

# Implikasi Integrasi BIM dan ERP Terhadap Pengendalian Volume Pekerjaan Proyek: Studi Kasus Proyek Bendungan

Muhammad Agung Wibowo\*, Jati Utomo Dwi Hatmoko, Gildam Satria

Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,  
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

## Abstrak

Penggunaan informasi volume dari Building Information Modeling (BIM) pada proyek konstruksi di Indonesia belum efektif dalam meningkatkan kinerja pengendalian anggaran meskipun BIM telah menunjukkan dampaknya terhadap peningkatan kinerja proyek konstruksi bangunan. Salah satu upaya yang dilakukan untuk meningkatkan efektivitas penggunaan informasi BIM adalah dengan mengintegrasikan informasi BIM dengan Enterprise Resource Planning (ERP) dimana ERP sangat membantu dalam pengambilan keputusan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi integrasi informasi BIM dan ERP pada proyek konstruksi dengan studi kasus pada proyek bendungan. Metode penelitian yang digunakan adalah observasi terkait penggunaan informasi volume dari BIM untuk pengendalian anggaran, wawancara mendalam dengan pihak-pihak terkait dalam proyek dan pada kantor pusat pada proyek bendungan dan mengukur informasi volume dari proses BIM dibandingkan dengan anggaran dan menilai seberapa akurat informasi volume tersebut sehingga dapat diandalkan untuk pengendalian volume pekerjaan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam penerapan BIM yang efektif untuk pengendalian anggaran melalui integrasi ERP pada proyek bendungan dan menjadi acuan bagi pengambil keputusan dalam upaya meningkatkan kinerja proyek konstruksi.

**Kata kunci:** BIM; ERP; biaya; kendali; integrasi; bendungan

## Abstract

**[Title: The Implications of Integrating BIM and ERP on Project Work Volume Control: A Case Study of Dam Projects]** The use of volume information from Building Information Modeling (BIM) on construction projects in Indonesia has not been effective in improving budget control performance even though BIM has shown its impact on improving the performance of building construction projects. One of the efforts made to increase the effectiveness of using BIM information is by integrating BIM information with Enterprise Resource Planning (ERP) where ERP is very helpful in decision-making. This research aims to evaluate the integration of BIM and ERP in construction projects with case studies on dam projects. The research method used is observation related to the use of volume information from BIM for budget control, in-depth interviews with relevant parties in the project and at head office on dam projects and measuring volume information from the BIM process compared to the budget and assessing how the volume information is accurate so that it can be relied on for controlling work volumes. The results of this research are expected to contribute to implementing effective BIM for budget control through integration with ERP on dam projects and become a reference for decision-makers in efforts to improve construction project performance.

**Keywords:** BIM; ERP; cost; control; integration; dam

## 1. Pendahuluan

Proses Building Information Modeling (BIM) telah mulai diterapkan secara bertahap oleh beberapa

perusahaan konstruksi di Indonesia sejak sekitar tahun 2015. BIM memiliki peran dalam meningkatkan kinerja proyek konstruksi khususnya dalam hal pengendalian biaya, mutu dan waktu. Biaya, kualitas dan waktu adalah faktor penting penentu keberhasilan sebuah proyek (Durdyev et al., 2017). Biaya konstruksi ditentukan oleh antara lain volume dan harga satuan, maka kepastian

---

\*) Penulis Korespondensi.

E-mail: [agung\\_wibowo8314423@yahoo.com](mailto:agung_wibowo8314423@yahoo.com)

mengenai volume merupakan faktor yang mempengaruhi keakuratan realisasi biaya konstruksi. Penyebab biaya konstruksi melebihi anggaran adalah akibat ketidakakuratan perencanaan anggaran (Susanti, 2020). Penelitian menunjukkan bahwa kelebihan volume merupakan salah satu faktor yang menyebabkan *cost overrun* pada proyek konstruksi (Kaming et al., 2010). Pengambilan keputusan dengan memanfaatkan BIM merupakan *improvement* kecepatan dan keakuratan terutama jika dilakukan di tahap awal (Lee et al., 2020). Proses BIM yang diintegrasikan dengan ERP memberikan kecepatan dan kemudahan penyajian informasi volume pekerjaan berbasis model tiga dimensi sebagai informasi tambahan kepada pembuat keputusan.

Penelitian ini menginvestigasi dampak integrasi BIM dengan *Enterprise Resource Planning* (ERP), mengevaluasi penerapan BIM ERP di proyek dan mengusulkan rekomendasi untuk efektivitas pengendalian volume pekerjaan dengan memanfaatkan hasil integrasi BIM dengan ERP. ERP *system* adalah sistem informasi terpadu yang digunakan untuk menopang proses bisnis dan pengelolaan sumber daya dalam sebuah organisasi (Hasibuan & Dantes, 2012). ERP pertama kali diterapkan di industri manufaktur (Althunibat et al., 2019). ERP memberikan lebih banyak dampak taktis dari pada dampak strategis pada sektor telekomunikasi, manufaktur, otomotif dan oil & gas (Dantes & Hasibuan, 2010).

Di Korea banyak perusahaan berinvestasi besar-besaran di ERP untuk memperkuat daya saing mereka (Yoo & Kim, 2021). penerapan ERP di perusahaan konstruksi skala besar membutuhkan keterlibatan top manajemen, kesadaran pelatihan dan bantuan kepada pengguna dan tim implementasi menjadi faktor penentu keberhasilan penerapan ERP (Aboabdo et al., 2019). Penerapan ERP yang tidak didasari dengan pemahaman dan tujuan yang jelas akan membawa bencana bagi perusahaan (Davenport, 1998). Dimasukkannya keterampilan manajemen proyek dapat sangat meningkatkan peluang keberhasilan implementasi ERP (Chen Charlie C. et al., 2009). Penelitian di Pakistan menunjukkan bahwa keberhasilan penerapan proyek ERP di sektor publik membantu perusahaan dalam pengambilan keputusan baik di tingkat strategis maupun operasional (Shafi et al., 2019). Informasi volume dari BIM telah membantu memberikan informasi volume dengan cepat dan akurat yang sangat membantu untuk perencanaan dan pengendalian tetapi masih terbatas untuk proyek konstruksi pracetak/prefabrikasi (Vitásek & Matějka, 2017).

BIM adalah manajemen informasi yang berlangsung dalam siklus hidup sebuah proyek atau aset yang ditugaskan pada pihak-pihak yang sesuai dimana secara umum informasi akan meningkat selama proses namun hanya informasi yang relevan

saja yang *dishare* sesuai dengan fase konstruksi. Informasi yang dibangun dan dipertukarkan dalam *Common Data Environment* dan digunakan untuk pengambilan keputusan dan pengelolaan aset (ISO, 2018).

