

Analisis Risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada Produksi Tiang Pancang Pracetak dengan Metode HIRARC

Chalsi Mala Sari*, Mochamad Gaharu Dida Devedo, Johannes E. Simangunsong,
Lidwina Putri Astani, Ananda Ion Jahfal, Muhammad Ibadurrahman Arrasyid Supriyanto
Universitas Mulawarman, Samarinda 75119, Indonesia

ARTICLE INFO

Kata Kunci:

beton pracetak; HIRARC;
keselamatan kerja;
pengendalian risiko; tiang
pancang.

*Correspondence email:

chalsimalasari@ft.unmul.ac.id

Submitted: 26 Juli 2026

Revised: 04 Agustus 2026

Accepted: 04 Agustus 2026

Published: 05 Agustus 2026

ABSTRAK

Industri beton pracetak melibatkan penggunaan mesin pembesian, sistem prategang, *batching plant*, *overhead crane*, alat berat, serta aktivitas pengangkatan dan pemindahan beban yang berpotensi menimbulkan kecelakaan kerja. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi bahaya, menilai tingkat risiko, dan merumuskan rekomendasi pengendalian risiko pada proses produksi tiang pancang pracetak di PT X, Kutai Kartanegara. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan metode *Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control* (HIRARC). Data dikumpulkan melalui observasi lapangan, dokumentasi, dan wawancara terhadap empat responden yang dipilih secara *purposive*, yaitu seorang kepala bagian, seorang operator, dan dua pekerja. Tingkat risiko ditentukan berdasarkan kombinasi nilai kemungkinan kejadian (*likelihood*) dan tingkat keparahan dampak (*severity*) menggunakan skala 1–5. Hasil penelitian mengidentifikasi 65 potensi risiko, yang terdiri atas 15 risiko pada pemeriksaan material dan peralatan, 6 risiko pada pekerjaan pembesian, 9 risiko pada persiapan cetakan dan pemasangan tulangan, 22 risiko pada pengecoran dan pengerasan beton, serta 13 risiko pada pembongkaran cetakan, pengendalian mutu, dan penyimpanan produk. Berdasarkan hasil penilaian, ditemukan 40 risiko berkategori rendah, 14 sedang, 6 tinggi, dan 5 ekstrem. Risiko ekstrem terutama berkaitan dengan putus atau pantulan *PC strand*, tertimpa *bucket* beton dan tiang pancang, pemasangan *lifting hook* secara manual, serta pergerakan *crane*, *excavator*, dan tumpukan produk. Pengendalian prioritas yang direkomendasikan meliputi pengurangan aktivitas manual berbahaya, penerapan zona eksklusif dan *safety barrier*, pemasangan *guide rail* serta alarm *crane*, penyusunan SOP pengangkatan, pelatihan terkait *blind spot*, pemasangan rambu keselamatan, dan penggunaan alat pelindung diri yang sesuai.

ABSTRACT

Keywords:

HIRARC; occupational safety;
precast concrete; precast
piles; risk control.

The precast concrete industry involves the use of reinforcement-processing machinery, prestressing systems, batching plants, overhead cranes, heavy equipment, and lifting and material-handling activities that may pose occupational accident risks. This study aims to identify hazards, assess risk levels, and formulate risk-control recommendations for the precast pile production process at PT X, Kutai Kartanegara. A qualitative descriptive approach was employed using the Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control (HIRARC) method. Data were collected through field observations, documentation, and interviews with four respondents selected through purposive sampling, consisting of one section head, one operator, and two workers. Risk levels were determined by combining the likelihood of occurrence and the severity of consequences using a scale of 1–5. The study identified 65 potential risks, comprising 15 risks associated with material and equipment inspection, 6 risks related to reinforcement work, 9 risks arising from mould preparation and reinforcement installation, 22 risks associated with concrete casting and curing, and 13 risks related to mould dismantling, quality control, and product storage. The assessment results classified 40 risks as low, 14 as moderate, 6 as high, and 5 as extreme. The extreme risks were primarily associated with the snapping or recoil of PC strands, workers being struck by concrete buckets or precast piles, the manual installation of lifting hooks, and the movement of cranes, excavators, and stacked products. The recommended priority controls include reducing hazardous manual activities, establishing exclusion zones and safety barriers, installing crane guide rails and warning alarms, developing lifting standard operating procedures, providing blind-spot awareness training, installing safety signage, and ensuring the appropriate use of personal protective equipment.

PENDAHULUAN

Keselamatan dan kesehatan kerja (K3) merupakan upaya sistematis untuk mencegah kecelakaan, cedera, penyakit akibat kerja, kerusakan aset, serta gangguan terhadap keberlangsungan proses produksi. Pada industri

manufaktur, keselamatan tidak dapat dipisahkan dari interaksi manusia, mesin, material, metode, dan lingkungan kerja. Suardi (2007), Ramli (2010), dan Salami et al. (2021) menjelaskan bahwa penerapan K3 bukan hanya memenuhi kewajiban perlindungan pekerja, tetapi juga mengurangi kehilangan jam kerja, biaya kerusakan, dan gangguan produksi. Bahn (2013) menunjukkan bahwa kualitas pengenalan bahaya menentukan kelengkapan penilaian risiko, sedangkan Dallat et al. (2019) menekankan bahwa kecelakaan seharusnya dianalisis sebagai hasil interaksi sistem, bukan semata-mata kesalahan individu.

Industri beton pracetak memiliki karakteristik risiko yang khas. Produksi dilaksanakan dalam lingkungan pabrik yang relatif terkontrol, tetapi melibatkan mesin potong dan bending, pengelasan, PC *strand* bertegangan tinggi, pencampuran beton, alat berat, *overhead crane*, *suspended load*, serta penyimpanan elemen beton dengan massa besar. Produk tiang pancang dibutuhkan untuk menyalurkan beban struktur menuju lapisan tanah yang lebih kuat, sehingga konsistensi proses fabrikasi dan mutu produk menjadi penting (Budiman et al., 2024; Zhussupbekov et al., 2025). Penggunaan sistem pracetak dapat meningkatkan efisiensi dan konsistensi mutu karena produksi berlangsung pada lingkungan yang lebih terkontrol (Koesoema et al., 2023). Namun, kondisi pabrik yang terkontrol tidak menghilangkan bahaya akibat mesin potong dan bending, pengelasan, sistem prategang, listrik, debu, kebisingan, alat berat, *overhead crane*, dan *suspended load*.

