

INTEGRASI 8D BIM DENGAN *VIRTUAL REALITY* (VR) UNTUK PELATIHAN SIMULASI KESELAMATAN PEKERJA DI PROYEK BANGUNAN GEDUNG

Irika Widiyanti^{1*}, Najwa Fahira¹, Amelia Rizky Seftiani¹, Muhammad Zain Satrya Hutama¹
¹Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Bangunan Gedung, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta
Jakarta

Jln Rawamangun Muka Raya No.11

*Corresponding authors: irika@unj.ac.id

Abstract: The construction sector in Indonesia still records high rates of workplace accidents, partly due to the ineffectiveness of conventional safety training methods. This study aims to develop an integrated system between 8D Building Information Modeling (BIM) and *Virtual reality* (VR) for worker safety simulation training in building construction projects. Through a systematic literature review, this study identifies, analyzes, and synthesizes concepts and best practices to build a theoretical foundation for developing an effective simulation system. The results show that the integration of 8D BIM and VR enables immersive and interactive safety simulations, improves hazard identification, strengthens collaborative communication among stakeholders, and supports data-driven decision-making. This system also contributes to project sustainability through energy efficiency and material waste reduction. However, challenges such as high implementation costs, VR infrastructure limitations, and the absence of long-term evaluation standards remain obstacles. The research conclusion states that the integration of 8D BIM–VR has great potential to increase safety awareness and reduce construction accidents, although further experimental and longitudinal research is needed to measure its long-term impact more comprehensively.

Keywords: 8D BIM, *Virtual reality*, safety training, construction project, hazard simulation

Abstrak: Sektor konstruksi di Indonesia masih mencatat angka kecelakaan kerja yang tinggi, antara lain disebabkan oleh kurang efektifnya metode pelatihan keselamatan konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem terintegrasi antara 8D *Building Information Modeling* (BIM) dan *Virtual reality* (VR) untuk pelatihan simulasi keselamatan pekerja di proyek bangunan gedung. Dengan menggunakan metode studi literatur sistematis, penelitian ini mengidentifikasi, menganalisis, dan mensintesis konsep serta praktik terbaik yang relevan untuk membangun fondasi teoritis pengembangan sistem simulasi yang efektif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi 8D BIM dan VR memungkinkan simulasi keselamatan yang imersif dan interaktif, meningkatkan identifikasi bahaya, memperkuat komunikasi kolaboratif antar pemangku kepentingan, serta mendukung pengambilan keputusan berbasis data. Sistem ini juga berkontribusi pada keberlanjutan proyek melalui efisiensi energi dan pengurangan limbah material. Namun, tantangan seperti tingginya biaya implementasi, keterbatasan infrastruktur VR, serta belum adanya standar evaluasi jangka panjang masih menjadi kendala. Simpulan penelitian ini menyatakan bahwa integrasi 8D BIM–VR berpotensi besar meningkatkan kesadaran keselamatan dan menurunkan angka kecelakaan konstruksi, meski diperlukan penelitian lanjutan secara eksperimental dan longitudinal untuk mengukur dampak jangka panjangnya.

Kata kunci: 8D BIM, *Virtual reality*, pelatihan keselamatan, proyek konstruksi, simulasi bahaya

1. PENDAHULUAN

Pekerjaan konstruksi menyumbang angka kecelakaan terbesar hamper di seluruh Indonesia. Hal tersebut dikarenakan pekerjaan proyek konstruksi sangat dinamis dan kompleks. Sektor konstruksi memberikan setidaknya menyumbang 31,9% jenis kasus kecelakaan konstruksi. Tercatat pada Badan Statistik Pusat (BPS) tepatnya jumlah kecelakaan konstruksi di Indonesia pada tahun 2022 sebanyak 265.334 kasus, dimana jumlah tersebut meningkat 13,25% dari tahun sebelumnya. Situasi tersebut terjadi karena perencanaan dan penerapan Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi yang kurang optimal. Melalui Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat telah mengeluarkan Peraturan Nomor 10 Tahun 2021 tentang pendoman system manajemen keselamatan konstruksi. Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi. Manajemen Keselamatan Konstruksi mencakup perencanaan, pelaksanaan, pengendalian dan koordinasi sejak tahap awal gagasan hingga berakhirnya proyek. Dalam konteks proyek konstruksi, manajemen proyek berperan penting dalam mengoptimalkan sumber daya, meminimalkan risiko, dan memastikan bahwa seluruh aspek pekerjaan dapat diselesaikan secara efektif dan efisien.

