

# PENGARUH PENERAPAN METODE *BUILDING INFORMATION MODELING* (BIM) TERHADAP KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA (K3) SEBAGAI MITIGASI KECELAKAAN KERJA PADA TAHAP PEMELIHARAAN GEDUNG MENGGUNAKAN METODE DELPHI

Widi Hartono, Dewi Handayani, Janeta Olivia

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret  
Jl. Ir. Sutami 36A, Kentingan, Surakarta 57126. Telp. 0271-634524  
Email: wieds\_ts@ft.uns.ac.id

## Abstract

*The factor that triggers the work accident problem is workers who have not carried out maintenance procedures properly. However, this is caused by data archiving which currently still uses conventional methods or hard files, making it difficult for workers to obtain information related to work practice procedures in accordance with OHS standards. Therefore, work accident mitigation can be done by implementing BIM which is a means of integrating digital data both graphical and non-graphical to solve data interoperability problems so that it can make it easier for workers to integrate, analyze, and access data. There are several BIM-K3 models that can help overcome the problem of work accidents at the building maintenance phase, such as integrating the BIM model with the maintenance system using the Industry Foundation Classes file format, helping to analyze data thoroughly using the Facility Management Visual Analysis System, and facilitating data accessibility using barcode/RFID tags and Augmented Reality. This research begins with a literature study and interviews and then continues with the distribution of questionnaires using the Delphi method.*

**Keywords:** *Building Information Modeling (BIM), building maintenance phase, Delphi method, Occupational Health and Safety (OHS), work accident*

## Abstrak

Faktor yang menjadi pemicu masalah kecelakaan kerja tersebut adalah para pekerja yang belum menjalankan prosedur pemeliharaan dengan baik. Namun, hal tersebut disebabkan oleh pengarsipan data yang saat ini masih menggunakan metode konvensional atau hard file sehingga menyebabkan para pekerja sulit untuk mendapatkan informasi terkait prosedur praktik kerja sesuai dengan standar K3. Maka dari itu, mitigasi kecelakaan kerja dapat dilakukan dengan mengimplementasikan BIM yang merupakan sarana integrasi data digital baik grafis maupun non-grafis untuk memecahkan masalah interoperabilitas data sehingga dapat memudahkan pekerja untuk mengintegrasikan, menganalisis, serta mengakses data. Terdapat beberapa model BIM-K3 yang dapat membantu mengatasi masalah kecelakaan kerja pada tahap pemeliharaan gedung, seperti mengintegrasikan model BIM dengan sistem pemeliharaan menggunakan format file Industry Foundation Classes, membantu menganalisis data secara menyeluruh dengan menggunakan Facility Management Visual Analysis System, dan memudahkan aksesibilitas data dengan menggunakan barcode/RFID tags dan Augmented Reality. Penelitian ini diawali dengan studi literatur dan wawancara lalu dilanjutkan dengan penyebaran kuesioner menggunakan metode Delphi.

**Kata Kunci :** *Building Information Modeling (BIM), kecelakaan kerja, Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), metode Delphi, tahap pemeliharaan gedung*

## PENDAHULUAN

Tahapan pemeliharaan pada bangunan gedung dinilai masih memiliki beberapa masalah keselamatan yang dapat menghambat proses pekerjaan serta berpotensi menyebabkan tingkat cedera yang tinggi, seperti terkena sengatan listrik, jatuh, luka, memar, dan lain-lain hingga penyakit akibat kerja. Masalah tersebut dapat terjadi karena referensi dokumen keselamatan kerja yang belum terintegrasi dengan baik. Pengaplikasian BIM merupakan salah satu inovasi teknologi di bidang konstruksi yang saat ini sudah cukup banyak digunakan. BIM merupakan sarana digitalisasi data yang membentuk model 3D dan informasi pelengkap lainnya, baik grafis maupun non-grafis, dalam sebuah lingkungan kolaborasi. BIM dinilai memiliki keunggulan terhadap K3 yang merupakan implementasi dari BIM 8D atau setara dengan tingkat kematangan level 3 karena dapat menghubungkan keselamatan dan proses tahapan konstruksi, salah satunya tahap pemeliharaan (Zhang, et al., 2013). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh model kerangka kerja BIM yang memiliki potensi untuk memitigasi risiko kecelakaan. Kerangka kerja K3 berbasis BIM dapat digunakan untuk mendukung praktik pemeliharaan yang aman melalui pemrosesan data dan transfer data, analisis sebab-akibat terjadinya kegagalan, dan data yang dapat diakses secara

*real-time*. Maka dari itu, terdapat tiga model BIM-K3 pada penelitian ini yang dapat membantu mengatasi masalah kecelakaan kerja pada tahap pemeliharaan, seperti mengintegrasikan model BIM dengan sistem pemeliharaan menggunakan format *file Industry Foundation Classes (IFC)*, membantu menganalisis data secara menyeluruh dengan menggunakan *Facility Management Visual Analysis System (FMVAS)*, dan memudahkan aksesibilitas data dengan menggunakan *barcode*/RFID tags dan *Augmented Reality (AR)*.

