor manusia, yang sering kali terkait dengan kurangnya pelatihan, pemahaman, dan pengawasan yang memadai dalam pelaksanaan pekerjaan di lapangan.

Berdasarkan analisis terhadap penyebab potensi bahaya ini, dapat ditekan untuk tantangan kedepannya bahwa bahaya yang berasal dari faktor manusia relatif lebih mudah dikendalikan melalui kebijakan manajerial, seperti pelatihan, peningkatan kompetensi pekerja, dan pengawasan ketat. Di sisi lain, bahaya yang disebabkan oleh gempa bumi, sebagai bagian dari faktor bencana, lebih sulit dikendalikan karena sifatnya yang tidak dapat diprediksi dan berada di luar kendali manusia. Berikut merupakan rekapitulasi potensi bahaya pekerjaan *bore pile* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Potensi Bahaya Pekerjaan *Bore Pile*

No.	Uraian Potensi Bahaya
1	Alat berat/kendaraan rusak
2	Alat berat terperosok/terguling
3	Pekerja terkena alat berat saat manuver/swing
4	Bucket excavator mengenai truck
5	Operator terjatuh saat keluar/masuk excavator
6	Posisi <i>bore pile</i> tidak sesuai
7	Kegagalan struktur
8	Pekerja dan operator cedera
9	Pekerja tertusuk/ terjepit/tergores besi tulangan/ kawat bendrat

10	Pekerja terkena alat pemotong besi
11	Pekerja tersandung besi tulangan
12	Pekerja tertimpa besi tulangan
13	Penyambungan tulangan tidak sesuai
14	Kegagalan struktur
15	Pekerja terjatuh ke lubang galian
16	Pekerja terkena alat bor
17	Kesalahan dalam pengeboran
18	Tanah galian longsor/runtuh
19	Pekerja terjatuh di area kerja
20	Casing terjatuh karena tidak terpasang dengan aman
21	Alat berat terguling karena tidak seimbang
22	Alat bor mengenai casing
23	Penempatan tulangan tidak sesuai

Lanjutan Tabel 3. Rekapitulasi Potensi Bahaya Pekerjaan *Bore Pile*

No.	Uraian Potensi Bahaya
24	Besi tulangan berkarat
25	Tulangan tidak sesuai spesifikasi
26	Pekerja tertabrak alat berat
27	<i>Pipa tremie</i> terjatuh karena tidak terpasang dengan aman
28	Pekerja terkena <i>pipa tremie</i>
29	Pekerja tergores kawat seling
30	Pekerja tergores saat memutar <i>concrete bucket</i>
31	Pekerja terjepit saat penyambungan <i>pipa tremie</i>
32	Pekerja terkena tumpahan beton
33	Beton tidak sesuai dengan spesifikasi
34	Pekerja terjepit saat melepas <i>pipa tremie</i>
35	Penarikan casing mengganggu ikatan beton
36	Alat berat/pekerja tertimpa pohon
37	Penundaan jadwal kerja, produktivitas menurun
38	Keretakan/kerusakan pada casing
39	Kerusakan pada besi tulangan
40	Keretakan/kerusakan pada <i>pipa tremie</i>
41	Retakan pada beton yang belum mengeras
42	<i>Pipa tremie</i> terjatuh
43	Casing terjatuh

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa dengan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk mengidentifikasi potensi bahaya pada pekerjaan *bore pile* di Proyek Pembangunan Jalan Tol Solo - Yogyakarta - NYIA Kulon Progo Seksi II Paket 2.1 berhasil mengungkap bahwa mayoritas potensi bahaya disebabkan oleh faktor manusia, seperti pekerja yang tidak memahami metode kerja yang aman dan operator yang tidak kompeten. Faktor ini menjadi penyumbang utama risiko yang

dapat mempengaruhi keselamatan kerja dan kelancaran proyek.

Selain itu faktor adanya sesar di sekitar lokasi proyek menambah potensi bahaya yang perlu dilakukan tinjauan lebih lanjut karena berada posisi kedua terbanyak. Analisis ini menegaskan pentingnya pengendalian risiko melalui identifikasi awal bahaya, dengan fokus pada peningkatan kompetensi tenaga kerja dan implementasi metode kerja yang sesuai standar keselamatan, disertai upaya mitigasi untuk mengantisipasi dampak dari gempa

bumi. Adanya penelitian ini juga bermanfaat untuk proyek tersebut, untuk mendapatkan identifikasi bahaya pada pekerjaan *bore pile* yang akan dilaksanakan pada bulan Januari 2025 mendatang.

