LESSON LEARNED: *BEST PRACTICE* IMPLEMENTASI *BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)*

Hermawan[1]
1. Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang
*Correspondent Author: hermawan.mrk@unika.ac.id
Tanggal masuk naskah: 18-09-2022 • Tanggal review: 25 &27-09-2022 • Tgl revisi: 29-09-2022 • Tgl review II: 05 & 07-10-2022 • Tgl siap terbit 08-10-2022
DOI: 10.24167/joda.v2i1.5548

Abstrak:
Dalam dekade terakhir ini, Building Information Modeling (BIM) sangat luas penggunaannya di industri arsitektur, engineering dan konstruksi. Ruang lingkupnya dimulai dari manufaktur sampai di proyek. Sementara itu, industri konstruksi yang merupakan salah satu industri yang cukup rumit memerlukan perbaikan pada efisiensi waktu dan biaya. Tujuan dari tulisan ini adalah untuk memberikan pengalaman praktis penggunaan BIM pada pekerjaan konstruksi di gedung dan infrastruktur. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian adalah project based evaluation. Project based evaluation dilakukan pada proyek konstruksi yaitu struktur gedung yang meliputi pekerjaan pondasi yang menggunakan *bored pile*, *pile cap*, pelat lantai, *shear wall*, kolom, dan balok. Selanjutnya adalah jembatan yang berfokus pada pekerjaan struktur di pilar tunggal dan ganda. Hasil penelitian pada struktur gedung yang digunakan sebagai project based evaluation memperlihatkan selisih volume pada setiap elemen berkisar antara 0,03% sampai 1,13%. dengan selisih total antara perhitungan ulang secara konvensional dan pemodelan berkisar sebesar 0,358%. Sementara pemodelan pada project based evaluation kedua memperlihatkan adanya perbedaan volume sebesar 12.965,66 kg untuk struktur pilar tunggal dan 48.233,51 kg untuk pilar ganda. Sementara metode konvensional menghasilkan volume estimasi lebih besar yaitu 13.482,72 kg untuk struktur pilar tunggal dan 49.827,70 kg untuk pilar ganda.

Kata Kunci: Building Information Modeling, waktu, maturity

Abstract:
In the past few decades, Building Information Modeling (BIM) has been widely used worldwide in industry of architecture, engineering dan construction (AEC). This scope is started from construction material manufacturing to construction project. So, this industry, which is one of the most complex industries, requires improvements in time and cost efficiency.. The purpose of this paper is to provide best practice of using BIM in buildings and infrastructure. The research method used in this research is project based evaluation. Project based evaluation is carried out on construction projects, namely building structures which include bored piles, pile cap, plates, shear walls, columns, and beams. The second project based evaluation is the bridge which focuses on structural work in single and double pillars. The results of research on building structures used as project based evaluations show that the difference in volume for each element ranges from 0.03% to 1.13%. with the total difference between conventional recalculation and modeling is around 0.358%. While the modeling in the second project based evaluation showed a volume difference of 12,965.66 kg for single pillar structures and 48,233.51 kg for double pillars. While the conventional method produces a larger estimated volume of 13,482.72 kg for single pillar structures and 49,827.70 kg for double pillars.

Keywords: *Building Information Modeling, time, maturity*

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

1. Pendahuluan

Industri *architecture, engineering* dan *construction* (AEC) merupakan industri yang cukup rumit sehingga masih terdapat beberapa ruang perbaikan seperti efisiensi biaya dan waktu dengan produktivitas dan kualitas yang meningkat **[1]**. Berbagai bidang keahlian juga turut terlibat dalam industri ini sehingga industri ini menjadi cukup kompleks dan memerlukan kolaborasi antar bidang keahlian yang efektif **[2]**. Bangunan gedung menjadi salah satu sumber yang memberikan dampak terhadap lingkungan dengan berkontribusi 40% untuk limbah pekerjaan tanah, 50% emisi karbon dioksida, 40% kebutuhan energi, 71% konsumsi listrik, 60% pemanfaatan air, dan 50% penggunaan bahan mentah **[3]**. Selain itu, dalam proyek konstruksi juga sering dihadapkan dengan permasalahan manajemen *limbah*. *Limbah* dan *pekerjaan ulang* dapat memberikan dampak pada biaya dan dampak pada lingkungan. *Pekerjaan ulang* pada pembangunan bangunan gedung baru diestimasikan berkontribusi rata-rata 5,06% dari nilai proyek **[4]**.