Metode untuk menentukan pengaruh model BIM pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode Delphi. Metode Delphi merupakan proses yang digunakan untuk melakukan survei dan mengumpulkan pendapat para ahli dalam bidang tertentu. Penerapan metode ini telah melalui tahap pertimbangan yang dilakukan terhadap metode Delbecq atau *Nominal Group Technique (NGT)*. Kedua metode tersebut merupakan metode konsensus yang digunakan untuk mengeksplorasi ide baru dan penentuan prioritas. Metode Delphi dilakukan dengan responden yang telah sesuai dengan kriteria serta terdapat beberapa putaran kuesioner hingga mencapai konsensus. Metode Delphi dilakukan dengan cara diskusi kelompok bersama peserta yang tidak memiliki keahlian yang sama. Berdasarkan beberapa pertimbangan tersebut, dapat ditetapkan bahwa metode Delphi yang layak digunakan dalam menentukan rekomendasi model kerangka BIM karena dapat mendorong para pakar untuk memberikan penilaian pribadi terhadap model-model dari implementasi BIM sehingga tidak terpengaruh oleh opini lainnya, serta simpulan keputusan dari beberapa individu yang dipilih dengan metode Delphi memiliki kemungkinan kesalahan yang lebih kecil karena telah melalui serangkaian putaran untuk mencapai konsensus (Livesey, 2016). Penelitian ini menggunakan metode Delphi yang memiliki kesamaan dengan penelitian yang dilakukan oleh Kertajagat (2020), Romadhona (2020), dan Dalian dan Mochtar (2021) yang juga membahas dibidang konstruksi tetapi dengan variabel dan objek berbeda serta merujuk pada penelitian Kertajagat (2020) dan Romadhona (2020) terkait proses pengolahan dan analisis data.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh implementasi model BIM yang dapat terintegrasi dengan K3 pada tahap pemeliharaan bangunan gedung. Variabel model implementasi yang akan diteliti pada penelitian ini dipilih berdasarkan studi literatur penelitian-penelitian terdahulu. Penelitian ini merujuk kepada penelitian yang dilakukan oleh Wetzal dan Thabet (2015), Gao dan Pishdad-Bozorgi (2019), dan Matarneh, et al. (2019), sebagai referensi dikarenakan memiliki kesamaan pendekatan terkait dengan variabel model BIM sebagai sarana integrasi data dalam meminimalisasi kecelakaan kerja. Penelitiannya menyatakan bahwa format file IFC dapat membantu untuk mengintegrasikan 3D BIM dengan sistem pemeliharaan sehingga dapat meningkatkan efisiensi pengumpulan data informasi keselamatan pada tahap pemeliharaan. Pada variabel terkait dengan pendekatan pada model BIM sebagai sarana analisis data memiliki kesamaan pada penelitian yang dilakukan oleh Zhang i, et al. (2014). Pada penelitian tersebut dikatakan bahwa sistem visualisasi apabila dihubungkan dengan sensor deteksi akan sangat membantu dalam deteksi dini apabila terdapat kerusakan. Variabel terkait dengan pendekatan model BIM sebagai sarana aksesibilitas data merujuk pada penelitian yang dilakukan oleh Koch, et al. (2014), Lin, et al. (2014), dan Irizzary, et al. (2015). Penelitiannya mengatakan bahwa tampilan model BIM yang detail dapat membantu dalam hal navigasi untuk menghindari tempat atau daerah yang berbahaya serta dapat juga membantu untuk menavigasi menuju tempat terjadinya kerusakan yang dapat memicu terjadinya kecelakaan kerja bila tidak segera diperbaiki. Selanjutnya, terdapat penelitian terdahulu yang telah memiliki kesamaan dengan cakupan pembahasan mengenai ketiga variabel yang ada pada penelitian ini, yaitu penelitian yang dilakukan oleh Shalabi dan Turkan (2016). Penelitian ini akan membahas lebih detail mengenai pengaruh dari implementasi BIM karena dikaitkan dengan masing-masing jenis pekerjaan pada tahap pemeliharaan yang diambil berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Tahun 2008. Berdasarkan regulasi tersebut, terdapat 38 jenis pekerjaan yang akan dikaitkan dengan model implementasi BIM. Pembahasan yang mengaitkan masing-masing jenis pekerjaan baru dilakukan pada penelitian ini, dimana untuk penelitian-penelitian terdahulu mayoritas hanya membahas keterkaitan implementasi pada tahap pemeliharaan atau O&M secara umum. Penelitian ini berfokus pada sektor kontraktor, sub kontraktor, instansi pemerintah, maupun instansi swasta yang terletak di Jabotabek (Jakarta Bogor Tangerang Bekasi) dimana mayoritas penelitian terdahulu berlokasi di berbagai mancanegara.