Proses BIM memberikan kecepatan dan keakuratan dalam menghitung volume pekerjaan sehingga sangat membantu dalam memberikan gambaran dan volume (Abdel-Hamid & Abdelhaleem, 2021). Data model BIM digunakan untuk memperkirakan biaya konstruksi. Model 3D dalam proses BIM juga digunakan untuk membuat gambar kerja (CIC, 2020). Salah satu standar pengukuran tingkat kematangan penerapan BIM berdasarkan UK Standard BS 1192 adalah BIM level 2 dimana keberhasilan penerapan BIM ini ditentukan oleh beberapa faktor antara lain: manusia, organisasi, proses dan eksternal (Awwad et al., 2020). Peran top manajemen perlu merumuskan manajemen perubahan berdasarkan status sumberdaya yang ada dan karakteristik dari manajemen di perusahaan tersebut sehingga karyawan dapat merasakan perhatian maksimal dari pimpinan (Z. Chen & Hao, 2021).

Penerapan BIM secara menyeluruh di Jerman Selatan mampu meningkatkan kinerja proyek antara lain dari sisi keakuratan rencana dan realisasi biaya dan waktu. (Leicht et al., 2020). Banyak studi menemukan alasan keberadaan BIM yaitu, untuk meningkatkan produktivitas, komunikasi, kualitas, atau untuk mengurangi biaya dan juga memungkinkan untuk memperoleh fungsionalitas atau keuntungan baru dan menjanjikan, seperti akuisisi data waktu nyata untuk meningkatkan reaktivitas atau untuk mengoptimalkan proses dan simulasi (Joblot et al., 2021). Studi kasus pada proyek konstruksi modular di Hongkong yang mengintegrasikan IoT dan BIM menunjukkan hasil peningkatan produktivitas paperwork sebesar (Zhai et al., 2019). Penelitian di Turki menunjukkan bahwa penggunaan BIM dalam pelaksanaan proyek mampu mengurangi biaya dan waktu dengan cara memberikan efisiensi workflow (Aladag et al., 2016). Simulasi pada proyek gedung bertingkat di Monte Carlo menunjukkan integrasi BIM dan RFID menunjukkan berkurangnya waktu untuk memproses pengiriman material (Q. Chen et al., 2022). Penelitian di Republic Ceko Slovakia menunjukkan pemanfaatan BIM untuk estimasi biaya pada proyek jalan raya memberikan keakuratan sekitar +/- 10% (Vitásek & Matějka, 2017). BIM memudahkan untuk menganalisis lebih cepat jumlah alternatif desain yang lebih tinggi (D'Amico et al., 2020). Kombinasi proses BIM 4D dan 5D membantu tim proyek dalam pengendalian biaya (Abdel-Hamid & Abdelhaleem, 2021). Penggunaan BIM memberikan peluang tambahan untuk memperluas sistem agar dapat bekerja dengan fungsi terkait darurat lainnya seperti navigasi, penjaluran, dan integrasi data gedung pintar (Feng et al., 2021).

Namun terdapat hambatan dalam penerapan BIM. Hambatan penerapan BIM di Turki antara lain: ketidaktahuan tentang manfaat BIM, kurangnya standard, kurangnya dorongan dan klausul kewajiban proses BIM dalam kontrak (Aladag et al., 2016). Penelitian di India menunjukkan faktor yang menghambat penerapan BIM antara lain kurangnya dorongan penerapan BIM secara nasional, keengganan mempelajari proses baru, berpindah dari proses konvensional, level kesiapan yang berbeda dalam penerapan BIM dan kebutuhan pembelian software dan hardware untuk penerapan BIM (Hire et al., 2021). Diperlukan standar sejak awal desain agar data bisa digunakan lintas pemangku kepentingan seperti arsitek, engineer dan cost estimator penting terutama saat pengambilan informasi kuantitas pekerjaan dari BIM model (Ghazaryan, 2019). BIM memiliki kelebihan dalam memproduksi dan mengelola informasi yang akurat dan cepat. Penerapan BIM diharapkan mampu mengatasi permasalahan di proyek.

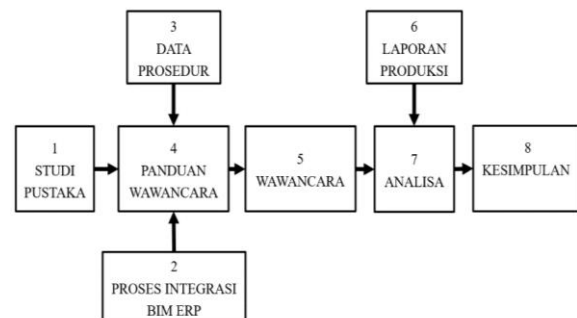
Pada proyek gedung bertingkat di Indonesia, kelebihan anggaran lebih sering terjadi daripada kelebihan waktu. Penyebab kelebihan biaya proyek adalah kenaikan harga material akibat inflasi, ketidakakuratan perkiraan material, dan tingkat kerumitan proyek, dan kurangnya pengalaman proyek (Kaming et al., 2010). Penelitian di perusahaan konstruksi di Denmark menemukan penyebab proyek melebihi anggaran dan terlambat antara lain: kegagalan konsultan, kesalahan material proyek, kurangnya identifikasi kebutuhan proyek, kurang pemeriksaan awal proyek, perencanaan yang lemah, waktu konstruksi yang singkat, pengambilan keputusan yang lambat dari pengguna, material proyek yang tidak jelas, Keputusan yang lambat dari pembuat kebijakan, tekanan pasar, cuaca yang tidak menguntungkan, dan kondisi tanah yang tidak terduga (Larsen et al., 2016). Penelitian di Brazil menunjukkan 71% dari kontrak meningkat sebesar 14% di akhir proyek (França & Haddad, 2018). Penelitian di India menunjukkan lima faktor utama penyebab proyek melebihi anggaran adalah: biaya transportasi yang tinggi, perubahan spesifikasi material, peningkatan harga material, seringnya pembongkaran area fabrikasi dan peralatan, dan pengerjaan ulang (Patil & Bhangale, 2016). Dari permasalahan yang dihadapi dalam proyek konstruksi, BIM berpotensi menjadi solusi, bagaimana agar informasi dari proses BIM tidak hanya dibangun tetapi bisa digunakan oleh pemangku kepentingan.

Informasi dari proses BIM ini harus bisa diakses oleh pihak yang perkepentingan dengan mudah tanpa membutuhkan keterampilan teknologi yang tinggi agar optimal digunakan. Integrasi antara BIM dan ERP dilakukan untuk berbagai tujuan antara lain meningkatkan kinerja sustainability pada proyek konstruksi (Ghosh et al., 2011). Efisiensi pelaksanaan

proyek konstruksi menggunakan BIM-ERP pada proyek konstruksi gedung dengan sistem beton precast berhasil mengurangi waiting time dan penambahan biaya pada rantai pasok (Collantes et al., 2020). Penelitian di Australia pada tahun 2014 menyimpulkan bahwa saat ini BIM telah berkembang ke area yang cukup matang dimana kepastian data cukup diatasi sehingga hasil dari proses BIM dapat berinteraksi dengan PLM system dan menggerakkan BOM untuk dimasukkan ke ERP dan membantu proses produksi (Holzer, 2014). Mengintegrasikan BIM, IoT dan ERP dapat memberikan fungsi signifikan pada pengelolaan aset, pengelolaan waktu, biaya dan pengelolaan pendapatan perusahaan (Sarkar et al., 2022).