Oleh karenanya diperlukan penelitian lebih lanjut untuk dapat menemukan solusi yang inovatif atas permasalahan tersebut dan dapat diterapkan pada proyek **[5]**. *Building information modelling* (BIM) dapat menjadi solusi untuk mengatasi berbagai permasalahan tersebut. Penggunaan BIM mengalami pertumbuhan penggunaan yang sangat besar karena adanya dukungan dari para stakeholder **[6]**. Dengan menggunakan BIM terdapat beberapa manfaat yang dapat diterima yaitu sebagai berikut **[1]**:

- Melakukan visualisasi bangunan secara 3 dimensi dengan cukup mudah
- Melakukan penggambaran *shop drawing* dengan mudah dari model yang telah dibuat
- Mempermudah lembaga-lembaga resmi untuk dapat melakukan peninjauan terhadap bangunan
- Mampu menghasilkan kuantitas material yang dapat diubah sewaktu-waktu di model untuk digunakan sebagai estimasi biaya
- Mampu menampilkan penahapan kegiatan konstruksi agar dapat mengkoordinasikan pemesanan material, proses fabrikasi dan penjadwalan komponen gedung secara efisien
- Dapat menunjukkan komponen-komponen yang saling bertabrakan secara 3 dimensi
- Model dapat digunakan untuk keperluan pemeriksaan dan mengilustrasikan kemungkinan-kemungkinan kegagalan serta perencanaan evakuasi
- Model dapat digunakan sebagai acuan untuk penataan ruang, kegiatan perbaikan dan renovasi

Dengan adanya teknologi BIM dan *integrated project delivery (IPD)*, dapat memudahkan untuk melakukan evaluasi atas desain dan proses konstruksi sehingga juga memberikan dampak terhadap kegiatan konstruksi dan keberlanjutan **[7]**. Teknologi untuk saling berinteraksi antar keahlian dapat memudahkan masing-masing pihak berkepentingan untuk meninjau dan melakukan evaluasi atas desain maupun pekerjaan konstruksi. Proses perbaikan dapat dilakukan secara langsung dan dapat diakses oleh pihak-pihak yang memiliki akses sehingga dapat mencapai efisiensi waktu. Teknologi BIM dapat dimanfaatkan untuk memberikan informasi mengenai seluruh daur hidup proyek agar dapat ditinjau dan dilakukan manajemen energi sehingga konsep keberlanjutan juga dapat tercapai dengan bantuan teknologi BIM **[8]**. Tulisan ini bertujuan untuk memberikan pengalaman penggunaan BIM secara praktis pada studi kasus pada pekerjaan konstruksi gedung dan infrastruktur.

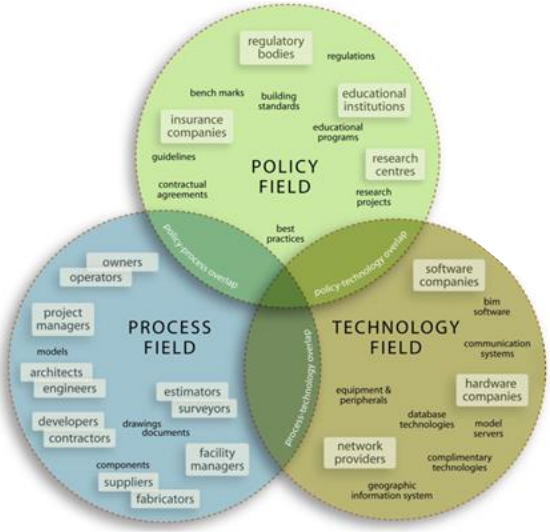
2. Kajian Pustaka

Seperti yang diuraikan pada bagian awal bahwa pengunaan *Building Information Modeling* (BIM) sangat signifikan pada industri konstruksi. *Building Information Modeling* (BIM) mempunyai kemampuan mengkolaborasikan banyak disiplin ilmu dan mengekstrak berbagai disiplin ilmu serta mengembangkan produk yang terstandar. Sehingga produk yang terstandar tersebut dapat digunakan sebagai rekomendasi **[9]**. Dengan demikian BIM dapat digunakan sebagai solusi yang efektif dalam praktik industri konstruksi.

Kapabilitas BIM memungkinkan transisi yang lebih sempurna dari desain ke pelaksanaan konstruksi. Transisi ini membantu dalam pengambilan keputusan dan bukan hanya sekedar pendokumentasian dan proses penentuan material. Selain itu, *Building Information Modeling* (BIM) sangat dimungkinkan semua proses pekerjaan dan informasi yang sedang berlangsung dikumpulkan dari berbagai macam stakeholder, tahapan pekerjaan melalui kolaborasi **[10]**. Hasil dari kolaborasi tersebut adalah penghematan waktu dan sumber daya, perbaikan kualitas dan pada akhirnya mencapai efisiensi proyek **[11]**.

