

VARIABEL BERPENGARUH DALAM IMPLEMENTASI *BUILDING INFORMATION MODELING* (BIM) DENGAN KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA (K3) UNTUK MEMINIMALISASI KECELAKAAN KERJA PADA TAHAP PERENCANAAN PROYEK KONSTRUKSI

Widi Hartono, Dewi Handayani, Najwa Azzurrah Anggun Prasetya

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36A, Kentingan, Surakarta, Jawa Tengah 57126
Email: wieds_ts@ft.uns.ac.id

Abstract

Social Security Administrator for Employment (BPJS Ketenagakerjaan) has recorded at least 177 thousand work accidents in the period from January to October 2020. There are several approaches regarding construction safety planning to address work safety issues. BIM technology is the most advanced technology in the field of construction, one of which is work safety planning to identify potential work accidents and develop mitigation plans. This research was conducted to determine the effect of implementing BIM with K3 to minimize work accidents in the construction project planning stage. There are eight approach variables in integrating BIM with K3 which will then be analyzed using the Delphi method and then a questionnaire will be created. The questionnaire will be distributed to 34 respondents who are BIM practitioners. The Delphi method is useful for reaching a consensus which will be carried out in two stages, namely the percent agreement analysis stage and the coefficient of variation (CV) analysis stage. The three approach variables in integrating BIM with OSH that are most influential in minimizing work accidents in construction projects at the planning stage are (1) BIM 4D Model; (2) 4D BIM Simulation; and (3) Design for Safety (DfS).

Keywords: Building Information Modeling (BIM), construction accidents, construction projects, delphi method, Occupational Health and Safety (OHS), planning phase.

Abstrak

BPJS Ketenagakerjaan telah mencatat setidaknya 177 ribu kecelakaan kerja pada rentang waktu dari bulan Januari sampai Oktober 2020. Terdapat beberapa pendekatan mengenai perencanaan keselamatan konstruksi untuk mengatasi masalah tentang keselamatan kerja. Teknologi BIM merupakan teknologi paling maju di bidang konstruksi salah satunya terhadap perencanaan keselamatan kerja untuk mengidentifikasi potensi kecelakaan kerja dan pengembangan rencana mitigasi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh implementasi BIM dengan K3 untuk meminimalkan kecelakaan kerja pada proyek konstruksi tahap perencanaan. Terdapat delapan variabel pendekatan dalam pengintegrasian BIM dengan K3 yang selanjutnya akan dianalisis dengan metode Delphi yang selanjutnya akan dibuatkan kuesioner. Kuesioner tersebut akan disebar kepada 34 responden yang merupakan praktisi BIM. Metode Delphi berguna untuk mencapai sebuah konsensus yang akan dilakukan dalam dua tahap yaitu tahap analisis persen setuju dan tahap analisis *coefficient of variation* (CV). Tiga variabel pendekatan dalam pengintegrasian BIM dengan K3 yang paling berpengaruh dalam meminimalkan kecelakaan kerja pada proyek konstruksi tahap perencanaan adalah (1) Model 4D BIM; (2) Simulasi 4D BIM; dan (3) *Design for Safety* (DfS).

Kata Kunci : Building Information Modeling (BIM), kecelakaan kerja, Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), metode delphi, proyek konstruksi, tahap perencanaan

PENDAHULUAN

Pekerjaan pada industri konstruksi dikenal sebagai salah satu pekerjaan paling berbahaya untuk dikerjakan (Gibb et al., 2010). Hal ini disebabkan oleh banyaknya kecelakaan yang terjadi pada lokasi kerja konstruksi. Setidaknya ada 108 ribu pekerja yang meninggal dunia di lapangan proyek setiap tahunnya atau setidaknya berjumlah 30% dari semua cedera fatal akibat kerja (*International Labour Organization*, 2015). Di Indonesia sendiri, menurut Menteri Ketenagakerjaan Ida Fauziyah (2021), BPJS Ketenagakerjaan telah mencatat setidaknya 177 ribu kecelakaan kerja pada rentang waktu dari bulan Januari sampai Oktober 2020. Kecelakaan tersebut memiliki dampak seperti biaya tunjangan cacat dan produktivitas pekerja berkurang serta alat menganggur di lapangan proyek konstruksi yang sangat berpotensi menghambat pembangunan proyek (Muliawan et al., 2008). Maka dari itu, selama tahap perencanaan, keselamatan harus dianggap sama pentingnya dengan kegiatan konstruksi lainnya (Kartam, 1995).