Kerjasama BIM dengan ERP dalam sebuah rantai suplai telah meningkatkan produktivitas (K. Chen et al., 2018). Teknologi berbasis IoT dapat memperoleh informasi produksi real-time dan pelacakan material, sehingga menghilangkan kebutuhan akan pengumpulan data tradisional untuk tujuan pengambilan keputusan (Wang et al., 2020). Pendekatan pragmatis dan bertahap digunakan dalam penerapan sistem yang meningkatkan tingkat transparansi dan akibatnya tingkat interoperabilitas di antara mitra dalam proyek konstruksi industri (N. Č. Babič et al., 2010). Pengurangan jam kerja yang signifikan, dengan mengembangkan add-on untuk mendigitalkan proses BIM dan menghubungkan model BIM ke sistem ERP (Barkokebas et al., 2021). Penelitian pada perusahaan manufaktur menengah di Macedonian menunjukkan penerapan ERP mempermudah dan mempercepat pekerjaan sehingga meningkatkan produktivitas karyawan (Devos et al., 2013).

Mengintegrasikan modul untuk manajemen lapangan ke dalam ERP pada perusahaan civil engineering mendukung kecukupan informasi untuk pengambilan keputusan (Kouamou et al., 2016). Diperlukan standar sejak awal desain agar data bisa digunakan lintas pemangku kepentingan seperti arsitek, engineer dan cost estimator penting terutama saat pengambilan informasi kuantitas pekerjaan dari BIM model (Ghazaryan, 2019).



Gambar 1. Alur proses penelitian

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini melakukan studi kasus pada proyek bendungan di Jawa Tengah. Tahapan penelitian akan dilakukan adalah: (1) melakukan tinjauan pustaka yang akan menggali penelitian-penelitian sebelumnya tentang masalah pengendalian proyek, BIM, ERP, dan integrasi BIM dengan ERP; (2) mempelajari data integrasi BIM ERP di proyek konstruksi; (3) mempelajari prosedur perusahaan konstruksi; (4) membuat panduan wawancara; (5) melakukan wawancara mendalam dengan tim proyek sebanyak tiga orang dan dua orang bagian pengendalian di tingkat pusat. Pemilihan responden ini didasari pada peran mereka sebagai pembuat data BIM dan pengendali anggaran di kantor pusat; (6) mempelajari laporan produksi, mengukur hasil integrasi BIM ERP, mempelajari keakuratan data volume BIM dan volume kontrak; (7) melakukan analisis terhadap data-data; (8) membuat kesimpulan tentang masalah pengendalian di proyek, *barrier* and *driver* penerapan BIM, evaluasi integrasi BIM ERP dan mengusulkan rekomendasi untuk proses BIM yang lebih efektif khususnya dalam pengendalian dengan memanfaatkan integrasi data BIM dan ERP.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Permasalahan pengendalian volume

Permasalahan pengendalian anggaran pada proyek bendungan yang menjadi studi kasus ini antara lain volume material yang sangat besar. Volume pekerjaan yang besar ini didominasi oleh material alam seperti galian tanah, batu dan pasir. Berbeda dengan struktur beton bertulang atau bahkan struktur baja, material alam berupa galian dan timbunan tersebut sulit dipastikan volumenya karena perbedaan volume saat penggalian dan setelah pemadatan serta desain tubuh bendungan yang menyesuaikan kontur eksisting. Keterlambatan pembayaran juga menjadi masalah dalam pengendalian di proyek bendungan ini. Dana yang tidak tersedia sesuai rencana menyebabkan sumber daya untuk melaksanakan pekerjaan menjadi terganggu. Kesalahan harga pada saat penawaran, respon lambat, kesesuaian metode konstruksi dan pengerjaan ulang akibat gangguan cuaca merupakan faktor-faktor yang menjadi masalah dalam pengendalian anggaran proyek.

Pengendali di kantor pusat berpendapat masalah pengendalian antara lain disebabkan oleh, peningkatan harga material, respon yang lambat, ketidakakuratan perkiraan material, tingkat kerumitan proyek, komunikasi yang buruk, masalah kontrak, personil yang kurang kompeten, jadwal proyek tidak tepat dan keterlambatan instruksi dari insinyur.

Proses BIM merupakan proses digital yang dengan cepat membuat model 3D yang akurat sehingga bisa memberikan informasi volume pekerjaan. Bagi kontraktor, informasi volume ini mulai dibutuhkan sejak

tahapan tender, pembuatan Rencana Anggaran Pelaksanaan (RAP), perubahan RAP dan proses pengendalian pada tahap produksi. Akan lebih baik jika proses BIM sudah dimulai lebih awal misalnya tahap pada tahap perencanaan maka penentuan WBS dan Kode Biaya berpotensi untuk diselaraskan lintas pemangku kepentingan sehingga seluruh pihak bisa mendapat manfaat dari data BIM. Pemilik proyek, perencana, kontraktor hingga pengawas proyek bisa mengetahui lebih awal informasi volume pekerjaan yang akurat dan menjadikannya sebagai data monitoring sepanjang proyek berlangsung untuk pengendalian pelaksanaan proyek. Penentuan WBS ID dan kode biaya dilakukan oleh konsultan yang dalam hal ini membuat rancangan dan menentukan spesifikasi material sehingga dipastikan bahwa data lingkup pekerjaan dan material sesuai dengan rencana.

### 3.2 Barrier dan driver penerapan BIM

#### 3.2.1 Barrier

Pada saat ini, proses BIM belum menjadi prasyarat pada proyek bendungan yang distudi ini, sehingga proses BIM yang dilakukan tidak berlanjut dengan pihak diluar perusahaan misalnya dengan konsultan pengawas. Kurangnya dorongan dan klausul kewajiban proses BIM dalam kontrak menjadi hambatan dalam proses penerapan BIM di proyek ini. Jika proses BIM merupakan persyaratan dalam kontrak tentunya akan menjadi obyek yang dipantau dan dijalani prosesnya oleh pihak pengawas proyek.

Ketidaktahuan manfaat BIM menjadi penghambat dalam penerapan proses BIM di proyek. Biaya awal yang tinggi untuk software dan hardware akibat kepemimpinan yang efisien dalam menerapkan BIM juga terjadi di proyek ini. Perbedaan teknologi antara pemangku kepentingan dimana pihak-pihak yang berkepentingan di proyek ini software yang berbeda sehingga data dari proses BIM tidak bisa langsung dibaca namun harus diekspor ke format CAD, PDF dan XLS. Faktor penghambat proses BIM lainnya adalah keengganan berpindah dari proses konvensional ke proses yang lebih maju.

