HJK HOLISTIK JURNAL KESEHATAN
ISSN 1978-3337 (Print)
ISSN 2620-7478 (Online)
DOI: 10.33024
Nomor: 79/E/KPT/2023

INFORMASI ARTIKEL
Received: July, 04, 2026
Revised: August, 26, 2026
Available online: August, 29, 2026
at: https://e-jurnal.iphorr.com/index.php/hjk

Kajian faktor pendorong dan penghambat penerapan SMK3 berbasis digitalisasi konstruksi: Sebuah tinjauan sistematis

Pinatih Tiansa Putranti*, Mila Tejamaya

Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia
Korespondensi penulis: Pinatih Tiansa Putranti. *Email: pinatih.tiansa@ui.ac.id

Abstract

Background: The global construction sector continues to face high rates of workplace accidents. Digital transformation offers significant potential to shift safety management from a reactive to a predictive approach; however, its field implementation still faces various operational challenges.
Purpose: To identify and analyze the drivers and barriers associated with the implementation of digitalization-based Occupational Health and Safety Management Systems (OHSMS) in the construction sector.
Method: A systematic review was conducted using PRISMA guidelines, evaluating six relevant articles regarding the integration of digital technology and OHSMS. Literature searches were performed via the Garuda and Google Scholar platforms; keywords included "Construction Digitalization," "Occupational Health and Safety Management System (OHSMS)," "Building Information Modeling (BIM)," "Construction Safety Technology," and "Digital Integration Barriers" within the context of the Indonesian construction industry.
Results: The integration of technologies such as BIM, artificial intelligence (AI), and drones enables early hazard detection and provides objective monitoring. However, implementation is hindered by three main obstacles: financial burdens (capital/operational expenditures) and technical/environmental vulnerabilities; skills gaps resulting from inadequate training; and cultural resistance alongside privacy concerns among workers.
Conclusion: Digital technology essentially serves as a supporting tool. Successful implementation of digital OHSMS absolutely requires financial commitment from management, continuous human resource training, and the strict enforcement of sanctions.

Keywords: Barriers; Construction Digitalization; Drivers; Occupational Health and Safety Management System.

PENDAHULUAN

Sejalan dengan laju pembangunan nasional, keselamatan dan kesehatan pekerja masih menjadi tantangan utama dalam sektor ketenagakerjaan di Indonesia. Berdasarkan data BPJS Ketenagakerjaan pada periode 2023, sektor konstruksi menyumbang 31.9% dari total kecelakaan kerja, dengan faktor penyebab utama meliputi jatuh dari ketinggian (26%), benturan (12%), dan tertimpa alat berat (9%). Tingginya angka insiden ini berakar pada karakteristik lingkungan kerja konstruksi di mana pekerja sering kali terkonsentrasi pada lokasi proyek yang relatif sempit, area di ketinggian, serta dihadapkan pada berbagai paparan bahaya ekstrem. Kondisi ini menempatkan pekerja pada risiko tinggi terhadap peristiwa tidak terduga yang dapat menimbulkan kerugian waktu, harta benda, hingga korban jiwa dalam operasional industri (Pratama, 2024).

Menghadapi risiko bawaan tersebut, penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) harus dijadikan prioritas utama dan bagian integral dari keberlangsungan usaha. K3 bukan sekadar pemenuhan kewajiban, melainkan fondasi penting yang berdampak langsung pada perlindungan tenaga kerja, kepercayaan pekerja, produktivitas, hingga

DOI: https://doi.org/10.33024/hjk.v20i6.3807

peningkatan daya saing nasional. Namun, realita tingginya angka kecelakaan di sektor konstruksi menunjukkan bahwa upaya proteksi pekerja di lapangan belum sepenuhnya optimal, sehingga menuntut adanya penguatan sistem keselamatan kerja secara lebih terstruktur, berkelanjutan, dan menyeluruh (Noviana, 2026).

Melalui Peraturan Pemerintah (PP) No. 50 Tahun 2012, pemerintah secara tegas memberikan arahan mengenai kewajiban penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) secara sistematis dan terintegrasi bagi perusahaan yang memiliki lebih dari 100 pekerja atau bergerak di sektor dengan tingkat risiko tinggi (Fatimah et al., 2025). Meskipun regulasi ini sangat krusial untuk menjamin terciptanya lingkungan kerja yang aman, sehat, dan produktif, realita implementasinya di Indonesia masih menunjukkan kesenjangan signifikan yang dipicu oleh faktor pemahaman, budaya, psikologis pekerja, serta batasan teknis seperti anggaran, sarana, dan prasarana (Romadin, 2025). Padahal, keberhasilan suatu proyek konstruksi sangat ditentukan oleh interaksi yang kuat antara aspek perencanaan, pelaksanaan, dan pengendalian, yang bermakna bahwa SMK3 harus diposisikan sebagai elemen integral dalam manajemen operasional dan bukan sekadar pemenuhan formalitas terhadap kewajiban regulasi semata (Ervianto, 2023).

Mengikuti perkembangan ini, perkembangan untuk menjadikan K3 terintegrasi dengan teknologi menjadi sebuah pintu yang terbuka lebar. Kendati tertinggal dari sektor lain, namun perkembangan teknologi K3 utamanya dalam konstruksi terus berkembang (Abioye et al., 2021). Perkembangan utama yang diminati yakni menjadikan perangkat lunak yang andal dan bertindak layaknya asisten seperti *Google Home* ataupun *Amazon.* Sebuah perusahaan di inggris saat ini tengah mengembangkan sistem berbasi kecerdasan buatan untuk improvisasi komunukasi dengan mengganti dokumen berbasis kertas dan telfon menjadi sistem yang diaktivasi suara dan informasi visual yang mencakup informasi proyek (Jallow et al., 2023).