2.1. Ruang lingkup BIM

Ruang lingkup dapat diintegrasikan dari beberapa area yang berbeda. Seperti yang disebutkan di atas bahwa dapat melibatkan berbagai macam stakeholder. Secara grafis, keterlibatan dari ruang lingkup BIM dapat diperlihatkan pada Gambar 1. Pada Gambar 1 dapat diperlihatkan bahwa adanya keterkaitan beberapa area yang di dalamnya terdiri berbagai macam *stakeholder*. Ketiga area terdiri dari: area yang berhubungan dengan pembuat kebijakan (*policy*). Area ini terdiri dari regulator, institusi pendidikan, institusi penelitian dan jasa penyedia asuransi. Area yang kedua merupakan area yang berfungsi memproses. Proses ini dilakukan oleh industri konstruksi yang berada dari hulu sampai ke hilir. Area ini terdiri dari pemilik proyek, manajer proyek, penyedia jasa konstruksi untuk perencanaan dan pelaksanaan, pengembang, estimator dan rantai pasok material. Area yang ketiga merupakan area yang berhubungan dengan teknologi. Area ini terdiri dari perusahaan penyedia perangkat lunak dan perangkat keras BIM serta penyedia jaringan.



Gambar 1 Diagram venn keterkaitan ruang lingkup BIM **[12]**

2.2. Identifikasi Manfaat, Risiko dan Tantangan BIM

Penggunaan BIM sudah tidak diragukan lagi dalam berbagai macam industri konstruksi seperti gedung dan infrastruktur (jalan, bandara dan bangunan pembangkit listrik) **[13]**. Teknologi BIM mampu memfasilitasi dan melakukan pembaharuan dari dokumen perencanaan sampai dengan pelaksanaan **[14, 15]**. Bahkan BIM mampu menjangkau semua tahapan pada daur hidup proyek **[16]**. Berdasarkan beberapa uraian manfaat BIM, maka manfaat lain secara terinci dapat diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1: Manfaat BIM **[17]**

Uraian	Sumber data terkait
Meningkatkan kinerja dan kualitas bangunan	**[1, 17, 19, 20, 21]**
Mempromosikan produktivitas dan efisiensi dalam berkolaborasi dengan serah terima proyek yang terintegrasi	**[22, 23, 24]**
Mengurangi kesalahan pada tahap desain dan konstruksi	**[20, 21, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37]**
Mendukung tahap perencanaan dan pengadaan	**[21, 28, 29, 38, 39, 40, 41]**
Membantu pengecekan ulang dari pihak ketiga seperti fabrikator material	**[42]**
Mengurangi terjadinya potensi konflik di dalam kontrak	**[43]**
Mengurangi ketidakpastian dalam proses klarifikasi terhadap risiko yang akan terjadi	**[23, 28, 29, 33, 44, 45, 46]**
Mengurangi potensi terjadinya keterlambatan dan penyelesaian proyek	**[1, 9, 19, 21, 23, 28, 29, 32, 33, 39, 40, 46, 47]**
Mengurangi *waste* akibat penggunaan material, peralatan dan pekerja	**[1, 19, 21, 23, 32, 33, 45, 46, 48]**
Memperbaiki komunikasi dan kolaborasi di dalam tim proyek	**[1, 20, 21, 23, 27, 28, 29, 36, 37, 45, 46, 49, 50, 51]**
Mempromosikan kecepatan dan efektivitas terhadap perubahan desain akibat adanya pekerjaan tambah kurang	**[1, 9, 21, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 36, 37, 40, 43, 47, 52]**
Menyediakan analisis dalam bentuk visual untuk memetakan risiko, keamana dan model tata kelola material	**[36, 37, 53, 54, 55, 56]**
Mempromosikan estimasi biaya dan mengkonfirmasi prioritas penyelesaian proyek konstruksi pada tahap desain	**[1, 9, 28, 29, 30, 40, 41, 43, 57]**

Selain adanya manfaat BIM, terdapat pula risiko penggunaan BIM. Hal ini didasarkan pada satu konsep adanya transisi teknologi dari *Computer Aided Design* (CAD) ke teknologi yang terintegrasi yang melibatkan banyak *stakeholder*. Adapun risiko penggunaan BIM dapat diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2: Risiko BIM **[17]**

Risiko transisi dari CAD ke BIM	Sumber data terkait
Pemanfaatan data personal oleh beberapa stakeholder (konsultan, kontraktor, anggota rantai pasok) yang berada di tim proyek.	**[1, 58]**
Belum dapat mengakomodasi adanya perbedaan harga untuk beberapa produk yang dikerjakan oleh industri tambang dan kehutanan.	**[1]**
Menyebabkan ketidakpastian terhadap permasalahan di dalam hal identifikasi pengembangan desain	**[33, 43]**
Menyebabkan terjadinya sengketa terhadap kesalahan yang terjadi akibat penggunaan BIM	**[1, 44, 59]**
Adapatasi terhadap penggunaan BIM	**[1, 36, 43, 58, 60, 61]**
Menyebabkan terjadinya gangguan pada proses pengadaan karena masalah pembayaran ataupun penjadwalan ulang pembayaran	**[1, 58]**
Berpotensi terjadinya ketidaksesuaian antara jadwal yang telah terkontrak dan biaya dengan kondisi aktual di lapangan	**[1, 36, 43, 60, 61]**
Mengurangi potensi terjadinya keterlambatan dan penyelesaian proyek	**[1, 9, 18, 19, 21, 28, 29, 32, 33, 39, 40, 45, 46, 47, 48]**
Mengurangi *waste* akibat penggunaan material, peralatan dan pekerja	**[1, 19, 21, 33, 34, 45, 46, 48, 45]**