Dalam upaya mengatasi terjadinya kecelakaan kerja, diadakanlah sebuah program Keselamatan dan Kesehatan Kerja atau K3. Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) adalah semua kondisi serta faktor yang dapat berdampak pada keselamatan dan kesehatan pekerja maupun orang lain di sekitar tempat kerja (*International Labour Organization*, 2018). Dewasa ini, teknologi yang paling maju di industri konstruksi adalah teknologi *Building Information Modeling* (BIM). *Building Information Modeling* (BIM) adalah sebuah metode dalam pengelolaan data dari suatu konstruksi selama siklus hidup dari konstruksi itu sendiri *time* (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Pusat Pendidikan dan Pelatihan, 2018). Diikuti oleh kemampuan dan keserbagunaannya, teknologi BIM sangat mungkin untuk digunakan di berbagai bidang di industri konstruksi terutama dalam bidang keselamatan (Martinez-Aires et al., 2018). Dengan bantuan teknologi BIM, tingkat insiden dapat menurun drastis (Othman et al., 2021). Pendekatan akan keselamatan konstruksi dapat diubah dengan memperluas penggunaan BIM (Zhang et al., 2013).

Berbagai negara di dunia telah mengadopsi penggunaan BIM dalam industri konstruksi. Di Inggris, implementasi BIM level 2 sudah diwajibkan oleh pemerintah dalam proyek sektor publik (Hartono et al., 2021; Syifahani, 2018). Berbeda dengan Inggris, perkembangan implementasi BIM di Indonesia masih belum mencapai tingkat yang optimal (Hanifah, 2016). Implementasi BIM di Indonesia masih terbatas pada level 1 BIM yang melingkupi penyusunan CAD 2D dan 3D (Hartono et al., 2021). Meski begitu, implementasi BIM di Indonesia memiliki potensi dalam mendukung keselamatan di proyek konstruksi lebih tepatnya pada tahap prakonstruksi (Nelson & Tamtana, 2019). Potensi BIM dalam mendukung keselamatan di proyek konstruksi lebih tepatnya pada tahap prakonstruksi di Indonesia dapat diteliti lebih lanjut dengan penelitian eksploratif. Penelitian eksploratif dilakukan dengan tujuan menemukan ide-ide baru atau mengidentifikasi hubungan-hubungan baru dari fenomena-fenomena tertentu (Purba & Simajuntak, 2011). Untuk mencapai kesepakatan secara konsensus terhadap ide baru dari fenomena tertentu sesuai prioritas, dibutuhkan sebuah metode dalam menganalisis penelitian.

Metode yang digunakan adalah metode Delphi. Megan dan George (2016) menyatakan bahwa metode Delphi digunakan untuk memfasilitasi komunikasi kelompok secara terstruktur dengan tujuan mengumpulkan konsensus dari pendapat para ahli dalam menghadapi masalah yang kompleks. Metode Delphi berguna dalam memperoleh dan menghubungkan penilaian informasi oleh pada suatu topik. Metode ini cocok untuk mencapai konsensus di area kompleks atau area yang relatif baru (Olawumi et al., 2018). Menurut Linstone (2002) metode Delphi memiliki karakteristik-karakteristik seperti (1) anonim dimana tanggapan yang dinyatakan melalui kuesioner tidak melampirkan identitas dari anggota tertentu; (2) meminimalisasi perselisihan dan meningkatkan efektivitas dari komunikasi; serta (3) hasil respon dari survei berupa data statistik yang dapat mengurangi bias dan penafsiran subjektif.