## METODE

### Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan merupakan pendekatan campuran *sekuensial eksploratif*. Dimulai dengan tahap pertama, yaitu dengan menggunakan tinjauan literatur untuk menganalisis serta mengumpulkan variabel berupa skema

model integrasi BIM terhadap K3 serta eksplorasi ide dan opini responden secara mendalam terkait variabel tersebut pada tahap wawancara terstruktur. Selanjutnya hasil eksplorasi variabel dimasukkan ke dalam fase kuantitatif dengan menggunakan survei metode Delphi untuk mengetahui pengaruh implementasi model BIM yang dapat terintegrasi dengan K3 pada tahap pemeliharaan bangunan gedung pada setiap jenis pekerjaan yang ada.

### Tempat Penelitian

Penelitian ini meneliti perusahaan kontraktor, sub kontraktor, instansi pemerintah, maupun instansi swasta yang berlokasi di Jabodetabek (Jakarta Bogor Depok Tangerang Bekasi). Asumsi pemilihan lokasi tersebut didasarkan pada pengaplikasian BIM yang kerap digunakan pada kantor pusat kontraktor dan sub kontraktor yang terletak di Jakarta dan sekitarnya serta terdapat lebih banyak variasi instansi pemerintah maupun swasta.

### Sampel Penelitian

Menurut Linstone (2002), pengaplikasian metode Delphi memiliki kriteria pemilihan responden yang harus dipenuhi, yaitu pakar berada di bidang yang sesuai dengan penelitian, bersedia terlibat dalam proses survei metode Delphi, dan jumlah responden 15-20 (apabila seluruh responden memiliki latar belakang dibidang yang sama/homogen) dan <50 responden (apabila responden satu dan yang lainnya memiliki latar belakang dibidang yang berbeda/heterogen). Berdasarkan kriteria tersebut, maka teknik pengambilan sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah teknik *purposive sampling*. *Purposive sampling* merupakan teknik pengambilan sampel yang dipilih berdasarkan kemiripan karakteristik responden dengan topik penelitian ini (Rai dan Thapa, 2015). Sesuai dengan topik penelitian ini, kriteria sampel yang digunakan yaitu responden yang memiliki pengalaman bekerja/menggunakan BIM, memiliki pengalaman bekerja dalam bidang K3 serta pemeliharaan suatu bangunan. Maka dari itu, sampel yang digunakan pada penelitian ini, yaitu para pakar atau ahli dalam bidang BIM, K3, maupun pemeliharaan seperti diantaranya Ahli BIM (*BIM Manager*, *BIM Coordinator*, *BIM Sub Coordinator*, *BIM Staff*, *BIM Site Engineer*, *BIM Surveyor*, *Junior Expert BIM*, *BIM Researcher*), *Building Management* (*Building Manager* dan *Asset Manager*), dan Ahli K3/HSE (*Staff K3/HSE*). Pada penelitian ini, responden memiliki latar belakang dibidang yang berbeda/heterogen. Maka, digunakan kriteria responden <50 dengan total sampel pada penelitian ini adalah 42 orang.

### Proses Penelitian

Proses tahapan yang dapat digunakan pada penelitian ini dimulai dengan tahap identifikasi masalah serta variabel penelitian dengan menggunakan wawancara untuk mendapatkan data primer serta jurnal, buku, makalah internet untuk mengumpulkan data sekunder. Setelah variabel telah terkumpul maka dapat dilanjutkan dengan pembuatan *form* kuesioner, lalu menyebarkan *form* kuesioner survei Delphi putaran pertama kepada responden sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan. Jika responden telah mencapai target, selanjutnya dilakukan pengumpulan data, pembobotan, serta validasi data kuesioner survei Delphi putaran pertama dengan pendekatan analisa statistik sebagai berikut:

a. *Interquartile Range* (IR)