Pada sisi yang lain, BIM mempunyai beberapa tantangan. Meskipun BIM memiliki banyak manfaat dan sekaligus mempunyai risiko. Adapun tantangan BIM dapat diperlihatkan pada Tabel 3.

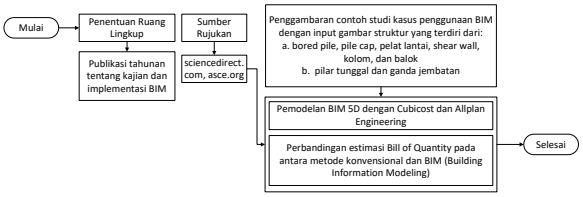
Tabel 3: Tantangan BIM **[17]**

Tantangan transisi dari CAD ke BIM	Sumber data terkait
Kurangnya informasi dan pengalaman penggunaan BIM	**[28, 29, 36, 45,46, 58, 62]**
Berpontesi membuang waktu karena kurangnya informasi dan pengalaman penggunaan BIM pada tahap desain.	**[36, 43, 46, 58, 60]**
Membutuhkan alokasi waktu yang banyak untuk belajar penggunaan BIM	**[36, 43, 58, 60]**
Biaya tinggi untuk pengadaan dan pelatihan penggunaan BIM	**[36, 58, 61]**
Mempunyai resistensi yang tinggi terhadap perubahan	**[1, 36, 43, 58, 62]**
Memerlukan kriteria yang sangat spesifik yang harus disediakan dalam penggunaan BIM	**[58]**
Kurangnya kepedulian tim terhadap penggunaan BIM	**[36, 45, 46, 58, 60]**
Membutuhkan perubahan budaya dan gaya kerja	**[36, 58, 60, 61]**

3. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada tulisan ini adalah *project based evaluation*. *Project based evaluation* dilakukan pada proyek konstruksi yaitu struktur gedung yang meliputi pekerjaan pondasi yang menggunakan *bored pile*, *pile cap*, pelat lantai, *shear wall*, kolom, dan balok. Selanjutnya, *Project based evaluation* yang kedua dilakukan pada jembatan yang berfokus pada pekerjaan struktur di pilar tunggal dan ganda. Project based yang pertama

dimodelkan dengan BIM 5D Cubicost yang dibantu dengan menggunakan Tekla Structures. Sedangkan project based evaluation yang kedua dimodelkan dengan Allplan Engineering. Kebutuhan data dari kedua project based evaluation tersebut adalah gambar rencana pada pekerjaan struktur. Selanjutnya gambar struktur tersebut dimodelkan dengan BIM 5D Cubicost untuk project based evaluation yang pertama. Sedangkan gambar struktur untuk project based evaluation yang kedua dimodelkan dengan Allplan Engineering. Dengan alat bantu kedua program tersebut maka akan dibandingkan bill of quantity tersebut dengan metode konvensional. Tahapan tersebut dapat digambarkan seperti pada Gambar 4.



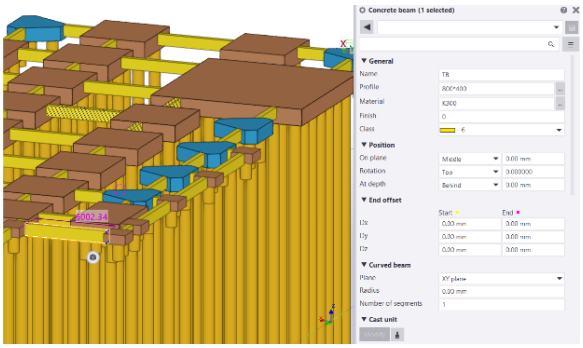
Gambar 4. Alur Metode Penelitian

4. Studi Kasus

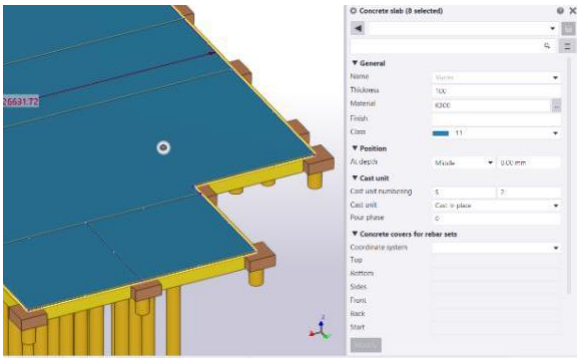
Studi kasus yang digunakan sebagai contoh implementasi terdiri dari:

a. Studi kasus yang pertma yang digunakan sebagi *project based evaluation* adalah struktur gedung yang meliputi pekerjaan pondasi yang menggunakan *bored pile*, *pile cap*, pelat lantai, *shear wall*, kolom, dan balok. Pemodelan ini menggunakan Cubicost dan dibantu dengan menggunakan Tekla Structures **[63]**.
b. Studi kasus yang kedua sebagai perbandingan *project based evaluation* adalah pemodelan pada pilar tunggan dan ganda pada jembatan. **[64]**

Pada studi kasus pertama merupakan penelitian yang mengimplementasikan BIM 5D Cubicost yang dibantu dengan Tekla Structures. Simulasi difokuskan pada pekerjaan struktur yang meliputi pada pekerjaan pondasi yang menggunakan *bored pile*, *pile cap*, pelat lantai, *shear wall*, kolom, dan balok. Tahapan yang dilakukan pada penelitian diawali dengan memodelkan secara bertahap masing-masing elemen struktur tersebut dengan menggunakan *Tekla Structures*. Sebagai contoh pentahapan tersebut dapat diperlihatkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.

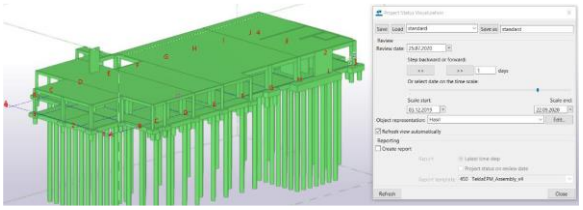


Gambar 5. Pemodelan tie beam **[63]**



Gambar 6. Pemodelan pelat lantai **[63]**

Tahap berikutnya adalah mengintegrasikan pemodelan elemen struktur dengan jadwal. Integrasi tersebut menggunakan aplikasi *Organizer* sebagai alat bantu dalam menjadwalkan kegiatan di proyek. Hasil integrasi tersebut dapat diperlihatkan pada Gambar 7.

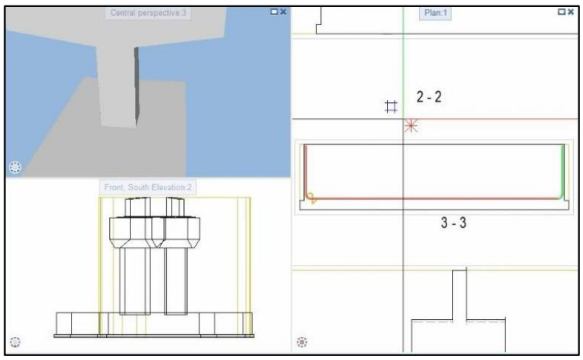


Gambar 7. Visualisasi kemajuan proyek **[63]**

Hasil penelitian **[63]** memperlihatkan bahwa dalam penggunaan BIM, belum tentu waktunya efisien. Hal ini disebabkan masih perlu waktu untuk adaptasi dalam penggunaan BIM. Adaptasi bagi pengguna BIM yang biasa disebut dengan BIM Modeler sangat diperlukan, terutama mengintegrasikan kemampuan membaca gambar dengan jenis BIM yang digunakan untuk pemodelan. Selain itu, juga diperlukan pemahaman terhadap *building code* yang digunakan pada BIM. Selanjutnya, hasil analisis pemodelan terdapat selisih volume pada setiap elemen berkisar antara 0,03% sampai 1,13%. dengan selisih total

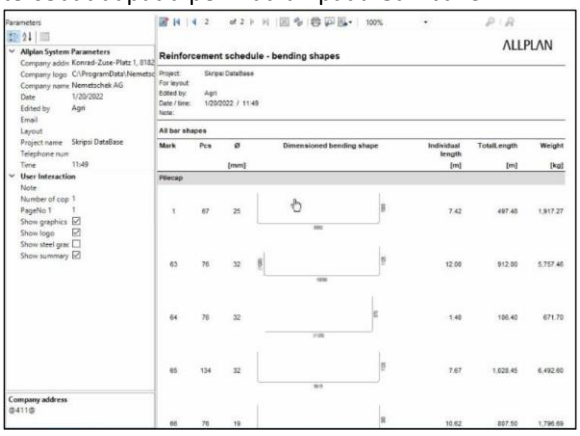
antara perhitungan ulang secara konvensional dan pemodelan berkisar sebesar 0,358%.