Namun, selama ini perencanaan dan pelatihan keselamatan di proyek konstruksi masih sering mengandalkan metode konvensional, seperti dokumen dua dimensi (2D) atau presentasi di dalam ruangan. Pendekatan ini bersifat statis dan kurang mampu memberikan pengalaman nyata, sehingga sering gagal mengantisipasi bahaya dinamis di lapangan serta kurang efektif dalam melatih respons fisik atau insting pekerja saat menghadapi risiko. Oleh karena itu, inovasi dalam metode identifikasi risiko dan pelatihan keselamatan menjadi sangat mendesak. Di sinilah peran teknologi Building Information Modeling (BIM) hadir sebagai solusi dengan pendekatan digital yang lebih menyeluruh. Perkembangan BIM telah mencapai dimensi kedelapan (8D BIM), yang secara khusus dirancang untuk mengintegrasikan aspek keselamatan dan kesehatan kerja (K3) dalam setiap tahap proyek. Dengan 8D BIM, risiko kecelakaan dapat diidentifikasi dan disimulasikan secara visual sejak fase perencanaan. Untuk memaksimalkan potensi ini, teknologi *Virtual reality* (VR) menawarkan lingkungan simulasi yang

imersif dan interaktif. Melalui VR, pekerja seolah-olah "berada" di lokasi proyek virtual yang realistis, menjalani berbagai skenario berbahaya yang telah dipetakan dalam model 8D BIM, serta mempelajari langkah-langkah evakuasi dan prosedur darurat tanpa harus menghadapi risiko sesungguhnya. Integrasi antara 8D BIM dan VR ini tidak hanya mencegah kesalahan, tetapi juga membangun ketahanan dan kewaspadaan pekerja dalam menghadapi situasi berbahaya di lapangan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode studi literatur secara sistematis untuk menyusun kerangka integrasi antara *8D BIM* dan *Virtual reality (VR)* guna pelatihan keselamatan kerja di proyek konstruksi. Pendekatan ini dipilih untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mensintesis konsep, temuan, serta best practices dari sumber-sumber tertulis yang relevan, sehingga dapat membangun fondasi teoritis yang kuat bagi pengembangan sistem simulasi yang efektif.

Permodelan 8D BIM

BIM 8D memungkinkan tim konstruksi untuk mengintegrasikan data keselamatan langsung ke dalam model digital, sehingga mereka dapat mengidentifikasi dan mengatasi potensi bahaya sebelum muncul di lokasi. Mulai dari sistem proteksi jatuh hingga protokol keselamatan kebakaran, BIM 8D memastikan manajemen risiko terintegrasi di setiap fase proyek.

BIM 8D mendorong kolaborasi dengan berfungsi sebagai platform terpusat tempat semua pemangku kepentingan termasuk arsitek, kontraktor, dan manajer keselamatan dapat mengakses dan berbagi informasi keselamatan terkini. Transparansi ini memastikan bahwa setiap orang yang terlibat dalam proyek tetap mematuhi protokol keselamatan yang sama.

BIM 8D memastikan bahwa peraturan keselamatan terintegrasi sepenuhnya ke dalam fase desain dan pelaksanaan proyek. Kepatuhan terhadap standar keselamatan lokal dan internasional menjadi lebih mudah karena protokol keselamatan didokumentasikan secara otomatis dan dapat dilacak melalui model.