#### 3.2.2 Driver

Proses BIM yang dilakukan di proyek bendungan ini telah memberikan peningkatan kinerja dalam berbagai disiplin dan sektor dalam sebuah proyek antara lain simulasi, komunikasi, mengurangi biaya, peningkatan kualitas, mempercepat waktu pengiriman dan perakitan sehingga terhindar dari keterlambatan. Hal lain yang mendorong penerapan BIM adalah kemampuan untuk menganalisis lebih cepat. Alat pemodelan BIM seperti *digital survey*, *parametric modeling*, alat deteksi konflik antar elemen, analisis energi dan lain-lain menjadikan proses untuk menganalisis lebih cepat.

Monitoring pekerjaan menjadi lebih efisien karena tidak hanya menyajikan angka-angka saja tetapi juga

**Tabel 1.** Deviasi volume BIM dibanding rencana dalam laporan ERP

Pekerjaan	Satuan	BIM-RAP	Deviasi
Pekerjaan 1	M3	-146.064,25	56%
Pekerjaan 2	M3	-53.809,87	32%
Pekerjaan 3	M3	-48.106,07	47%
Pekerjaan 4	M3	217.510,93	36%
Pekerjaan 5	M3	21.659,22	12%
Pekerjaan 6	M3	1.047.112,66	33%
Pekerjaan 7	M3	15.413,65	35%
Pekerjaan 8	M3	-26.545,69	13%
Pekerjaan 9	M3	1.086,90	91%
Pekerjaan 10	M3	2.388,31	109%
Rata-rata			46%

visualisasi dari lingkup pekerjaan tersebut. Visualisasi model tiga dimensi dari proses BIM meningkatkan komunikasi. Menurut *Contract Administration Manager* dan *Production Manager* di proyek ini, pihak-pihak sangat terbantu dalam memahami volume pekerjaan dengan bantuan model tiga dimensi. Kecepatan dan kemudahan dalam memperbarui dan merevisi model BIM membantu menyediakan informasi yang sesuai dengan dinamika proyek. Perbedaan kondisi dilapangan membutuhkan penyesuaian dari desain dan tentunya penyesuaian ini menyebabkan perubahan anggaran yang perlu diajukan untuk direvisi. Perubahan ini membutuhkan persetujuan dari berbagai pihak yang berkepentingan. Dengan proses BIM perubahan terhadap desain bisa langsung diketahui bentuk modelnya dan dampaknya terhadap biaya.

**3.3 Evaluasi integrasi BIM ERP pada proyek bendungan.**

Tujuan dari mengintegrasikan BIM dengan ERP ini adalah agar pihak pengendali anggaran mendapatkan kemudahan dalam mengakses informasi volume dari proses BIM. Tahapan integrasi BIM dengan ERP dilakukan dengan tahapan: (1) menyiapkan WBS dan kode biaya; (2) menyiapkan rencana anggaran pelaksanaan; (3) pemodelan BIM; (4) menambahkan data BIM dengan kode WBS dan kode biaya; (5) membuat laporan volume dalam format excel yang akan menyertakan kode WBS dan kode biaya di setiap elemennya; (6) mengintegrasikan data laporan quantity dari BIM dengan RAP dimana dua komponen dengan WBS dan kode biaya yang sama akan terhubung; dan (7) membuat laporan produksi secara berkala.

Saran dari tim proyek terkait pembatasan pembuatan model BIM sebatas pekerjaan utama saja. Kebutuhan sumberdaya ini akan menyebabkan tambahan biaya yang mana hal ini juga merupakan hambatan dalam penerapan BIM secara umum dan di proyek ini terlebih tidak adanya anggaran untuk sumberdaya BIM pada kontrak di proyek ini.

Idealnya proses BIM sudah dilakukan sejak inisiasi proyek agar informasi tentang volume dan desain sudah tersedia dan bisa digunakan untuk koordinasi desain dan penganggaran (Abdel-Hamid & Abdelhaleem, 2021). Volume BIM yang merupakan hasil ekspor dari geometri secara otomatis berdasarkan desain semestinya akan sangat merefleksikan volume dari pekerjaan yang akan direalisasikan. Jika volume BIM memiliki perbedaan yang terlalu jauh lebih besar maka perlu diwaspadai bahwa akan ada potensi penambahan volume pekerjaan.

Pada proyek bendungan ini pemilik proyek dalam hal ini belum mewajibkan proses BIM, dan konsultan tidak membuat model BIM. Komponen yang dievaluasi pada proses ini diantaranya adalah harga dan volume. Menurut *Production Manager* informasi volume dari BIM telah membantu dalam kegiatan evaluasi produksi. Informasi volume dari proses BIM yang diintegrasikan di ERP memudahkan dalam mengevaluasi produksi. Informasi volume dari BIM ini belum menjadi acuan dengan pihak eksternal seperti misalnya dengan pemilik proyek atau dengan subkontraktor.

Pengendali di proyek lebih setuju untuk melihat data integrasi BIM ERP di sistem ERP dibanding membuka laporan kuantitas dari proses BIM dan mencocokkan secara manual ke elemen pekerjaan di RAP. Namun pengendali anggaran dalam hal ini *Contract Administration Manager* merasa kurang terbantu karena belum ada aturan yang mengatur tentang penggunaan data integrasi BIM ERP ini.

Di kantor pusat, *Project Control Manager* (PCM) bertanggung jawab dalam pengendalian anggaran proyek dengan cara melakukan evaluasi volume pekerjaan pada saat penyusunan RAP, perubahan RAP dan evaluasi proses produksi. Menurut PCM, proses integrasi BIM dengan ERP membantu menyediakan informasi volume yang akurat dan cepat untuk pengambilan keputusan namun data BIM tidak tersedia pada waktu dibutuhkan akibat keterlambatan penyediaan data tersebut. Volume BIM yang tersedia di ERP saat ini belum cukup bagi PCM untuk dijadikan dasar penilaian anggaran pelaksanaan. PCM mengatakan meskipun proses BIM telah memberikan manfaat bagi tim proyek namun hal yang sama belum dirasakan oleh manajemen di kantor pusat. Proses BIM perlu ditingkatkan dari segi kelengkapan informasi, keakuratan data dan waktupenyediaan data tersebut.

Bagi *Contract Administration Manager* yang bertugas mengendalikan anggaran di proyek juga memandang informasi volume dari BIM sebagai referensi saja belum sebagai penentu karena pemilik proyek mengacu pada metode perhitungan konvensional yaitu

**Tabel 2.** Deviasi volume BIM dibanding rencana dalam laporan ERP

No	Proyek	Deviasi
1	Proyek A (Beton - Gedung)	17%
2	Proyek B (Beton - Gedung)	13%
3	Proyek C (Beton, Tanah, Pasir - Bendungan)	46%

menggunakan luas penampang dikalikan panjang yang dibagi dalam beberapa segmen.

