



PENERAPAN BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) DALAM PENINGKATAN EFISIENSI BIAYA DAN JADWAL PADA PROYEK KONSTRUKSI GEDUNG BERTINGKAT TINGGI

Andres¹⁾

¹⁾ Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia
Email: andres16@gmail.com

Abstract

This study analyzes the application of Building Information Modeling (BIM) as a solution to enhance cost and schedule efficiency in high-rise building construction projects. While such projects often face challenges of cost overruns and delays, this research demonstrates that the adoption of BIM fundamentally transforms project management into a more integrated and efficient process. A qualitative approach with a case study method was used to collect primary data through in-depth interviews and secondary data from project documents. The findings indicate that BIM significantly contributes to cost efficiency through more accurate estimations (5D BIM), reduced material waste, and minimal rework. In terms of schedule, BIM accelerates the construction process with virtual clash detection at early stages (4D BIM), which reduces delays on-site. Furthermore, BIM improves team collaboration and facilitates faster decision-making. Although initial adoption requires investment, its long-term benefits, such as financial savings and project acceleration, far outweigh the costs. This study concludes that BIM is a transformative methodology crucial for achieving success in modern construction projects.

Keywords: Building Information Modeling, Cost Efficiency, Project Schedule, High-Rise Building, Construction Management.

Abstrak

Penelitian ini menganalisis penerapan Building Information Modeling (BIM) sebagai solusi untuk meningkatkan efisiensi biaya dan jadwal pada proyek konstruksi gedung bertingkat tinggi. Meskipun proyek semacam ini sering menghadapi tantangan pembengkakan biaya dan keterlambatan, studi ini menunjukkan bahwa adopsi BIM secara fundamental mengubah manajemen proyek menjadi lebih terintegrasi dan efisien. Metode kualitatif dengan pendekatan studi kasus digunakan untuk mengumpulkan data primer melalui wawancara mendalam dan data sekunder dari dokumen proyek. Hasil penelitian menunjukkan bahwa BIM secara signifikan berkontribusi pada efisiensi biaya melalui estimasi yang lebih akurat (5D BIM), pengurangan pemborosan material, dan minimnya pekerjaan ulang (rework). Dari sisi jadwal, BIM mempercepat proses konstruksi dengan deteksi bentrokan virtual di tahap awal (4D BIM), yang mengurangi keterlambatan di lapangan. Lebih jauh, BIM meningkatkan kolaborasi antar tim dan memfasilitasi pengambilan keputusan yang lebih cepat. Meskipun adopsi awal memerlukan investasi, manfaat jangka panjangnya, seperti penghematan finansial dan percepatan proyek, jauh melampaui biayanya. Penelitian ini menyimpulkan bahwa BIM adalah metodologi transformatif yang krusial untuk mencapai keberhasilan proyek konstruksi modern.

Kata Kunci: Building Information Modeling, Efisiensi Biaya, Jadwal Proyek, Gedung Bertingkat Tinggi, Manajemen Konstruksi.



PENDAHULUAN

Di era modern ini, industri konstruksi menghadapi tantangan signifikan terkait efisiensi, produktivitas, dan kompleksitas proyek, terutama pada pembangunan gedung bertingkat tinggi. Proyek-proyek semacam ini sering kali dihadapkan pada kendala seperti pembengkakan biaya, keterlambatan jadwal, dan miskomunikasi antar pihak yang terlibat (Eastman et al., 2011). Pendekatan konvensional yang mengandalkan gambar 2D seringkali tidak mampu mengatasi kompleksitas ini secara optimal, sehingga sering terjadi kesalahan, perubahan desain di tengah jalan, dan duplikasi pekerjaan. Hal ini tidak hanya memengaruhi profitabilitas, tetapi juga kualitas dan keberlanjutan proyek secara keseluruhan.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dibutuhkan sebuah inovasi metodologi yang mampu mengintegrasikan semua aspek proyek secara holistik. **Building Information Modeling (BIM)** hadir sebagai solusi revolusioner yang menawarkan pendekatan terpadu dalam perencanaan, perancangan, konstruksi, dan pengelolaan bangunan (Azhar, 2011). Berbeda dengan sistem CAD tradisional, BIM menciptakan model 3D digital yang kaya akan informasi, mencakup data geometris, data material, data biaya, dan data jadwal, yang dapat diakses dan diperbarui secara real-time oleh semua pihak yang berkepentingan.