Keberhasilan implementasi Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3), khususnya yang mengintegrasikan teknologi digital, tidak dapat dicapai hanya dengan mengandalkan ketersediaan dan kecanggihan infrastruktur fisik semata. Lebih dari itu, efektivitas sistem ini sangat bergantung pada dinamika faktor pendorong kesuksesan (*critical success factors*) dan hambatan (*barriers*) operasional yang saling berinteraksi di lapangan. Keunggulan dalam manajemen keselamatan kerja menuntut adanya model evaluasi terstruktur yang memungkinkan pengambilan langkah preventif dan proaktif guna mereduksi risiko sekaligus meningkatkan perlindungan pekerja secara menyeluruh (da Silva & Amaral, 2019). Oleh karena itu, penerapan SMK3 yang ideal memerlukan pemahaman yang holistik terhadap kendala sistemik, ketersediaan sumber daya, serta tingkat komitmen nyata dari para praktisi keselamatan dan manajemen di berbagai tingkatan proyek konstruksi (Yiu et al., 2018).

Dalam upaya mengevaluasi efektivitas penerapan sistem keselamatan ini secara sistematis, diperlukan sebuah kerangka ukur yang spesifik dan teruji di sektor konstruksi. Berdasarkan studi fundamental terkait program keselamatan konstruksi, terdapat tujuh indikator utama yang merepresentasikan faktor pendorong dan penghambat kinerja K3, yaitu: dukungan manajemen (*management support*), tujuan yang jelas dan realistis (clear and reasonable objectives), sikap individu (*personal attitude*), kerja sama tim (*teamwork*), penegakan regulasi yang efektif (*effective enforcement*), pelatihan keselamatan (*safety training*), dan pengawasan yang memadai (*suitable supervision*) (Al Haadir & Panuwatwanich, 2011). Saat ini, meskipun tren digitalisasi konstruksi di Indonesia terus berkembang, potensinya belum dieksplorasi secara mendalam melalui kacamata ketujuh indikator tersebut, sehingga sering kali bermuara pada kesenjangan operasional antara perencanaan digital yang ideal dengan eksekusi keselamatan aktual di area kerja.

Berangkat dari kesenjangan tersebut, diperlukan sebuah kajian komprehensif yang mampu memetakan secara presisi bagaimana intervensi teknologi digital berinteraksi dengan realitas penerapan SMK3. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis secara mendalam faktor pendorong serta penghambat penerapan SMK3 berbasis digitalisasi konstruksi dengan menggunakan parameter ketujuh indikator keselamatan tersebut. Melalui pendekatan *systematic literature review*, kajian ini tidak hanya diorientasikan untuk mengurai kendala-kendala teknis dari adopsi teknologi, tetapi juga untuk menggali wawasan strategis dari dimensi manajerial dan perilaku pekerja (da Silva & Amaral, 2019). Pemahaman yang utuh

Pinatih Tiansa Putranti*, Mila Tejamaya

Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia
Korespondensi penulis: Pinatih Tiansa Putranti. *Email: pinatih.tiansa@ui.ac.id

DOI: https://doi.org/10.33024/hjk.v20i6.3807

terhadap pendorong dan penghambat ini diharapkan dapat menjadi landasan esensial guna merumuskan strategi optimalisasi efektivitas K3 yang adaptif, terukur, dan berkelanjutan di era digital.

METODE

Penelitian *systematic literature review* ini mengikuti pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). Pencarian literatur dilakukan melalui platform Garuda dan Google Scholar untuk menjamin cakupan artikel ilmiah nasional dan internasional yang relevan. Rentang waktu pencarian dibatasi pada 10 tahun terakhir, guna menangkap perkembangan teknologi digital konstruksi yang paling mutakhir. Kata kunci yang digunakan dalam proses pencarian meliputi "Digitalisasi Konstruksi", "Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3)", "Building Information Modeling (BIM)", "Teknologi Keselamatan Konstruksi", dan "Hambatan Integrasi Digital" dalam konteks industri konstruksi di Indonesia.

Kriteria inklusi yang ditetapkan dalam tinjauan sistematis ini adalah artikel dipublikasikan dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris, fokus penelitian berkaitan dengan implementasi teknologi digital (seperti BIM, Drone, AI, atau platform web) pada sektor konstruksi di Indonesia, serta artikel memuat data mengenai efektivitas integrasi teknologi terhadap SMK3 serta analisis mengenai hambatan implementasinya di lapangan.

