

TINGKAT KEDEWASAAN PENERAPAN BIM (*BUILDING INFORMATION MODELLING*) PADA KONTRAKTOR JEMBATAN DI INDONESIA

Widi Hartono¹, Dewi Handayani², Syafii³

¹Prodi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta
Email: wieds_ts@ft.uns.ac.id

²Prodi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta
Email: dewi.handayani@staff.uns.ac.id

³Prodi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta
Email: syafii@staff.uns.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan konstruksi di Indonesia berkembang cukup pesat, pembangunan infrastruktur meningkat 6 tahun terakhir termasuk didalamnya adalah konstruksi jembatan. Jembatan merupakan konstruksi yang digunakan untuk melewati rintangan seperti sungai, danau, jalan raya, jalan kereta api atau lembah. Konstruksi jembatan ini banyak ditemui pada pembangunan jalan tol dimana konstruksi ini sangat vital untuk menghubungkan dua sisi yang dipisah oleh rintangan. Selain itu jembatan juga banyak kita pada jalan non tol. Di Indonesia teknologi BIM mulai berkembang, beberapa kajian sudah dilakukan baik oleh pemerintah atau swasta untuk memberikan pembelajaran dan pengembangan BIM. Aplikasi BIM sudah mulai dilakukan untuk bangunan gedung baik untuk tahap perencanaan, konstruksi dan operasi dan maintenance. Dalam penelitian ini akan mengkaji penerapan konsep BIM yang sudah dilaksanakan khususnya untuk perencanaan konstruksi jembatan. Analisis dalam penelitian ini menggunakan indeks kedewasaan penerapan BIM untuk mengetahui seberapa jauh penerapan BIM dalam proyek jembatan. Selain itu juga dilakukan identifikasi terhadap permasalahan atau hambatan dalam penerapan teknologi BIM. Hasil kajian menunjukkan bahwa penerapan teknologi BIM pada kontraktor masih terbatas pada penggunaan CAD 2D dan 3D dalam desain yang dikerjakannya. Beberapa kendala dihadapi oleh tenaga ahli terkait dengan software, hardware, jaringan komputer dan kesulitan dalam perencanaan dengan BIM. Penerapan teknologi BIM pada perusahaan kontraktor adalah pada level 1 dengan skor 1.16. Pada level ini penerapan teknologi BIM masih didominasi oleh pengelolaan desain berbasis *file*.

Kata kunci: BIM, maturity, jembatan, kontraktor

1. PENDAHULUAN

Menteri Permukiman dan Prasarana Wilayah Soenarno menyatakan, 3 masalah pokok yang dihadapi oleh kontraktor di Indonesia, pertama masalah produktivitas, finansial dan teknologi. Permasalahan sektor konstruksi juga ditegaskan lagi dari studi yang dilakukan Mc Kenzie tahun 2017, bahwa industri konstruksi merupakan industri yang kecil porsinya dalam aspek digitalisasinya. Rendahnya digitalisasi dalam industri konstruksi akan mengakibatkan masalah produktivitas yang rendah, rendahnya efisiensi, rendahnya keuntungan dan produksi limbah yang meningkat (Manyijka et al., 2017).

Industri 4.0 merupakan tantangan bagi sektor konstruksi, tuntutan industri 4.0 salah satunya adalah kesiapan tenaga kerja yang memiliki keterampilan dalam literasi digital, literasi teknologi, dan literasi manusia. Penggunaan teknologi bukan semata mengurangi biaya konstruksi, namun dapat memberikan kesejahteraan lebih kepada para pekerja dengan waktu penyelesaian pekerjaan yang lebih singkat (Alfa, 2018). Selain itu tantangan industri konstruksi Indonesia lainnya adalah terkait dengan masalah pembangunan sustainability (keberlanjutan) (Ervianto, 2017). Permasalahan efisiensi usaha dalam industri konstruksi masih menjadi pekerjaan rumah bagi sektor jasa konstruksi di Indonesia (Soeparto & Trigunansyah, 2005).

BIM adalah teknologi yang sekarang menjadi tren pengelolaan proyek konstruksi dan ke depan akan menjadi kebutuhan dalam mengerjakan proyek konstruksi. Banyak manfaat dapat diperoleh dari penggunaan teknologi BIM mulai dari tahapan perencanaan sampai tahapan pelaksanaan proyek konstruksi. Proyek dilaksanakan dengan melalui proses yang panjang dimulai dari ide proyek, studi kelayakan, desain, konstruksi dan operasi dan pemeliharaan (Hasik et al., 2019; Matějka et al., 2016; Matějka & Tomek, 2017; Santos et al., 2020; van den Ende & van Marrewijk, 2014).

Pada tahapan perencanaan teknologi BIM dapat digunakan untuk desain authoring model BIM, review desain, analisis lokasi proyek, estimasi biaya (C. Chen & Tang, 2019; Mashayekhi & Heravi, 2020; Migilinskas et al., 2013;

Corresponding Author

E-mail Address : wieds_ts@ft.uns.ac.id

Santos et al., 2020; Yu et al., 2016), perencanaan fase, analisis struktur, pemodelan kondisi eksisting, analisis energi, evaluasi berkelanjutan, analisis mekanik, listrik dan perpipaan, analisis pencahayaan dan analisis akustik (Solla et al., 2016).

Pada tahapan pelaksanaan proyek teknologi BIM dapat digunakan untuk memantau progress pelaksanaan proyek yang bisa diwujudkan dalam visualisasi gambar (Han et al., 2015; Pour Rahimian et al., 2020; Rebolj et al., 2017) sehingga sangat mempermudah orang awam melihat perkembangan proyek. Selain itu dapat digunakan untuk mengendalikan alokasi penggunaan waktu proyek sehingga diharapkan proyek dapat dikerjakan tepat waktu, tepat mutu dan tepat biaya. Dalam teknologi BIM terdapat fasilitas untuk membuat jadwal proyek konstruksi yang dapat dimanfaatkan untuk mengintegrasikan aspek penjadwalan pada BIM (C. Chen & Tang, 2019; W. Chen et al., 2018; Pan & Zhang, 2020; Pučko et al., 2018; Yoo et al., 2020) Dengan penjadwalan yang baik dapat diperoleh informasi jadwal tenaga, jadwal material dan jadwal peralatan yang akan digunakan. Hal ini akan mempermudah dalam mengalokasikan sumber daya tersebut di lapangan agar tepat pada saat dibutuhkan.

Penggunaan BIM di Indonesia masih belum dilakukan secara luas, penerapannya masih terbatas pada proyek-proyek besar yang dikerjakan perusahaan besar. Penggunaan tersebut belum sepenuhnya memanfaatkan fasilitas yang ada dalam teknologi BIM. Untuk proyek-proyek di daerah belum ditemui penggunaan teknologi BIM secara luas, penggunaan teknologi BIM biasanya pada aspek membuat model 3D dari sebuah gambar rencana. Beberapa kendala masih menjadi ganjalan dalam penggunaan teknologi BIM salah satunya adalah masalah lisensi penggunaan software BIM dan sumber daya manusia.