Kajian keselamatan konstruksi menunjukkan bahwa tertimpa material, kontak dengan mesin, jatuh, listrik, kebisingan, debu, pengangkatan, serta pergerakan alat berat merupakan kelompok bahaya yang berulang (Almaskati et al., 2024). Pada konstruksi prefabrikasi, kegiatan *hoisting* dan koordinasi antara operator, *signalman*, dan pekerja lapangan memiliki pengaruh besar terhadap kejadian tidak aman (Jeong et al., 2022; Song et al., 2022). Karakter ini relevan dengan pabrik tiang pancang karena sebagian besar produk dan material dipindahkan menggunakan *crane*, *excavator*, *loader*, serta *bucket* beton. Selain itu, proses *stressing* menyimpan energi mekanis yang dapat dilepaskan secara tiba-tiba ketika PC *strand* atau komponen penegang mengalami kegagalan.

Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control (HIRARC) menyediakan urutan kerja yang menghubungkan sumber bahaya dengan tingkat risiko dan tindakan pengendalian. Saedi et al. (2014) menunjukkan bahwa HIRARC dapat digunakan untuk evaluasi terstruktur pada fasilitas pembangkit. Di Indonesia, metode tersebut telah diterapkan pada industri karet (Gunawan & Bendatu, 2015), area produksi furnitur (Ihsan et al., 2016), galangan kapal (Urrohman & Riandadari, 2019; Tambunan et al., 2019), kegiatan *rig service* (Trisaid, 2020), lantai produksi komponen (Ririh, 2021), proyek gedung dan aksesibilitas bandara (Dewantari et al., 2022; Fauziyah et al., 2021), pabrik alat pertanian (Pamungkas & Fitriani, 2022), industri kayu (Santoso et al., 2022), dan proses pengelasan kendaraan (Qamarani & Vikaliana, 2024). Studi-studi tersebut memperlihatkan bahwa HIRARC dapat disesuaikan dengan karakter pekerjaan, tetapi hasilnya sangat dipengaruhi oleh ketelitian identifikasi dan konsistensi kriteria penilaian.

Liu et al. (2023) menyatakan bahwa identifikasi, analisis, evaluasi, dan prioritas risiko merupakan inti manajemen K3, sementara Rantala et al. (2022) menekankan pentingnya keterampilan penilai, dukungan organisasi, dan instrumen yang mudah digunakan. Oleh karena itu, penelitian ini tidak hanya menyajikan skor risiko, tetapi juga memperjelas dasar metodologisnya. Identifikasi bahaya menggunakan rekomendasi *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) untuk industri produk beton pracetak; data wawancara diproses melalui reduksi atau data *condensation*; penilaian risiko menggunakan matriks *likelihood-severity* AS/NZS 4360:2004 dalam kerangka HIRARC; dan analisis akhir mencakup pemeringkatan risiko serta usulan pengendalian berdasarkan hierarki pengendalian.

Kesenjangan penelitian terletak pada masih terbatasnya pemetaan risiko yang mencakup keseluruhan rantai produksi tiang pancang pracetak dari pemeriksaan bahan sampai penyimpanan produk. Sebagian penelitian HIRARC hanya menelaah satu area, mesin, atau aktivitas, sedangkan proses tiang pancang menggabungkan bahaya mekanis, listrik, material, lingkungan, prategang, dan pengangkatan beban berat dalam satu sistem produksi. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi bahaya dan risiko, menentukan tingkat risiko, serta merumuskan usulan pengendalian pada pekerjaan produksi tiang pancang pracetak di PT X, Kutai Kartanegara. Kontribusi praktisnya adalah pemetaan risiko menurut tahapan produksi dan penetapan tindakan prioritas terhadap risiko ekstrem pada *stressing*, pengecoran, *demoulding*, dan penyimpanan.

METODE

Desain Penelitian, Lokasi, dan Responden

Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan desain studi kasus pada pabrik produksi tiang pancang pracetak PT X di Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. Penelitian berlangsung selama 120 hari dari tahap persiapan sampai penarikan kesimpulan. Populasi penelitian adalah tenaga kerja yang terlibat dalam produksi, sedangkan responden dipilih dengan *purposive* sampling berdasarkan pengetahuan, pengalaman, dan keterlibatan langsung dalam proses kerja. Responden berjumlah empat orang, terdiri atas satu kepala bagian, satu

operator, dan dua pekerja. Jumlah tersebut digunakan untuk memperoleh penjelasan mendalam mengenai aktivitas, sumber bahaya, frekuensi kejadian, keparahan, dan pengendalian yang mungkin diterapkan. Temuan wawancara dikonfirmasi melalui observasi langsung dan dokumentasi lapangan.

Pengumpulan Data

Data primer dikumpulkan melalui observasi aktivitas rutin, dokumentasi kondisi kerja, dan wawancara 5W+1H. Komponen pertanyaan meliputi *what* untuk menjelaskan masalah atau bahaya, *why* untuk menelusuri penyebab, *where* untuk menentukan sumber atau lokasi paparan, *who* untuk mengenali pekerja yang terpapar dan penanggung jawab, *when* untuk mengidentifikasi waktu atau kondisi kejadian, serta *how* untuk menggali pengendalian yang telah tersedia atau dapat diterapkan. Data yang dikumpulkan mencakup aktivitas kerja, sumber bahaya, konsekuensi, frekuensi, keparahan, dan pengendalian. Data sekunder meliputi gambaran umum serta struktur organisasi perusahaan.

Sepuluh pekerjaan utama dipetakan menjadi lima kelompok analisis: pemeriksaan material dan alat; pembesian; persiapan cetakan dan pemasangan tulangan; pengecoran dan pengerasan; serta pembongkaran cetakan, *quality control*, dan penyimpanan. Pengelompokan tidak mengubah unit bahaya pada lembar HIRARC, tetapi digunakan untuk membandingkan konsentrasi risiko pada setiap tahap produksi.