Project based evaluation yang kedua pada pekerjaan infrastruktur di bagian pilar. Tipe pilar yang digunakan adalah pilar tunggal dan pilar ganda. Adapun BIM yang digunakan *Allplan Engineering 2021*. Tahapan awalan yang dilakukan adalah mengimpor gambar struktur dalam bentuk CAD ke dalam *Allplan engineering*. Pemodelan pada Allplan engineering dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan desain penulangan, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 8.



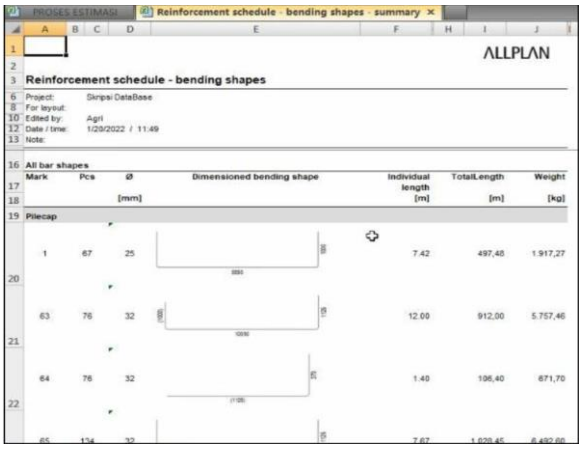
Gambar 8. Tampilan penulangan pile cap pada pilar tunggal **[64]**

Dengan pemodelan tersebut, maka akan diperoleh perhitungan kebutuhan tulangan pada model yang telah dibuat. Adapun laporan kebutuhan tulangan tersebut dapat diperlihatkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Tampilan Reinforcement Reports dari Allplan Engineering 2021 **[64]**.

Tahap berikutnya adalah mengimpor tampilan penulangan tersebut ke dalam Microsoft Excel seperti yang diperlihatkan pada Gambar 10.



Gambar 9. Tampilan Reinforcement Reports dari Allplan Engineering 2021 ke dalam Microsoft Excel **[64]**.

Sedangkan perhitungan konvensional dihitung dengan cara manual dari kebutuhan *bill of quantity* baja tulangan. Hasil pemodelan pada *project based evaluation* kedua memperlihatkan adanya perbedaan volume sebesar 12.965,66 kg untuk struktur pilar tunggal dan 48.233,51 kg untuk pilar ganda. Sementara metode konvensional menghasilkan volume estimasi lebih besar yaitu 13.482,72 kg untuk struktur pilar tunggal dan 49.827,70 kg untuk pilar ganda. Pada project based evaluation kedua juga diindikasikan adanya faktor yang sama yaitu diperlukan kematangan atau maturity BIM modeler dalam menggunakan BIM. BIM modeler membutuhkan waktu untuk pelatihan. Hal ini disebabkan setiap BIM mempunyai karakteristik masing-masing. Sementara metode konvensional lebih familiar, karena tidak membutuhkan skill khusus. Kedua project based evaluation juga diindikasikan adanya perbedaan panjang kait sengkang atau *hook length* minimum serta perbedaan metode input. Perbedaan tersebut salah satunya adalah penggunaan building code seperti ACI 318M-14 .

5. Kesimpulan

Berdasarkan penjabaran dan contoh studi kasus yang digunakan sebagai project based evaluation dalam tulisan ini, diperoleh kesimpulan:

a. BIM sebagai alat bantu yang mengintegrasikan para stakeholder untuk berinteraksi bersama-sama sangat diperlukan pada daur hidup proyek konstruksi.
b. *Best practice* dari studi kasus memperlihatkan bahwa adanya selisih selisih volume pada setiap elemen berkisar antara 0,03% sampai 1,13%.

dengan selisih total antara perhitungan ulang secara konvensional dan pemodelan berkisar sebesar 0,358% pada elemen struktur gedung yang digunakan sebagai project based yang pertama.

c. Selanjutnya diperoleh hasil pemodelan pada *project based evaluation* kedua adalah adanya perbedaan volume sebesar 12.965,66 kg untuk struktur pilar tunggal dan 48.233,51 kg untuk pilar ganda. Sementara metode konvensional menghasilkan volume estimasi lebih besar yaitu 13.482,72 kg untuk struktur pilar tunggal dan 49.827,70 kg untuk pilar ganda
d. Sebagai alat bantu dalam menunjang pelaksanaan di proyek konstruksi, maka BIM mempunyai tantangan. Tantangannya adalah perlu adanya waktu dan biaya dalam implementasi BIM. Khusunya bagi BIM modeler yang membutuhkan waktu untuk beradaptasi dalam penggunaan setiap jenis BIM sehingga mempunyai tingkat *maturity*. Tingkat maturity diperlukan untuk menjawab kompleksitas masing-masing proyek konstruksi.