Dari uraian diatas peneliti akan membuat pemetaan penggunaan teknologi BIM di Indonesia sehingga dapat diperoleh informasi mengenai level maturity aplikasi BIM, permasalahan yang sering dihadapi dan aspek aplikasi yang digunakan untuk membantu mengelola proyek konstruksi. Dari hal tersebut dapat menjadi dasar mengenai arah pengembangan BIM di Indonesia agar arah kebijakan pengembangan BIM ke depannya tepat sasaran dan tepat menyelesaikan masalah.

2. LANDASAN TEORI

Penerapan Teknologi Bim

Menurut (Al-Ashmori et al., 2020) penggunaan teknologi BIM dalam bidang konstruksi dapat memiliki banyak manfaat. Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari teknologi BIM adalah meningkatkan produktivitas dan efisiensi dalam proses pengelolaan proyek (Bui et al., 2016; Liu et al., 2020; Miettinen & Paavola, 2014; Pan & Zhang, 2020), dan memudahkan dalam menghitung biaya dan waktu pelaksanaan proyek konstruksi apabila terjadi perubahan (C. Chen & Tang, 2019; Mashayekhi & Heravi, 2020; Migilinskas et al., 2013; Santos et al., 2020; Yu et al., 2016).

Dalam tim proyek konstruksi terdapat berbagai keahlian dalam perencanaan proyek konstruksi, sering kali terjadi ketidaksesuaian desain satu dan desain lainnya yang mengakibatkan benturan dalam desain (*clashes*). Misalnya adanya jalur pipa yang bertabrakan dengan struktur balok atau hal sejenis lainnya. BIM mempunyai kelebihan untuk melihat dan mendeteksi adanya *clashes* dalam desain yang melibatkan keahlian yang berbeda (Hsu et al., 2020; Hu et al., 2019; Liu et al., 2020; Pärn et al., 2018).

Informasi dari berbagai pihak yang terlibat dalam proyek harus tersampaikan dengan baik, agar desain yang dihasilkan dapat sesuai dan saling mengisi. BIM dapat meningkatkan komunikasi antar pihak dalam sebuah organisasi baik di tingkat perusahaan dan di tingkat proyek, serta menciptakan sinkronisasi dalam komunikasi piha-pihak yang terkait dalam proyek konstruksi (C. Chen & Tang, 2019; Dubas & Paslawski, 2017; Garbett et al., 2021; Migilinskas et al., 2013; Yu et al., 2016).

Penjadwalan proyek dilakukan dengan membuat serangkaian urutan kegiatan yang akan dikerjakan. Untuk melakukan kegiatan penjadwalan biasanya digunakan software Excel untuk penjadwalan manual atau menggunakan *MS Project* atau *Primaver Project Planner*. Di dalam BIM disediakan juga integrasi penjadwalan dan perancangan proyek konstruksi secara bersamaan (C. Chen & Tang, 2019; W. Chen et al., 2018; Pan & Zhang, 2020; Pučko et al., 2018; Yoo et al., 2020). Pada tahapan pelaksanaan teknologi BIM dapat digunakan untuk memantau dan melacak progres selama konstruksi (Han et al., 2015; Pour Rahimian et al., 2020; Rebolj et al., 2017).

Penggunaan BIM dalam proyek membantu perencana dan pelaksanaan untuk meningkatkan efisiensi dalam berbagai hal, misalnya penghematan energi dan efisiensi pengelolaan (Yoo et al., 2020), kinerja manajemen dan efisiensi pemeliharaan pada fase O&M (C. Chen & Tang, 2019), pengambilan keputusan dalam mengevaluasi produktivitas desain dan pengaturan kerja yang lebih efisien (Bui et al., 2016; Pan & Zhang, 2020), pengembangan desain penulangan dengan waktu yang efektif dan efisien (Liu et al., 2020), meningkatkan produktivitas dan kualitas desain, konstruksi, dan pemeliharaan bangunan (Bui et al., 2016; Miettinen & Paavola, 2014).

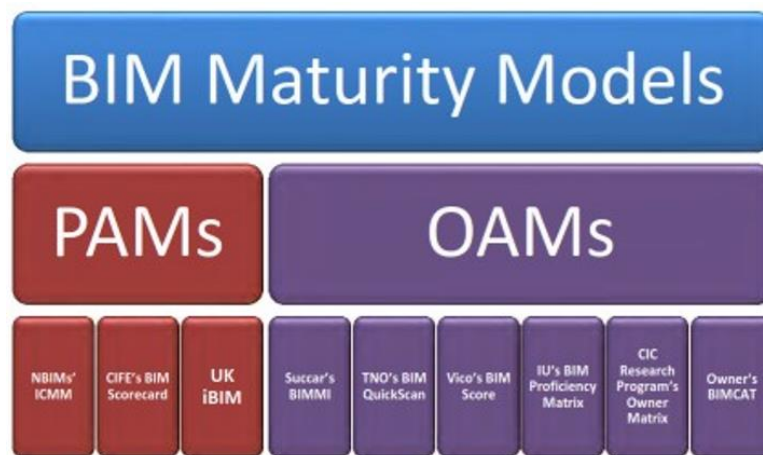
BIM telah dikembangkan menjadi alat yang sudah banyak terbukti meningkatkan efisiensi, produktivitas dan efektifitas dalam berbagai aspek untuk pengelolaan proyek (Han et al., 2015; Rebolj et al., 2017). Untuk mempermudah akses data BIM digunakan *Cloud* yang dapat diakses dari berbagai tempat dan dapat menampilkan data kondisi sebagian progress proyek atau secara keseluruhan (Han et al., 2015). Pada tahap konstruksi, teknologi BIM dapat digunakan untuk memonitoring progres konstruksi dalam bentuk visualisasi yang mendekati kondisi riil

Penelusuran atau pelacakan progres pekerjaan selama masa konstruksi dapat dilakukan dengan berbagai metode yaitu *laser scanning* digunakan untuk pengumpulan data otomatis dengan akurasi tinggi (K. Chen et al., 2015; El-Omari & Moselhi, 2008; Lu & Brilakis, 2019; Pučko et al., 2018), *photogrammetry* digunakan untuk perhitungan persentase penyelesaian dan pengukuran kemajuan proyek (Braun & Borrmann, 2019; El-Omari & Moselhi, 2008; Kim & Kano, 2005; Pour Rahimian et al., 2020), *videogrammetry* untuk mendeteksi peralatan yang bergerak (Brilakis et al., 2011; K. Chen et al., 2015; Rebolj et al., 2017), GPS & GIS untuk mengidentifikasi peralatan dengan optimal (Lu & Brilakis, 2019; Omar & Nehdi, 2016), Barcode & QS (efektifitas biaya tanpa alat tambahan), RFID untuk melakukan pembacaan data dalam jarak dekat dan interaksi langsung (K. Chen et al., 2015; Valero & Adán, 2016), UWB (*Ultra-Wide Band*) dengan sinyal yang andal, energi rendah untuk mendapatkan posisi 3D koordinat (Omar & Nehdi, 2016; Shahi et al., 2012), VR (*Virtual Reality*) dari foto progres konstruksi yang menginformasikan lokasi dan kondisi elemen struktur yang realistis dan pemantauan progress konstruksi dari jarak jauh (Davila Delgado et al., 2020; Retik & Shapira, 1999), dan AR (*Augmented Reality*) dengan melakukan superimpose sesuai rencana pada gambar *as-built drawing* (Davila Delgado et al., 2020; Garbett et al., 2021).