Tabel 1. Tahap Produksi dan Ruang Lingkup Identifikasi Risiko

No.	Tahap Produksi	Aktivitas Utama	Jumlah Risiko
1.	Pemeriksaan material dan alat	Pemeriksaan agregat; <i>loader</i> ; <i>batching plant</i> ; <i>overhead crane</i> ; <i>crane</i> ; <i>excavator</i> ; mesin pembesian; <i>hydraulic stressing pump</i>	15
2.	Pembesian	Pembuatan plat, angkur, spiral, <i>beugel</i> , besi penarik, pengelasan, dan mobilisasi pembesian	6
3.	Persiapan cetakan dan pemasangan tulangan	Pembersihan dan pelumasan cetakan, pengukuran, pemasangan plat dan <i>PC strand</i> , serta <i>stressing</i>	9
4.	Pengecoran dan pengerasan	Pengangkutan material, <i>mixing</i> , pemindahan <i>bucket</i> , pengisian, pemadatan, <i>finishing</i> , pemasangan <i>cover</i> , dan <i>curing</i>	22
5.	Pembongkaran, QC, dan penyimpanan	<i>Demoulding</i> , pemotongan sambungan, pencabutan, <i>rebound hammer test</i> , pemindahan, dan penumpukan produk	13

Sumber: Data penelitian (2026)

Identifikasi Bahaya Menggunakan Acuan NIOSH

Identifikasi bahaya menggunakan rekomendasi NIOSH dalam dokumen *Comprehensive Safety Recommendations for the Precast Concrete Products Industry*, NIOSH Publication No. 84-103. Dokumen tersebut digunakan sebagai acuan identifikasi bahaya pada proses produksi beton pracetak dan tidak digunakan sebagai matriks penilaian risiko. Dokumen NIOSH tersebut membahas karakter proses, mesin, tugas pekerja, pola kecelakaan, *housekeeping*, material *handling*, *crane*, *electrical safety*, *machine guarding*, *personal protective equipment*, dan praktik kerja aman pada industri produk beton pracetak (NIOSH, 1984).

Acuan NIOSH digunakan sebagai daftar panduan agar observasi dan wawancara tidak hanya berfokus pada *kecelakaan* yang pernah terjadi. Setiap aktivitas ditinjau terhadap sumber bahaya mekanis, listrik, fisik, ergonomi, material, serta lingkungan. Pada pekerjaan spesifik, pemeriksaan diarahkan pada titik jepit mesin, *rotating or moving parts*, kondisi kabel, jalur alat berat, *suspended load*, debu, kebisingan, akses dan permukaan kerja, serta energi tersimpan pada *PC strand*. Identifikasi menghasilkan pasangan aktivitas–bahaya–konsekuensi yang selanjutnya dinilai melalui HIRARC.

Reduksi Data Wawancara

Data wawancara tidak langsung dimasukkan seluruhnya ke lembar risiko. Informasi terlebih dahulu direduksi untuk mempertajam, merangkum, dan merelevansikan data terhadap tujuan penelitian. Tahap ini mengikuti konsep data *condensation*, yaitu proses memilih, memfokuskan, menyederhanakan, mengabstraksikan, dan mentransformasikan data lapangan agar dapat disusun menjadi informasi yang dapat dibandingkan (Miles et al., 2014). Prosedurnya meliputi: (1) mentranskripsikan jawaban 5W+1H; (2) menghapus pengulangan dan informasi yang tidak berkaitan dengan bahaya, konsekuensi, frekuensi, atau pengendalian; (3) mengelompokkan jawaban berdasarkan aktivitas; (4) menyatukan istilah yang menggambarkan bahaya sama; (5) membandingkan hasil wawancara dengan observasi dan dokumentasi; serta (6) memasukkan informasi terverifikasi ke lembar HIRARC. Dengan prosedur tersebut, reduksi data bukan sekadar memendekkan wawancara, tetapi membangun jejak analisis dari narasi pekerja menuju unit risiko.

Penilaian Risiko HIRARC Menggunakan AS/NZS 4360:2004

Penilaian risiko menggunakan dua parameter, yaitu *likelihood* atau frekuensi kejadian dan *severity* atau tingkat keparahan. Kriteria *likelihood*, *severity*, dan matriks risiko mengacu pada AS/NZS 4360:2004 yang diterbitkan oleh *Standards Australia* dan *Standards New Zealand* (2004), serta mempertimbangkan penerapan HIRARC pada penelitian sebelumnya (Gunawan & Bendatu, 2015; Urrohmah & Riandadari, 2019). Nilai *likelihood* dan *severity* diberikan pada skala 1–5. Penentuan nilai *likelihood* dan *severity* dilakukan berdasarkan hasil observasi lapangan, wawancara, dan dokumentasi. Nilai akhir ditetapkan melalui pembahasan antara peneliti dan responden dengan mempertimbangkan frekuensi paparan, kemungkinan kejadian, tingkat keparahan dampak, serta kondisi pengendalian yang tersedia di lapangan.

Nilai numerik dihitung sebagai $R = L \times S$, tetapi kategori akhir ditetapkan berdasarkan posisi kombinasi L dan S dalam matriks risiko, bukan hanya interval hasil perkalian. Pendekatan ini penting karena kombinasi nilai yang sama dapat memperoleh prioritas berbeda apabila konsekuensinya lebih berat.

$$R = L \times S$$

(1)

Keterangan: R = nilai risiko; L = *likelihood*; S = *severity*.

Tabel 2. Kriteria Likelihood dan Severity

Nilai	Likelihood	Keterangan likelihood	Severity	Keterangan severity
5	Hampir pasti	Kecelakaan terjadi sekitar sekali dalam sebulan	Bencana	Fatal, kerugian sangat besar, dampak luas, dan pekerjaan terhenti
4	Sering	Kecelakaan terjadi dalam rentang 2–10 bulan	Berat	Cedera berat, kerugian berat, dan gangguan produksi
3	Dapat terjadi	Kecelakaan terjadi dalam rentang 1–2 tahun	Sedang	Cedera sedang, membutuhkan penanganan medis, dan kerugian finansial
2	Kadang-kadang	Kecelakaan terjadi dalam rentang 2–5 tahun	Kecil	Cedera ringan dan kerugian kecil
1	Jarang	Kecelakaan terjadi sekitar sekali dalam 5 tahun	Tidak signifikan	Tidak menyebabkan cedera dan tidak berdampak pada pekerjaan

Sumber: AS/NZS 4360:2004 dan instrumen penelitian (2026)

Tabel 3. Matriks Kategori Risiko

Likelihood	S=1	S=2	S=3	S=4	S=5
5	T	T	E	E	E
4	S	T	E	E	E
3	R	S	T	E	E
2	R	R	S	T	E
1	R	R	S	T	T