Pengembangan lingkungan VR (*Virtual reality*)

Virtual reality (VR) merupakan teknologi untuk berinteraksi secara virtual dengan lingkungan yang disimulasikan dengan menggunakan komputer. Perkembangan teknologi perangkat grafis memberikan solusi yang sangat dibutuhkan untuk menghasilkan output visual yang lebih baik

Virtual reality biasa dikembangkan dalam sebuah perangkat lunak yang digunakan pada *smartphone* yang bertujuan untuk memberikan suasana baru bagi pengguna dalam bermain game, belajar, dan lainnya. Dalam perancangan aplikasi VR membutuhkan metode tersendiri, karena banyaknya objek, interaksi, aturan dan pengontrolan yang harus ditentukan/diketahui dalam pembuatannya dan berbeda dari perangkat lunak biasanya.

Sistem ini memungkinkan pembuatan dan eksplorasi maket desain perkotaan dalam

berbagai skala, sehingga meningkatkan proses desain dan interaksi antar pemangku kepentingan. Arsitektur sistem memfasilitasi kolaborasi dan evaluasi multi-pengguna secara real-time, yang secara fundamental mengubah proses keterlibatan pemangku kepentingan dalam perencanaan perkotaan. Iris VR diintegrasikan untuk meningkatkan fase arsitektur dan perencanaan perkotaan dari Proyek Dukungan Kota. Sistem VR yang dirancang khusus ini memungkinkan para pemangku kepentingan berinteraksi dengan model virtual desain perkotaan, memberikan pengalaman imersif yang memfasilitasi pemahaman dan evaluasi potensi dampak yang lebih mendalam. Iris VR mendukung kolaborasi multi-pengguna, memungkinkan modifikasi dan interaksi secara *real-time*. Sistem ini sangat berguna dalam sesi-sesi di mana banyak pemangku kepentingan, termasuk arsitek, perencana kota, dan perwakilan masyarakat, perlu mengevaluasi proposal desain secara dinamis.

Tabel 1. Manfaat dan Tantangan Penerapan *Virtual reality* (VR) dalam Konstruksi

Kategori	Manfaat	Basis Literatur	Tantangan	Basis Literatur
Desain dan Visualisasi	Visualisasi yang lebih baik meningkatkan pemahaman ruang dan pengurangan kesalahan desain	(Abbas dkk., 2019; Ahmed, 2020; Leong dkk., 2024; Vijaya-lakshmi dkk., 2023)	Biaya investasi awal yang tinggi dan keterbatasan akurasi simulasi kondisi nyata	(Moore & Gheisari, 2019; Tan dkk., 2022; Veble dkk., 2024)
	Peningkatan keterlibatan klien melalui simulasi interaktif	(Abbas dkk., 2019; Bakar dkk., 2024; Lopez dkk., 2022b; Ramaji dkk., 2021)	Mabuk gerakan dan ketidakhadiran pengguna	(Jacobsen dkk., 2022; Oke dkk., 2023; Veble dkk., 2024)
Manajemen Proyek	Perencanaan proyek yang lebih efisien dan pengambilan keputusan yang lebih baik	(Abbas dkk., 2019; Ahmed, 2020; Yu dkk., 2024)	Kesulitan integrasi teknologi VR dengan sistem manajemen proyek	(Lopez dkk., 2022b; Tan dkk., 2022; Ventura dkk., 2022)
	Kolaborasi yang lebih baik antara pemangku kepentingan	(Ahmed, 2020; Bakar dkk., 2024; Quan, 2019; Ramaji dkk., 2021)	Kurangnya standarisasi dalam penerapan VR	(Osti dkk., 2021; Tan dkk., 2022; Veble dkk., 2024; Yu dkk., 2024)
Pelatihan dan Pendidikan	Simulasi aman untuk skenario berbahaya dan pelatihan interaktif	(Jacobsen dkk., 2022; Osti dkk., 2021; Ventura dkk., 2022)	Ketergantungan pada infrastruktur fisik VR yang mahal	(Abbas dkk., 2019; Lopez dkk., 2022b; Tan dkk., 2022)