Kedewasaan Penggunaan Teknologi Bim

Teknologi BIM adalah metode kerja kolaboratif berdasarkan generasi dan pertukaran data dan informasi di antara para pemangku kepentingan yang terlibat dalam proyek (Garbett et al., 2021; Jiang et al., 2020; Xu et al., 2014). Berkat informasi ini, dimungkinkan untuk mengelola seluruh siklus hidup sebuah bangunan, mulai dari ide dan desain hingga penyelesaiannya. Dalam pengertian ini, BIM adalah bagian tak terpisahkan dari proses pengambilan keputusan.

Standar kedewasaan BIM mencakup berbagai aspek yaitu multi-dimensional, struktur modular dan grafis, sistem multipleks aplikasi terdistribusi, dukungan berbagai jenis data, mendukung tautan *hypertext* berbagai bahasa, ketersediaan, skalabilitas, dapat diatur secara dinamis, dan bersifat persisten (Yang & Liao, 2016).

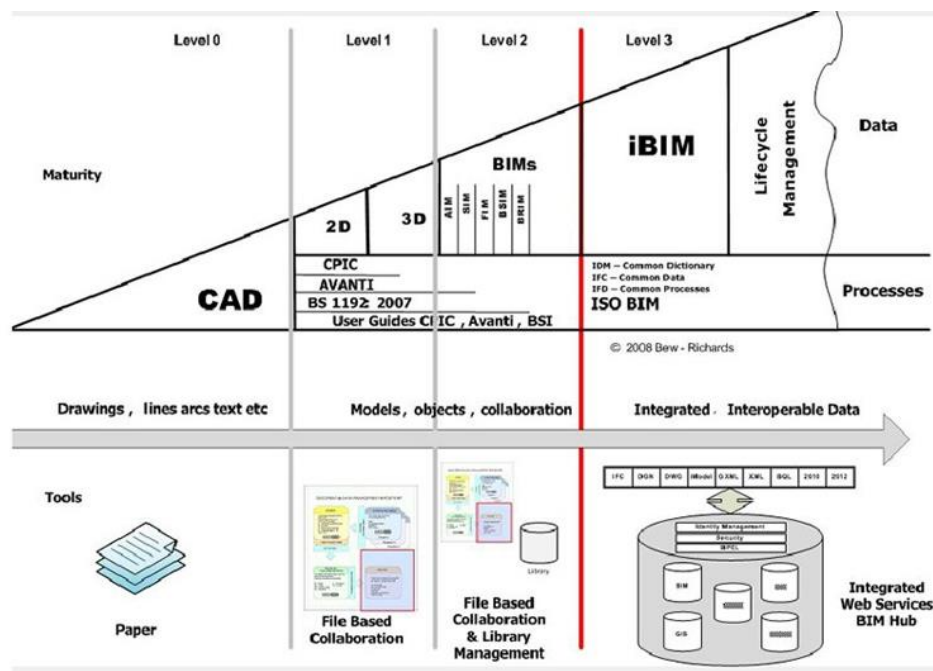


Gambar 1. Pengelompokan Model *Maturity* BIM (Dakhi et al., 2015)

Ada berbagai tingkat kolaborasi bersama dalam sebuah proyek, yang dikenal sebagai tingkat kedewasaan BIM. Model kedewasaan dalam BIM paling populer diadopsi dari model Mark Bew and Mervyn Richards (2008) yang dijadikan maturity model di UK. *Maturity model* tersebut dikenal dengan iBIM atau BIM Wedge. Dakhi et. Al. (2015) mengelompokkan maturity model menjadi dua bagian besar yaitu *Project Assesment Model* (PAM) yang menilai kematangan proyek aset berdasarkan penggunaan kompetensi yang berbeda dan model asesmen organisasi (OAM) mengukur kematangan organisasi yang mengimplementasikan BIM dalam prosesnya.

Model kematangan BIM model Mark Bew and Mervyn Richards (2008) kemudian dikenal dengan iBIM memiliki 4 tingkatan untuk menilai penerapan BIM, yaitu:

1. Level 0 BIM. berarti bahwa proyek tersebut tidak menggunakan kolaborasi dan memanfaatkan teknik penyusunan CAD 2D berbasis kertas. Tujuan utamanya adalah untuk menghasilkan informasi (produk) dalam bentuk cetakan kertas atau elektronik. Ini adalah level rendah yang jarang digunakan oleh para profesional industri saat ini.
2. Level 1 BIM, melibatkan penggunaan penyusunan 3D CAD dan 2D. Sementara CAD 3D digunakan untuk pekerjaan konseptual, 2D digunakan untuk pembuatan dokumentasi persetujuan dan informasi produk. Pada tingkat ini, berbagi data terjadi secara elektronik menggunakan lingkungan data umum (CDE) yang dikelola oleh kontraktor. Selain itu, standar CAD diatur di bawah Standar Inggris (BS 1192: 2007). Pada tingkat ini, tidak ada atau rendahnya kolaborasi antara pemangku kepentingan yang berbeda karena setiap orang membuat dan mengelola datanya sendiri.
3. Level 2 BIM, ditentukan oleh Pemerintah Inggris untuk proyek sektor publik. Tingkat ini mendorong kerja kolaboratif dengan memberikan model CAD 3D masing-masing kepada pemangku kepentingan. Kerja kolaboratif adalah aspek pembeda dari level ini dan Level 2 membutuhkan pertukaran informasi yang efisien terkait proyek dan koordinasi yang mulus antara semua sistem dan pemangku kepentingan.
4. Level 3 BIM, Sering disebut sebagai 'Open BIM', cakupan Level 3 belum sepenuhnya ditentukan meskipun menjanjikan kolaborasi yang lebih dalam antara semua pemangku kepentingan melalui model bersama yang disimpan di repositori pusat. Konsep level 3 memungkinkan semua peserta untuk mengerjakan model yang sama secara bersamaan yang menghilangkan kemungkinan informasi yang saling bertentangan. Level 3 mengusulkan penggunaan solusi terintegrasi yang dibangun di sekitar standar terbuka seperti IFC di mana satu server menyimpan semua data proyek.



Gambar 2. Model Kedewasaan BIM Bew-Richards (Bew & Richards, 2008)

Teknologi BIM merupakan teknologi yang secara luas digunakan oleh perusahaan AEC di seluruh dunia, termasuk di negara berkembang. Kajian kematangan BIM di negara berkembang untuk mengetahui seberapa dalam penggunaan teknologi BIM pada perusahaan Arsitektur, perusahaan Structural Engineering, perusahaan Quantity Surveying, dan perusahaan Facility Management telah dilakukan di Nigeria (Babatunde et al., 2019). Tingkat kematangan dari perusahaan tersebut dapat diketahui untuk data digunakan untuk mengkaji strategi ke depan untuk pengembangan BIM di Nigeria.