Referensi

[1] Azhar, S. (2011): Building information modelling (BIM): trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry, *Leadership and Management in Engineering*, 11 (3), 241-252.

[2] Zada, A.J., Tizani, W., and Oti, A.H. (2014): Building information modelling (BIM) – versioning for collaborative design, *Computing in Civil and Building Engineering*, 512-519.

[3] Oduyemi, O., Okoroh, M.I., and Fajana, O.S. (2017): The application and barriers of BIM in sustainable building design, *Journal of Facilities Management*, 15 (1), 15-34.

[4] Oyewobi, L.O., Oke, A.A., Ganiyu, B.O., Shittu, A.A., Isa, R.B., and Nwokobia, L. (2011): The effect of project types on the occurance of pekerjaan ulang in expanding economy, *Journal of Civil Engineering and Construction Technology*, 2 (6), 119-124.

[5] Çıdık, M.S., Boyd, D., and Thurairajah, N. (2017): Innovative capability of building information modelling in construction design, *Journal of Construction Engineering & Management*, 143 (8), 04017047-1-9.

[6] Chang, C.Y., Pan, W., and Howard, R. (2017): Impact of building information modeling implementation on the acceptance of integrated delivery systems: structural equation modeling analysis, *Journal of Construction Engineering & Management*, 143 (8), 04017044-1-10.

[7] Zheng, C., and Lu, M. (2016): Optimized reinforcement detailing design for sustainable construction: slab case study, *Procedia Engineering*, 145, 1478-1485.

[8] Xie, M., Qiu, Y., Liang, Y., Zhou, Y., Liu, Z., dan Zhang, G. (2022): Policies, applications, barriers and future trends of building information modelling technology for building sustainability and informatization in China, *Energy Reports 8,* 7107-7126.

[9] Bynum, P., Issa, R. R. A., and Olbina, S. (2013): Building Information Modeling in Support of Sustainable Design and Construction, *Journal of Construction Engineering and Management*, 139 (1), 24-34.

[10] Grilo, A., and Jardim-Goncalves, R. (2010). Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments. Automation in Construction, 19 (5), 522–530.

[11] Suermann, P., and Issa, R. R. A. (2009): Evaluating industry perceptionsof building information modeling (BIM) impact on construction. *ITcon*, 14, 574–594, ⟨http://www.itcon.org/2009/37⟩ (Oct. 11, 2012).

[12] Succar, B. (2009): Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, 18 (3), 357-375.

[13] Costin, A., Adibfar, A., Hu, H., and Chen, S.S., (2018): Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure – Literature review, applications, challenges, and recommendations. *Automation in Construction,* 94, 257–281.

[14] Atazadeh, B., Kalantari, M., Rajabifard, A., and Ho, S. (2017): Modelling building ownership boundaries within BIM environment: A case study in Victoria, Australia. *Computers, Environment and Urban Systems*, 61, Part A . 24–38.

[15] Isikdag, U., Zlatanova, S., and Underwood, J. (2013): A BIM-oriented model for supporting indoor navigation requirements. *Computers, Environment and Urban Systems*. 41, 112–123.

[16] Abanda, F.H., Vidalakis, C., Oti, A.H., Tah, J.H.M. (2015): A critical analysis of building information

modelling systems used in construction projects. *Advances in Engineering Software*, 90, 183–201.

[17] Seyis, S. (2013): Pros and Cons of Using Building InformationModeling in the AEC Industry, *Journal of Construction Engineering and Management*, 145 (8), 04019046-1-17.

[18] Sacks, R., I. Kaner, and C. M. Eastman. (2010): The rosewood experimentbuilding information modelling and interoperability for architectureprecast facades. Automation in Construction 19 (4), 419–432.

[19] Patrick, C. S., and R. A. Raja. (2007): Evaluating the impact of building information modeling (BIM) on construction. *In Proceedings 7th International Conference Construction Application of Virtual Reality*, 206–215. University Park, PA: Pennsylvania State University.

[20] Francom, T. C., and M. El Asmar. (2015): Project quality and change performance differences associated with the use of building information modeling in design and construction projects: Univariate and multivariate analyses. *Journal of Construction Engineering and Management*. 141 (9), 04015028-1-9.

[21] Mahalingam, A., A. K. Yadav, and J. Varaprasad. (2015): Investigating the role of lean practices in enabling BIM adoption: Evidence from two Indian cases. *Journal of Construction Engineering and Management,* 141 (7): 05015006.

[22] Rekola, M., J. Kojima, and T. Mäkeläinen. (2010): Towards integrated design and delivery solutions: Pinpointed challenges of process change. *Architectural Engineering and Design Management*, 6 (4) 264–278.

[23] Sacks, R., and R. Barak. (2009): Teaching building information modeling asan integral part of freshman year civil engineering education. *Journal of Construction Engineering and Management,* 136 (1), 30–38.