Uji *Interquartile Range* (IR) merupakan pengujian yang dapat diterima secara umum sebagai cara yang objektif dalam mengukur konsensus pada survei metode Delphi. Nilai IR merupakan nilai absolut dari perbedaan antara persentil ke-75 (kuartil atas) dan ke-25 (kuartil bawah) dengan nilai yang lebih kecil menandakan tingkat persetujuan yang lebih tinggi (De Brito et al., 2017). Menurut De Brito et al. (2017), syarat konsensus dari pengujian ini jika nilai IR < 2,5 Berikut rumus perhitungan IR dapat dilihat pada Persamaan [1]:

$$IR = Q3 - Q1 \dots\dots\dots[1]$$

Keterangan :

Q3 = kuartil atas

Q1 = kuartil bawah

Adapun rumus kuartil tersebut dapat dilihat pada Persamaan [2] dan [3]:

$$Q_1 = \frac{x_{\left(\frac{n-1}{4}\right)} + x_{\left(\frac{n+3}{4}\right)}}{2} \dots\dots\dots[2]$$

$$Q_3 = \frac{x_{\left(\frac{3n+1}{4}\right)} + x_{\left(\frac{3n+5}{4}\right)}}{2} \dots\dots\dots [3]$$

Keterangan:

- Q<sub>3</sub> = *kuartil* atas
- Q<sub>1</sub> = *kuartil* bawah
- x = urutan data
- n = jumlah keseluruhan responden

b. Standar Deviasi (SD)

Standar Deviasi (SD) merupakan perhitungan konsensus data untuk mengasumsikan apakah kumpulan data yang telah diajukan oleh responden merupakan perkiraan yang masuk akal dari yang mungkin didapatkan jika menggunakan 1000 sampel responden (De Brito et al., 2017). Menurut Giannarou dan Zervas (2014), syarat terjadinya konsensus apabila nilai SD < 1,5. Berikut rumus perhitungan SD dapat dilihat pada Persamaan [4]:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{n-1}} \text{ atau } SD = \sqrt{\frac{\sum xi^2 - \frac{(\sum xi)^2}{n}}{n-1}} \dots [4]$$

keterangan:

- xi = jawaban responden terhadap instrumen
- $\bar{x}$  = rata-rata jawaban responden terhadap instrumen
- n = jumlah keseluruhan responden

c. *Coefficient of Variation* (CV)

Menurut De Brito et al. (2017), perbandingan nilai *Coefficient of Variation* (CV) pada hasil pengolahan data survei metode Delphi putaran pertama dan kedua diperlukan untuk menentukan apakah diperlukan survei Delphi putaran lebih lanjut atau tidak. Hasil selisih nilai CV pada putaran pertama dan kedua pada setiap *item* jenis pekerjaan yang menghasilkan nilai lebih kecil dari 0,2 atau 20% menyarakan bahwa responden telah menyepakati hasil penelitian. Berikut rumus perhitungan CV dapat dilihat pada Persamaan [5]:

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \dots\dots\dots [5]$$

Keterangan:

- σ = standar deviasi
- $\bar{\mu}$  = rata-rata jawaban responden

d. Persen setuju

Menurut De Brito et al. (2017), persen setuju pada pengolahan data digunakan untuk menentukan kecenderungan pendapat para ahli pada setiap item jenis pekerjaan yang berpengaruh. Jika persentase setuju pada suatu Indikator pendapat para ahli pada setiap item jenis pekerjaan yang berpengaruh. Jika persentase setuju pada suatu indikator menunjukkan nilai yang <70 %, maka dapat dinyatakan bahwa indikator tersebut tidak disetujui.