Model kematangan BIM menjelaskan tingkat kematangan yang berkaitan tingkat kolaborasi pihak yang terlibat dalam proyek. Ada beberapa konsep kematangan dalam BIM yang telah dikaji baik untuk penerapan pada proses perencanaan sampai operasional dan pemeliharaan ataupun untuk sektor renovasi (Joblot et al., 2019).

3. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan untuk mendapatkan informasi mengenai penerapan teknologi BIM menggunakan penilaian dengan menggunakan lima kriteria yang diusulkan dalam model kedewasaan penerapan teknologi BIM Bow-Richard. Untuk mendapatkan informasi yang akan digunakan untuk penilaian maka dibuat beberapa pertanyaan yang dilakukan secara online dan wawancara terhadap beberapa kontraktor. Selain itu juga dicari informasi yang berkaitan dengan tantangan dan permasalahan dalam penerapan teknologi BIM.

Pertanyaan dibuat semudah mungkin sehingga responden yang merupakan perwakilan dari perusahaan kontraktor dapat mengerti apa yang ditanyakan dan menjawab dengan tepat. Hasil pertanyaan yang sudah diperoleh ditransformasikan dalam bentuk skor sesuai dengan kriteria dan level kedewasaan penerapan teknologi BIM. Untuk menggali permasalahan yang dihadapi dibuat beberapa model pernyataan baik berupa pilihan beberapa permasalahan atau pertanyaan terbuka yang akan digunakan untuk mengeksplorasi permasalahan yang dihadapi.

4. HASIL PENELITIAN

Untuk menilai indeks *maturity* penerapan BIM yang ada maka digunakan penilaian terhadap penerapan BIM yang dilakukan pada masing-masing perusahaan dengan menggunakan penilaian dari L0 sampai L3 berdasarkan tingkat levelnya. Penilaian menggunakan indikator yang sudah ditetapkan dalam model yang digunakan (model kedewasaan BIM Bew-Richards). Setiap level terdapat beberapa kriteria yang menunjukkan penerapan BIM pada masing-masing perusahaan. Penilaian pada masing-masing indikator untuk setiap level menggunakan skor sesuai level yang ada. Penilaian kedewasaan penerapan BIM dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 1. Alat yang digunakan Untuk Menilai Model Kedewasaan BIM Bew-Richards (Bew & Richards, 2008)

Deskripsi singkat dari setiap level BIM	Level Kedewasaan (Maturity) BIM																																											
	BIM Level 0	BIM Level 1	BIM Level 2	BIM Level 3																																								
	CAD yang tidak dikelola, dimana dalam model 2D ini data dapat dipertukarkan secara manual atau elektronik	Model CAD terkelola dalam format 2D atau 3D yang memiliki alat kolaboratif yang menyediakan platform data yang seragam dengan pendekatan yang teratur terhadap struktur dan format data proyek	Platform 3D terkelola yang berisi data proyek, tetapi biasanya model yang dihasilkan dalam bentuk terisolasi oleh berbagai konstruksi	Model bangunan kolaboratif individu, berkemampuan internet, yang terdiri dari data untuk pengurutan konstruksi (4D), Informasi biaya (5D), informasi siklus hidup proyek secara keseluruhan (6D)																																								
Skor	1 Tidak ada kolaborasi sama sekali	1 Tidak ada kolaborasi antar ahli	1 Ada kolaborasi antar tim	1 Kolaborasi penuh antar tim ahli																																								
	2 Hanya gambar CAD 2D yang digunakan	2 Gambar CAD 2D yang digabung CAD 3D	2 Gambar (2D/3D) yang memiliki informasi yang dapat dipakai pihak lain lewat media elektronik (FDD, USB)	2 Hanya ada 1 desain yang dipakai bersama																																								
	3 Semua pihak hanya mengakses bentuk gambar saja	3 Semua pihak dapat menggunakan standar gambar CAD	3 Model dapat dibagi dengan format IFC atau COBie	3 Semua pihak dapat mengakses model yang sama																																								
	4 Modifikasi lewat pertukaran hasil desain lewat kertas atau cetak elektronik atau gabungan keduanya	4 Modifikasi hasil desain lewat pertukaran (share) elektronik	4 Modifikasi desain dapat dilakukan pengecekan secara integratif	4 Semua pihak dapat mengedit model yang sama secara bersamaan																																								
	5 Distribusi lewat kertas atau cetak elektronik atau gabungan dari keduanya	5 Distribusi desain lewat media elektronik (FDD, USB)	5 Semua pihak menggunakan model CAD 3D masing-masing dengan model share (pembagian) yang berbeda	5 Distribusi real time, sehingga mengeliminir risiko konflik informasi																																								
	<table border="1" style="display: inline-table; width: 80px; height: 20px;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>	1	2	3	4	5						<table border="1" style="display: inline-table; width: 80px; height: 20px;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>	1	2	3	4	5						<table border="1" style="display: inline-table; width: 80px; height: 20px;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>	1	2	3	4	5						<table border="1" style="display: inline-table; width: 80px; height: 20px;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>	1	2	3	4	5					
1	2	3	4	5																																								
1	2	3	4	5																																								
1	2	3	4	5																																								
1	2	3	4	5																																								

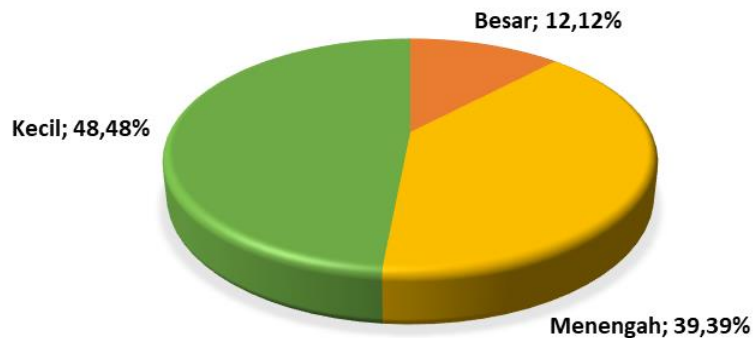
Penilaian kriteria menyesuaikan praktek yang sudah diterapkan oleh perusahaan, sehingga pada penilaian tersebut setiap kriteria bisa saja memiliki skor/penilaian tidak pada 1 level tertentu. Penilaian bisa saja beragam misalnya beberapa pada level 0 dan beberapa pada level 1. Hasil penilaian kemudian dihitung untuk memperoleh rata-rata yang merupakan indeks kedewasaan penerapan BIM pada masing-masing perusahaan. Untuk memperoleh nilai indeks keseluruhan maka dihitung dengan merata-rata nilai indeks pada masing-masing perusahaan, dan indeks dapat diklasifikasikan berdasarkan klasifikasi perusahaan yaitu besar, menengah dan kecil.

Profil Kontraktor

Penilaian kedewasaan penerapan teknologi BIM dilakukan pada kontraktor yang bergerak di bidang konstruksi dengan klasifikasi besar, menengah dan kecil. Kontraktor tersebut merupakan kontraktor yang berada di propinsi Jawa Tengah dan DIY, atau kontraktor daerah yang berdomisili di luar propinsi DKI Jakarta.