Variabel berpengaruh dalam pengintegrasian BIM dengan K3 untuk meminimalkan kecelakaan kerja pada proyek konstruksi tahap perencanaan yang akan dianalisis pada jurnal ini didapatkan dari studi literatur. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Rachel Collins, Sijie Zhang, Kyungki Kim, dan Dr. Jochen Teizer (2014) tentang integrasi faktor risiko keselamatan dengan BIM untuk konstruksi *scaffolding* didapatkan kesimpulan bahwa pengintegrasian BIM dengan faktor risiko keselamatan dapat memberikan informasi detail yang dapat membantu lapangan konstruksi menjadi lebih aman. Visualisasi tingkat risiko dapat membantu pengidentifikasian potensi bahaya. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Sijie Zhang, Kristiina Sulankivi, Markku Kiviniemi, Iikka Romo, Charles M. Eastman, dan Jochen Teizer (2015) tentang identifikasi bahaya jatuh dan pencegahan menggunakan BIM pada perencanaan keselamatan konstruksi didapatkan bahwa BIM berhasil diimplementasikan dalam perencanaan keselamatan pada industri konstruksi dengan hasil menampilkan lokasi-lokasi yang teridentifikasi adanya potensi akan bahaya jatuh dan memberikan mitigasi berupa pagar pembatas secara visual. Implementasi ini efektif untuk diterapkan pada tahap perencanaan dari proyek

Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Guo Hongling, Yu Yantao, Zhang Weisheng, dan Li Yan (2016) tentang integrasi BIM dan aturan keselamatan berdasarkan identifikasi otomatis dari faktor desain tidak aman dalam konstruksi, didapatkan *Design for Safety* (DfS) merupakan metode yang efisien untuk memecahkan masalah mengenai keselamatan di konstruksi. Namun, jika dilakukan pengidentifikasian secara manual akan sulit bahkan tidak bisa dilakukan. Maka dari itu, dibutuhkan BIM dalam pengembangan untuk mengidentifikasikan desain tidak aman secara otomatis. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Maria D. Martinez-Aires, Monica Lopez-Alonso, dan Maria Martinez-Rojas (2017) tentang manfaat *Building Information Modeling* (BIM) untuk manajemen keselamatan pada konstruksi didapatkan kesimpulan bahwa *Building Information Modeling* (BIM) sangat menjanjikan

dalam manajemen keselamatan pada industri AEC (*Architecture, Engineering, and Construction*). BIM mampu membantu meningkatkan keselamatan di konstruksi dengan mengidentifikasi potensi bahaya melalui penjadwalan 4D (model, penjadwalan, dan pengurutan pada perencanaan). Implementasi BIM untuk manajemen keselamatan ini membantu pekerja untuk menghemat waktu dan usaha. BIM juga dapat mengeleminasi potensi bahaya pada tahap awal proyek. Dengan menggunakan BIM, perencanaan dari proyek konstruksi (kondisi *site*) bisa divisualisasikan dengan baik.

Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Antonius Aldy Winoto (2019) tentang implementasi 4D BIM dalam perencanaan K3 akibat bahaya jatuh pada pekerjaan struktur proyek, didapatkan bahwa 4D BIM (3D BIM + jadwal) dapat memudahkan dalam mengidentifikasi lokasi yang berpotensi adanya bahaya jatuh dan sistem alat pelindungannya. Menurut penelitian yang telah dilakukan Nguyen Quoc Toan, Nguyen Thi Tuyet Dung, dan Nguyen Ini My Hanh (2021) tentang pemodelan 3D-BIM dan 4D-BIM dalam manajemen keselamatan konstruksi, didapatkan bahwa teknologi BIM yang telah dipelajari dan dikembangkan untuk diadopsi secara luas dalam industri konstruksi dijanjikan akan membawa peningkatan signifikan dalam manajemen keselamatan konstruksi. Model 3D-BIM dievaluasi sebagai model 3D "pintar" yang dapat dihubungkan dengan 4D-BIM. Dimana dengan digabungkan kedua dimensi tersebut, BIM dapat membantu dalam mengidentifikasi bahaya melalui sistem pengecekan aturan otomatis dan simulasi untuk menganalisis kemungkinan keruntuhan. Penelitian ini akan melakukan penelitian mengenai pengaruh implementasi BIM dengan K3 untuk meminimalkan kecelakaan kerja pada proyek konstruksi khususnya pada tahap perencanaan dengan menggunakan metode Delphi.