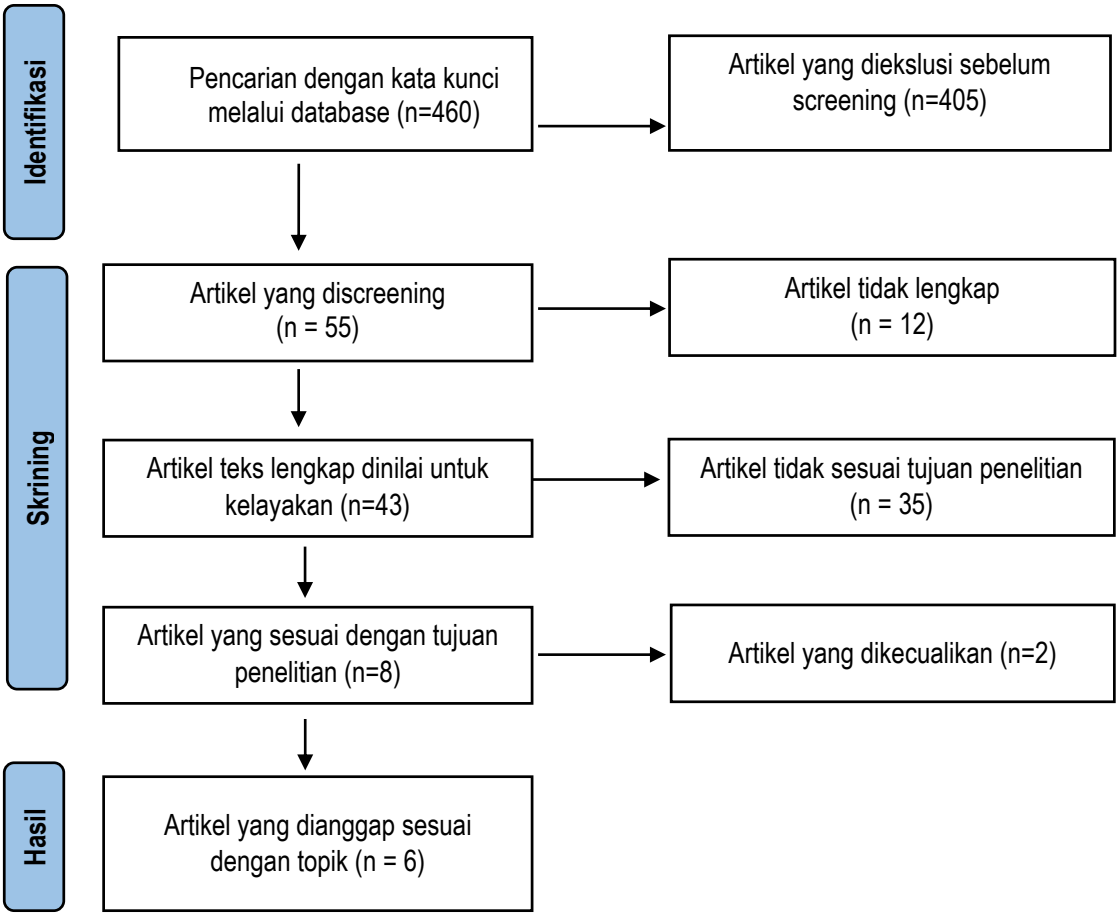
Sementara itu, kriteria eksklusi dalam penelitian ini, meliputi artikel yang hanya berupa tinjauan pustaka (*literature review*) atau opini tanpa didukung data primer atau studi kasus spesifik, penelitian mengenai digitalisasi konstruksi yang tidak bersinggungan dengan aspek keselamatan dan kesehatan kerja (K3), serta naskah lengkap (*full-text*) artikel tidak dapat diakses atau tidak tersedia secara publik. Berdasarkan artikel yang review, seluruhnya berasal dari Indonesia.

Pinatih Tiansa Putranti*, Mila Tejamaya

Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia
Korespondensi penulis: Pinatih Tiansa Putranti. *Email: pinatih.tiansa@ui.ac.id

DOI: https://doi.org/10.33024/hjk.v20i6.3807

HASIL



Gambar Diagram Alir PRISMA

Pinatih Tiansa Putranti*, Mila Tejamaya

Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia
Korespondensi penulis: Pinatih Tiansa Putranti. *Email: pinatih.tiansa@ui.ac.id

DOI: https://doi.org/10.33024/hjk.v20i6.3807

Tabel Hasil Pemetaan Data Artikel

Penulis	Jenis Teknologi & Sektor Konstruksi	Potensi Pendorong (*Drivers*)	Faktor Penghambat (*Barriers*)	Indikator SMK3
(Hartono et al., 2024)	Teknologi BIM (Pemodelan 4D, *Design for Safety*, Simulasi otomatis) pada sektor konstruksi, spesifik pada tahap perencanaan.	**Identifikasi Dini:** Model 4D BIM mendeteksi aktivitas tumpang tindih (*overlapping*) yang berpotensi memicu kecelakaan. **Panduan Visual:** Simulasi 4D berfungsi sebagai panduan langkah kerja awal bagi pekerja untuk mengurangi risiko secara efektif. **Otomatisasi:** Memungkinkan pemeriksaan aturan keselamatan dan identifikasi lokasi bahaya secara sistematis.	**Akurasi Sistem:** Hasil identifikasi otomatis tidak selamanya akurat. **Keterbatasan Adopsi:** Implementasi fitur mitigasi otomatis belum sepenuhnya diterapkan secara luas di Indonesia. **Ketergantungan Manual:** Sistem tetap mengharuskan adanya campur tangan manusia untuk melakukan pengecekan dan pengawasan.	**Tujuan yang Jelas dan Realistis:** Pendekatan *Design for Safety* (DfS) memfasilitasi penetapan target mitigasi sejak awal desain proyek. **Pelatihan Keselamatan:** Simulasi visual 4D bertindak sebagai media edukasi awal bagi pekerja mengenai potensi bahaya. **Pengawasan yang Memadai:** Meskipun terdapat otomatisasi, fluktuasi akurasi sistem memvalidasi bahwa teknologi ini tidak dapat menggantikan fungsi pengawasan (supervisi) manusia secara total.
(Sofia et al., 2025)	Platform berbasis *website* untuk digitalisasi dokumen K3 (*Safety Induction* dan Laporan Harian) pada proyek konstruksi gedung.	**Pengawasan Presisi:** Memfasilitasi Tim SHE dalam memonitor laporan harian dan data pekerja secara *real-time*. **Akurasi Data:** Meminimalkan *human error* dari pencatatan manual serta memvisualisasikan data melalui *dashboard* interaktif. **Penyimpanan Aman:** Mengurangi risiko kehilangan atau kerusakan dokumen fisik (kertas).	**Kendala Finansial:** Tingginya biaya investasi awal untuk infrastruktur (perangkat keras, *software*) dan pelatihan. **Risiko Teknis & Keamanan:** Rentan terhadap *bug* sistem dan ancaman peretasan/kebocoran data. **Kesenjangan Infrastruktur:** Belum semua area proyek memiliki infrastruktur teknologi yang memadai untuk adopsi digital.	**Pengawasan yang Memadai:** Sistem memfasilitasi pemantauan harian yang lebih cepat, transparan, dan terintegrasi bagi admin K3. **Dukungan Manajemen:** Hambatan biaya investasi dan infrastruktur menyoroti bahwa adopsi sistem ini sangat bergantung pada komitmen finansial manajemen. **Pelatihan Keselamatan:** Digitalisasi *form safety induction* memastikan

Pinatih Tiansa Putranti*, Mila Tejamaya

Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia
Korespondensi penulis: Pinatih Tiansa Putranti. *Email: pinatih.tiansa@ui.ac.id