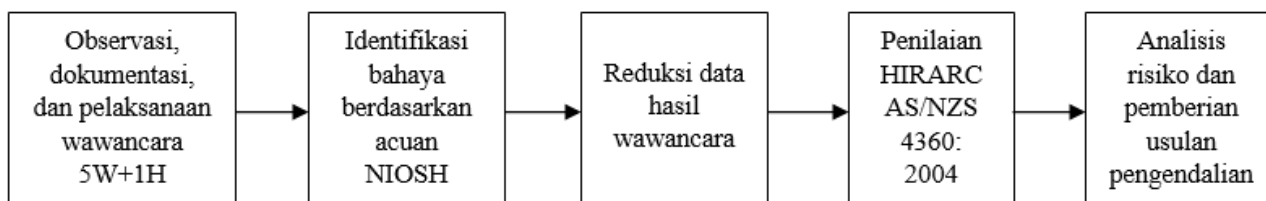
Sumber: Matriks penelitian berbasis AS/NZS 4360:2004 (2026). R = rendah; S = sedang; T = tinggi; E = ekstrem.

Matriks kategori risiko pada Tabel 3 digunakan sebagai instrumen penelitian dengan mengacu pada prinsip *likelihood* dan *severity* AS/NZS 4360:2004 serta disesuaikan dengan kondisi proses produksi di lokasi penelitian.

Analisis Risiko dan Usulan Pengendalian

Analisis risiko dilakukan dengan memetakan setiap nilai *likelihood* dan *severity* ke dalam matriks, menghitung jumlah risiko menurut tahap produksi, serta menentukan kategori rendah, sedang, tinggi, dan ekstrem. Risiko ekstrem dipilih sebagai prioritas utama karena tidak dapat diterima tanpa tindakan segera. Analisis tidak berhenti pada skor, tetapi menelusuri aktivitas, sumber energi, pekerja yang terpapar, kondisi lapangan, dan kemungkinan kegagalan pengendalian yang telah ada.

Usulan pengendalian disusun menggunakan hierarki eliminasi, substitusi, rekayasa teknik, pengendalian administratif, dan APD. Eliminasi dan rekayasa teknik diprioritaskan karena mengurangi bahaya atau memisahkan pekerja dari sumber bahaya, sedangkan APD menjadi lapisan perlindungan terakhir (Ajslev et al., 2022). Rekomendasi dikonsultasikan kepada personel yang memahami kondisi aktual pabrik. Karena penelitian tidak mencakup implementasi, efektivitas usulan belum dinilai sebagai *residual risk*.



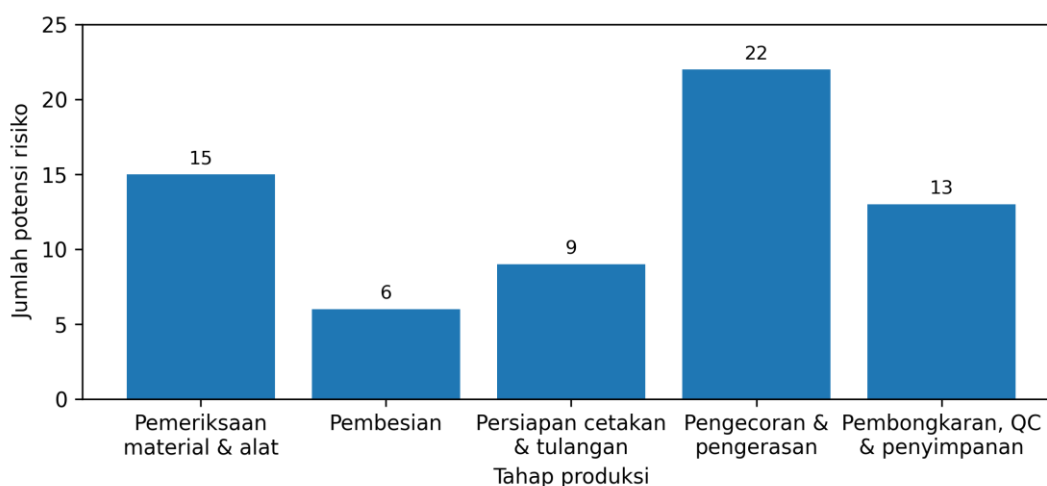
Gambar 1. Alur Pengolahan dan Analisis Data Penelitian

Sumber: Pengembangan dari metode penelitian (2026)

HASIL

Identifikasi Risiko Menurut Tahap Produksi

Hasil observasi, wawancara, dokumentasi, dan reduksi data menghasilkan 65 potensi risiko. Tahap pengecoran dan pengerasan memiliki jumlah tertinggi, yaitu 22 risiko atau 33,85% dari seluruh temuan. Pemeriksaan material dan alat mencakup 15 risiko (23,08%); pembongkaran, *quality control*, dan penyimpanan 13 risiko (20,00%); persiapan cetakan dan pemasangan tulangan 9 risiko (13,85%); serta pembesian 6 risiko (9,23%). Perbedaan sebesar 0,01% pada total persentase disebabkan oleh pembulatan hingga dua angka di belakang koma. Tingginya jumlah temuan pada pengecoran dipengaruhi oleh aktivitas *loader*, *batching plant*, pemindahan *bucket*, *overhead crane*, penggunaan *vibrator* dan *trowel*, serta pekerja yang melakukan perataan beton di sekitar beban bergerak. Rincian lengkap 65 potensi risiko yang memuat aktivitas, bahaya, dampak, nilai *likelihood*, *severity*, nilai risiko, kategori risiko, dan pengendalian yang telah tersedia disajikan pada Lampiran 1.



Gambar 2. Jumlah Potensi Risiko pada Setiap Tahap Produksi

Sumber: Data penelitian (2026)

Pada pemeriksaan material dan alat, bahaya yang ditemukan meliputi debu, kebisingan, sengatan listrik, titik jepit, bagian mesin bergerak, akses area tinggi, pergerakan alat berat, serta jalur kerja tanpa pembatas. Pekerjaan pembesian menimbulkan risiko terjepit mesin *drilling* dan *bar bending*, terkena serpihan besi, percikan pengelasan, kabel listrik, dan gangguan pernapasan. Pada persiapan cetakan, lantai tidak rata dan tumpahan oli menimbulkan risiko tersandung dan terpeleset, sedangkan penarikan *PC strand* memunculkan risiko energi tersimpan yang dapat menyebabkan *strand* putus atau memantul.