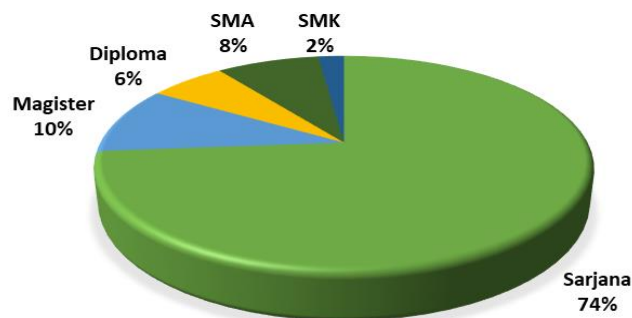
Perusahaan kontraktor dihubungi melalui telepon dan beberapa dilakukan wawancara selama 30 menit dan lainnya diberikan link untuk mengisi apa yang sudah diterapkan dalam perusahaannya. Isian kusioner berupa aspek koordinasi pekerjaan, aspek model gambar yang digunakan, *file* model gambar yang digunakan, editing produk gambar dan distribusi produk gambar. Selain itu juga pertanyaan berkaitan dengan permasalahan yang ditemui dalam peneapan teknologi BIM.

Profil perusahaan kontraktor yang berhasil dihubungi terdiri dari perusahaan klasifikasi besar, menengah dan kecil di berbagai kota di propinsi Jawa Tengah dan DIY. Prosentasi perusahaan berdasarkan klasifikasi tersebut dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini. Prosentase paling banyak adalah kontraktor dengan klasifikasi kecil sebesar 48,48% dan yang paling sedikit adalah kontraktor klasifikasi besar sebesar 12,12%.



Gambar 3. Klasifikasi Perusahaan Kontraktor

Profil responden yang dapat dihubungi memiliki latar belakang pendidikan yang beragam mulai dari SMK sampai magister. Para responden sebagian besar memiliki jabatan sebagai pemilik perusahaan dan lainnya pegawai perusahaan yang biasa melaksanakan pekerjaan di lapangan, sehingga mengetahui proses pengelolaan proyek dari perencanaan sampai pelaksanaan.



Gambar 4. Klasifikasi Perusahaan Kontraktor

Indeks Maturity BIM

Penilaian indeks kedewasaan (*maturity*) akan dilakukan berdasarkan klasifikasi perusahaan kontraktor yang dapat dihubungi, terdapat kontraktor dengan klasifikasi besar, menengah dan besar. Pada kontraktor besar penerapan BIM masih pada level 1 dengan skor 1.57, kolaborasi antar tenaga ahli dalam pengelolaan proyek sudah dipraktikkan dimana setiap tenaga ahli saling bekerja sama dalam proses perencanaan dan pelaksanaan proyek. Selain itu desain sudah didistribusi secara elektronik, sehingga masing-masing tenaga ahli dapat merencanakan dan mengelola pekerjaan walaupun dengan model desain masing-masing.

Untuk aspek aksesibilitas desain kontraktor sudah mempraktekan dengan pertukaran *file* dalam pengelolaan desain. *File based* atau didistribusikan secara elektronik menggunakan format *file* sesuai dengan yang digunakan tenaga ahli belum menggunakan format umum yang bisa dibaca oleh semua *platform* BIM. Seperti halnya aspek aksesibilitas,

aspek kemudahan untuk modifikasi desain masih dilakukan secara sendiri-sendiri oleh tenaga ahli. Setiap tenaga ahli melakukan modifikasi secara sendiri-sendiri terhadap desain yang didistribusikan secara *file based*.

Tabel 2. Indeks Kedewasaan BIM Perusahaan Kontraktor Besar

No	Indikator	Rata-rata
1	Kolaborasi	2,00
2	Model gambar desain	1,83
3	Akses model desain	1,00
4	Modifikasi desain	1,00
5	Metode distribusi desain	2,00
	Rata-rata Indeks	1,57

Kontraktor dengan klasifikasi menengah masih menggunakan *file based* sebagai kolaborasi untuk proses desain dan pelaksanaan pekerjaan oleh tenaga ahli. Tenaga ahli melakukan kolaborasi dengan media *file* untuk kemudian melakukan perencanaan dan pengelolaan proyek secara sendiri-sendiri. Kontraktor sudah mempraktekkan desain dengan menggunakan gambar CAD 2D dan CAD 3D, hanya bentuk gambarnya belum menggunakan library yang dikelola dengan baik.

Gambar desain yang dihasilkan dari praktek yang sudah dilakukan kontraktor menengah masih berupa standard gambar yang hanya dibaca oleh program tertentu saja. Kontraktor belum menggunakan format *file* umum yang dapat dibaca oleh berbagai platform misalnya format *file* IFC atau COBie. Kontraktor kelas menengah menggunakan *file based* dengan pertukaran secara elektronik untuk melakukan modifikasi terhadap desain. Pengecekan desain yang dilakukan secara integratif, dimana semua tenaga ahli dapat melakukan modifikasi desain masih belum dipraktekkan oleh kontraktor kelas menengah.

Tabel 3. Indeks Kedewasaan BIM Perusahaan Kontraktor Menengah

No	Indikator	Rata-rata
1	Kolaborasi	1,67
2	Model gambar desain	1,79
3	Akses model desain	1,00
4	Modifikasi desain	1,00
5	Metode distribusi desain	1,97
	Rata-rata Indeks	1,49

Desain yang baik adalah desain yang dapat ditribusikan secara real time, dimana setiap tenaga ahli dapat melakukan pekerjaannya misalnya melakukan modifikasi atau perbaikan desain. Interaksi real time para tenaga ahli dapat dilakukan di tempat yang berbeda, dimana tenaga ahli tidak mesti harus berada satu ruangan dengan tenaga ahli lainnya. Kontraktor kelas menengah masih mempraktekkan distribusi desain dengan *file* secara elektronik, dimana setiap tenaga ahli akan mendapatkan *file* desain dan melakukan perencanaan atau perbaikan secara individu.

Tabel 4. Indeks Kedewasaan BIM Perusahaan Kontraktor Kecil

No	Indikator	Rata-rata
1	Kolaborasi	1,00
2	Model gambar desain	1,00
3	Akses model desain	0,63
4	Modifikasi desain	0,31
5	Metode distribusi desain	1,00
	Rata-rata Indeks	0,79

Kontraktor kelas kecil merupakan kontraktor yang paling terbatas kemampuannya baik dari sumber daya manusia, hardware dan software dalam penerapan teknologi BIM. Beberapa indikator yang besar dari kontraktor kecil adalah kolaborasi tenaga ahli, model gambar desain dan metode distribusi desain. Kolaborasi yang dipraktekkan dari kontraktor kecil ini hanya dilakukan dalam tim dalam satu keahlian. Gambar CAD 2D dan CAD 3D sudah

dipraktekkan oleh kontraktor kecil tapi masih belum sepenuhnya menggunakan konsep gambar 2D dan 3D. Kemudian yang terakhir adalah distribusi desain sudah dipraktekkan oleh kontraktor kecil dengan menggunakan *file based* tidak menggunakan *paper based*.