METODE

Jenis penelitian ini adalah metode campuran sekuensial eksploratif (*exploratory sequential mixed method*). Dimana penelitian ini melakukan studi pustaka dan wawancara kualitatif agar didapatkannya informasi terlebih dahulu. Selanjutnya diikuti dengan kuesioner kuantitatif dengan sampel yang sudah ditentukan agar mendapatkan hasil umum dari suatu populasi. Teknik pengumpulan data pada penelitian ini menggunakan teknik *non probability sampling* dengan cara *purposive sampling*. Teknik ini memilih sampel berdasarkan karakteristik yang diteliti. Penelitian ini adalah penelitian mengenai pengaruh implementasi BIM dengan K3 untuk meminimalkan kecelakaan kerja pada tahap perencanaan proyek konstruksi. Maka, karakteristik yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah responden dengan pengalaman kerja menggunakan BIM dalam fase perencanaan proyek konstruksi meliputi BIM *Manager*, BIM *Coordinator*, BIM *Engineer*, BIM *Modeler*, BIM *Drafter*, BIM *Surveyor*, dan BIM *Researcher* dengan total 34 responden.

Penelitian ini dilakukan di sekitar Jakarta, Bogor, Depok, Tangerang dan Bekasi (Jabodetabek). Hal ini dikarenakan keberadaan dari objek penelitian yang melingkupi perusahaan kontraktor, sub-kontraktor, dan konsultan mayoritas berada di sekitar kota tersebut. Keputusan pemilihan lokasi tersebut berdasarkan penggunaan BIM yang telah digunakan di kantor pusat kontraktor dan subkontraktor di wilayah Jakarta dan sekitarnya.

Data yang telah terkumpul selanjutnya akan dianalisis menggunakan uji statistik untuk mengetahui konsensus dari data tersebut. Saat menghitung konsensus, pendekatan bisa terlalu bervariasi dan belum jelas. Agar terhindar dari kedua hal tersebut, dilakukan dua tahap dalam menganalisis konsensus. Tahap pertama adalah menganalisis persen setuju untuk menandakan persentase setuju dari setiap responden terhadap parameter kriteria. Parameter kriteria dianggap memenuhi syarat persentase setuju bila bernilai $> 70\%$.

Dilanjutkan dengan tahap kedua yaitu menganalisis *Coefficient of Variation* (CV) atau koefisien variasi. CV digunakan sebagai penentu perlu tidaknya penambahan putaran Delphi. Jika nilai $CV < 0,2$ atau 20% maka stabilitas telah tercapai dan tidak diperlukan putaran Delphi tambahan. Persamaan dalam menentukan CV dapat dilihat pada persamaan [1].

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \dots \dots \dots [1]$$

dengan σ adalah standar deviasi dan μ adalah rata-rata.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Terdapat delapan variabel integrasi BIM dengan K3 untuk meminimalkan kecelakaan kerja pada proyek konstruksi tahap perencanaan yang didapatkan dari studi literatur. Delapan variabel tersebut dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Variabel integrasi BIM dengan K3

Kode	Variabel	Keterangan	Sumber
PD-1	<i>Design for Safety</i> (DfS)	<i>Design for Safety</i> (DfS) adalah pendekatan yang efisien dalam mengurangi masalah keselamatan dalam konstruksi	Hongling et al., (2016)
PD-2	Model 4D BIM	Model 4D BIM (melingkupi model, penjadwalan, dan sequence) dapat membantu mengidentifikasi potensi bahaya dan mengantisipasi konflik	Martinez-Aires et al., (2018)
PD-3	Simulasi 4D	Simulasi 4D BIM dapat digunakan selama perencanaan proyek untuk menginformasikan aktivitas yang memiliki risiko keselamatan tinggi dan membantu dalam menerapkan tindakan pencegahan sesuai dengan rekomendasi mitigasi yang diberikan	Collins et al., (2014), Winoto (2019), dan Quoc Toan et al., (2021)
PD-4	Pemeriksaan Aturan Keselamatan Otomatis	Dengan BIM, pemeriksaan aturan keselamatan akan secara otomatis mengidentifikasi kondisi dinamis bangunan, mengidentifikasi lokasinya dalam ruang 3D virtual, dan memberikan solusi dan visualisasi sistem perlindungan untuk mengurangi bahaya yang teridentifikasi	Zhang et al., (2015) dan Quoc Toan et al., (2021)
PD-5	Identifikasi Faktor Tidak Aman Otomatis	BIM dapat mengidentifikasi faktor tidak aman secara otomatis yang akan divisualisasikan untuk mendapat informasi posisi potensi bahaya serta mitigasinya	Hongling et al., (2016)
PD-6	Identifikasi Lokasi Potensi Bahaya	Melalui integrasi pemodelan BIM dan aturan/standar keselamatan, lokasi potensi dapat teridentifikasi dan memberi informasi terhadap diperlukan atau tidaknya sistem perlindungan akan bahaya jatuh	Winoto (2019)
PD-7	Deteksi Bahaya Jatuh Otomatis	Kerangka kerja pemeriksaan aturan otomatis yang mengintegrasikan keselamatan dengan BIM secara efektif mendeteksi dan mencegah bahaya yang berhubungan dengan jatuh, khususnya selama tahap desain dan perencanaan keselamatan	Zhang et al., (2015)
PD-8	Mitigasi Otomatis	Dengan mengintegrasikan BIM dan aturan/standar keselamatan, rekomendasi mitigasi dapat didapatkan secara otomatis untuk mencegah bahaya	Hongling et al., (2016) dan Winoto (2019)