Tabel 1 menunjukkan hasil integrasi BIM ERP. Pada tabel tersebut selisih volume dari BIM model dikurangi rencana anggaran pelaksanaan (RAP) memiliki nilai yang cukup besar dengan rata-rata sebesar 46%. Ini lebih besar bila dibanding penelitian sebelumnya yang menyatakan keakuratan perkiraan biaya sebesar 10% pada proyek jalan raya (Vitásek & Matějka, 2017). Dalam menentukan volume rencana ada kalanya diperlukan volume cadangan untuk metode kerja, resiko perbaikan, penyusutan, pemadatan, gangguan cuaca dan lain-lain oleh sebab itu volume rencana pelaksanaan perlu lebih besar dari volume kontrak.

Tetapi pada Tabel 1 beberapa pekerjaan memiliki nilai minus artinya volume rencana pelaksanaan lebih kecil hal ini berarti volume BIM pada Tabel 1 belum merepresentasikan nilai yang akurat. Hal ini disebabkan karena beberapa faktor seperti misalnya model yang belum sesuai dengan kondisi di lapangan, perubahan yang belum diperbarui pada model atau faktor lainnya.

Pada laporan BIM ERP dari beberapa proyek pada Tabel 2 menunjukkan pada proyek Gedung memiliki deviasi yang lebih kecil dibanding proyek bendungan. Pada proyek bendungan terdapat penggunaan material tanah dan pasir yang sangat besar. Volume tanah dan pasir ini memiliki kepastian volume yang lebih rendah dibanding kolom dan balok beton pada proyek gedung. Volume rencana pada laporan produksi BIM ERP merupakan volume bahan baku.

Tabel 3 menunjukkan bahwa keakuratan volume dari model BIM dibanding nilai yang diakui dalam proses hitung bersama dengan owner (*Mutual Check*) adalah sebesar antara 0,39 sampai dengan 1,34 %. Meskipun proses BIM jauh lebih akurat namun secara kontrak metode perhitungan melalui proses BIM belum diakui. Kecepatan proses BIM dalam menyiapkan informasi sangat membantu dalam menyesuaikan dinamika proyek yang sering berubah dan menyajikan data volume menyesuaikan dengan dinamika perubahan tersebut. Di internal kontraktor utama sendiri prosedur BIM hanya mengatur untuk menyiapkan dan mengintegrasikan laporan volume BIM di ERP. Prosedur BIM perlu diperjelas tentang langkah apa yang harus dilakukan oleh pemangku kepentingan terkait volume BIM yang diintegrasikan di ERP.

**Tabel 3.** Deviasi volume BIM dibanding kontrak hasil hitung bersama.

No	Zona	Deviasi
1	Pekerjaan 1	0,58%
2	Pekerjaan 2	1,13%
3	Pekerjaan 3	0,38%
4	Pekerjaan 4	0,39%
5	Pekerjaan 5	0,68%

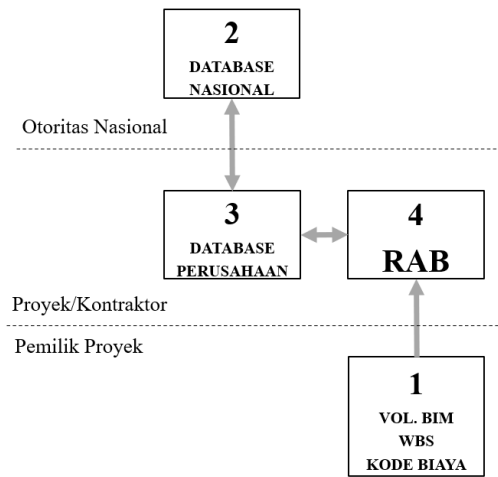
Data volume dibutuhkan mulai dari: (1) pembuatan rencana anggaran pelaksanaan (RAP); (2) pengecekan; (3) penetapan volume acuan; (4) laporan produksi; dan (5) evaluasi pelaksanaan. Pada proyek yang di studi ini, pemilik proyek belum mempersyaratkan BIM. Laporan produksi di ERP yang merupakan alat kerja dari *Contract Administration Manager* dalam merencanakan, memonitor, dan mengendalikan anggaran pekerjaan dimana di dalamnya terdapat informasi volume dari BIM sehingga *Contract Administration Manager* tidak perlu menelusuri laporan kuantitas *material take off* dari BIM untuk dibandingkan dengan elemen yang ada di RAP.

### 3.4 Rekomendasi

Rekomendasi yang akan dibuat pada penelitian ini bertujuan untuk mengefektifkan proses BIM agar proses BIM memberikan dampak bagi seluruh pemangku kepentingan khususnya terkait pengendalian anggaran dengan pemanfaatan BIM dan integrasinya dengan ERP. Menambahkan klausul penggunaan informasi volume dari model BIM untuk pekerjaan spesifik. Kemudian yang perlu distandarkan adalah kodifikasi elemen pekerjaan yang menjelaskan *standard* pekerjaan tersebut. Sehingga definisi spesifikasi akan bermakna sama bagi siapapun yang menggunakan kode tersebut. Standarisasi ini akan menghilangkan kekeliruan dalam menginterpretasikan sebuah pekerjaan. Untuk pekerjaan-pekerjaan yang tidak umum maka disiapkan kode khusus atau dibuat tata cara untuk menambahkan kode baru untuk pekerjaan-pekerjaan yang tidak umum tersebut.

Kode untuk pekerjaan dapat memberikan gambaran yang spesifik tentang pekerjaan sehingga kode ini bisa dihubungkan dengan kode biaya (Gambar 2). Alur informasi pembentuk RAB sebagai berikut: (1) laporan volume dari model BIM dengan data kode biaya dan kode WBS; (2) database kode biaya di tingkat pusat; (3) database kode biaya yang disesuaikan dengan proyek; (4) RAB merupakan volume dari model BIM dengan kode biaya dan kode biaya ini akan menjadi penghubung kepada database biaya.

Di dalam sebuah perusahaan kode pekerjaan ini bisa digunakan sebagai kode biaya. Untuk itu diusulkan menempatkan data di penyimpanan cloud, hal ini dilakukan agar informasi yang dibagikan kepada pihak-

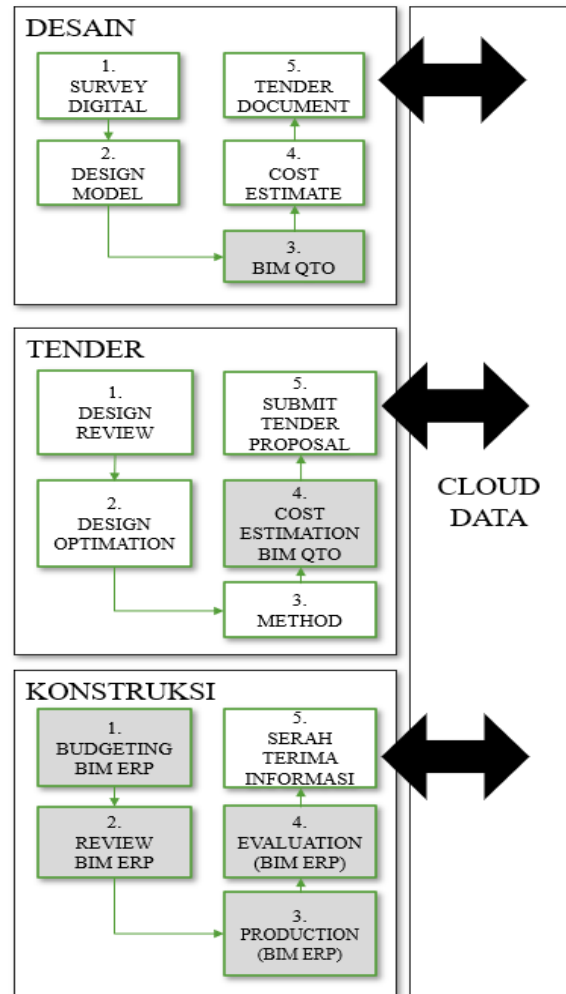


**Gambar 2.** Hubungan RAB, model BIM dan kode biaya.

pihak berkepentingan bisa dipastikan versinya, keamanannya, aksesnya dan lain-lain. Berikut adalah rekomendasi proses konstruksi dengan penerapan integrasi BIM dan ERP yang optimal.