DOI: https://doi.org/10.33024/hjk.v20i6.3807

				bahwa prosedur pengenalan K3 bagi pekerja baru terdata dan dieksekusi dengan baik.
(Idrus, 2025)	Teknologi *Building Information Modeling* (BIM) berbasis visualisasi 3D dengan fokus pada *clash detection* (deteksi benturan desain) pada proyek konstruksi gedung (rumah susun).	**Mitigasi Bahaya Desain:** Fitur *clash detection* secara efektif menemukan konflik elemen struktural, arsitektur, dan MEP sebelum tahap pelaksanaan, mengurangi *rework* fisik di lapangan yang rentan kecelakaan. **Katalisator Koordinasi:** Visualisasi 3D memperjelas pemahaman desain lintas profesi, meningkatkan transparansi, dan menyatukan persepsi tim terhadap potensi risiko. **Reduksi Kesalahan Fisik:** Dengan perbaikan yang dilakukan di ranah virtual, potensi kecelakaan akibat kegagalan struktural saat eksekusi dapat ditekan secara signifikan.	**Defisit Kompetensi SDM:** Masih terbatasnya jumlah ahli dan tenaga kerja yang memiliki keahlian spesifik dalam mengoperasikan instrumen BIM. **Beban Finansial:** Kebutuhan investasi yang tinggi untuk pengadaan lisensi perangkat lunak dan biaya pelatihan staf. **Resistensi dan Isu Teknis:** Tantangan berupa kompatibilitas antar-perangkat lunak yang berbeda, ketiadaan standar operasional baku, serta resistensi kultural pekerja terhadap perubahan teknologi baru.	**Kerja Sama Tim (*Teamwork*):** BIM bertindak sebagai platform kolaboratif utama yang memecah batas komunikasi antar-disiplin ilmu, memastikan semua tim terintegrasi dalam merencanakan keselamatan proyek. **Dukungan Manajemen (*Management Support*):** Besarnya biaya *software*, perangkat keras, dan edukasi membutuhkan persetujuan alokasi anggaran yang kuat dari manajemen puncak. **Sikap Individu (*Personal Attitude*):** Adanya penolakan pekerja terhadap transisi dari metode kerja konvensional menyoroti perlunya intervensi untuk mengubah sikap dan pola pikir tenaga kerja.
(Faqih & Herzanita, 2024)	Sinergi metodologi *Job Safety Analysis* (JSA) dengan visualisasi *Building Information Modeling* (BIM) pada tahap perencanaan proyek manufaktur.	**Pemetaan Risiko Komprehensif:** Mampu mengidentifikasi bahaya secara detail pada struktur atas (*superstructure*) dan bawah (*substructure*).	**Variabilitas Perilaku Pekerja:** Tingkat kedisiplinan dan kepatuhan tenaga kerja di lapangan yang berfluktuasi. **Kesenjangan Eksekusi:** Perencanaan mitigasi digital yang presisi sering kali	**Tujuan yang Jelas dan Realistis:** Penggabungan JSA ke dalam BIM memberikan sasaran mitigasi bahaya yang sangat spesifik dan terukur untuk setiap tahapan pekerjaan.

Pinatih Tiansa Putranti*, Mila Tejamaya

Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia
Korespondensi penulis: Pinatih Tiansa Putranti. *Email: pinatih.tiansa@ui.ac.id

DOI: https://doi.org/10.33024/hjk.v20i6.3807

		Perlindungan Holistik: Membantu memvisualisasikan mitigasi untuk pekerja, aset, dan lingkungan sebelum eksekusi fisik. **Basis Keputusan Strategis:** Mempermudah manajer memformulasikan langkah pencegahan yang sesuai regulasi	tidak dieksekusi dengan ketat di area kerja aktual.	**Sikap Individu:** Temuan hambatan secara tegas menyoroti bahwa kecanggihan sistem tidak akan optimal tanpa adanya sikap dan perilaku aman (safety behavior) dari pekerja. **Penegakan yang Efektif:** Membutuhkan penegakan aturan di lapangan agar rekomendasi dari analisis JSA-BIM benar-benar diimplementasikan**.**
(Hardjo et al., 2020)	Teknologi pemantauan *Drone* (*Unmanned Aerial Vehicle* - UAV) pada sektor konstruksi gedung bertingkat.	**Pengawasan Jarak Jauh:** Memungkinkan inspeksi visual dan pemantauan keselamatan dari jarak yang aman bagi inspektur. **Identifikasi Multirisiko:** Merekam data visual untuk mengevaluasi kepatuhan APD, risiko ergonomis (menggunakan metode REBA), dan potensi paparan debu silika. **Pemetaan dan Pelacakan:** Efektif untuk pemetaan area kerja, pemantauan kemajuan, serta pelacakan material dan peralatan berat.	**Kesenjangan Tindak Lanjut:** Drone hanya bersifat observasional; tingginya temuan risiko (seperti postur berisiko sedang/tinggi dan pelanggaran APD) tidak serta-merta diikuti oleh mitigasi atau perbaikan fisik oleh pekerja di lapangan. **Ketergantungan Intervensi Manusia:** Sistem tidak dapat secara otomatis mencegah perilaku tidak aman saat bahaya terjadi.	**Pengawasan yang Memadai (*Suitable Supervision*):** Drone secara drastis memperluas jangkauan dan efisiensi pengawasan harian di area kerja yang luas dan sulit dijangkau. **Sikap Individu (*Personal Attitude*):** Teknologi ini secara objektif mengungkap masalah perilaku fundamental, seperti pengabaian pemakaian helm keselamatan dan postur kerja yang buruk. **Penegakan yang Efektif (*Effective Enforcement*):** Menyoroti celah di mana penemuan pelanggaran melalui alat canggih belum dibarengi

Pinatih Tiansa Putranti*, Mila Tejamaya

Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia
Korespondensi penulis: Pinatih Tiansa Putranti. *Email: pinatih.tiansa@ui.ac.id