Hasil perhitungan uji konsensus didapatkan tujuh variabel dari delapan variabel integrasi BIM dengan K3 yang berpengaruh untuk meminimalkan kecelakaan kerja pada proyek konstruksi tahap perencanaan. Pada **Tabel 2.** menampilkan perbandingan keputusan putaran pertama dan kedua. Kode PD-1 tentang *design for safety* didapatkan bahwa penentuan metode dan perencanaan yang tepat dapat mengurangi kecelakaan kerja pada proyek konstruksi. Kode PD-2 model 4D BIM dapat mengetahui kegiatan yang *overlapping* dimana kegiatan tersebut mungkin saling bertentangan dan menimbulkan kecelakaan kerja. Maka, dengan model 4D BIM, kegiatan *overlapping* yang berpotensi terjadi kecelakaan dapat dihindarkan. Kode PD-3 simulasi dari 4D BIM dapat berfungsi sebagai panduan awal bagi pekerja proyek agar dapat memahami langkah-langkah kerja yang harus dilakukan dan secara efektif mengurangi risiko kecelakaan yang mungkin terjadi. Kode PD-6 identifikasi lokasi potensi bahaya dianggap sangat ideal untuk diperhitungkan pada tahap perencanaan untuk merencanakan lokasi pembatas atau rambu-rambu keselamatan.

Beberapa variabel dalam penelitian ini memperoleh temuan lain yang berbeda dari studi literatur menurut para praktisi BIM di Indonesia. Seperti pada Kode PD-4, PD-5, PD-7, dan PD-8 temuan penelitian ini menyatakan bahwa hasil otomatis tidak selamanya akurat yang mengharuskan adanya campur tangan manusia dalam pengecekan atau *monitoring*. Kode PD-5 tentang identifikasi faktor tidak aman otomatis dan Kode PD-8 tentang mitigasi otomatis belum sepenuhnya diterapkan di Indonesia. Kode PD-7 tentang deteksi bahaya jatuh otomatis ditemukan bahwa variabel tersebut tidak berpengaruh dalam meminimalkan kecelakaan kerja pada tahap perencanaan proyek konstruksi dikarenakan variabel tersebut merupakan fokus dari pekerja K3 dan lebih tepat untuk tahap pelaksanaan.

Tabel 2. Persen setuju variabel integrasi BIM dengan K3

Kode	Persen Setuju	Keputusan	Persen Setuju	Keputusan
	Putaran Pertama	Putaran Pertama	Putaran Kedua	Putaran Kedua
PD-1	82,35%	Berpengaruh	85,29%	Berpengaruh
PD-2	91,18%	Berpengaruh	94,12%	Berpengaruh
PD-3	91,18%	Berpengaruh	91,18%	Berpengaruh
PD-4	79,41%	Berpengaruh	82,35%	Berpengaruh

Kode	Persen Setuju Putaran Pertama	Keputusan Putaran Pertama	Persen Setuju Putaran Kedua	Keputusan Putaran Kedua
PD-5	73,53%	Berpengaruh	76,47%	Berpengaruh
PD-6	82,35%	Berpengaruh	85,29%	Berpengaruh
PD-7	67,65%	Tidak Berpengaruh	67,65%	Tidak Berpengaruh
PD-8	70,59%	Berpengaruh	70,59%	Berpengaruh