**3.4.1 Proses BIM dan penganggaran volume tahap desain.**

Proses BIM dan penganggaran volume tahap desain terdiri dari: Pengambilan data eksisting dilakukan menggunakan metode survei digital seperti penggunaan *fotogrametri, lidar atau laser scan*. Data hasil survei berupa model tiga dimensi ini dibagikan kepada seluruh pihak yang berkepentingan menggunakan cloud. Melakukan survei secara digital ini memberikan kecepatan dan output langsung berupa model tiga dimensi yang siap digunakan sebagai dasar dalam merencanakan proyek khususnya proyek bendungan. Proses ini diikuti dengan proses desain menggunakan model tapak dan pemodelan tiga dimensi untuk memodelkan desain. Penggunaan data tiga dimensi ini akan menghindari terjadinya desain bendungan yang tidak bisa diaplikasikan karena ketidaksesuaian dengan lokasi proyek. Proses berikutnya adalah merancang model tiga dimensi dan laporan volume pekerjaan untuk bangunan dan galian timbunan disajikan kepada pemilik proyek dalam beberapa alternatif untuk menentukan desain yang paling optimal. Setiap elemen pekerjaan di tambahkan data kode lingkup pekerjaan (WBS) dan kode biaya pekerjaan yang sudah distandarisasi oleh pemilik proyek. Selanjutnya dirancang model desain, perkiraan harga berdasarkan *standard* selalu diperbarui secara bersamaan karena model, volume dan biaya saling terhubung. Pembaruan model desain, data volume dan biaya ini dilakukan agar setiap opsi desain langsung bisa ditinjau dampaknya terhadap volume dan biaya. Perencana bisa melihat langsung dampak dari desain pada model tiga



**Gambar 3.** Proses BIM dan penggunaan informasi volume.

dimensi yang dibuat sesuai lokasi dan biayanya. Terakhir adalah tahap membuat rencana anggaran biaya dimana volume pekerjaan diambil dari model BIM. Setiap elemen dari model BIM mewakili biaya konstruksi mulai dari bahan, alat bantu, upah, dan lain-lain sehingga volume kontrak diwakili maksimal oleh model, di sisi lain tidak dibutuhkan pemodelan elemen yang tidak terlalu penting karena sudah memiliki kode biaya yang terhubung dengan database standar kode biaya berdasarkan spesifikasi yang rinci (Gambar 2). Dokumen tender merupakan model BIM, rencana anggaran biaya dan spesifikasi di upload ke cloud untuk kemudian diakses oleh calon kontraktor. Membagikan data di cloud ini akan memastikan seluruh pihak mendapatkan versi yang sama.

**3.4.2 Proses BIM dan penganggaran tahap tender**

Proses BIM dan penganggaran tahap tender diawali dari calon kontraktor jasa mengakses data tender di *cloud* dan meninjau data BIM. Data tender berupa

model tiga dimensi yang mengandung data WBS, kode biaya, spesifikasi teknis dan item pekerjaan. Tahap berikutnya calon kontraktor membuat usulan optimasi. Data berupa model tiga dimensi memberikan gambaran bagi calon kontraktor tentang lingkup pekerjaan dan situasinya. Kontraktor sebagai perusahaan yang berpengalaman dibidangnya tentunya memiliki pandangan dan peluang yang bisa ditingkatkan dari rencana yang sudah dibuat oleh perencana sebagai nilai tambah dalam berkompetisi selain menawar dengan harga terendah. Selanjutnya adalah tahap membuat metode kerja dan menyajikan dalam model tiga dimensi. Dengan sudah disediakannya model tiga dimensi, maka kontraktor bisa langsung merencanakan metode kerja untuk proses utama dengan melengkapi model tiga dimensi dari dokumen tender ini dengan alat bantu konstruksi dan menyajikannya dalam simulasi tiga dimensi. Tahap ini diikuti dengan tahapan penggunaan model yang sudah dilengkapi mengecek lingkup pekerjaan, volume dan membuat perkiraan harga. Model tiga dimensi dari perencana pada data tender harus sudah cukup informasi untuk mewakili lingkup dan volume pekerjaan. Calon kontraktor cukup memeriksa saja apakah ada kejanggalan dari volume pekerjaan yang ada di RAB dibanding dengan volume di elemen BIM. Tahapan terakhir adalah mengajukan penawaran harga.

### 3.4.3 Proses BIM ERP tahap konstruksi

Proses BIM ERP tahap konstruksi dapat diuraikan sebagai berikut: Setelah kontraktor memenangkan tender maka akan melakukan persiapan pelaksanaan. Di Tahap ini rencana anggaran pelaksanaan ditentukan. Setiap elemen BIM sudah memiliki kode WBS dan kode pekerjaan sehingga kode pekerjaan bisa dihubungkan dengan kode biaya di internal kontraktor. Kode biaya di internal kontraktor merupakan formula berdasarkan pengalaman kontraktor tersebut dari proyek-proyek sebelumnya dan dilakukan penyesuaian untuk proyek bendungan yang didapat ini. Kode lingkup pekerjaan (WBS) yang sudah dilengkapi oleh perencana dilanjutkan penggunaannya untuk diintegrasikan ke sistem ERP dilanjutkan dengan membuat anggaran pelaksanaan pekerjaan. Pada tahapan berikutnya, pengendali di tingkat business unit, dan kantor pusat meninjau anggaran pelaksanaan yang diusulkan oleh tim proyek dengan menggunakan volume BIM yang sudah diintegrasikan di ERP atau volume BIM hasil ekspor model sebagai rujukan. Data model yang sudah memiliki kode WBS dan kode biaya akan memudahkan saat pengecekan ini. Tahapan ini kemudian diikuti dengan melakukan proses pelaksanaan konstruksi dan memperbarui informasi pada BIM model. Perubahan desain menyesuaikan kondisi lapangan dan permintaan perubahan diperbarui di model BIM kemudian secara berkala informasi volume dari mode BIM diintegrasikan di ERP. Tahapan selanjutnya adalah pengendali di *business* unit dan di kantor pusat

mengevaluasi progress dengan menggunakan informasi volume dari BIM yang sudah diintegrasikan di ERP sebagai rujukan dalam menilai proses produksi apakah sesuai rencana. Perubahan terhadap rencana anggaran harus dijelaskan dengan menunjukkan elemen tiga dimensi di BIM model. Pengukuran progress fisik dilapangan merujuk pada model BIM yang disepakati oleh semua pihak termasuk pemilik proyek. Kemungkinan terjadi pembengkakan volume pekerjaan akan teridentifikasi karena model BIM selalu disesuaikan terhadap perubahan model dan diintegrasikan di ERP. Tahapan terakhir adalah mengajukan model yang sudah disesuaikan dengan realisasi kepada pemilik proyek menggunakan fasilitas CDE.