Setelah dilakukan proses pengolahan data survei Delphi putaran pertama, selanjutnya responden dapat mengevaluasi dan memberikan *feedback* dari hasil olah data tersebut. Selanjutnya, seluruh responden mengevaluasi jawaban kuesioner putaran pertama, lalu dapat dilakukan survei Delphi putaran kedua. Pengumpulan dan pembobotan data pada survei Delphi putaran kedua dengan rumus yang sama dengan pengolahan data kuesioner pada putaran pertama. Lalu proses terakhir adalah membandingkan selisih nilai CV dengan syarat selisih < 0,2 atau 20% sebagai syarat untuk menentukan apakah perlu dilakukan putaran Delphi selanjutnya (De Brito et al., 2017).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan tiga variabel penelitian terkait dengan model implementasi BIM terhadap K3 yang dapat digunakan untuk meminimalisasi kecelakaan kerja pada tahap pemeliharaan. Variabel pertama, yaitu BIM sebagai sarana integrasi data dalam meminimalisasi kecelakaan kerja dengan menggunakan format *file Industry Foundation Classes* (IFC). IFC merupakan suatu format data yang dapat memecahkan masalah interoperabilitas dengan melakukan pertukaran data antara BIM dan sistem pemeliharaan sehingga dengan adanya format file IFC ini dapat membantu para pekerja untuk mengintegrasikan dokumen informasi terkait dengan regulasi K3 dengan dokumen BIM untuk menghasilkan prosedur kerja yang lebih mudah dipahami dan diakses. Lalu variabel yang kedua, yaitu BIM sebagai sarana analisis data dalam meminimalisasi kecelakaan kerja dengan menggunakan *Facility Management Visual Analytics System* (FMVAS). FMVAS digunakan untuk mendeteksi akar penyebab kegagalan dalam membantu prosedur pemeliharaan dan perbaikan dengan memanfaatkan kemampuan visualisasi dan analisis BIM untuk mendeteksi dan menemukan kesalahan sistem dan mengidentifikasi pola sebab-akibat kegagalan. FMVAS dapat dihubungkan dengan sensor deteksi untuk membantu dalam deteksi dini apabila terdapat kerusakan sehingga dapat dengan segera menganalisis masalah tersebut dengan bantuan visualisasi sebelum kerusakan bertambah parah dan berisiko terjadi kecelakaan kerja. Variabel terakhir, yaitu BIM sebagai sarana aksesibilitas data dalam meminimalisasi kecelakaan kerja dengan menggunakan *barcode/Radio Frequency Identification* (RFID) *tags* dan *Augmented Reality* (AR). *Barcode/RFID tags*, berfungsi sebagai identifikasi *item* bangunan untuk mengakses informasi yang relevan yang ditautkan dengan objek yang sesuai dalam *database*. *Scan barcode* atau *RFID tags* dari suatu komponen, perangkat seluler akan menampilkan komponen BIM 3D yang sesuai dan informasinya, seperti manual instruksi, foto, video operasi, riwayat pemeliharaan, dan informasi pabrikan, dll. *Augmented Reality* (AR), menyediakan visualisasi geometris bersama dengan informasi fasilitas berbasis BIM yang relevan secara *real-time* dan dapat diakses hanya melalui perangkat elektronik. AR juga menyediakan *interface* yang sesuai untuk dukungan kerja lapangan O&M.

Pada penelitian ini, ketiga variabel tersebut akan dikaitkan dengan jenis-jenis pekerjaan pada tahap pemeliharaan gedung untuk mengetahui pengaruh dari variabel model BIM terhadap masing-masing jenis pekerjaan untuk meminimalisasi kecelakaan kerja. Berdasarkan Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2008), terkait dengan pedoman pemeliharaan dan perawatan bangunan gedung, pada tahap pemeliharaan gedung terdapat enam areal pekerjaan. Areal pekerjaan pertama, yaitu arsitektural yang terbagi menjadi 7 *item* pekerjaan, struktur yang terbagi menjadi 3 *item* pekerjaan, mekanikal yang terbagi menjadi 8 *item* pekerjaan, elektrikal yang terbagi menjadi 2 *item* pekerjaan, tata luar yang terbagi menjadi 7 *item* pekerjaan, dan tata grha yang terbagi menjadi 11 *item* pekerjaan. Pada penelitian ini, dari total 38 *item* pekerjaan akan diteliti terkait dengan pengaruh masing-masing jenis pekerjaan tersebut terhadap ketiga variabel model implementasi BIM-K3 untuk meminimalisasi kecelakaan kerja. Pembahasan pada penelitian ini akan menjabarkan terkait dengan pengaruh model implementasi BIM-K3 dalam meminimalisasi kecelakaan kerja. Berikut pada Tabel 1 akan dijabarkan terkait dengan jenis pekerjaan yang ada pada tahap pemeliharaan.

Tabel 1. Jenis Pekerjaan Tahap Pemeliharaan (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum, 2008)

Kode	Jenis Pekerjaan Tahap Pemeliharaan	Kode	Jenis Pekerjaan Tahap Pemeliharaan
ARSITEKTUR		ELEKTRIKAL	
AR-1	Pemeliharaan Sarana Jalan Keluar	EL-1	Pemeliharaan dan Perawatan Sistem Elektrikal (Panel Listrik, Genset)
AR-2	Pemeliharaan Dinding (Kaca, Keramik, Marmer, <i>Alluminium Composit</i> )	EL-2	Pemeliharaan dan Perawatan Sistem Elektronika ( <i>Fire Alarm</i> dan Detektor, Telepon, Tata Suara, Jaringan Internet, Saluran Televisi dan CCTV, <i>Building Automation System</i> )
AR-3	Pemeliharaan Plafon (Tripleks, Akustik, Gipsum, Kayu, Metal)	TATA LUAR	
AR-4	Pemeliharaan Kunci, Grendel, dan Engsel	TL-1	Pemeliharaan Tangki Septik
AR-5	Pemeliharaan <i>Sliding Door, Rolling Door, Folding Door</i>	TL-2	Pemeliharaan Talang Tegak dan Datar
AR-6	Pemeliharaan Kusen (Aluminium, Kayu, Plastik, Besi)	TL-3	Pemeliharaan <i>Floor Drain</i>
AR-7	Pemeliharaan <i>Door Closer</i>	TL-4	Pengecatan Luar Bangunan
STRUKTUR		TL-5	
SR-1	Pemeliharaan Pondasi Bangunan (Tiang Pancang, Sumuran Batu Kali, Menerus Batu Kali, Menerus Bahan Beton/Monolitik)	TL-6	Pemeliharaan Listpang Kayu