Untuk penerapan teknologi BIM pada semua kontraktor baik kelas besar, menengah dan kecil masuk pada level 1. Untuk lengkapnya dapat dilihat pada tabel 13.

Tabel 5. Indeks Kedewasaan BIM Perusahaan Kontraktor Semua Klasifikasi

No	Indikator	Rata-rata
1	Kolaborasi	1,38
2	Model gambar desain	1,41
3	Akses model desain	0,82
4	Modifikasi desain	0,67
5	Metode distribusi desain	1,51
	Rata-rata Indeks	1,16

Indonesia melalui kementerian Pekerjaan Umum sudah melakukan berbagai langkah dan kegiatan untuk mempercepat proses penerapan BIM di Indonesia. Payung hukum penerapan BIM di lingkungan Kementerian PUPR saat ini baru tersedia untuk bangunan gedung negara dengan luas diatas 2000 m² dan diatas 2 lantai sebagaimana tertera pada lampiran Permen PUPR No 22 Tahun 2018. Kedepannya, tidak hanya pada bangunan gedung negara saja. Penggunaan BIM diharapkan dapat diterapkan di seluruh proyek infrastruktur PUPR. Penerapan BIM untuk di lingkungan Ditjen Bina Marga dimulai dari sektor jalan tol, pembangunan jalan tol yang sekarang menerapkan BIM adalah jalan tol Pekanbaru - Dumai, dan Jalan Tol Semarang-Demak. Penerapan BIM di jalan tol salah satu yang ada di dalamnya adalah pekerjaan struktur jembatan.

Melihat kebijakan BIM yang sekarang ada sesuai dengan Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 16 Tahun 2021 (merupakan peraturan pelaksanaan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2002) tentang Bangunan Gedung, dan sesuai dengan bunyi Pasal 24 dan Pasal 185 huruf b Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2020. PP No 16 Tahun 2021 ini juga sekaligus menggantikan Peraturan Pemerintah yang lama yaitu Peraturan Pemerintah Nomor 36 Tahun 2005. Pengaturan BIM yang berkaitan dengan bangunan didasarkan pada jenis metode pelaksanaan konstruksi bangunan gedung yaitu padat karya, pada teknologi dan padat modal. Penerapan BIM diwajibkan untuk proyek padat teknologi dan padat modal, sedangkan untuk yang padat karya tidak diwajibkan.

Dari peraturan tersebut dapat disimpulkan bahwa proyek-proyek yang masuk dalam kriteria padat karya adalah merupakan proyek-proyek yang dapat dikerjakan oleh kontraktor kelas kecil sampai menengah. Kontraktor kelas kecil khususnya yang memiliki banyak keterbatasan tidak diwajibkan untuk menerapkan teknologi BIM pada proyek yang dikerjakan. Hal ini diharapkan kedepannya untuk proyek yang berkaitan dengan Bina Marga (proyek jalan dan jembatan) akan membina khususnya kontraktor menengah dalam penerapan BIM.

Permasalahan Penerapan BIM

Penerapan teknologi baru pasti akan menimbulkan permasalahan di lapangan, hal tersebut wajar karena kontraktor sudah nyaman dengan pola pekerjaan yang sudah dilaksanakan. Kasus seperti ini juga pernah terjadi pada saat transisi penggunaan CAD yang menggantikan gambar manual dengan kertas kalkir. Saat ini perusahaan kontraktor sudah terbiasa dan minimal CAD 2D menjadi kebutuhan dalam membantuk pekerjaan. Hal ini juga sekarang dihadapi oleh kontraktor atau penyedia jasa konstruksi yang harus belajar lagi untuk memahami teknologi BIM. Teknologi BIM nantinya juga akan menjadi kebutuhan seperti halnya teknologi gambar CAD.

Hasil analisis terhadap data-data yang diperoleh dapat dikumpulkan beberapa permasalahan dalam penerapan teknologi BIM dalam perusahaan kontraktor. Permasalahan-permasalahan tersebut adalah:

1. Mahalnya biaya software

Untuk membeli software untuk mengelola proyek dengan teknologi BIM tidaklah murah. Beberapa perusahaan masih merasa keberatan (terutama kontraktor kelas menengah dan kecil) untuk menginvestasikan uangnya untuk pembelian software yang resmi. Software-software yang digunakan sehari-hari untuk membantu pekerjaan saja masih menggunakan software tidak resmi, misalnya Ms Windows, Ms Office, CAD, software analisis struktur atau software pengelolaan proyek. Ini menjadi tantangan bagi perusahaan terutama perusahaan menengah apabila memenangkan proyek yang mewajibkan teknologi BIM dalam pengelolaan proyeknya.

2. Infrastruktur komputer dan sistem jaringan yang terbatas

Untuk menjalankan software BIM membutuhkan komputer dengan spesifikasi yang mumpuni, apabila komputer yang dimiliki tidak mumpuni akan berakibat tidak berjalannya software dengan baik atau bahkan terjadi hang atau stuck. Walaupun tidak semahal software yang harus dibeli, permasalahan hardware menjadi tambahan masalah tersendiri bagi kontraktor.

Untuk mendukung kerja kolaboratif maka diperlukan infrastruktur jaringan komputer yang baik. Terdapat server yang digunakan untuk menyimpan desain yang dapat diakses oleh semua pegawai yang berkompoten. Belum lagi kedepannya infrastruktur jaringan dituntut untuk dapat diakses dari mana saja. Hal ini menjadikan investasi untuk pengembangan jaringan menjadi tidak murah, karena unsur security menjadi hal utama yang harus disiapkan agar data dan informasi tidak diacak-acak oleh orang yang tidak bertanggung jawab.

3. Kebiasaan kerja sistem lama yang ada di perusahaan (budaya organisasi perusahaan)

Tenaga ahli di perusahaan kontraktor yang sudah bekerja dengan sistem yang berjalan dan sudah terbiasa dengan ritme dan alur kerjanya akan kemungkinan akan muncul keenganan untuk berubah. Kondisi ini bisa diperparah dengan budaya kerja yang ada di perusahaan yang belum memulai penggunaan teknologi BIM dalam proyek yang dikerjakan. Permasalahan ini dapat diatasi dengan program pelatihan oleh pemerintah untuk memberikan pengetahuan dan ketrampilan teknologi BIM. Selain itu regulasi perlu ditetapkan seperti halnya pada bangunan Gedung yang mewajibkan proyek padat teknologi dan padat model menggunakan BIM.

4. Tidak jelasnya target/sasaran BIM yang ditetapkan perusahaan

Penerapan BIM di perusahaan sering kali belum dipahami oleh pengelola perusahaan, dimana pengelola perusahaan (khususnya kontraktor kelas menengah dan kecil) menilai teknologi BIM menjadi beban dalam menjalankan bisnis kontraktor. Pemahaman tersebut membuat sasaran penerapan BIM tidak jelas, perusahaan hanya berkonsentrasi menjalankan perusahaan agar mendapat keuntungan dengan kekuatan dan keahlian yang sekarang dimiliki. Beberapa memiliki pandangan bahwa dengan sistem kerja yang sekarang ini dilakukan saja masih bisa mendapatkan keuntungan.