DOI: https://doi.org/10.33024/hjk.v20i6.3807

				dengan penegakan disiplin atau koreksi langsung di area kerja.
(Laily et al., 2022)	Kecerdasan Buatan (AI) / *Computer Vision* menggunakan algoritma *Deep Learning* (Mask R-CNN) untuk deteksi atribut keselamatan (helm dan rompi).	**Deteksi Akurasi Tinggi:** Mampu mengidentifikasi dan mensegmentasi helm serta rompi keselamatan secara simultan dengan akurasi rata-rata (mAP) mencapai 95%. **Inspeksi Objektif:** Mengotomatiskan proses pengawasan visual yang sebelumnya manual menjadi sistem berbasis data yang instan dan presisi.	**Ketergantungan Kondisi Lingkungan:** Akurasi sistem sangat bergantung pada variabilitas *dataset*, rentan mengalami kesalahan deteksi (*false negative/positive*) pada kondisi pencahayaan redup, resolusi rendah, atau objek yang saling menutupi (*occlusion*). **Kebutuhan Komputasi Tinggi:** Membutuhkan infrastruktur perangkat keras (*GPU*) berspesifikasi tinggi untuk pemrosesan *real-time* di lapangan.	**Pengawasan yang Memadai (*Suitable Supervision*):** Memberikan kapabilitas pemantauan kepatuhan secara berkelanjutan yang jauh melampaui keterbatasan visual manusia. **Penegakan yang Efektif (*Effective Enforcement*):** Sistem menyajikan bukti digital objektif terkait pelanggaran pemakaian APD, yang dapat langsung digunakan oleh manajemen untuk menegakkan aturan kedisiplinan.

Pinatih Tiansa Putranti*, Mila Tejamaya

Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia
Korespondensi penulis: Pinatih Tiansa Putranti. *Email: pinatih.tiansa@ui.ac.id

DOI: https://doi.org/10.33024/hjk.v20i6.3807

PEMBAHASAN

Tinjauan sistematis dilakukan terhadap 6 artikel ini mengungkapkan, bahwa meskipun implementasi teknologi, seperti BIM, platform web, drone, dan AI secara signifikan mampu meningkatkan akurasi identifikasi bahaya serta efisiensi administrasi keselamatan, terdapat kesenjangan operasional yang dipicu oleh tingginya biaya investasi awal serta pemeliharaan infrastruktur digital. Kesenjangan tersebut bermanifestasi pada risiko teknis berupa bug sistem, kerentanan keamanan data, serta ketidaksinkronan data lapangan yang menghambat pemantauan secara real-time. Selain itu, keterbatasan kompetensi SDM dalam mengoperasikan perangkat lunak kompleks dan rendahnya kepatuhan pekerja terhadap rekomendasi digital menyebabkan fitur mitigasi otomatis sering kali memiliki efektivitas yang lebih rendah dibandingkan variabel perencanaan visual. Secara keseluruhan, temuan ini menegaskan bahwa keberhasilan integrasi SMK3 digital tidak hanya bergantung pada kecanggihan teknologi fisik semata, melainkan memerlukan reformasi kebijakan manajemen melalui standarisasi SOP formal dan pengembangan kapasitas SDM yang berkelanjutan untuk mengatasi hambatan perilaku serta teknis di lapangan.

Sektor konstruksi secara global terus dihadapkan pada rekam jejak keselamatan yang buruk dengan tingkat fatalitas dan cedera pekerjaan yang sangat tinggi. Selama ini, metode pemantauan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) konvensional yang sangat bergantung pada sistem pengenalan bahaya berbasis kertas dinilai lambat dan menghambat komunikasi risiko yang tanggap di area kerja (Xu et al., 2021). Sebagai respons atas kelemahan operasional tersebut, adopsi teknologi digital seperti *Building Information Modeling* (BIM), kecerdasan buatan, dan perangkat wearable hadir sebagai katalisator untuk mentransformasi perencanaan, pelatihan, dan manajemen keselamatan menjadi jauh lebih proaktif (Jallow et al., 2022). Kendati inovasi ini menawarkan efisiensi tinggi, fondasi utama dari keberhasilan transisi digital ini sangat bergantung pada komitmen nyata dari pihak manajemen. Tingginya biaya investasi di awal untuk pengadaan sistem, perangkat lunak, dan pelatihan sumber daya manusia sering kali menjadi hambatan krusial, terutama bagi perusahaan yang beroperasi dengan margin keuntungan yang tipis. Oleh karena itu, tanpa adanya kemauan finansial dan pandangan strategis dari manajemen untuk menjadikan teknologi ini sebagai investasi keunggulan kompetitif, laju adopsi teknologi keselamatan tidak akan terealisasi secara maksimal di lapangan (Daniel et al., 2025).

Komitmen manajerial yang kuat pada akhirnya akan termanifestasi dalam penetapan sasaran keselamatan kerja yang lebih terarah, transparan, dan terukur sejak fase pra-konstruksi (Agyekum et al., 2022). Transformasi nyata ini terlihat melalui inovasi integrasi metode *Job Safety Analysis* (JSA) ke dalam pemodelan struktur tiga dimensi (3D) pada platform BIM. Melalui integrasi ini, data analisis potensi bahaya yang ditujukan untuk memberikan perlindungan komprehensif pada pekerja, peralatan, material, dan lingkungan dapat dimasukkan ke dalam setiap urutan pekerjaan struktur. Pendekatan terstruktur ini tidak hanya memfasilitasi manajemen dalam menetapkan dan mengeliminasi risiko secara spesifik sebelum pembangunan fisik konstruksi dimulai, tetapi juga terbukti memudahkan para pekerja di lapangan untuk mengenali dan mengantisipasi potensi bahaya secara visual. Sinergi antara perencanaan K3 yang matang dan pemanfaatan perangkat BIM ini berhasil menggeser paradigma keselamatan konstruksi menjadi model yang lebih prediktif, yang secara drastis diharapkan mampu menekan angka kecelakaan kerja secara signifikan (Faqih & Herzanita, 2024).