	Penguasaan keterampilan yang lebih baik melalui pelatihan imersif	(Bakar dkk., 2024; Jacobsen dkk., 2022; Osti dkk., 2021)	Keterbatasan aksesibilitas terhadap fasilitas VR, khususnya di negara berkembang	(Ahmed, 2020; Oke dkk., 2023; Tan dkk., 2022)
Keberlanjutan	Pengurangan limbah material dan efisiensi energi dalam proyek konstruksi	(Leong dkk., 2024; Potseluyko dkk., 2023; Vijayalakshmi dkk., 2023; Yu dkk., 2024)	Biaya awal tinggi untuk solusi VR berkelanjutan	(Jacobsen dkk., 2022; Moore & Gheisari, 2019; Tan dkk., 2022; Veble dkk., 2024)
	Dukungan untuk praktik konstruksi ramah lingkungan	(Leong dkk., 2024; Lopez dkk., 2022b; Yu dkk., 2024)	Tantangan teknis dalam mensimulasikan kondisi lingkungan yang realistis	(Abbas dkk., 2019; Tan dkk., 2022; Veble dkk., 2024; Ventura dkk., 2022)

Integrasi sistem

Memvisualisasikan dunia virtual dan berinteraksi dengannya pada dasarnya merupakan aspek VR, dan menciptakan serta memanipulasi data desain merupakan esensi BIM, sehingga hubungan antara kedua kemampuan yang kuat ini perlu dipahami dan dieksplorasi. Berdasarkan perspektif ini, perusahaan perangkat lunak komersial telah mengembangkan produk BIM + VR yang canggih. Penggunaan teknologi BIM pada proyek konstruksi berpotensi meningkatkan proses dengan memungkinkan semua anggota tim berkolaborasi secara akurat dan efisien. Perluasan penggunaan informasi BIM yang tak terbatas menggabungkan perangkat lunak berbasis BIM dengan teknologi canggih lainnya. Teknologi canggih ini menghubungkan entitas digital dengan entitas fisik, dan penelitian telah dilakukan untuk menyelidiki kombinasi BIM dan teknologi lainnya. Refleksi ini melibatkan hubungan BIM dengan VR.

Bidang VR saling terkait dengan domain lain yang dapat memanfaatkan visualisasi yang dimungkinkan oleh model BIM, seperti manajemen fasilitas yang terkait dengan visualisasi data yang tercakup dalam model BIM, secara real-time mengikuti interaksi yang dimungkinkan oleh teknologi VR.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengembangan Sistem

- a) Visualisasi dan pemodelan keselamatan konstruksi

8D BIM yang dikembangkan digunakan untuk simulasi dan pelatihan keselamatan kerja bagi petugas keselamatan sebelum terjun ke proyek. Dengan bantuan simulasi VR, pengguna dapat lebih memahami dan merasakan pengalaman seolah-olah berada di lokasi konstruksi nyata (Jati et al., 2025).

- b) Simulasi *Virtual reality* (VR) untuk pelatihan dan inspeksi

8D BIM yang dibangun mengilustrasikan keseluruhan proses Pembangunan dengan mengedepankan aspek keselamatan pada setiap tahapan, mulai pekerjaan fondasi hingga penyelesaian arsitektur. Model ini mengilustrasikan alat-alat yang digunakan, denah lokasi proyek, visualisasi pekerja, tanda proyek, bahkan mensimulasikan kecelakaan kerja yang disebabkan oleh kesalahan penempatan alat (Jati et al., 2025).

- c) Peningkatan keberlanjutan dan pengurangan dampak lingkungan

Integrasi sistem 8D BIM dan VR menunjukkan perbaikan dalam dimensi sosial dan lingkungan dari proyek. Proyek ini mencapai pengurangan emisi gas rumah kaca sebesar 20% dan penurunan konsumsi energi tahunan sebesar 40% berkat penerapan teknologi dan sistem hemat energi yang didorong oleh simulasi matematis dan BIM-VR dengan energi terbarukan seperti panel surya. Selain itu, proyek ini meningkatkan rasio ruang terbuka hijau dari 20% menjadi

32%, yang meningkatkan keberlivablean dan konservasi keanekaragaman hayati di area yang terurbanisasi (Ali Shehadeh et al., *Heliyon*, 2025)