Pada pengecoran dan pengerasan, kombinasi bahaya menjadi lebih kompleks karena *bucket* beton dipindahkan dengan *overhead crane* di atas atau dekat pekerja. Bahaya lain berasal dari pergerakan *loader*, kebisingan dan debu *batching plant*, kabel listrik, *vibrator*, *trowel*, permukaan cetakan, serta handling manual. Pada pembongkaran dan penyimpanan, pemasangan *lifting hook*, pencabutan tiang pancang, pemindahan dengan *crane* atau *excavator*, dan tumpukan produk menimbulkan risiko tertimpa, terjepit, tertabrak, serta terpapar *blind spot* alat berat.

Distribusi Tingkat Risiko

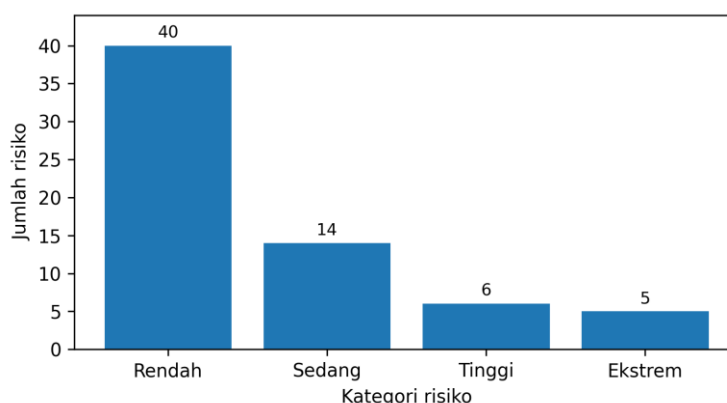
Berdasarkan rekapitulasi akhir penelitian, 40 risiko atau 61,54% berada pada kategori rendah, 14 risiko atau 21,54% kategori sedang, 6 risiko atau 9,23% kategori tinggi, dan 5 risiko atau 7,69% kategori ekstrem. Dominasi risiko rendah tidak berarti proses produksi dapat dinyatakan aman tanpa perbaikan. Risiko ekstrem dan tinggi

memiliki konsekuensi cedera berat atau fatal, sedangkan risiko rendah yang sering terpapar tetap membutuhkan *housekeeping*, inspeksi, pemeliharaan, dan APD.

Tabel 4. Rekapitulasi Tingkat Risiko

Kategori	Jumlah	Persentase	Makna penanganan
Rendah	40	61,54%	Dapat ditoleransi dengan pemantauan, <i>housekeeping</i> , inspeksi, dan kepatuhan APD.
Sedang	14	21,54%	Memerlukan tindakan pengurangan risiko melalui prosedur, pemeliharaan, dan pengawasan.
Tinggi	6	9,23%	Memerlukan pengendalian cermat dan pembatasan paparan sebelum aktivitas diteruskan.
Ekstrem	5	7,69%	Tidak dapat diterima tanpa tindakan pengendalian segera.

Sumber: Data penelitian (2026)



Gambar 3. Distribusi Kategori Risiko

Sumber: Data penelitian (2026)

Risiko Ekstrem dan Kondisi Lapangan

Lima risiko ekstrem terdapat pada penarikan *PC strand*, pengisian beton, pencabutan tiang pancang, pemasangan *lifting hook*, dan pemindahan menuju area penyimpanan. Nilai tertinggi sebesar 16 ditemukan pada risiko tertimpa beban saat pencabutan serta tertabrak atau tertimpa pergerakan *crane*, *excavator*, beban gantung, dan tumpukan produk. Risiko *PC strand* memperoleh nilai 15 karena konsekuensinya dinilai bencana, meskipun frekuensinya lebih rendah. Dua risiko bernilai 12 terjadi pada *suspended bucket* saat pengisian beton dan pemasangan *lifting hook* secara manual.

Tabel 5. Risiko Ekstrem pada Produksi Tiang Pancang Pracetak

Kode	Aktivitas	Bahaya/kejadian	Dampak	L	S	R
3.3.4	Penarikan PC strand	Tertembak tekanan <i>strand</i> yang memantul atau putus	Cedera serius	3	5	15
4.3.3	Pengisian beton segar	Tertimpa beban gantung atau <i>bucket</i> beton	Cedera berat	4	3	12
5.2.3	Pencabutan dan peletakan tiang pancang	Terjepit atau tertimpa saat pemasangan <i>lifting hook</i>	Cedera berat	4	3	12
5.2.5	Pencabutan tiang pancang	Tertimpa beban gantung	Cedera berat	4	4	16
5.4.2	Pemindahan tiang pancang	Tertabrak/tertimpa <i>crane</i> , <i>swing excavator</i> , beban, atau tumpukan produk	Cedera berat	4	4	16

Sumber: Data penelitian (2026)

Usulan Pengendalian Risiko Ekstrem

Pengendalian dirumuskan dengan memprioritaskan pemisahan pekerja dari sumber energi dan beban. Pada *stressing*, *safety barrier* perlu menutup seluruh sisi yang berpotensi terkena *line of fire*, bukan hanya satu sisi. Pada pengecoran, ayunan *bucket* perlu dikurangi dengan *guide rail* atau sistem pengarah, sementara alarm dan zona larangan mencegah pekerja berada di bawah *suspended load*. Pada *demoulding*, pemasangan *hook* manual harus dieliminasi atau dikurangi menggunakan alat bantu yang dirancang dan diverifikasi sesuai bentuk serta kapasitas produk. Pada penyimpanan, jumlah pekerja di area pergerakan alat perlu dibatasi dan komunikasi operator–signalman harus distandarkan.