## 4. Kesimpulan

Penelitian pada proyek bendungan ini menunjukkan bahwa permasalahan dalam pengendalian anggaran disebabkan oleh: kondisi tanah yang tidak terduga, gangguan cuaca yang menyebabkan pekerjaan ulang pada konstruksi sementara, kesalahan dalam penawaran harga, perubahan spesifikasi material, respon yang lambat dan keterlambatan pembayaran. Beberapa penghambat proses BIM di proyek bendungan adalah: (1) ketidaktahuan manfaat; (2) kurangnya standard, dorongan dan klausul kewajiban proses BIM; (3) biaya awal yang tinggi untuk software, hardware; (4) perbedaan teknologi antara pemangku kepentingan; (5) dibutuhkan waktu untuk pelatihan BIM. Adapun faktor yang mendorong penerapan BIM di proyek bendungan ini adalah: (1) proses BIM membantu tim proyek dalam memahami desain dan lingkup pekerjaan, mempercepat proses persetujuan perubahan desain dan volume pekerjaan; (2) kebutuhan kepastian, kecukupan dan keakuratan informasi sesuai dinamika proyek; (3) membantu proyek dalam penjadwalan yang lebih baik; (4) memberikan kemampuan untuk menganalisis lebih cepat; (5) memudahkan monitoring dan membuat keputusan terkini; (6) memberikan kemudahan dalam pengendalian biaya. Hasil evaluasi implementasi integrasi BIM dan ERP menunjukkan bahwa: (1) model BIM dan informasi volume belum tersedia pada tahap perencanaan hingga pengumuman tender proyek; (2) informasi volume pekerjaan dari model BIM belum digunakan sebagai acuan dalam kontrak dan laporan progress pekerjaan karena belum cukup aturan penggunaan data BIM; (3) metode yang digunakan sebagai acuan sebagai volume yang sah adalah metode konvensional yaitu dengan mengukur luas penampang dikalikan panjang; (4) pada proyek bendungan ini hanya kontraktor yang menerapkan proses BIM; (5) informasi volume dari proses BIM dibutuhkan oleh pengendali di proyek, kantor pusat dan di *business* unit dalam kegiatan penganggaran dan pengendalian; (6) integrasi BIM ERP memudahkan pengendali anggaran di kantor pusat



(*Project Control*) untuk mengakses informasi volume dari proses BIM sebagai salah satu rujukan pengambilan keputusan terkait anggaran namun saat ini belum bisa diandalkan karena terdapat deviasi yang perlu dijelaskan, kelengkapan data volume dan waktu penyediaan informasi. Adapun rekomendasi kebijakan untuk optimalisasi proses BIM dibidang pengendalian adalah pembuat kebijakan perlu membuat aturan yang mengatur bahwa volume kontrak, volume progres dan audit mengacu pada volume dari model BIM. Merumuskan standar deviasi volume kontrak dengan volume BIM berdasarkan material, metode kerja, lokasi dan parameter lainnya untuk sebagian besar elemen pekerjaan yang bisa di standardkan. Membuat standar kodifikasi WBS, biaya dan database biaya berdasarkan spesifikasi.

#### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada pembimbing penelitian ini, *reviewer*, responden dan seluruh pihak yang telah berkontribusi pada penelitian ini.

#### Daftar Pustaka

- Abdel-Hamid, M., & Abdelhaleem, H. M. (2021). Project cost control using five dimensions building information modeling. *International Journal of Construction Management*. <https://doi.org/10.1080/15623599.2021.1880313>
- Aboabdo, S., Aldhoiena, A., & Al-Amrib, H. (2019). Implementing Enterprise Resource Planning ERP System in a Large Construction Company in KSA. *Procedia Computer Science*, 164, 463–470. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.12.207>
- Aladag, H., Demirdögen, G., & Isik, Z. (2016). Building Information Modeling (BIM) Use in Turkish Construction Industry. *Procedia Engineering*, 161, 174–179. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.520>
- Althunibat, A., Zahrawi, A. A., Tamimi, A. A., & Altarawneh, F. H. (2019). Measuring the Acceptance of Using Enterprise Resource Planning (ERP) System in Private Jordanian Universities Using TAM Model. *International Journal of Information and Education Technology*, 9(7), 502–505. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2019.9.7.1254>
- Awwad, K. A., Shibani, A., & Ghostin, M. (2020). Exploring the critical success factors influencing BIM level 2 implementation in the UK construction industry: the case of SMEs. *International Journal of Construction Management*, 0(0), 1–8. <https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1744213>
- Babič, N. Č., Podbreznik, P., & Rebolj, D. (2010). Integrating resource production and construction using BIM. *Automation in Construction*, 19(5), 539–543. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.11.005>
- Barkokebas, B., Khalife, S., Al-Hussein, M., & Hamzeh, F. (2021). A BIM-lean framework for digitalisation of premanufacturing phases in offsite construction. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 28(8), 2155–2175. <https://doi.org/10.1108/ECAM-11-2020-0986>
- Chen Charlie C., C. C., Law, C. C. H., & Yang, S. C. (2009). Managing ERP implementation failure: A project management perspective. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 56(1), 157–170. <https://doi.org/10.1109/TEM.2008.2009802>
- Chen, K., Xu, G., Xue, F., Zhong, R. Y., Liu, D., & Lu, W. (2018). A Physical Internet-enabled Building Information Modelling System for prefabricated construction. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 31(4–5), 349–361. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2017.1379095>
- Chen, Q., Adey, B. T., Haas, C. T., & Hall, D. M. (2022). Exploiting digitalization for the coordination of required changes to improve engineer-to-order materials flow management. *Construction Innovation*, 22(1), 76–100. <https://doi.org/10.1108/CI-03-2020-0039>
- Chen, Z., & Hao, S. (2021). Research on the Motivation of Construction Enterprises Accepting BIM. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 791(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/791/1/012019>
- CIC. (2020). *CIC BIM Standard v.2 2020, Hong Kong* (2nd ed., Vol. 148). CIC.
- Collantes, R., Portilla, J., Rodriguez, S., & Garcia, F. (2020). Time and cost reduction in the production chain of construction projects through collaborative computer systems. *2020 Congreso Internacional de Innovacion y Tendencias En Ingenieria, CONIITI 2020 - Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/CONIITI51147.2020.9240406>
- D’Amico, F., D’Ascanio, L., De Falco, M. C., Ferrante, C., Presta, D., & Tosti, F. (2020). BIM for infrastructure: An efficient process to achieve 4D and 5D digital dimensions. *European Transport - Trasporti Europei*, 77.
- Dantes, G., & Hasibuan, Z. (2010). The Impact of Enterprise Resource Planning (ERP) System Implementation on Organization: Case Study ERP Implementation in Indonesia. *IBIMA Business Review Journal*, July 2010, 1–10. <https://doi.org/10.5171/2011.210664>