5. Sumber daya yang dimiliki sudah berumur dan terbatas.

Sumber daya manusia merupakan permasalahan yang banyak dihadapi oleh kontraktor, selain sumber daya yang memiliki latar belakang pendidikan beragam juga ditemui kontraktor yang memiliki tenaga kerja yang terbatas untuk mengelola proyek yang sedang dikerjakan. Di lain sisi tenaga kerja atau tim tenaga ahli yang bekerja juga ditemui tenaga kerja yang sudah berumur, sehingga menjadi permasalahan sendiri untuk mempelajari teknologi BIM ini. Tim tenaga ahli yang sudah berumur tersebut biasanya akan kesulitan untuk mengikuti pola pikir pengelolaan proyek berbasis teknologi informasi, apalagi pengelolaan proyek berbasis BIM.

Ditemui pada saat wawancara dengan kontraktor menengah ternyata tenaga yang mengelola proyeknya kebanyakan lulusan setingkat SMA/SMK. Selain itu latar belakang pendidikannya tidak sesuai dengan bidang ketekniksipil. Tenaga-tenaga tersebut direkrut karena lebih mudah dibentuk dan loyal. Beberapa tenaga yang memiliki pendidikan S1 Teknik Sipil biasanya tidak bertahan lama di perusahaan, ada yang pindah pekerjaan atau keluar untuk membuat usaha sendiri.

6. Perangkat lunak yang sulit dioperasikan dan beraneka ragam

Software BIM yang ada sekarang ini berkembang cukup banyak. Hal ini menjadi tantangan bagi tenaga ahli untuk menguasai software BIM tersebut. Pengoperasian software BIM tidak semudah mengoperasikan software pada umumnya, karena selain harus menguasai softwrenya juga dituntut menguasai konsep teknologi BIM yang akan dikerjakan. Sehingga hasil desainnya tidak hanya berupa gambar indah tetapi gambar yang sudah terstandarisasi dan memiliki data dan informasi serta mudah untuk diakses dan dipahami oleh tim lainnya.

7. Komplexitas desain proyek dengan BIM

Untuk memodelkan sebuah proyek dengan platform BIM yang baik tidaklah mudah seperti halnya menggambar CAD 2D atau CAD 3D. Pemodelan proyek berbasis BIM membutuhkan kolaborasi yang baik diantara tenaga ahli untuk membuat desain yang kompleks. Proses seperti ini menjadi kendala pada perusahaan kontraktor dalam menerapkan teknologi BIM pada proyeknya. Model yang sekarang diterapkan sebatas gambar 3D atau 2D yang masih dibreak down lagi untuk perencanaan lainnya.

8. Kurangnya standar prosedur operasional BIM yang ditetapkan di perusahaan

Perusahaan masih belum memiliki SOP untuk penerapan BIM. SOP ini berkaitan dengan proses bisnis yang dijalankan oleh kontraktor, sehingga perlu dibuat SOP yang menyeluruh karena BIM sifatnya mengelola proyek

secara integratif. BIM dapat mencakup segala bidang bisnis yang ada di dalam kontraktor mulai aspek teknis, keuangan, tenaga kerja, peralatan, material, quality insurance sampai ke masalah kontrol kualitas.

5. KESIMPULAN

Dari analisis yang sudah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

- a. Penerapan teknologi BIM oleh tim ahli atau engineer pada perusahaan kontraktor masih terbatas pada penggunaan CAD 2D dan 3D dalam desain yang dikerjakannya. Beberapa kendala dihadapi oleh tenaga ahli terkait dengan software, hardware, jaringan komputer dan kesulitan dalam perencanaan dengan BIM
- b. Penerapan teknologi BIM pada perusahaan kontraktor adalah pada level 1 dengan skor 1.16. Pada level ini penerapan teknologi BIM masih didominasi oleh pengelolaan desain berbasis *file*.
- c. Praktek penerapan teknologi BIM tidak hanya didasarkan pada aspek software saja, aspek kolaborasi dan aspek standarisasi gambar merupakan aspek yang menjadi hal yang dilakukan oleh kontraktor khususnya kelas besar pada pengelolaan proyek.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Ashmori, Y. Y., Othman, I., Rahmawati, Y., Amran, Y. H. M., Sabah, S. H. A., Rafindadi, A. D. u., & Mikić, M. (2020). BIM benefits and its influence on the BIM implementation in Malaysia. *Ain Shams Engineering Journal*, *11*, 1013–1019. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.02.002>
- Alfa, A. (2018). Industri Konstruksi Di Era Industri 4.0. *Selodang Mayang*, *4*(3), 166–173. <https://ojs.selodangmayang.com/index.php/bappeda/article/view/107>
- Babatunde, S., Ekundayo, D., & Adekunle, A. (2019). *An alysis of BIM maturity level amon AEC firms in developing countries : a case of Nigeria*. University of Salford. <http://usir.salford.ac.uk/id/eprint/52869/>
- Bew, M., & Richards, M. (2008). Bew-Richards BIM maturity model. *BuildingSMART Construct IT Autumn Members Meeting*.
- Braun, A., & Borrmann, A. (2019). Combining inverse photogrammetry and BIM for automated labeling of construction site images for machine learning. *Automation in Construction*, *106*(January), 102879. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102879>
- Brilakis, I., Fathi, H., & Rashidi, A. (2011). Progressive 3D reconstruction of infrastructure with videogrammetry. *Automation in Construction*, *20*(7), 884–895. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.03.005>
- Bui, N., Merschbrock, C., & Munkvold, B. E. (2016). A Review of Building Information Modelling for Construction in Developing Countries. *Procedia Engineering*, *164*(1877), 487–494. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.649>
- Chen, C., & Tang, L. (2019). BIM-based integrated management workflow design for schedule and cost planning of building fabric maintenance. *Automation in Construction*, *107*(February), 102944. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102944>
- Chen, K., Lu, W., Peng, Y., Rowlinson, S., & Huang, G. Q. (2015). Bridging BIM and building: From a literature review to an integrated conceptual framework. *International Journal of Project Management*, *33*(6), 1405–1416. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.03.006>
- Chen, W., Chen, K., Cheng, J. C. P., Wang, Q., & Gan, V. J. L. (2018). BIM-based framework for automatic scheduling of facility maintenance work orders. *Automation in Construction*, *91*(March), 15–30. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.03.007>
- Dakhi, A., Alshawi, M., & Underwood. (2015). BIM Client Maturity: Literature Review. *12th International Post-Graduate Research Conference 2015*, *10-12 June*, 229–238. https://www.researchgate.net/publication/279293516_BIM_Client_Maturity_Literature_Review
- Davila Delgado, J. M., Oyedele, L., Demian, P., & Beach, T. (2020). A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction. *Advanced Engineering Informatics*, *45*(December 2019), 101122. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101122>
- Dubas, S., & Pasławski, J. (2017). The concept of improving communication in BIM during transfer to operation phase on the Polish market. *Procedia Engineering*, *208*, 14–19. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.11.015>
- El-Omari, S., & Moselhi, O. (2008). Integrating 3D laser scanning and photogrammetry for progress measurement of construction work. *Automation in Construction*, *18*(1), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.05.006>
- Ervianto, W. I. (2017). Tantangan Pembangunan Infrastruktur dalam Proyek Strategis Nasional Indonesia. *Simposium II UNIID 2017*, *2*(1), 98–103.
- Garbett, J., Hartley, T., & Heesom, D. (2021). A multi-user collaborative BIM-AR system to support design and construction. *Automation in Construction*, *122*(October 2020), 103487. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103487>
- Han, K. K., Cline, D., & Golparvar-Fard, M. (2015). Formalized knowledge of construction sequencing for visual