Tahap selanjutnya adalah membandingkan hasil *coefficient of variation* (CV). Pada tahap ini, CV putaran kedua diselisihkan dengan CV putaran pertama. Syarat dari tahap ini adalah perbandingan CV putaran kedua dan putaran pertama bernilai kurang dari 0,2. Jika nilai perbandingan CV kurang dari 0,2 maka data dianggap valid dan putaran Delphi dapat dicukupkan. Rekapitulasi Data *Coefficient of Variation* (CV) Variabel Integrasi BIM dan K3 putaran pertama dan kedua dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Perbandingan CV variabel integrasi BIM dengan K3

Kode	CV Putaran 1 (CV.P1)	CV Putaran 2 (CV.P2)	Perbandingan (CV.P2 - CV.P1)
PD-1	0,25	0,24	-0,01
PD-2	0,19	0,18	-0,01
PD-3	0,19	0,19	0,00
PD-4	0,26	0,25	-0,01
PD-5	0,28	0,27	-0,01
PD-6	0,25	0,24	-0,01
PD-7	0,36	0,37	0,01
PD-8	0,29	0,30	0,01

Pada tabel di atas didapatkan bahwa variabel dengan Kode PD-1, PD-2, PD-4, PD-5, dan PD-6 memiliki nilai perbandingan CV terkecil yaitu -0,01 dimana variabel-variabel tersebut merupakan variabel dengan kesepakatan tertinggi. Sedangkan variabel dengan Kode PD-7 dan PD-8 memiliki nilai perbandingan CV terbesar yaitu 0,01 dimana kedua variabel tersebut merupakan variabel dengan kesepakatan terendah. Meski begitu, seluruh variabel tetap memenuhi syarat CV yaitu seluruh hasil perbandingan CV kurang dari 0,2 yang berarti seluruh variabel telah mencapai konsensus. Maka dari itu, putaran metode Delphi dapat dicukupkan sampai putaran kedua.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data serta pembahasan dari penelitian Pengaruh BIM terhadap K3 untuk Meminimalkan Kecelakaan Kerja pada Proyek Konstruksi Tahap Perencanaan, maka dapat diperoleh kesimpulan bahwa dari delapan variabel implementasi BIM dengan K3 terdapat tujuh variabel yang berpengaruh untuk meminimalkan kecelakaan kerja pada proyek konstruksi tahap perencanaan. Variabel yang berpengaruh tersebut adalah Model 4D BIM (94,12%), kemudian Simulasi 4D (91,18%), *Design for Safety* (DfS) dan Identifikasi Lokasi Potensi Bahaya Otomatis (85,29%), Pemeriksaan Aturan Keselamatan Otomatis (82,35%), Identifikasi Faktor Tidak Aman Otomatis (76,47%), dan Mitigasi Otomatis (70,59%).

REKOMENDASI

Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya adalah dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh bentuk integrasi BIM terhadap K3 berupa deteksi bahaya jatuh otomatis khususnya pada tahap perencanaan proyek konstruksi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan ucapan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada seluruh dosen, mahasiswa, dan laboran di Program Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret yang telah membantu dalam kegiatan penelitian dan penulisan artikel ini.

REFERENSI

Collins, R., Zhang, S., Kim, K., & Teizer, D. J., 2014, "Integration of Safety Risk Factors in BIM for Scaffolding Construction", *Computing in Civil and Building Engineering*, pp. 307–314.