Implementasi teknologi digital menciptakan intervensi strategis yang meruntuhkan batasan komunikasi antar disiplin ilmu pada fase pra-konstruksi. Melalui integrasi visualisasi 3D dan 4D, platform kolaboratif memfasilitasi pemangku kepentingan yakni arsitek, insinyur struktur, hingga tim mekanikal untuk menyatukan persepsi risiko secara terpusat (Idrus, 2024). Kolaborasi virtual ini memungkinkan identifikasi konflik desain (*clash detection*) dan pemetaan potensi bahaya secara komprehensif dilakukan jauh sebelum eksekusi fisik dimulai. Dengan menyamakan persepsi melalui satu model digital yang utuh, tim perencana dapat memformulasikan langkah mitigasi secara terarah guna mereduksi paparan insiden tidak terduga di lapangan (Razi et al., 2023).

Memasuki fase eksekusi, teknologi bertindak sebagai instrumen pengawasan yang mentransformasi inspeksi visual konvensional menjadi jauh lebih faktual dan objektif. Pemanfaatan drone terbukti mampu mengintervensi keterbatasan

Pinatih Tiansa Putranti*, Mila Tejamaya

Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia
Korespondensi penulis: Pinatih Tiansa Putranti. *Email: pinatih.tiansa@ui.ac.id

DOI: https://doi.org/10.33024/hjk.v20i6.3807

manusia dengan menjangkau area pemantauan proyek yang luas dan berisiko tinggi secara jarak jauh (Hardjo et al., 2020). Pengawasan ini menjadi semakin kuat ketika dipadukan dengan implementasi kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) berbasis Computer Vision yang dapat mengolah citra area kerja secara otomatis. Algoritma spesifik seperti Mask R-CNN mampu mengevaluasi tingkat kepatuhan penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) pekerja secara seketika, bebas dari bias maupun kelelahan pengawas manusia (Laily et al., 2022). Sinergi analitik cerdas ini memberikan landasan bukti digital yang presisi, sehingga manajemen dapat menindaklanjuti pelanggaran keselamatan secara prediktif dan instan (Rampini et al., 2022).

Dalam tahap eksekusi, kendala finansial menjadi penghambat utama pemanfaatan teknologi untuk optimalisasi SMK3. Studi di Inggris menunjukkan bahwa hanya perusahaan konstruksi skala besar yang mampu mengambil risiko finansial untuk beralih dari sistem konvensional menuju digital (Otasowie et al., 2022). Di Indonesia, tingginya *Capital Expenditure* dan kesenjangan infrastruktur, termasuk kebutuhan spesifikasi komputasi tinggi (seperti GPU dan CPU), memberikan beban modal yang signifikan bahkan bagi kontraktor besar (Laily et al., 2022; Sofia et al., 2025). Dari sisi *Operational Expenditure*, beban ekonomis perusahaan juga semakin diperberat oleh kewajiban biaya pemeliharaan rutin dan perpanjangan lisensi perangkat lunak (Idrus, 2024).

Selain hambatan finansial, kerentanan teknis akibat dinamika lingkungan proyek menjadi tantangan krusial berikutnya. Akurasi dan ketahanan algoritma deteksi visual sangat rentan mengalami degradasi akibat fluktuasi pencahayaan, variasi jarak pandang, latar belakang visual yang kacau, dan resolusi perangkat yang rendah (Laily et al., 2022). Masalah oklusi (*occlusion*) di mana objek seperti pekerja atau alat berat saling menutupi bayangan juga menjadi hambatan persisten yang mengacaukan pelacakan sistem secara *real-time*. Kerentanan ini menegaskan bahwa model kecerdasan buatan yang berkinerja optimal pada kumpulan data uji sering kali kehilangan presisi dan menghasilkan deteksi keliru (*false negative/positive*) saat berhadapan langsung dengan gangguan visual aktual di lapangan (Liu et al., 2021).

Secanggih apapun inovasi digital yang diadopsi dalam sistem manajemen keselamatan konstruksi, fungsinya akan tetap terbatas sebagai alat pendukung jika tidak diimbangi dengan literasi digital penggunanya. Di lapangan, terdapat kesenjangan keterampilan (*skills gap*) yang sangat signifikan karena keahlian teknis konstruksi tradisional acap kali tidak sejalan dengan tuntutan kompetensi digital yang baru (Alaloul et al., 2025). Rendahnya tingkat pengetahuan dan kesiapan tenaga kerja ini menjadi kendala operasional yang nyata, di mana banyak pengawas proyek maupun pekerja masih mengalami defisit kompetensi teknis dalam mengoperasikan perangkat lunak K3 yang kompleks (Idrus, 2025; Sofia et al., 2025).

Ironisnya, besarnya alokasi modal yang dikeluarkan perusahaan untuk investasi pengadaan teknologi sering kali tidak dibarengi dengan penyediaan anggaran yang memadai untuk pelatihan keselamatan (*safety training*) secara berkelanjutan (Sofia et al., 2025). Banyak perusahaan menganggap biaya pelatihan menyeluruh bagi para staf sebagai hambatan finansial tambahan, sehingga program edukasi internal gagal mengimbangi pesatnya perubahan teknologi tersebut (Agyekum et al., 2022). Akibat minimnya fasilitasi untuk peningkatan kapasitas sumber daya manusia ini, instrumen perlindungan canggih yang telah dibeli tidak termanfaatkan secara maksimal dan justru berpotensi menjadi liabilitas alih-alih aset perlindungan di lokasi proyek (Idrus, 2025).