Kode	Jenis Pekerjaan Tahap Pemeliharaan	Kode	Jenis Pekerjaan Tahap Pemeliharaan
SR-2	Pemeliharaan Struktur Bangunan (Baja, Beton, Komposit)	TL-7	Pemeliharaan <i>List Glass Fiber Cement</i> (GRC)
SR-3	Pemeliharaan Dinding (Bata Merah, Batu Kali, Beton, Kayu)	TATA GRHA	
MEKANIKAL		TG-1	Pemeliharaan Kebersihan Toilet
ME-1	Pemeliharaan Saluran Air Kotor	TG-2	Pemeliharaan Kebersihan Lantai Basement
ME-2	Pemeliharaan Saluran Air Bersih	TG-3	Pemeliharaan Kebersihan Pelat Atap Beton
ME-3	Pemeliharaan Peralatan Sanitair	TG-4	Pemeliharaan Kebersihan Lobby dan Lantai (Lif, Granit, Marmer, Vinil, Kayu/Parket, Karpet, Semen, Keramik, Paving)
ME-4	Pemeliharaan Pemanas Air	TG-5	Pemeliharaan Kebersihan Partisi
ME-5	Pemeliharaan dan Perawatan Sistem Tata Udara	TG-6	Pemeliharaan Kebersihan Perabot dan Peralatan Kantor
ME-6	Pemeliharaan dan Perawatan Sistem Transportasi Vertikal ( <i>Lift</i> , Eskalator, Travelator)	TG-7	Pemeliharaan Kebersihan Tangga Kebakaran
ME-7	Pemeliharaan dan Perawatan Sistem Proteksi Kebakaran	TG-8	Pemeliharaan Kebersihan Koridor
ME-8	Pemeliharaan dan Perawatan Sistem Plambing dan Pompa	TG-9	Pemeliharaan Kebersihan Dinding Luar (Marmer, Kaca, Cat)
		TG-10	Pemeliharaan Kebersihan Dinding Dalam (Marmer, Kaca, Cat)
		TG-11	Pemeliharaan Kebersihan Perlengkapan Alat Pemadam Kebakaran

Survei putaran pertama berupa kuesioner yang dilakukan kepada para pakar/*expert* yang menjadi responden pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 2. Pada penelitian ini dilakukan eksplorasi kepada 42 responden, pada putaran pertama menghasilkan total pengaruh pada model pertama (MT-1) terhadap 20 dari total 38 jenis pekerjaan, pada model kedua (MT-2), juga didapat total pengaruh 20 jenis pekerjaan, dan pada model ketiga (MT-3) didapatkan total pengaruh tertinggi, yaitu 26 jenis pekerjaan dari total 38. Sedangkan pada putaran kedua dilakukan evaluasi jawaban dan *review* terkait hasil pengolahan data putaran pertama dengan responden yang sama. Survei putaran kedua menghasilkan hasil akhir yang sama dengan putaran pertama, hal tersebut menandakan bahwa para responden telah setuju dengan hasil survei putaran pertama.

Tabel 2. Data responden penelitian

No	Klasifikasi Responden	Jabatan	Jumlah
1.	Ahli BIM	BIM Manager, BIM Coordinator, BIM Sub-Coordinator, BIM Staff, BIM Site Engineer, BIM Surveyor, Junior Expert BIM, dan BIM Researcher	27
2.	Building Management	Building Manager, Asset Manager	10
3.	Ahli K3/HSE	Staff K3/HSE	5
Total Responden			42

Setelah dilakukan serangkaian tahapan survei, menurut para responden, masing-masing model BIM dapat berpengaruh pada jenis pekerjaan tertentu untuk meminimalisasi kecelakaan kerja. Sedangkan beberapa jenis pekerjaan lainnya belum dapat berpengaruh untuk meminimalisasi kecelakaan kerja. Berikut ini pada Tabel 3. menunjukkan hasil pengaruh dari BIM untuk meminimalisasi jenis pekerjaan pada tahap pemeliharaan.