- d) Optimalisasi proses konstruksi dan pengambilan keputusan

Sistem 8D BIM dengan VR menghadirkan inovasi cerdas serta adaptif dalam perencanaan kota. Sistem ini menggunakan Generative Design berbasis model matematis untuk mengukur kepatuhan desain terhadap keberlanjutan, efisiensi energi, rasio ruang terbuka hijau, efisiensi dalam pergerakan, dan kenyamanan termal. Dengan integrasi BIM dan VR, desain dapat dioptimalkan setiap tahapannya dengan pendekatan berbasis data dan analisis waktu nyata (Ali Shehadeh et al., *Heliyon*, 2025)

Keefektifan integrasi 8D BIM-VR

- a) Efektivitas dalam pengambilan keputusan berbasis data dan kolaboratif

Pengintegrasian VR ke dalam alur kerja BIM menyediakan lingkungan yang imersif dan interaktif bagi para pemangku kepentingan, yang berdampak positif terhadap kolaborasi, akurasi desain, dan pengambilan keputusan. Selain itu, penggunaan model matematis berbasis BIM-VR juga meningkatkan kuantitatif *guiding metrics* dalam setiap tahap pengambilan keputusan yang memastikan setiap tujuan dalam proyek dapat tercapai secara efektif (Ali Shehadeh et al., *Heliyon*, 2025).

- b) Efektivitas terhadap partisipasi masyarakat dan keterlibatan pemangku kepentingan

VR memungkinkan beberapa pengguna untuk bekerja sama, memungkinkan perubahan dan interaksi di berbagai tingkat dalam waktu bersamaan. Ini memungkinkan anggota masyarakat dan para pemangku keening untuk berinteraksi dengan model-model virtual desain perkotaan, menciptakan pengalaman bersifat imersif yang sangat mendalam dan memungkinkan evaluasi dengan cara melihat dampak yang akan terjadi (Ali Shehadeh et al., *Heliyon*, 2025).

- c) Efektivitas dalam peningkatan keselamatan kerja dan perencanaan risiko

Integrasi 8D BIM dengan VR memungkinkan simulasi kondisi lapangan waktu nyata dan penilaian risiko. Ini memberikan pekerja dan manajer proyek kesempatan untuk “mengalami skenario pelatihan keselamatan dalam lingkungan imersif,” yang telah terbukti meningkatkan kesadaran risiko, sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya kecelakaan di lokasi (Zaman et al. 2024).

- d) Efektivitas dalam kolaborasi dan komunikasi antar pemangku kepentingan

Integrasi 8D BIM-VR meningkatkan kolaborasi di antara tim proyek dengan menyediakan ruang kerja virtual, interaktif, dan kooperatif. Pemangku kepentingan dapat berinteraksi dengan bebas di VR untuk membahas desain, risiko proyek, dan jadwal. Interaksi VR meningkatkan pemahaman informasi desain yang kompleks dan mengurangi salah tafsir. Sistem ini efektif dalam memperkuat koordinasi dan kolaborasi multidisiplin selama siklus hidup proyek konstruksi (Zaman et al. 2024).

- e) Efektivitas pada visualisasi dan identifikasi bahaya

Melalui pendekatan visual yang interaktif, para ahli keselamatan dapat mengenali potensi kecelakaan di setiap tahapan konstruksi secara lebih dini. Hasil identifikasi bahaya tersebut kemudian didokumentasikan dalam bentuk datasheets yang berfungsi sebagai pedoman keselamatan selama proses konstruksi. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi 8D BIM-VR efektif dalam memperkuat sistem deteksi bahaya dan mitigasi risiko kerja (Jati et al., 2025).