Implementasi teknologi K3 memunculkan sebuah paradoks yang tajam dalam operasional proyek. Perencanaan digital yang sangat presisi di ruang kantor, seperti integrasi *Job Safety Analysis* (JSA) pada pemodelan BIM, sering kali kehilangan efektivitasnya secara drastis ketika dihadapkan pada realitas fisik di lapangan. Hambatan terbesar dalam transformasi ini bukanlah kecacatan teknis dari alat itu sendiri, melainkan resistensi kultural yang kuat dari tenaga kerja. Pekerja lapangan yang telah terbiasa dengan metode kerja konvensional selama puluhan tahun sering kali menganggap perangkat keselamatan digital sebagai beban administratif yang justru memperlambat laju pekerjaan mereka, alih-alih melihatnya sebagai instrumen pelindung (Daniel et al., 2025).

Selain penolakan kultural terhadap metode baru, timbul pula isu psikologis yang berkaitan dengan privasi pekerja akibat implementasi teknologi pengawasan otomatis seperti *drone* atau *computer vision*. Banyak pekerja merasa tidak nyaman dan tertekan karena merasa privasi mereka diinvasi, seolah-olah mereka sedang diawasi dan diinvestigasi

Pinatih Tiansa Putranti*, Mila Tejamaya

Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia
Korespondensi penulis: Pinatih Tiansa Putranti. *Email: pinatih.tiansa@ui.ac.id

DOI: https://doi.org/10.33024/hjk.v20i6.3807

secara terus-menerus oleh pihak manajemen (Daniel et al., 2025). Kondisi psikologis ini menjadi semakin rumit jika dihadapkan pada fakta bahwa sistem otomatisasi tersebut tidaklah sempurna. Hasil identifikasi otomatis dari sistem digital tidak selamanya akurat, sehingga ketergantungan pada teknologi tetap mengharuskan adanya campur tangan serta verifikasi manual dari manusia untuk memastikan pengawasan berjalan dengan benar (Da Silva et al., 2019; Hartono et al., 2023).

Resistensi kultural dan ketidaknyamanan psikologis ini terefleksikan dengan sangat jelas pada tingginya angka pelanggaran di area kerja. Bukti empiris dari lapangan menunjukkan bahwa terlepas dari keberadaan sistem pendeteksi cerdas dan aturan keselamatan yang ketat, tingkat ketidakpatuhan terhadap penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) esensial tetap sangat mendominasi (Laily et al., 2022). Lebih lanjut, evaluasi keselamatan membuktikan bahwa mayoritas pekerja masih secara sadar mengadopsi postur kerja yang berisiko sangat tinggi, di mana penilaian menggunakan metode *Rapid Entire Body Assessment* (REBA) secara konsisten menunjukkan tingkat risiko yang fatal (Hardjo et al., 2020).

Rentetan temuan ini bermuara pada satu kesimpulan esensial mengenai batasan digitalisasi. Teknologi pengawasan digital secanggih apa pun pada dasarnya hanya berfungsi sebagai instrumen pasif untuk merekam visual dan mendeteksi bahaya. Sistem tersebut tidak memiliki kemampuan absolut untuk mengubah tabiat dan budaya abai dari para pekerja di lapangan, tanpa dibarengi dengan pendekatan komunikasi psikologis yang komprehensif serta penegakan sanksi manajerial yang tegas.

SIMPULAN

Transformasi digital dalam SMK3 melalui integrasi BIM, AI, dan *drone* menawarkan potensi besar untuk mengubah paradigma keselamatan konstruksi dari reaktif menjadi prediktif. Inovasi ini terbukti memfasilitasi identifikasi bahaya secara komprehensif sejak fase pra-konstruksi melalui metode *clash detection* dan integrasi JSA, serta menghadirkan pengawasan visual yang objektif pada fase eksekusi.

Kendati demikian, keberhasilan adopsi teknologi ini tidak ditentukan oleh kecanggihan alat semata, melainkan dibatasi oleh tiga dimensi hambatan utama. Pertama, tingginya beban finansial (*capital* dan *operational expenditure*) serta kerentanan teknis akibat kondisi lingkungan terbuka (seperti oklusi dan fluktuasi pencahayaan) membatasi akurasi dan jangkauan implementasi. Kedua, defisit kompetensi dan ketiadaan *safety training* yang berkelanjutan menciptakan kesenjangan keterampilan (*skills gap*) yang mengubah instrumen canggih menjadi liabilitas operasional. Ketiga, resistensi kultural dan isu psikologis terkait privasi memicu penolakan dari pekerja, terbukti dari tetap tingginya tingkat ketidakpatuhan penggunaan APD dan adopsi postur kerja berisiko.

Pada akhirnya, teknologi digital murni berfungsi sebagai instrumen penguat (*enabler*), bukan solusi mutlak. Realisasi ekosistem konstruksi yang aman menuntut komitmen strategis manajemen dalam mengalokasikan pendanaan, memfasilitasi peningkatan kapasitas sumber daya manusia, serta menerapkan pendekatan psikologis dan penegakan sanksi yang tegas guna mengubah budaya keselamatan pekerja di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

Abioye, S. O., Oyedele, L. O., Akanbi, L., Ajayi, A., Davila Delgado, J. M., Bilal, M., Akinade, O. O., & Ahmed, A. (2021). Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges. *Journal of Building Engineering*, *44*, 103299.

Pratama, A. F. F. (2024). *Implementasi BIM Pada Analisis Risiko Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (K3) Pekerjaan Pemancangan Fondasi Tiang Pancang Dengan Menggunakan Metode Event Tree Analysis (Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung Apartemen Arjuna Yogyakarta). Universitas Islam Indonesia; 2024*.

Agyekum, K., Pittri, H., Botchway, E. A., Amudjie, J., Kumah, V. M. A., Kotei-Martin, J. N., & Oduro, R. A. (2022). Exploring the current technologies essential for health and safety in the Ghanaian construction industry. *Merits*, *2*(4), 314-330.

Alaloul, W. S., Liew, M. S., Zawawi, N. A. W. A., & Kennedy, I. B. (2020). Industrial Revolution 4.0 in the construction industry: Challenges and opportunities for stakeholders. *Ain shams engineering journal*, *11*(1), 225-230.