- Davenport, T. H. (1998). Putting the enterprise into the enterprise system. In *Harvard business review* (Vol. 76, Issue 4, pp. 121–131).
- Devos, J., Rajcanovska, J., Van Landeghem, H., & Deschoolmeester, D. (2013). Effect of ERP implementation on the company efficiency - A Macedonian CASE. In *Lecture Notes in Business Information Processing: Vol. 139 LNBIIP*. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-36611-6\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-642-36611-6_17)
- Durdyev, S., Omarov, M., & Ismail, S. (2017). Causes of delay in residential construction projects in Cambodia. *Cogent Engineering*, 4(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2017.1291117>
- Feng, Y., Wang, J., Fan, H., & Hu, Y. (2021). A BIM-Based Coordination Support System for Emergency Response. *IEEE Access*, 9, 68814–68825. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3077237>
- França, A., & Haddad, A. (2018). Causes of construction projects cost overrun in Brazil. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, 9(1), 69–83. <https://doi.org/10.30880/ijscet.2018.09.01.006>
- Ghazaryan, M. (2019). BIM and Cost Estimation Issues (5D): Case of Armenia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 698(2). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/698/2/022076>
- Ghosh, S., Negahban, S., Kwak, Y. H., & Skibniewski, M. J. (2011). Impact of sustainability on integration and interoperability between BIM and ERP - A governance framework. *Proceedings of the 1st International Technology Management Conference, ITMC 2011*, 187–193. <https://doi.org/10.1109/ITMC.2011.5995975>
- Hasibuan, Z., & Dantes, G. (2012). Priority of Key Success Factors (KSFS) on Enterprise Resource Planning (ERP) System Implementation Life Cycle. *Journal of Enterprise Resource Planning Studies*, 2012, 1–15. <https://doi.org/10.5171/2011.122627>
- Hire, S., Sandbhor, S., Ruikar, K., & Amarnath, C. B. (2021). BIM usage benefits and challenges for site safety application in Indian construction sector. *Asian Journal of Civil Engineering*, 22(7), 1249–1267. <https://doi.org/10.1007/s42107-021-00379-8>
- Holzer, D. (2014). Fostering the link from PLM to ERP via BIM the aec industry in transition. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 442, 75–82. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-45937-9\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-662-45937-9_8)
- Iso, I. S. (2018). Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modeling (BIM) - Information management using building information modeling. *Iso*, 2018.
- Joblot, L., Danjou, C., Pellerin, R., & Lamouri, S. (2021). Industry 4.0 and BIM: Do They Share the Same Objectives? In *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-70566-4\\_65](https://doi.org/10.1007/978-3-030-70566-4_65)
- Kaming, P. F., Olomolaiye, P. O., Holt, G. D., & Harris, F. C. (2010). Construction Management and Economics Factors influencing construction time and cost overruns on high-rise projects in Indonesia Factors in - uencing construction time and cost overruns on high-rise projects in Indonesia. *Construction Management and Economics*, 1(15), 83–94.
- Kouamou, G. E., Manjia, M. B., & Pettang, C. (2016). Extending an ERP to improve decision-making in civil engineering companies in developing countries such as Cameroon. *Journal of Decision Systems*, 25, 550–557. <https://doi.org/10.1080/12460125.2016.1187425>
- Larsen, J. K., Ussing, L. F., Brunoe, T. D., & Lindhard, S. M. (2016). The project management process of planning and budgeting in public construction projects. In *Civil and Environmental Engineering: Concepts, Methodologies, Tools, and applications* (Vol. 3). <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-9619-8.ch055>
- Lee, J., Yang, H., Lim, J., Hong, T., Kim, J., & Jeong, K. (2020). BIM-based preliminary estimation method considering the life cycle cost for decision-making in the early design phase. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 19(4), 384–399. <https://doi.org/10.1080/13467581.2020.1748635>
- Leicht, D., Castro-Fresno, D., Díaz, J., & Baier, C. (2020). Multidimensional construction planning and agile organized project execution-The 5D-PROMPT method. *Sustainability (Switzerland)*, 12(16)Leicht, D., Castro-Fresno, D., Diaz, J., Baier, C. (2020). Multidimensional construction planning and agile organized project execution-The 5D-PROMPT method. *Sustainability (Switzerland)*, 12(16). <https://doi.org/10.3390/SU12166340>. <https://doi.org/10.3390/SU12166340>
- Patil, Y. K., & Bhangale, P. P. (2016). Investigation of Factors Influencing Cost Overrun in High-Rise Building Constructions. *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology (IJLTET)*, 6(3), 338–342. <http://www.ijltet.org/journal/50.pdf>
- Sarkar, D., Pandya, K., Dave, B., Jha, K. N., & Dhaneshwar, D. (2022). Development of an integrated BIM-ERP-IoT module for construction projects in Ahmedabad. *Innovative Infrastructure*

- Solutions*, 7(1). <https://doi.org/10.1007/s41062-021-00656-0>
- Shafi, K., Ahmad, U. S., Nawab, S., Bhatti, W. K., Shad, S. A., Hameed, Z., Asif, T., & Shoaib, F. (2019). Measuring performance through enterprise resource planning system implementation. *IEEE Access*, 7(c), 6691–6702. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2884900>
- Susanti, R. (2020). Cost overrun and time delay of construction project in Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 1444(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1444/1/012050>
- Vitásek, S., & Matějka, P. (2017). Utilization of BIM for automation of quantity takeoffs and cost estimation in transport infrastructure construction projects in the Czech Republic. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 236(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/236/1/012110>
- Wang, M., Altaf, M. S., Al-Hussein, M., & Ma, Y. (2020). Framework for an IoT-based shop floor material management system for panelized home building. *International Journal of Construction Management*, 20(2), 130–145. <https://doi.org/10.1080/15623599.2018.1484554>
- Yoo, B. K., & Kim, S. H. (2021). Analysis of Impact on ERP Customization Module Using CSR Data. *Journal of Information Processing Systems*, 17(3), 473–488. <https://doi.org/10.3745/JIPS.04.0215>
- Zhai, Y., Chen, K., Zhou, J. X., Cao, J., Lyu, Z., Jin, X., Shen, G. Q. P., Lu, W., & Huang, G. Q. (2019). An Internet of Things-enabled BIM platform for modular integrated construction: A case study in Hong Kong. *Advanced Engineering Informatics*, 42(September), 100997. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2019.100997>