Dampak terhadap peningkatan kesadaran keselamatan

- a) VR meningkatkan kemampuan identifikasi bahaya & kesadaran keselamatan secara signifikan

Penelitian tinjauan sistematis dan studi eksperimental melaporkan bahwa pelatihan berbasis VR meningkatkan kemampuan pekerja mengenali hazard dan persepsi risiko dibanding pelatihan tradisional (Scorgie, D. et al., 2024)

- b) 8D-BIM menempatkan aspek keselamatan langsung ke dalam model (prevention-by-design)

8D menambahkan layer informasi keselamatan (hazard tagging, prosedur, PPE, rute evakuasi) sehingga potensi bahaya dapat diidentifikasi sejak tahap perencanaan/desain, yang pada akhirnya mendukung peningkatan kesadaran saat pelatihan (Sampaio, A.Z. et al., 2022)

- c) Integrasi BIM

Game engine/VR mempercepat transfer data dan membuat skenario pelatihan realistis artikel dan studi kasus menunjukkan integrasi IFC/BIM *game engine* (*Unity/Unreal*) memungkinkan membuat simulasi VR real-time untuk latihan *hazard awareness* dan prosedur keselamatan. Hal ini meningkatkan keterlibatan peserta dan retensi pengetahuan keselamatan (Zaman, A.A.U. et al., 2024)

- d) Pendekatan terintegrasi (8D + VR) membantu komunikasi antar-pemangku (visualisasi risiko bersama)

8D menyediakan data keselamatan yang kaya dan VR menyajikannya secara imersif kepada pekerja/kontraktor sehingga semua pihak memiliki pemahaman sama tentang risiko — ini memperkuat budaya keselamatan dan kesadaran kolektif (Bao, L. et al. 2022)

- e) Kendala/ketidakpastian kurangnya standar evaluasi efektivitas VR + kebutuhan studi lapangan jangka Panjang

Literatur menunjukkan hasil awal positif, tetapi masih diperlukan kerangka evaluasi standar dan studi longitudinal untuk mengukur pengaruh jangka panjang terhadap penurunan kecelakaan dan perilaku keselamatan (Johansson, M. -2024)

4. KESIMPULAN

Integrasi antara 8D Building Information Modeling (BIM) dan *Virtual reality* (VR) terbukti mampu meningkatkan efektivitas pelatihan keselamatan kerja di proyek konstruksi. Melalui pendekatan imersif dan interaktif yang ditawarkan VR, pekerja dapat berpartisipasi langsung dalam simulasi kondisi berisiko secara realistis tanpa menghadapi bahaya nyata. Sementara itu,

8D BIM berperan penting dalam mengidentifikasi potensi bahaya sejak tahap perencanaan melalui integrasi data keselamatan (*hazard tagging*, rute evakuasi, prosedur K3, dan penggunaan APD).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan sistem 8D BIM–VR mampu meningkatkan kesadaran keselamatan dan identifikasi bahaya secara signifikan dibandingkan dengan metode pelatihan konvensional. Integrasi ini juga memperkuat kolaborasi antar pemangku kepentingan karena seluruh pihak dapat berinteraksi dalam ruang virtual yang sama untuk membahas risiko dan prosedur mitigasi. Selain itu, sistem 8D BIM–VR meningkatkan efisiensi pengambilan keputusan dengan menyediakan data keselamatan dan visualisasi risiko secara real-time, serta berpotensi menurunkan angka kecelakaan kerja karena pelatihan berbasis simulasi VR membentuk perilaku preventif dan meningkatkan kewaspadaan pekerja di lapangan. Penerapan teknologi ini juga memberikan kontribusi terhadap keberlanjutan proyek melalui efisiensi energi, pengurangan limbah material, dan peningkatan desain ramah lingkungan. Namun demikian, penelitian ini juga menyoroti beberapa kendala, seperti biaya implementasi yang tinggi, keterbatasan infrastruktur VR, serta belum adanya standar evaluasi efektivitas jangka panjang. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan secara eksperimental dan longitudinal untuk mengukur dampak nyata integrasi 8D BIM–VR terhadap penurunan angka kecelakaan dan perubahan perilaku keselamatan pekerja.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Afzal, M., & Shafiq, M. T. (2021). Evaluating 4D-BIM and VR for effective safety communication and training: A case study of multilingual construction job-site crew. *Buildings*, Vol. 11, Hal. 319. <https://doi.org/10.3390/buildings11080319>
- Ahmad Akib Uz Zaman, A. A. (2024). Integration of BIM data and real-time game engine applications: Case studies in construction safety management. *Journal of Information Technology in Construction*, Vol. 29, Hal. 117–140. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2024.007>
- Ali Shehadeh, O. A. (2025). Advanced integration of BIM and VR in the built environment: Enhancing sustainability and resilience in urban development. *Heliyon*, Vol. 11, Hal. 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42558>
- Jati, D. G. P. (2021). UAV-based photogrammetry data transformation as a building inspection