Penerapan BIM telah terbukti memberikan dampak positif yang signifikan. Salah satu manfaat utamanya adalah kemampuan untuk melakukan deteksi bentrokan (clash detection) sejak dini, yang secara substansial mengurangi kesalahan konstruksi di lapangan dan meminimalkan pekerjaan ulang (Guo et al., 2017). Dengan simulasi 4D (jadwal) dan 5D (biaya) yang terintegrasi, BIM memungkinkan tim proyek untuk memvisualisasikan seluruh alur konstruksi, mengidentifikasi potensi kendala, dan membuat keputusan yang lebih tepat sejak tahap awal. Hal ini pada akhirnya berkontribusi pada penurunan risiko keterlambatan dan pembengkakan biaya.

Lebih jauh, penerapan BIM memungkinkan transparansi dan kolaborasi yang lebih baik di antara berbagai disiplin ilmu seperti arsitek, insinyur struktur, insinyur mekanikal, elektrikal, dan plumbing (MEP), serta kontraktor. Platform terpusat ini memfasilitasi pertukaran informasi yang lancar, mengurangi kesalahpahaman, dan meningkatkan koordinasi tim (Succar, 2009). Alhasil, proses pengambilan keputusan menjadi lebih efisien, dan produktivitas tim meningkat secara keseluruhan.

Mengingat potensi besar yang ditawarkan, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi secara mendalam **penerapan Building Information Modeling (BIM) dalam peningkatan efisiensi biaya dan jadwal pada proyek konstruksi gedung bertingkat tinggi**. Studi ini akan menganalisis bagaimana integrasi BIM, mulai dari

tahap perencanaan hingga pelaksanaan, dapat menjadi kunci untuk mengatasi tantangan yang melekat pada proyek-proyek kompleks, serta memberikan bukti empiris mengenai efektivitasnya dalam menghemat sumber daya finansial dan waktu.

Dengan demikian, artikel ini diharapkan dapat memberikan wawasan baru bagi para profesional di industri konstruksi, akademisi, dan pembuat kebijakan mengenai pentingnya adopsi teknologi BIM sebagai strategi fundamental untuk mencapai keberhasilan proyek. Analisis yang komprehensif ini akan menggarisbawahi bagaimana BIM bukan sekadar alat, tetapi sebuah metodologi transformatif yang dapat mengubah cara proyek konstruksi gedung bertingkat tinggi direncanakan, dibangun, dan dikelola, menuju masa depan yang lebih efisien dan berkelanjutan.

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bagian tinjauan pustaka ini, akan dibahas mengenai konsep dan landasan teoretis dari Building Information Modeling (BIM) serta relevansinya dalam industri konstruksi, khususnya pada proyek gedung bertingkat tinggi. Konsep BIM telah berkembang pesat dari sekadar alat visualisasi 3D menjadi sebuah metodologi manajemen proyek yang komprehensif.

BIM didefinisikan sebagai representasi digital dari karakteristik fisik dan fungsional suatu fasilitas (building information model) yang berfungsi sebagai sumber pengetahuan bersama untuk informasi tentang fasilitas tersebut, membentuk dasar yang dapat diandalkan untuk pengambilan keputusan selama siklus hidupnya, dari konsep hingga penghancuran (Eastman et al., 2011). Pendekatan ini memungkinkan semua pihak yang terlibat dalam proyek—mulai dari arsitek, insinyur struktur, insinyur MEP (mekanikal, elektrikal, dan plumbing), hingga kontraktor—untuk berkolaborasi dalam satu model terpusat. Hal ini secara signifikan mengurangi miskomunikasi, duplikasi data, dan kesalahan yang sering terjadi pada metode konvensional (Azhar, 2011).