Tabel 3. Hasil akhir Survei Delphi

No	Jenis Pekerjaan	Pengaruh Model BIM pada Tahapan Pekerjaan Pemeliharaan			No	Jenis Pekerjaan	Pengaruh Model BIM pada Tahapan Pekerjaan Pemeliharaan		
		MT-1	MT-2	MT-3			MT-1	MT-2	MT-3
1	AR-1	B	B	B	20	EL-2	B	B	B
2	AR-2	B	B	B	21	TL-1	TB	TB	B
3	AR-3	B	B	B	22	TL-2	TB	TB	B
4	AR-4	TB	TB	B	23	TL-3	TB	B	B
5	AR-5	B	TB	B	24	TL-4	TB	TB	TB
6	AR-6	B	B	B	25	TL-5	B	B	B
7	AR-7	B	TB	B	26	TL-6	TB	TB	B
8	SR-1	B	B	B	27	TL-7	TB	B	B
9	SR-2	B	B	B	28	TG-1	TB	TB	TB
10	SR-3	B	B	B	29	TG-2	TB	TB	TB

No	Jenis Pekerjaan	Pengaruh Model BIM pada Tahapan Pekerjaan Pemeliharaan			No	Jenis Pekerjaan	Pengaruh Model BIM pada Tahapan Pekerjaan Pemeliharaan		
		MT-1	MT-2	MT-3			MT-1	MT-2	MT-3
11	ME-1	B	B	B	30	TG-3	TB	TB	TB
12	ME-2	B	B	B	31	TG-4	TB	TB	TB
13	ME-3	B	B	B	32	TG-5	TB	TB	TB
14	ME-4	B	B	B	33	TG-6	TB	TB	TB
15	ME-5	B	B	B	34	TG-7	TB	TB	TB
16	ME-6	B	B	B	35	TG-8	TB	TB	TB
17	ME-7	B	B	B	36	TG-9	TB	TB	TB
18	ME-8	B	B	B	37	TG-10	TB	TB	TB
19	EL-1	B	B	B	38	TG-11	TB	TB	TB

Perbandingan nilai *Coefficient of Variation* (CV) pada hasil pengolahan data survei metode Delphi putaran pertama dan kedua diperlukan untuk menentukan apakah diperlukan survei Delphi putaran lebih lanjut atau tidak. Perbedaan nilai CV yang kurang dari 0,2 atau 20% pada setiap *item* pertanyaan menunjukkan bahwa stabilitas data dari para responden telah tercapai dan tidak diperlukan survei Delphi putaran tambahan (De Brito et al., 2017). Oleh karena itu, diputuskan untuk menghentikan survei Delphi pada tahap putaran kedua.

### Pengaruh Pengaplikasian BIM pada Program K3 sebagai Mitigasi Kecelakaan Kerja pada Tahap Pekerjaan Pemeliharaan Bangunan Gedung

Hasil pengaruh BIM terhadap ketiga model tersebut, seperti yang telah disajikan pada Tabel 3 didapatkan bahwa putaran pertama dan putaran kedua tahap metode Delphi ini menunjukkan hasil akhir yang sama. Hal tersebut menyatakan bahwa para responden telah menyepakati hasil kuesioner putaran pertama. Selanjutnya, terkait dengan rincian pengaruh model BIM terhadap setiap pekerjaan yang ada pada tahap pemeliharaan, pada model BIM sebagai sarana integrasi data menggunakan format *file* IFC terdapat total 20 jenis pekerjaan yang berpengaruh, BIM sebagai sarana analisis data menggunakan pendekatan FMVAS juga terdapat total 20 jenis pekerjaan, dan BIM sebagai sarana aksesibilitas data menggunakan *barcode*/RFID *tags* dan AR memiliki total pengaruh sebanyak 26 jenis pekerjaan. Berdasarkan rincian tersebut maka dapat dinyatakan bahwa model BIM sebagai sarana aksesibilitas data menggunakan *barcode*/RFID *tags* dan AR memiliki pengaruh paling besar terhadap jenis pekerjaan yang ada pada tahap pemeliharaan untuk meminimalisasi kecelakaan kerja. Berdasarkan kategori areal pekerjaan pada tahap pemeliharaan, areal pekerjaan yang paling banyak berpengaruh adalah pekerjaan struktur, mekanikal, dan elektrik dikarenakan seluruh jenis pekerjaan yang terdapat pada areal tersebut memiliki pengaruh terhadap ketiga model BIM yang ada dalam meminimalisasi kecelakaan kerja. Hal tersebut disebabkan karena seluruh jenis pekerjaan pada ketiga areal tersebut memiliki risiko yang tinggi terhadap kecelakaan kerja sehingga memerlukan *support* dari model implementasi BIM untuk memitigasi kecelakaan kerja secara efisien.

### SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan data, diperoleh kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian mengenai Pengaruh Penerapan BIM terhadap K3 sebagai Mitigasi Kecelakaan Kerja pada Tahap Pemeliharaan Gedung menggunakan Metode Delphi, yaitu pengaruh terbesar dari penerapan metode BIM pada program K3 sebagai mitigasi kecelakaan kerja dalam tahap pemeliharaan bangunan gedung terdapat pada model implementasi BIM-K3 sebagai sarana aksesibilitas data menggunakan *barcode*/RFID *tags* dan AR dengan total pengaruh sebanyak 26 jenis pekerjaan.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membimbing serta memberikan arahan dan masukan kepada penulis dalam penelitian ini.

### REFERENSI

Dalian, J., dan Mochtar, K, 2021, *Analisis Faktor dan Variabel yang Menghambat Penerapan 5D BIM pada Pembiayaan Proyek Konstruksi di Indonesia*, Skripsi, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.

- De Brito, M. M., Evers, M., dan Höllermann, B, 2017, "Prioritization of Flood Vulnerability, Coping Capacity And Exposure Indicators Through the Delphi Technique: A Case Study in Taquari-Antas Basin, Brazil", *International journal of disaster risk reduction*, 24, 119-128.
- Gao, X. dan Pishdad-Bozorgi, Pardis, 2019, "BIM-Enabled Facilities Operation and Maintenance: A Review", *Advanced Engineering Informatics*, 39, 227-247.
- Giannarou, L., dan Zervas, E, 2014, "Using Delphi Technique to Build Consensus in Practice", *International Journal of Business Science & Applied Management (IJBSAM)*, 9(2), 65-82.
- Irizzary, J., G., Masoud, W., Graceline, dan R, Kathy, 2015, "Ambient Intelligence Environments for Accessing Building Information: A Healthcare Facility Management Scenario", *Facilities*, 32, 120-138.
- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2008. *Pedoman Pemeliharaan dan Perawatan Bangunan Gedung*. Kementrian PUPR. Jakarta.
- Kertajagat, B, 2020, *Analisis Kriteria Jalan Hijau Pada Jalan Lokal untuk Perkerasan Kaku Se-Karesidenan Surakarta dengan Metode Delphi*, Skripsi, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Koch, Christian, Neges, M., Konig, dan M., A. Michael, 2014, "Natural Markers for Augmented Reality-Based Indoor Navigation and Facility Maintenance Management System", *Automation in Construction*, 48, 18-30.
- Lin, Yu-Cheng, Su, Yu Chih, dan Chen, Yen Pei, 2014, "Developing Mobile BIM/2D Barcode-Based Automated Facility Management System", *The Scientific World Journal*.
- Linstone, H. A, 2002, *Environmental Impact Assessment, Technology Assessment, and Risk Analysis: Contributions from the Psychological and Decision Sciences*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin.
- Livesey, Peter Vincent, 2016, "Insights of Project Managers into the Problems in Project Management", *Construction Economics and Building*, 16, 90-103.
- Matarneh, T. Sandra, Danso-Amoako, M., Al-Bizri, S., Gaterell, M., dan Matarneh, R., 2019, "Building Information Modeling for Facilities Management: A Literature Review and Future Research Directions", *Journal of Building Engineer*, 24.
- Rai, N., & Thapa, B, 2015, "A Study on Purposive Sampling Method in Research", *Kathmandu School of Law*, 5.
- Romadhona, A. Gilang, 2020, *Analisis Kriteria Jalan Hijau pada Jalan Lokal untuk Perkerasan Lentur Sekaresidenan Surakarta dengan Metode Delphi*, Skripsi, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Shalabi, F., dan Turkan, Yelda, 2016, "IFC BIM-Based Facility Management Approach to Optimize Data Collection for Corrective Maintenance", *Journal of Constructed Facilities*, 31.
- Wetzel, E.M. dan W. Y. Thabet, 2015, "The Use of a BIM-Based Framework to Support Safe Facility Management Processes", *Automation in Construction*, 60: 12-24.
- Zhang, S., J. Teizer, J. K. Lee, dan C.M. Eastman, 2013, "Automatic Safety Checking of Construction Models and Schedules", *Building Information Modeling (BIM) and Safety*, 29: 183-195.