- Gibb, A., Brace L, C., Pendlebury, M., & Bust, P. D., 2010, “How Can We Prevent Construction Accidents? Outcomes from a Stakeholder Consultation: Project and Workplace Influences”, pp. 107–116.
- Grime, M. M., & Wright, G., 2016, “Delphi Method”, *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online*, August, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1002/9781118445112.stat07879>
- Hanifah, Y., 2016, “Awareness dan Pemanfaatan BIM : Studi Eksplorasi”, *Temu Ilmiah IPLBI 2016*, August, pp. 49–54.
- Hartono, W., Handayani, D., & Syafi'i, S., 2021, “Tingkat Kedewasaan Penerapan Bim Pada Kontraktor Jembatan Di Indonesia”, *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, 5(1), pp. 50. <https://doi.org/10.20961/jrrs.v5i1.53628>
- Hongling, G., Yantao, Y., Weisheng, Z., & Yan, L., 2016, “BIM and Safety Rules Based Automated Identification of Unsafe Design Factors in Construction”, *Procedia Engineering*, 164(June), pp. 467–472. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.646>
- International Labour Organization, 2015, “Construction: a hazardous work”, International Labour Organization. https://www.ilo.org/safework/areasofwork/hazardous-work/WCMS_356576/lang--en/index.html. accessed: 24-08-22
- International Labour Organization, 2018, “Keselamatan & Kesehatan Kerja (K3) ”, *International Labour Organization*. https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---asia/---ro-bangkok/---ilo-jakarta/documents/publication/wcms_548900.pdf. accessed: 09-09-22.
- Kartam, N. A., 1995, “Integrating Construction Safety and Health Performance into CPM”, *ASCE Construction Congress Proceedings*, JUNE, pp. 456–462.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Pusat Pendidikan dan Pelatihan, 2018, “Modul 1 Kebijakan yang Terkait Perencanaan Konstruksi dengan Sistem Teknologi BIM”, *Pelatihan Perencanaan Konstruksi Dengan Sistem Teknologi Building Information Modeling (BIM)*.
- Linstone, H. A., & Turoff, M., 2002, “The Delphi Method Techniques and Applications”, Addison Wesley Publishing Company.
- Martinez-Aires, M. D., Lopez-Alonso, M., & Martinez-Rojas, M., 2018, “Building Information Modeling and Safety Management: A Systematic Review”, *Safety Science* 101, 11(18). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2017.08.015>
- Muliawan, J., Yudhistira, A., Chandra, H. P., & Ratnawidjaja, S., 2008, “Analisa Penyebab, Dampak, Pencegahan dan Penanganan Korban Kecelakaan Kerja di Proyek Konstruksi”, *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 7(2), pp. 136–143.
- Nelson, N., & Tamtana, J. S., 2019, “Faktor yang Memengaruhi Penerapan Building Information Modeling (BIM) dalam Tahapan Pra Konstruksi Gedung Bertingkat”, *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(4), pp. 241. <https://doi.org/10.24912/jmts.v2i4.6305>
- Olawumi, T. O., Chan, D. W. M., Wong, J. K. W., & Chan, A. P. C., 2018, “Barriers to the Integration of BIM and Sustainability Practices in Construction Projects: A Delphi Survey of International Experts”, *Journal of Building Engineering*, 20(July), pp. 60–71. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.06.017>
- Othman, I., Darda'urafindadi, A., Napiah, M., MiljanMikić, Ahmad, H., AliyuYaro, N. S., Isah, B. W., Kineber, A. F., & Buniya, M. K., 2021, “Development of Framework for BIM-Based Tools to Minimize the Causes of Accidents in Construction”, Springer Nature Singapore. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-33-6311-3_70
- Purba, E. F., & Simajuntak, P., 2011, “Metode Penelitian”, Universitas HKBP Nommesen.
- Quoc Toan, N., Thi Tuyet Dung, N., & Thi My Hanh, N., 2021, “3D-BIM and 4D-BIM Models in Construction Safety Management”, *E3S Web of Conferences*, 263. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126302005>
- Syifahani, H. R., 2018, “Studi Komparasi Implementasi Building Information Modelling (BIM) di Singapura dan Inggris Ditinjau dari Aspek Kelembagaan”, Direktorat Rumah Susun Direktorat Jenderal Penyediaan Perumahan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Winoto, A. A., 2019, “Implementasi 4D BIM Terkait Perencanaan K3 Akibat Bahaya Jatuh pada Pekerjaan Struktur Proyek Konstruksi X”, Universitas Parahyangan.
- Zhang, S., Sulankivi, K., Kiviniemi, M., Romo, I., Eastman, C. M., & Teizer, J., 2015, “BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning”, *Safety Science*, 72, pp. 31–45. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.08.001>

Zhang, S., Teizer, J., Lee, J. K., Eastman, C. M., & Venugopal, M., 2013, "Building Information Modeling (BIM) and Safety: Automatic Safety Checking of Construction Models and Schedules", *Automation in Construction*, 29, pp. 183–195.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.05.006>