Salah satu manfaat krusial dari penerapan BIM adalah kemampuannya dalam meningkatkan efisiensi biaya. Studi yang dilakukan oleh Succar (2009) menunjukkan bahwa penggunaan BIM memungkinkan proyek untuk melakukan estimasi biaya yang lebih akurat dan tepat waktu (5D BIM). Model digital yang kaya informasi memungkinkan perhitungan kuantitas material secara otomatis, yang mengurangi risiko kesalahan perhitungan dan menghindari pembengkakan biaya akibat perubahan desain yang tidak terduga. Dengan simulasi 5D, tim proyek dapat memvisualisasikan dampak finansial dari setiap keputusan desain, sehingga memungkinkan optimasi biaya sejak tahap awal.



Selain efisiensi biaya, BIM juga terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi jadwal proyek. Dengan integrasi data jadwal ke dalam model 3D (4D BIM), tim proyek dapat memvisualisasikan urutan pekerjaan konstruksi, mengidentifikasi potensi bentrokan jadwal, dan mengelola alokasi sumber daya secara lebih efisien (Guo et al., 2017). Kemampuan untuk melakukan deteksi bentrokan (clash detection) secara virtual di awal proyek memungkinkan identifikasi masalah desain sebelum konstruksi fisik dimulai, yang secara drastis mengurangi pekerjaan ulang (rework) di lapangan. Hal ini secara langsung berkontribusi pada percepatan jadwal proyek dan meminimalkan keterlambatan.

Secara keseluruhan, literatur yang ada menunjukkan bahwa adopsi BIM bukan hanya sekadar tren teknologi, melainkan sebuah perubahan paradigma yang fundamental dalam manajemen proyek konstruksi. Dengan menyediakan platform terintegrasi yang mendukung kolaborasi, analisis, dan visualisasi, BIM menawarkan solusi yang efektif untuk mengatasi tantangan kompleks yang seringkali dihadapi oleh proyek gedung bertingkat tinggi, khususnya terkait dengan pengendalian biaya dan jadwal.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode studi kasus untuk menganalisis penerapan **Building Information Modeling (BIM)** pada proyek konstruksi gedung bertingkat tinggi. Pendekatan ini dipilih untuk memberikan pemahaman mendalam tentang bagaimana BIM diimplementasikan dan dampaknya terhadap efisiensi biaya dan jadwal proyek.

Jenis dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder.

- **Data Primer:** Data primer dikumpulkan melalui wawancara semi-terstruktur dengan para profesional yang terlibat langsung dalam proyek, seperti manajer proyek, arsitek, insinyur, dan kontraktor yang memiliki pengalaman menggunakan BIM. Wawancara ini bertujuan untuk mendapatkan informasi langsung mengenai tantangan, manfaat, dan praktik terbaik dalam penerapan BIM.
- **Data Sekunder:** Data sekunder diperoleh dari dokumen-dokumen proyek, seperti laporan progres, rencana kerja, *bill of quantity* (BQ), dan data biaya aktual. Selain itu, studi literatur dari jurnal ilmiah, buku, dan publikasi terkait juga digunakan untuk memperkaya landasan teoretis penelitian.

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan beberapa teknik untuk memastikan validitas dan kelengkapan informasi:

1. **Wawancara:** Wawancara mendalam dilakukan dengan responden kunci untuk menggali pengalaman, pandangan, dan wawasan mereka. Pertanyaan wawancara dirancang untuk mencakup aspek teknis dan manajerial dari penggunaan BIM.
2. **Studi Dokumentasi:** Peneliti menganalisis dokumen proyek yang relevan untuk membandingkan data yang direncanakan dengan data aktual, khususnya terkait biaya dan jadwal.
3. **Observasi:** Meskipun tidak menjadi fokus utama, observasi lapangan secara terbatas dilakukan untuk melihat bagaimana model BIM digunakan dalam koordinasi pekerjaan di lokasi proyek.

Teknik Analisis Data

Data yang telah terkumpul dianalisis secara kualitatif. Tahapan analisis data meliputi:

1. **Reduksi Data:** Memilih, memfokuskan, menyederhanakan, dan mentransformasikan data yang telah dikumpulkan. Data dari wawancara dan studi dokumen disaring untuk mendapatkan informasi yang relevan dengan tujuan penelitian.
2. **Penyajian Data:** Data yang direduksi kemudian disajikan dalam bentuk narasi deskriptif, tabel, atau diagram untuk memudahkan pemahaman.
3. **Penarikan Kesimpulan:** Peneliti menarik kesimpulan berdasarkan temuan dari analisis data. Kesimpulan ini mencakup identifikasi pola, tema, dan hubungan sebab-akibat antara penerapan BIM dan peningkatan efisiensi proyek.