Pinatih Tiansa Putranti*, Mila Tejamaya

Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia
Korespondensi penulis: Pinatih Tiansa Putranti. *Email: pinatih.tiansa@ui.ac.id

DOI: https://doi.org/10.33024/hjk.v20i6.3807

Al Haadir, S., & Panuwatwanich, K. (2011). Critical success factors for safety program implementation among construction companies in Saudi Arabia. *Procedia engineering*, *14*, 148-155.

Da Silva, S. L. C., & Amaral, F. G. (2019). Critical factors of success and barriers to the implementation of occupational health and safety management systems: A systematic review of literature. *Safety science*, *117*, 123-132.

Daniel, E. I., Nwankwo, N., Adah, C., Oshodi, O., Emuze, F., Chinyio, E., & Umeokafor, N. (2026). An exploratory study into UK construction industry response to digitalised health and safety management. *Journal of Engineering, Design and Technology*, *24*(1), 45-63.

Ervianto, W. I. (2023). *Manajemen proyek konstruksi*. Yogyakarta: Penerbit Andi.

Faqih, R. A., & Herzanita, A. (2024). Implementasi Job Safety Analysis Dan Bim Pada Proyek Manufaktur Indonesia Project. *Scientica: Jurnal Ilmiah Sains Dan Teknologi*, *2*(12), 211–219.

Fatimah, A., Ikrama, N., & Azka, C. N. (2025). Analisis Strategi Penerapan SMK3 Terintegrasi Pada Proyek Konstruksi Di Kota Banda Aceh. *AGREGAT*, *10*(1), 1280-1289.

Hardjo, M. F. R. M., Wahyuni, A., & Rahim, M. R. (2020). Gambaran keselamatan pekerja menggunakan teknologi pemantauan drone pada proyek konstruksi PT. X Makassar. *Hasanuddin Journal of Public Health*, *1*(2), 142-151.

Hartono, W., Handayani, D., & Prasetya, N. A. A. (2023). Variabel berpengaruh dalam implementasi *Building Information Modeling* (BIM) dengan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) untuk meminimalisasi kecelakaan kerja pada tahap perencanaan proyek konstruksi. *Matriks Teknik Sipil, 11*(3), 270–276.

Idrus, I. (2025). Implementasi BIM pada Proyek Konstruksi Gedung untuk Meningkatkan Keselamatan dan Mengurangi Risiko : Studi Kasus Gedung Rumah Susun di Kabupaten Gowa. *Jurnal Bangunan Konstruksi*, *3*(2).

Jallow, H., Renukappa, S., Suresh, S., & Rahimian, F. (2023). Artificial intelligence and the UK construction industry–empirical study. *Engineering Management Journal*, *35*(4), 420-433.

Laily, M. E., Fajri, F. N., & Pratamasunu, G. Q. O. (2022). Deteksi penggunaan alat pelindung diri (APD) untuk keselamatan dan kesehatan kerja menggunakan metode Mask Region Convolutional Neural Network (Mask R-CNN). *Jurnal Komputer Terapan*, *8*(2), 279-288.

Liu, W., Meng, Q., Li, Z., & Hu, X. (2021). Applications of computer vision in monitoring the unsafe behavior of construction workers: Current status and challenges. *Buildings*, *11*(9), 409.

Noviana, C. (2026). *Angka Kecelakaan Kerja Tembus 400 Ribu Kasus, Dosen UGM Sebut Budaya K3 Belum Mengakar Kuat - Universitas Gadjah Mada*. Diakses dari https://ugm.ac.id/id/berita/angka-kecelakaan-kerja-tembus-400-ribu-kasus-dosen-ugm-sebut-budaya-k3-belum-mengakar-kuat/

Otasowie, K., Ikuabe, M., Aigbavboa, C., & Oke, A. (2023). Factors Militating Against the Use of Digital Technology by Sub-contractors in South Africa. *Lecture Notes in Networks and Systems*, *560 LNNS*, 749–757.

Rampini, L., Khodabakhshian, A., & Cecconi, F. R. (2022). Artificial Intelligence Feasibility In Construction Industry. *Proceedings of the European Conference on Computing in Construction*, 99–106.

Pinatih Tiansa Putranti*, Mila Tejamaya

Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia
Korespondensi penulis: Pinatih Tiansa Putranti. *Email: pinatih.tiansa@ui.ac.id

DOI: https://doi.org/10.33024/hjk.v20i6.3807

Razi, P. Z., Sulaiman, S. K., Ali, M. I., Ramli, N. I., Saad, M. S. H., Jamaludin, O., & Doh, S. I. (2023). How artificial intelligence changed the construction industry in safety issues. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1140(1), 012004.

Romadin, A. (2025). Analisis Efektivitas Penerapan SMK3 dalam Mewujudkan Zero Incident di PT. XYZ. *Journal of Industrial Engineering Innovation*, *3*(02), 65-71.

Sofia, R. A., Sunaryo, M., Fitria, S. N., Ratriwardhani, S. N., Sachri, M., & Kuswandi, S. B. A. (2025). Digitalisasi Dokumen Keselamatan Dan Kesehatan Kerja Pada PT. Wijaya Karya Bangunan Gedung Tbk. *JURNAL SISTEM INFORMASI TGD*, *4*(2), 406–416.

Xu, J., Duryan, M., & Smyth, H. (2021). Digitalisation for Occupational Health and Safety in Construction: A Path to High Reliability Organising? *In: Proceedings of the CIB W099 & W123 Annual International Conference. International Council for Research and Innovation in Building and Construction (Conseil International Du Bâtiment): Glasgow, UK.* Diakses dari. https://cibworld.org/publications/

Yiu, N. S., Sze, N. N., & Chan, D. W. (2018). Implementation of safety management systems in Hong Kong construction industry–A safety practitioner's perspective. *Journal of safety research*, *64*, 1-9.

Pinatih Tiansa Putranti*, Mila Tejamaya

Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia
Korespondensi penulis: Pinatih Tiansa Putranti. *Email: pinatih.tiansa@ui.ac.id

DOI: https://doi.org/10.33024/hjk.v20i6.3807