- monitoring of work-in-progress via incomplete point clouds and low-LoD 4D BIMs. *Advanced Engineering Informatics*, 29(4), 889–901. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2015.10.006>
- Hasik, V., Escott, E., Bates, R., Carlisle, S., Faircloth, B., & Bilec, M. M. (2019). Comparative whole-building life cycle assessment of renovation and new construction. *Building and Environment*, 161(May), 106218. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106218>
- Hsu, H. C., Chang, S., Chen, C. C., & Wu, I. C. (2020). Knowledge-based system for resolving design clashes in building information models. *Automation in Construction*, 110(December 2019), 103001. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103001>
- Hu, Y., Castro-Lacouture, D., & Eastman, C. M. (2019). Holistic clash detection improvement using a component dependent network in BIM projects. *Automation in Construction*, 105(February), 102832. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102832>
- Jiang, K., Yang, Y., & Zhang, K. (2020). Research on the Framework of the Collaborative Management Platform for the Reconstruction of Bridge Projects during Construction Based on BIM. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 568(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/568/1/012017>
- Joblot, L., Paviot, T., Deneux, D., & Lamouri, S. (2019). Building Information Maturity Model specific to the renovation sector. *Automation in Construction*, 101(January), 140–159. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.019>
- Kim, H., & Kano, N. (2005). Comparison of construction photograph and VR image in construction progress. *22nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC 2005*, 3–4. <https://doi.org/10.22260/isarc2005/0027>
- Liu, J., Liu, P., Feng, L., Wu, W., Li, D., & Chen, F. (2020). Towards automated clash resolution of reinforcing steel design in reinforced concrete frames via Q-learning and building information modeling. *Automation in Construction*, 112(December 2019), 103062. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103062>
- Lu, R., & Brilakis, I. (2019). Digital twinning of existing reinforced concrete bridges from labelled point clusters. *Automation in Construction*, 105(February), 102837. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102837>
- Manyijka, J., Chui, M., Bughin, J., George, K., Willmott, P., & Dewhurst, M. (2017). A Future That Woks: Automation, Emoployment, And Productivity. *McKinsey Global Institution, January*, 1–28.
- Mashayekhi, A., & Heravi, G. (2020). A decision-making framework opted for smart building's equipment based on energy consumption and cost trade-off using BIM and MIS. *Journal of Building Engineering*, 32(July), 101653. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101653>
- Matějka, P., Kosina, V., Tomek, A., Tomek, R., Berka, V., & Šulc, D. (2016). The Integration of BIM in Later Project Life Cycle Phases in Unprepared Environment from FM Perspective. *Procedia Engineering*, 164, 550–557. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.657>
- Matějka, P., & Tomek, A. (2017). Ontology of BIM in a Construction Project Life Cycle. *Procedia Engineering*, 196(June), 1080–1087. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.065>
- Miettinen, R., & Paavola, S. (2014). Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling. *Automation in Construction*, 43, 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.03.009>
- Migilinskas, D., Popov, V., Juocevicius, V., & Ustinovichius, L. (2013). The benefits, obstacles and problems of practical bim implementation. *Procedia Engineering*, 57, 767–774. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.04.097>
- Omar, T., & Nehdi, M. L. (2016). Data acquisition technologies for construction progress tracking. *Automation in Construction*, 70, 143–155. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.06.016>
- Pan, Y., & Zhang, L. (2020). BIM log mining: Exploring design productivity characteristics. *Automation in Construction*, 109(November 2019). <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102997>
- Pärn, E. A., Edwards, D. J., & Sing, M. C. P. (2018). Origins and probabilities of MEP and structural design clashes within a federated BIM model. *Automation in Construction*, 85(September 2017), 209–219. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.09.010>
- Pour Rahimian, F., Seyedzadeh, S., Oliver, S., Rodriguez, S., & Dawood, N. (2020). On-demand monitoring of construction projects through a game-like hybrid application of BIM and machine learning. *Automation in Construction*, 110(November 2019), 103012. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103012>
- Pučko, Z., Šuman, N., & Rebolj, D. (2018). Automated continuous construction progress monitoring using multiple workplace real time 3D scans. *Advanced Engineering Informatics*, 38(June), 27–40. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2018.06.001>
- Rebolj, D., Pučko, Z., Babič, N. Č., Bizjak, M., & Mongus, D. (2017). Point cloud quality requirements for Scan-vs-BIM based automated construction progress monitoring. *Automation in Construction*, 84(September), 323–334. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.09.021>
- Retik, A., & Shapira, A. (1999). VR-based planning of construction site activities. *Automation in Construction*, 8(6), 671–680. [https://doi.org/10.1016/S0926-5805\(98\)00113-7](https://doi.org/10.1016/S0926-5805(98)00113-7)

- Santos, R., Costa, A. A., Silvestre, J. D., Vandenberg, T., & Pyl, L. (2020). BIM-based life cycle assessment and life cycle costing of an office building in Western Europe. *Building and Environment*, 169(November 2019). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106568>
- Shahi, A., Aryan, A., West, J. S., Haas, C. T., & Haas, R. C. G. (2012). Deterioration of UWB positioning during construction. *Automation in Construction*, 24, 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.02.009>
- Soeparto, H. G., & Trigunansyah, B. (2005). Industri konstruksi Indonesia: Masa depan dan tantangannya. *Peringatan 25 Tahun Pendidikan MRK Di Indonesia, January 2005*, 1–9.
- Solla, M., Bakar, M. Q., Ismail, L. H., & Abass, F. (2016). Investigation on the Level of Building Information Modeling (BIM) Uses in Preconstruction Phase. *September*.
- Valero, E., & Adán, A. (2016). Integration of RFID with other technologies in construction. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 94, 614–620. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.08.037>
- van den Ende, L., & van Marrewijk, A. (2014). The ritualization of transitions in the project life cycle: A study of transition rituals in construction projects. *International Journal of Project Management*, 32(7), 1134–1145. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.02.007>
- Xu, X., Ma, L., & Ding, L. (2014). A framework for BIM-enabled life-cycle information management of construction project. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 11(1), 1–13. <https://doi.org/10.5772/58445>
- Yang, T., & Liao, L. (2016). Research on Building Information Model (BIM) Technology. *World Construction*, 5(1), 1. <https://doi.org/10.18686/wcj.v5i1.1>
- Yoo, W., Kim, H., & Shin, M. (2020). Stations-oriented indoor localization (SOIL): A BIM-Based occupancy schedule modeling system. *Building and Environment*, 168(November 2019), 106520. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106520>
- Yu, Q., Li, K., & Luo, H. (2016). A BIM-based Dynamic Model for Site Material Supply. *Procedia Engineering*, 164(June), 526–533. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.654>