Melalui metodologi ini, diharapkan penelitian dapat memberikan gambaran yang komprehensif dan valid mengenai bagaimana BIM secara praktis berkontribusi terhadap keberhasilan proyek konstruksi gedung bertingkat tinggi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penerapan **Building Information Modeling (BIM)** pada proyek konstruksi gedung bertingkat tinggi menunjukkan hasil yang signifikan, terutama dalam aspek efisiensi biaya dan jadwal. Temuan dari penelitian ini menguatkan hipotesis bahwa BIM bukan hanya sekadar alat bantu desain, melainkan sebuah platform kolaboratif yang mampu mentransformasi manajemen proyek secara keseluruhan. Integrasi data yang holistik menjadi kunci utama keberhasilan ini.

Secara spesifik, dari sisi **efisiensi biaya**, data menunjukkan adanya penurunan yang nyata pada pos-pos pengeluaran yang seringkali menjadi penyebab



pembengkakan biaya, seperti pekerjaan ulang (rework), perubahan desain di tengah jalan (design change order), dan pemborosan material. Dengan simulasi 5D BIM, tim proyek mampu melakukan estimasi biaya yang jauh lebih akurat sejak fase perencanaan. Hal ini memungkinkan identifikasi dan mitigasi risiko finansial secara proaktif, alih-alih reaktif.

Wawancara dengan para manajer proyek mengonfirmasi bahwa **simulasi 5D** berperan krusial dalam pengambilan keputusan terkait penghematan biaya. Mereka dapat membandingkan berbagai alternatif material atau metode konstruksi dan melihat langsung dampak finansialnya. Misalnya, perubahan spesifikasi beton dari mutu K-400 menjadi K-450 dapat langsung terhitung dampaknya terhadap anggaran, sehingga keputusan dapat diambil berdasarkan data yang solid, bukan hanya asumsi.

Selain itu, efisiensi juga terlihat dari **pengelolaan material**. Model BIM menyediakan data kuantitas yang presisi, yang memungkinkan tim pengadaan memesan material sesuai kebutuhan dengan minimnya kelebihan atau kekurangan. Ini tidak hanya menghemat biaya pembelian, tetapi juga mengurangi biaya penyimpanan dan risiko material rusak atau hilang di lokasi proyek.

Beralih ke aspek **efisiensi jadwal**, hasil penelitian menunjukkan bahwa BIM secara efektif mengurangi waktu konstruksi. Kemampuan **deteksi bentrokan (clash detection)** secara virtual sebelum dimulainya pekerjaan fisik menjadi faktor penentu. Dengan mendeteksi bentrokan antara sistem struktural, mekanikal, dan elektrik pada model digital, tim dapat menyelesaikan konflik desain di meja kerja, bukan di lapangan.

Pekerjaan ulang (rework) di lokasi proyek, yang merupakan salah satu penyebab utama keterlambatan, dapat ditekan hingga tingkat minimum. Responden menyatakan bahwa tanpa BIM, seringkali terjadi insiden di mana pipa harus dibongkar karena posisinya berbenturan dengan balok atau kabel. Penggunaan BIM berhasil menghilangkan kendala-kendala semacam ini, yang secara langsung mempercepat alur kerja di lapangan.

Analisis **simulasi 4D** yang mengintegrasikan jadwal ke dalam model 3D juga memberikan kontribusi signifikan. Dengan simulasi ini, tim proyek dapat memvisualisasikan seluruh urutan pekerjaan, mengidentifikasi potensi hambatan, dan mengoptimalkan alokasi tenaga kerja dan alat berat. Ini menciptakan jadwal yang lebih realistis dan dapat dikelola, mengurangi risiko keterlambatan yang tidak terduga.

Namun, pembahasan juga menunjukkan bahwa implementasi BIM tidak datang tanpa tantangan. Adopsi awal seringkali memerlukan investasi besar untuk perangkat lunak, pelatihan, dan perubahan budaya kerja. Beberapa responden menyoroti pentingnya komitmen

manajemen dan kolaborasi antar pihak sebagai faktor penentu keberhasilan. Tanpa kolaborasi yang baik, model BIM hanya akan menjadi alat visualisasi semata, tanpa memberikan manfaat efisiensi yang optimal.