Tabel 6. Prioritas Pengendalian Risiko Ekstrem

Kode	Usulan pengendalian	Tingkat hierarki	Dasar kondisi lapangan
3.3.4	Memasang <i>safety barrier</i> menyeluruh pada seluruh arah potensi pantulan; membentuk zona eksklusi; memasang rambu; menerapkan SOP larangan memasuki area saat <i>stressing</i> ; menginspeksi <i>strand</i> dan komponen penegang sebelum operasi.	Rekayasa teknik dan administratif	Barrier yang ada hanya melindungi satu sisi dan pernah mengalami kerusakan; area mudah diakses tanpa pembatas yang memadai.
4.3.3	Memasang <i>guide rail</i> atau sistem pengarah <i>bucket</i> ; memasang alarm saat <i>overhead crane</i> bergerak; menetapkan jalur dan zona larangan; melarang pekerja berada di bawah <i>suspended load</i> .	Rekayasa teknik dan administratif	Bucket dapat berayun akibat pergerakan <i>overhead crane</i> dan pekerja melakukan aktivitas dekat lintasan beban.
5.2.3	Menghilangkan pemasangan <i>lifting hook</i> secara manual sejauh layak; menggunakan <i>lifting clamp/lifter</i> atau alat bantu terverifikasi; memasang <i>guard rail</i> dan rambu; menerapkan SOP <i>rigging</i> .	Eliminasi/substitusi, rekayasa teknik, dan administratif	<i>Hook</i> dipasang secara manual pada besi penarik sehingga tangan dan tubuh pekerja berada pada titik jepit.
5.2.5	Membentuk batas aman dan zona eksklusi saat pencabutan; menggunakan signalman; memeriksa <i>sling</i> , <i>hook</i> , dan titik angkat; melarang pekerja berada pada lintasan beban.	Rekayasa teknik dan administratif	Area cetakan terbuka serta belum memiliki batas aman dan rambu bahaya yang konsisten.
5.4.2	Mengurangi personel yang tidak berkepentingan; mengatur jalur <i>crane/excavator</i> ; memberikan pelatihan <i>blind spot</i> ; menetapkan <i>signalman</i> ; memasang pembatas, rambu, dan tata letak tumpukan yang stabil.	Eliminasi, rekayasa teknik, dan administratif	Pemandu alat berada dekat <i>swing radius</i> , jalur pergerakan, beban gantung, dan tumpukan produk.

Sumber: Hasil analisis dan usulan penelitian (2026)

Pembahasan

Tahap pengecoran dan pengerasan menghasilkan jumlah risiko paling banyak karena mempertemukan mesin, alat berat, pekerja manual, listrik, beton segar, kebisingan, debu, dan *suspended load* dalam ruang produksi yang sama. Pola ini sejalan dengan Gunawan dan Bendatu (2015), Pamungkas dan Fitriani (2022), serta Qamarani dan Vikaliana (2024), yang menunjukkan bahwa area dengan interaksi mesin-pekerja dan material bergerak cenderung memiliki variasi bahaya lebih besar. Jumlah risiko tidak dapat diartikan langsung sebagai tingkat bahaya keseluruhan; aktivitas dengan sedikit temuan dapat lebih kritis ketika melibatkan energi tinggi, seperti *PC strand* dan beban gantung.

Penggunaan acuan NIOSH membantu memperluas identifikasi dari daftar kecelakaan yang pernah dialami menjadi pemeriksaan sistematis terhadap proses, tugas, mesin, material *handling*, dan kondisi area kerja. NIOSH (1984) secara khusus menerbitkan rekomendasi untuk industri produk beton pracetak, sehingga relevansinya lebih kuat daripada pedoman umum yang tidak mempertimbangkan proses fabrikasi beton. Namun, NIOSH tidak digunakan untuk menghasilkan skor *likelihood* dan *severity*. Fungsi acuan tersebut dibatasi pada tahap *hazard identification*, sedangkan penilaian menggunakan matriks AS/NZS. Pemisahan fungsi ini penting agar pembaca tidak menganggap “standar NIOSH” sebagai metode pemeringkatan risiko.

Reduksi data berperan dalam menghubungkan wawancara kualitatif dengan lembar HIRARC. Jawaban pekerja sering memuat urutan kejadian, opini, pengulangan, dan istilah lokal. Tanpa prosedur reduksi yang jelas, peneliti dapat memilih informasi secara subjektif atau menghitung satu bahaya sebagai beberapa risiko yang sebenarnya sama. Konsep data condensation Miles et al. (2014) menempatkan pemilihan, pemfokusan, pengelompokan, *display*, dan verifikasi sebagai bagian analisis yang saling berulang. Dalam penelitian ini, triangulasi sederhana dilakukan dengan membandingkan jawaban responden terhadap observasi dan dokumentasi, lalu menyusun aktivitas-bahaya-dampak. Keterbatasannya, penelitian belum melaporkan coding antarpemilai atau ukuran kesepakatan responden.

Matriks AS/NZS 4360:2004 memberikan cara yang praktis untuk memprioritaskan kombinasi peluang dan konsekuensi. Saedi et al. (2014), Ihsan et al. (2016), dan Urrohman dan Riandadari (2019) menunjukkan bahwa matriks semikuantitatif mudah digunakan pada lingkungan kerja dengan data kecelakaan terbatas. Meski demikian, Liu et al. (2023) mengingatkan bahwa matriks risiko memiliki unsur subjektivitas, terutama pada penentuan batas kategori dan interpretasi frekuensi. Selain itu, AS/NZS 4360:2004 telah berstatus *superseded* sebagai standar manajemen risiko. Penggunaannya dalam penelitian ini dipertahankan karena merupakan instrumen yang digunakan dalam proses pengumpulan dan analisis data; penelitian berikutnya dapat memadukan prinsip ISO 31000 dengan kriteria K3 yang lebih spesifik dan melakukan uji sensitivitas terhadap perubahan skor.

Risiko PC strand menunjukkan bahwa *severity* harus menjadi perhatian walaupun kejadian tidak sering. Pantulan atau putusya strand dapat melepaskan energi tinggi pada *line of fire*. *Safety barrier* yang hanya terpasang pada satu sisi dan telah rusak tidak cukup untuk mengendalikan arah kegagalan yang mungkin berubah. Usulan *barrier* menyeluruh, inspeksi sebelum *stressing*, zona eksklusi, dan SOP larangan masuk lebih sesuai dengan prinsip

rekayasa teknik. Dallat et al. (2019) menegaskan perlunya melihat interaksi sistem, sehingga kegagalan tidak dibebankan pada kewaspadaan pekerja saja. Ajslev et al. (2022) juga menunjukkan bahwa visualisasi hierarki pengendalian membantu mengarahkan tindakan dari ketergantungan pada APD menuju perubahan sumber bahaya dan desain kerja.