- tool: Applicability in mid-high-rise building. *JTS (Jurnal Teknik Sipil)*, Vol. 16, Hal. 113–121.
- Jati Utomo Dwi Hatmoko, F. M. (2025). Developing 8D building information modeling and virtual reality to minimize safety hazards in construction building projects. *Jurnal Sistem Informasi Bisnis*, Vol. 3, Hal. xx–xx. <https://ejournal.un-dip.ac.id/index.php/jsinbis/article/view/71829>
- Nurritzqa, Syahrial, Munadi, R., & Yunidar. (2021). Penerapan metode perancangan virtual reality: Tinjauan literatur. *InfoTekJar: Jurnal Nasional Informatika dan Teknologi Jaringan*, Vol. 5, Hal. 289–295. <https://doi.org/10.30743/in-fotekjar.v5i2.3458>
- Man, S. S., Wen, H., & So, B. C. L. (2024). Are virtual reality applications effective for construction safety training and education? A systematic review and meta-analysis. *Journal of Safety Research*, Vol. 88, Hal. 230–243. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2023.11.011>
- Masiku, H., Latief, R. U., Parung, H., & Arifuddin, R. (2024). Analisis profil kecelakaan konstruksi pada proyek bangunan gedung di Indonesia. *Rekonstruksi Tadulako: Civil Engineering Journal on Research and Development*, Vol. 5, Hal. 17–22.
- Monarch Innovation. (2025). BIM Dimensions - 3D, 4D, 5D, 6D, 7D. [Online] Available at: <https://www.monarch-innovation.com/bim-dimensions-3d-4d-5d-6d-7d> [Accessed: 11 November 2025].
- Rokoeei, S., Shojaei, A., Alvanchi, A., Azad, R., & Didehvar, N. (2023). Virtual reality application for construction safety training. *Safety Science*, Hal. 105925. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105925>
- Sarju, Asmarayani, D. V., & Kresnanto, N. C. (2022). Penilaian efektivitas implementasi building information modelling (BIM) pada proyek konstruksi bangunan gedung. *JTS (Jurnal Teknik Sipil)*, Vol. 16, Hal. 247–260.
- Scorgie, D., Feng, Z., Paes, D., Parisi, F., Yiu, T. W., & Lovreglio, R. (2024). Virtual reality for safety training: A systematic literature review and meta-analysis. *Safety Science*, Vol. 171. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106372>
- Song, T., & Liu, W. (2023). Research on construction safety education based on BIM-virtual reality. [Prosiding]. *Proceedings of the 2nd International Conference on Internet Technology and Educational Informatization (ITEI 2022)*. EAI. <https://doi.org/10.4108/eai.23-12-2022.2329172>
- Subagio, T., Wicaksono, D., Prihanto, T., & Santoso, E. B. (2022). Praksis implementasi pemodelan informasi bangunan (building information modeling/BIM) dalam industri arsitektur, rekayasa, dan konstruksi modern. *Jurnal Talenta Sipil*, Vol. 5, Hal. 101–108.
- Szóstak, M., Napiórkowski, M., Dziekoński, K., & Anandh, K. S. (2024). 8D-BIM models in construction: Enhanced occupational safety for construction works. *Construction of Optimized Energy Potential*, Vol. 13, Hal. 184–192. <https://doi.org/10.17512/bozpe.2024.13.18>
- Widodo, M. A. D., Agustina, H. A., Ardiansyah, R. P., & Abma, V. (2025). Kajian literatur: Implementasi teknologi virtual reality (VR) dalam industri konstruksi. [Prosiding]. *Proceedings Civil Engineering Research Forum*, Vol. 4.