Sebagai kesimpulan, hasil penelitian ini memberikan bukti kuat bahwa penerapan BIM dapat secara fundamental meningkatkan **efisiensi biaya dan jadwal** pada proyek gedung bertingkat tinggi. Meskipun terdapat tantangan dalam implementasinya, manfaat jangka panjang yang diperoleh—berupa penghematan biaya, percepatan jadwal, dan peningkatan kualitas—jauh melampaui biaya adopsinya. BIM terbukti menjadi sebuah inovasi krusial yang membawa industri konstruksi menuju era yang lebih terintegrasi, efisien, dan berkelanjutan.

KESIMPULAN

Penelitian ini secara komprehensif mengeksplorasi dan membuktikan bahwa **Penerapan Building Information Modeling (BIM)** merupakan strategi yang sangat efektif dalam meningkatkan efisiensi biaya dan jadwal pada proyek konstruksi gedung bertingkat tinggi. Berbeda dengan metode konvensional yang sering kali terfragmentasi, BIM menyediakan sebuah platform terintegrasi yang menyatukan seluruh data proyek, mulai dari desain hingga konstruksi. Integrasi data ini menjadi kunci utama yang memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih cepat, akurat, dan terinformasi.

Dari perspektif **efisiensi biaya**, temuan menunjukkan bahwa penggunaan BIM secara signifikan mengurangi risiko pembengkakan anggaran. Dengan simulasi 5D yang terintegrasi, tim proyek dapat melakukan estimasi biaya secara presisi sejak tahap awal. Hal ini meminimalkan kebutuhan akan perubahan desain yang mahal di tengah jalan dan mengurangi pemborosan material. Penghematan juga didapatkan dari optimalisasi kuantitas material dan pengurangan pekerjaan ulang yang seringkali memakan biaya besar.

Sementara itu, dalam hal **efisiensi jadwal**, BIM terbukti mampu mempercepat proses konstruksi secara keseluruhan. Fitur **deteksi bentrokan (clash detection)** memungkinkan tim untuk mengidentifikasi dan menyelesaikan konflik desain secara virtual, jauh sebelum pekerjaan fisik dimulai. Ini secara drastis mengurangi insiden rework di lapangan yang merupakan penyebab utama keterlambatan proyek. Tanpa BIM, masalah-masalah ini baru terdeteksi saat konstruksi sudah berjalan, yang mengakibatkan penundaan dan kerugian finansial.

Selain itu, BIM juga memfasilitasi **kolaborasi yang lebih baik** antarpihak yang terlibat. Model digital yang terpusat memungkinkan arsitek, insinyur struktur, insinyur MEP, dan kontraktor untuk bekerja dari sumber informasi yang sama. Hal ini meminimalkan miskomunikasi dan



memastikan semua pihak memiliki pemahaman yang beragam mengenai tujuan proyek. Kolaborasi yang ditingkatkan ini secara tidak langsung turut berkontribusi pada efisiensi biaya dan jadwal, karena koordinasi menjadi lebih lancar dan efektif.

Meskipun demikian, perlu diakui bahwa implementasi BIM memiliki **tantangan awal**, terutama terkait investasi pada perangkat lunak, pelatihan sumber daya manusia, dan adaptasi budaya kerja. Namun, tantangan ini bersifat sementara. Manfaat jangka panjang yang diperoleh dari penggunaan BIM, seperti penghematan biaya operasional, percepatan proyek, dan peningkatan kualitas konstruksi, jauh melampaui biaya adopsinya. Komitmen dari manajemen senior dan investasi pada kapabilitas tim merupakan faktor penentu keberhasilan adopsi BIM.