Empat dari lima risiko ekstrem berkaitan langsung dengan *lifting* dan pergerakan alat. Hasil ini konsisten dengan penelitian prefabrikasi yang menempatkan *hoisting*, koordinasi, perilaku tidak aman, kondisi alat, dan pengawasan sebagai faktor kecelakaan penting (Jeong et al., 2022; Song et al., 2022). Pada industri perbaikan kapal, Tambunan et al. (2019) juga merekomendasikan alat bantu angkat, perawatan, SOP, dan penataan area untuk mengendalikan risiko beban berat. Oleh sebab itu, *lifting plan*, pemeriksaan *sling* dan *hook*, penetapan kapasitas, *signalman*, komunikasi standar, *exclusion zone*, serta larangan berada di bawah beban harus menjadi bagian sistem operasi, bukan tindakan sesaat setelah inspeksi.

Usulan *vacuum lifter* atau *magnetic lifter* yang tertulis dalam skripsi perlu diperlakukan sebagai konsep eliminasi aktivitas manual, bukan keputusan alat yang dapat langsung diterapkan. Beton bukan material feromagnetik, sehingga *magnetic lifter* hanya mungkin bekerja pada komponen baja yang dirancang sebagai titik angkat, bukan pada badan beton. *Vacuum lifter* juga memerlukan permukaan, kapasitas, faktor keselamatan, sumber daya, dan uji beban yang sesuai. Oleh karena itu, artikel ini memperluas istilahnya menjadi *lifting clamp*, *lifter*, atau alat bantu terverifikasi berdasarkan desain *engineering*. Penyesuaian tersebut menjaga tujuan pengendalian—menjauhkan tangan dan tubuh pekerja dari titik jepit—tanpa mengklaim kelayakan teknis alat tertentu yang belum diuji.

Risiko rendah dan sedang tetap memerlukan pengelolaan. Debu, kebisingan, serpihan logam, permukaan tidak rata, kabel, dan *handling* manual dapat menimbulkan paparan berulang. Santoso et al. (2022), Ririh (2021), dan Dewantari et al. (2022) menunjukkan bahwa *housekeeping*, *preventive maintenance*, inspeksi, pelatihan, *safety talk*, serta kepatuhan APD diperlukan untuk mempertahankan risiko pada tingkat yang dapat ditoleransi. Rantala et al. (2022) menambahkan bahwa kemampuan penilaian risiko harus didukung organisasi, sehingga hasil HIRARC perlu diterjemahkan menjadi penanggung jawab, tenggat, status tindakan, dan evaluasi efektivitas.

Implikasi praktis penelitian adalah perlunya program perbaikan bertahap. Tahap pertama menangani lima risiko ekstrem melalui pengendalian teknik dan administratif. Tahap kedua menangani risiko tinggi dan sedang melalui *guarding* mesin, pemeliharaan, pembenahan jalur, pengendalian debu dan kebisingan, serta inspeksi listrik. Tahap ketiga mempertahankan risiko rendah melalui *housekeeping* dan pengawasan. HIRARC perlu diperbarui saat terdapat perubahan metode kerja, alat, kapasitas produksi, tata letak, atau *near miss*. Setelah tindakan diterapkan, perusahaan perlu menghitung *residual risk* untuk membuktikan bahwa risiko telah turun ke tingkat yang dapat diterima.

Penelitian memiliki keterbatasan karena dilakukan pada satu pabrik dan menggunakan empat responden. Penilaian *likelihood* dan *severity* dipengaruhi pengalaman responden dan kondisi observasi. Paparan debu dan kebisingan belum diukur secara instrumental; riwayat *near miss* belum dianalisis secara statistik; usulan belum diuji biaya dan kelayakan *engineering*; serta *residual risk* belum dihitung. Penelitian lanjutan dapat menambah responden, melakukan validasi panel ahli, mengukur lingkungan kerja, menilai keandalan alat angkat, menghitung *residual risk*, dan membandingkan biaya pengendalian dengan potensi kerugian kecelakaan.

SIMPULAN

Produksi tiang pancang pracetak di PT X memiliki 65 potensi risiko yang tersebar pada lima tahap pekerjaan. Tahap pengecoran dan pengerasan menghasilkan temuan terbanyak, yaitu 22 risiko, diikuti pemeriksaan material dan alat 15 risiko, pembongkaran hingga penyimpanan 13 risiko, persiapan cetakan dan pemasangan tulangan 9 risiko, serta pembesian 6 risiko. Penilaian menggunakan matriks *likelihood–severity* menghasilkan 40 risiko rendah, 14 sedang, 6 tinggi, dan 5 ekstrem. Risiko ekstrem berkaitan dengan putus atau pantulan *PC strand*, *bucket* dan tiang pancang sebagai *suspended load*, pemasangan *lifting hook* secara manual, serta pergerakan *crane*, *excavator*, dan tumpukan produk. Identifikasi bahaya menggunakan rekomendasi NIOSH untuk industri produk beton pracetak, data wawancara direduksi melalui pemilihan dan pengelompokan informasi relevan, sedangkan penilaian menggunakan matriks AS/NZS 4360:2004 dalam kerangka HIRARC. Pengendalian prioritas terdiri atas eliminasi aktivitas manual berbahaya, *safety barrier* menyeluruh, zona eksklusi, *guide rail*, alarm *crane*, alat bantu angkat yang terverifikasi, SOP *stressing* dan *lifting*, *signalman*, pelatihan *blind spot*, rambu, serta APD. Efektivitas pengendalian perlu dikonfirmasi melalui implementasi dan penilaian *residual risk*.

DAFTAR PUSTAKA

Ajslev, J.Z.N., Møller, J.L., Andersen, M.F., Pirzadeh, P. & Lingard, H. (2022). *The hierarchy of controls as an approach to visualize the impact of occupational safety and health coordination*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(5), 2731. <https://doi.org/10.3390/ijerph19052731>.