Daftar Pustaka

- Affifuddin, A. H., & Sunoko, K. (2024). Pengendalian risiko pada proyek ini perlu difokuskan pada peningkatan kompetensi pekerja dan penerapan metode kerja yang aman, disertai upaya mitigasi untuk mengantisipasi dampak dari gempa bumi. *Jurnal SENTHONG*, 7(3), 1104–1113.
- Berty, D. C., & Nugraheni, F. (2024). Analisis pencegahan kecelakaan kerja dengan metode HIRADC pada pekerjaan perkerasan lentur proyek pembangunan ruas jalan Tawang–Ngalang segmen II. *Proceeding Civil Engineering Research Forum*, 4(1), 151–159. ISSN 2962-2697.
- Hidayat, N., Xanichal, H. A., Nazly, M., Karo-Karo, R. U., & Lumban Gaol, R. I. (2023). Pengaruh dampak sosial terhadap proyek pembangunan jalan tol di Medan–Binjai. *Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat Nusantara (JPKMN)*, 4(4), 3301–3307.
<https://doi.org/10.55338/jpkmn.v4i4.1837>
- Huda, N., Fitri, A. M., Buntara, A., & Utari, D. (2021). Faktor-faktor yang berhubungan dengan terjadinya kecelakaan kerja pada pekerja proyek pembangunan gedung di PT. X tahun 2020. *Jurnal Kesehatan Masyarakat (Undip)*, 9(5), 652–659.
<https://doi.org/10.14710/jkm.v9i5.30588>
- Ihsan, A. F., & Nurcahyo, C. B. (2022). Analisis risiko kecelakaan kerja menggunakan metode FMEA pada proyek pembangunan jalan tol ruas Sigli – Banda Aceh struktur elevated. *Jurnal Teknik ITS*, 11(1). ISSN: 2337-3539 (Online), 2301-9271 (Print).
- Kuswardhana, A., Mayangsari, N. E., & Amrullah, H. N. (2017). Analisis penyebab kecelakaan kerja menggunakan metode RCA (Fishbone Diagram Method and 5-Why Analysis) di PT. PAL Indonesia. In *Proceeding 1st Conference on Safety Engineering and Its Application*.
- Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2021). Permen PUPR 10/2021 tentang pedoman sistem manajemen keselamatan konstruksi. Jakarta, Indonesia.
- Putra, L. A., & Nugraheni, F. (2023). Pemanfaatan FMEA sebagai instrumen identifikasi potensi bahaya pada pekerjaan galian timbunan (Studi kasus proyek jalan tol Solo–Yogyakarta–YIA Kulonprogo). *Jurnal Teslink: Teknik Sipil dan Lingkungan*, 5(1), 61–68.
- Putri, D. N., & Lestari, F. (2023). Analisis penyebab kecelakaan kerja pada pekerja di proyek konstruksi: Literature review. *Prepotif: Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 7(1).
- Rizqi, A. H. F., Kurniawan, S., Erlandi, M., Nadhip, M., Alansyah, A. Y., Wibisono, D. C., Winarti, & Qodri, M. F. (2023). Kompilasi penentuan sesar berdasarkan data struktur geologi permukaan dan implikasinya terhadap keberadaan Sesar Mataram di daerah Bokoharjo, Prambanan, Sleman, Yogyakarta. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XVIII (ReTII)*, 402–413. ISSN: 1907-5995.
- Standar AS/NZS. (2001). *AS/NZS 4801:2001: Occupational health and safety management systems – Specification with guidance for use*.
- Sukanta, Herwanto, D., & Yulian, Y. (2018). Analisis kegagalan sistem pada perawatan mesin evaporator menggunakan metode FMEA dan FTA. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian pada Masyarakat*, ISBN: 978-602-61545-0-7.
- Tarwaka. (2016). *Dasar-dasar keselamatan kerja serta pencegahan kecelakaan di tempat kerja* (2nd ed.; Tarwaka, Ed.). Surakarta, Indonesia: Harapan Press.
- Wibowo, K., Sugiyarto, & Setiono. (2018). Analisis dan evaluasi: Akar penyebab dan biaya sisa material konstruksi proyek pembangunan kantor kelurahan di Kota Solo, sekolah, dan pasar menggunakan Root Cause Analysis (RCA) dan Fault Tree Analysis (FTA). *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, Juni 2018.
- Yusriliya, C., & Nugraheni, F. (2024). Pemanfaatan FMEA sebagai instrumen identifikasi potensi bahaya pada pekerjaan pondasi *bore pile*. *Civil Engineering, Environmental, and Disaster Risk Management Symposium 2024: Integrasi Technopreneurship Dalam Inovasi Smart Transportasi & Mitigasi Bencana Untuk Lingkungan Berkelanjutan*.