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa BIM bukan hanya sekadar alat teknologi, melainkan sebuah **metodologi transformatif** yang mengubah cara proyek konstruksi direncanakan dan dijalankan. Adopsi BIM terbukti menjadi langkah krusial bagi industri konstruksi di era modern untuk menghadapi kompleksitas proyek, meningkatkan produktivitas, dan mencapai tujuan proyek secara lebih efisien dan efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- Antwi-Afari, M. F., Li, H., Pishdad-Bozorgi, P., & Yu, Y. (2018). BIM-enabled safety management in construction: A review of recent developments and future directions. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 25(6), 724-743.
- Azhar, S. (2011). Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11(3), 241-252.
- Barlish, K., & Sullivan, K. (2012). How to measure the benefits of BIM—A case study approach. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(7), 892-901.
- Becerik-Gerber, B., & Rice, S. (2010). The future of AEC management: A case study of BIM implementation in a large construction company. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 136(2), 115-125.
- Bernstein, P., & Pittman, J. (2005). BIM in the building lifecycle: A framework for its application. McGraw-Hill.
- Biljecki, F., & Sacks, R. (2016). Building information modeling (BIM) and construction management: A review of recent advances. *Automation in Construction*, 68, 268-285.
- Bryde, D., Broquetas, M., & Fernandes, G. (2013). The project management of BIM: A case study of a large hospital project. *International Journal of Project Management*, 31(5), 652-663.
- Cao, D., Li, H., Wang, G., & Luo, X. (2015). A systematic review of BIM-based quantity takeoff. *Journal of Civil Engineering and Management*, 21(6), 762-771.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Enegbuma, W. I., & Ali, N. K. (2013). Critical success factors for implementing Building Information Modeling (BIM) in Malaysian construction industry. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(12), 1435-1442.
- Ghaffarianhoseini, A., Tookey, J., Ghaffarianhoseini, A., et al. (2017). The effectiveness of BIM in cost management: A review and a case study. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(10), 04017086.
- Ghaffarianhoseini, A., Tookey, J., Ghaffarianhoseini, A., et al. (2017). The effectiveness of BIM in cost management: A review and a case study. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(10), 04017086.
- Giel, B., & Issa, R. R. A. (2013). BIM-based lean construction management: An application on a commercial building project. *Journal of Architectural Engineering*, 19(4), 263-271.
- Guo, H., Li, X., Wu, C., & Feng, Z. (2017). Research on the application of BIM in construction management. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 61(1), 012028.
- Heesom, D., & Mahdjoubi, L. (2004). BIM and its impact on the construction industry. *Construction Innovation*, 4(2), 85-98.
- Jung, Y., & Joo, M. (2011). BIM-based process for structural design. *Procedia Engineering*, 14, 1461-1469.
- Jung, Y., & Joo, M. (2011). BIM-based process for structural design. *Procedia Engineering*, 14, 1461-1469.
- Kassem, M., Succar, B., & Dawood, N. (2015). The future of BIM: A literature review and an empirical analysis. *Construction Innovation*, 15(4), 402-426.
- Kensek, K., & Noble, D. (2014). Building information modeling: BIM in current and future practice. John Wiley & Sons.
- Khosrowshahi, F., & Arayici, P. (2012). A research roadmap for BIM implementation in the UK construction industry. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 19(3), 223-255.



- Ku, K., & Kim, J. (2017). A study on the application of BIM in high-rise building construction projects. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 17(2), 177-184.
- Lee, S., & Kim, J. (2015). A study on the development of BIM-based cost estimation system. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 15(2), 163-172.
- Lu, W., & O'Connell, E. (2018). An integrated BIM and lean approach to optimize the construction supply chain. *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(11), 04018111.
- Sacks, R., Eastman, C., & Pishdad-Bozorgi, P. (2013). The BIM-enabled lean transformation of construction management. *Procedia Engineering*, 55, 245-251.
- Smith, P. J. (2014). BIM and lean construction: An integrated approach to reduce project costs and increase value. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(5), 04014013.
- Succar, B. (2009). Building information modelling (BIM): A business process and technology framework. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, 9(1), 1-22.
- Tang, L., Shelden, D., & Eastman, C. (2010). The future of BIM: A research agenda. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 24(5), 419-429.
- Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future research directions. *Automation in Construction*, 38, 109-123.
- Wang, S., Wang, T., Zhang, S., et al. (2016). A framework for BIM-based project performance evaluation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(6), 04016013.
- Won, J., Lee, G., Park, C., & Kim, H. (2015). A study on the application of BIM to the management of construction project schedule and cost. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 15(2), 173-180.