- Almaskati, D., Kermanshachi, S., Pamidimukkala, A., Loganathan, K. & Yin, Z. (2024). *A review on construction safety: Hazards, mitigation strategies, and impacted sectors*. Buildings, 14(2), 526. <https://doi.org/10.3390/buildings14020526>.
- Bahn, S. (2013). *Workplace hazard identification and management: The case of an underground mining operation*. Safety Science, 57, 129–137. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.01.010>.
- Budiman, R., Setiadi, M. & Pranoto, W.A. (2024). *Studi kelayakan investasi usaha produksi tiang pancang*. JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil, 7(3), 1073–1082. <https://doi.org/10.24912/jmts.v7i3.28179>.
- Dallat, C., Salmon, P.M. & Goode, N. (2019). *Risky systems versus risky people: To what extent do risk assessment methods consider the systems approach to accident causation? A review of the literature*. Safety Science, 119, 266–279. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.03.012>.
- Dewantari, N.M., Umyati, A. & Falah, F. (2022). *Hazard identification risk assessment and risk control (HIRARC) pada pembangunan gedung business center*. Journal Industrial Servicess, 8(1), 1–6. <https://doi.org/10.36055/jiss.v8i1.14405>.
- Fauziyah, S., Susanti, R. & Nurjihad, F. (2021). *Risk assessment for occupational health and safety of Soekarno-Hatta International Airport accessibility project through HIRARC method*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 700, 012048. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/700/1/012048>.
- Gunawan, A.A. & Bendatu, L.Y. (2015). *Perbaikan keselamatan dan kesehatan kerja dengan metode HIRARC di PT Sumber Rubberindo Jaya*. Jurnal Titra, 3(2), 421–426.
- Ihsan, T., Edwin, T. & Irawan, R.O. (2016). *Analisis risiko K3 dengan metode HIRARC pada area produksi PT Cahaya Murni Andalas Permai*. Jurnal Kesehatan Masyarakat Andalas, 10(2), 179–185. <https://doi.org/10.24893/jkma.v10i2.204>.
- Jeong, G., Kim, H., Lee, H.-S., Park, M. & Hyun, H. (2022). *Analysis of safety risk factors of modular construction to identify accident trends*. Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 21(3), 1040–1052. <https://doi.org/10.1080/13467581.2021.1877141>.
- Koesoema, H.C., Kushartomo, W. and Prabowo, A. (2023). *Analisis penggunaan beton pracetak di proyek pembangunan Mall XYZ Kota Wisata*. JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil, 6(2), 407–414. <https://doi.org/10.24912/jmts.v6i2.23026>.
- Liu, R., Liu, H.-C., Shi, H. & Gu, X. (2023). *Occupational health and safety risk assessment: A systematic literature review of models, methods, and applications*. Safety Science, 160, 106050. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.106050>.
- Miles, M.B., Huberman, A.M., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook* (3rd ed.). SAGE Publications.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), 1984. *Comprehensive Safety Recommendations for the Precast Concrete Products Industry*. DHHS (NIOSH) Publication No. 84-103. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services.
- Pamungkas, W.J. & Fitriani, R. (2022). *Analisis potensi kecelakaan kerja di pabrik peralatan pertanian dengan hazard identification risk assessment and risk control (HIRARC)*. Journal Industrial Servicess, 8(1), 7–13. <https://doi.org/10.36055/jiss.v8i1.14132>.
- Qamarani, A.S. and Vikaliana, R. (2024). *Application of the hazard identification risk assessment and risk control method in the welding frame body process: A case study in an Indonesian company*. JENIUS: Jurnal Terapan Teknik Industri, 5(1), 1–13. <https://doi.org/10.37373/jenius.v5i1.457>.
- Rantala, M., Lindholm, M. & Tappura, S. (2022). *Supporting occupational health and safety risk assessment skills: A case study of five companies*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(3), 1720. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031720>.
- Ramli, S. (2010). *Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja OHSAS 18001*. Dian Rakyat.
- Ririh, K.R. (2021). *Analisis risiko kecelakaan kerja menggunakan metode HIRARC dan diagram fishbone pada lantai produksi PT DRA Component Persada*. Go-Integratif: Jurnal Teknik Sistem dan Industri, 2(2), 135–152. <https://doi.org/10.35261/gijtsi.v2i2.5658>.
- Saedi, A.M., Thambirajah, J.J. & Pariatamby, A. (2014). *A HIRARC model for safety and risk evaluation at a hydroelectric power generation plant*. Safety Science, 70, 308–315. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.05.013>.
- Salami, I.R.S., Arismunandar, W., Soebaryo, R. W., Tjahaja, P. I., Soemirat, J., Roosmini, D., Oginawati, K., & Ariesyady, H. D. (2021). *Kesehatan dan Keselamatan Lingkungan Kerja* (Edisi revisi). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Santoso, D.O., Kurniawan, M.D. & Hidayat, H. (2022). *Analisa risiko keselamatan dan kesehatan kerja menggunakan metode HIRARC di PT Inhutani 1 UMI Gresik*. Jurnal Media Teknik dan Sistem Industri, 6(1), pp.12–20. <https://doi.org/10.35194/jmts.v6i1.1580>.

- Song, Y., Wang, J., Liu, D. & Guo, F. (2022). *Study of occupational safety risks in prefabricated building hoisting construction based on HFACS-PH and SEM*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(3), 1550. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031550>.
- Standards Australia and Standards New Zealand. (2004). *AS/NZS 4360:2004 risk management*. Standards Australia/Standards New Zealand.
- Suardi, R. (2007). *Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja*. Penerbit PPM.
- Tambunan, W., Zudhari, F.I. & Prawita, T.A. (2019). *Analisis risiko keselamatan dan kesehatan kerja menggunakan metode HIRARC pada proses perbaikan kapal tugboat: Studi kasus PT Marga Surya Shipindo, Samarinda*. Journal of Industrial and Manufacture Engineering, 3(1), 33–41. <https://doi.org/10.31289/jime.v3i1.2525>.
- Trisaid, S.N. (2020). *Analisis risiko kecelakaan kerja pada kegiatan rig service menggunakan metode HIRARC dengan pendekatan FTA*. Jurnal Ilmiah Teknik Industri, 8(1), 25–33. <https://doi.org/10.24912/jitiuntar.v8i1.6343>.
- Urrohmah, D.S. & Riandadari, D. (2019). *Identifikasi bahaya dengan metode Hazard Identification, Risk Assessment and Risk Control (HIRARC) dalam upaya memperkecil risiko kecelakaan kerja di PT PAL Indonesia*. Jurnal Pendidikan Teknik Mesin, 8(1), 34–40.
- Zhussupbekov, A., Kaliakin, V., Ashkey, Y., Bazilov, R., Montayeva, A. & Omarov, A. (2025). *Static and dynamic testing of precast concrete joint piles installed with pre-drilling*. Transportation Infrastructure Geotechnology, 12, article 274. <https://doi.org/10.1007/s40515-025-00705-6>.