[24] Sacks, R., L. Koskela, B. A. Dave, and R. Owen. (2010): Interaction of lean and building information modeling in construction. *Journal of Construction Engineering and Management,* 136 (9), 968–980.

[25] Hegazy, T., E. Zaneldin, and D. Grierson (2001): Improving design coordination for building projects. I: Information model. *Journal of Construction Engineering and Management,* 127 (4) 322–329.

[26] Sacks, R., C. M. Eastman, and G. Lee (2004) Parametric 3D modeling in building construction with examples from precast concrete. *Automation in Construction,* 13 (3), 291–312.

[27] Acharya, N. K., Y. D. Lee, and H. M. Im. (2006): Design errors: Tragic for clients. *Journal of Construction Research*, 1, 2, (7), 117–190.

[28] Hartmann, T., and M. Fischer. (2008): Applications of BIM and hurdles for widespread adoption of BIM. 2007 AISC-ACCL eConstruction round table event report. Report No. WP105. Stanford, CA: Center for Integrated Facility Engineering. Accessed August 31, 2022. https://stacks.stanford.edu/file/druid:wm995bw1706/WP105.pdf.

[29] Hartmann, T., J. Gao, and M. Fischer (2008): Areas of application for 3D and 4D models on construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management,* 134 (10), 776–785.

[30] Taylor, J. E., and P. G. Bernstein. (2009): Paradigm trajectories of building information modeling practice in project networks. *Journal of Construction Engineering and Management,* 25 (2), 69–76.

[31] Barlish, K., and K. Sullivan. (2012): How to measure the benefits of BIM-acase study approach. *Automation in Construction,* 24, 149-159.

[32] Lee, G., H. K. Park, and J. Won. (2012): D3 city project—Economic impact of BIM-assisted design validation. *Automation in Construction,* 22, 577–586.

[33] Azhar, S., M. Khalfan, and T. Maqsood. (2015): Building information modelling (BIM): Now and beyond. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, 12 (4), 15–28.

[34] Lee, H. W., H. Oh, Y. Kim, and K. Choi. (2015): Quantitative analysis of warnings in building information modeling (BIM). *Automation in Construction,* 51, 23–31

[35] Lopez, R., and P. E. D. Love. (2012): Design error costs in construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management,* 138 (5), 585–593.

[36] Jin, R., C. M. Hancock, L. Tang, and D. Wanatowski. (2017) BIM investment, returns, and risks in China's AEC industries. *Journal of Construction Engineering and Management,* 143 (12), 04017089.

[37] Antwi-Afari, M. F., H. Li, E. A. Pärn, and D. J. Edwards. (2018): Critical success factors for implementing building information modelling (BIM): A longitudinal review. *Automation in Construction,* 91, 100-110.

[38] Grilo, A., and R. Jardim-Goncalves. (2011): Challenging electronic procurement in the AEC sector: A BIM-based integrated perspective. *Automation in Construction,* 20 (2), 107–114.

[39] Sebastian, R., and L. van Berlo. (2010): Tool for benchmarking BIM performance of design, engineering and construction firms in the *Architectural Engineering and Design Management*. 6 (4), 254–263.

[40] Eastman, C. M., C. Eastman, P. Teicholz, and R. Sacks. (2011): *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractor*. Hoboken, NJ: Wiley.

[41] Aibinu, A., and S. Venkatesh. (2014): Status of BIM adoption and the BIM experience of cost consultants in Australia. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 140 (3), 04013021.

[42] Lu, N., and T. Korman (2010): Implementation of building information modeling (BIM) in modular construction: Benefits and challenges. *In Proceedings Construction Research Congress*, 8–10. Reston, VA: ASCE.

[43] Ghaffarianhoseini, A., J. Tookey, A. Ghaffarianhoseini, N. Naismith, S. Azhar, O. Efimova, and K. Raahemifar. (2017): Building informationmodelling (BIM) uptake: Clear benefits, understanding its implementation, risks and challenges. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 75, 1046–1053.

[44] Aranda-Mena, G., J. Crawford, A. Chevez, and T. Froese. (2009): Building information modelling demystified: Does it make business sense to adopt BIM?. *International Journal of Managing Projects in Business*, 2 (3), 419–434.

[45] Sacks, R., L. Koskela, B. A. Dave, and R. Owen. (2010): Interaction of lean and building information modeling in construction. *Journal of Construction Engineering and Management,* 136 (9), 968–980.

[46] Sacks, R., M. Radosavljevic, and R. Barak. (2010): Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction. *Automation in Construction*, 19 (5), 641–655.

[47] Sacks, R., and R. Barak. (2008): Impact of three-dimensional parametric modeling of buildings on productivity in structural engineering practice. *Automation in Construction*, 17 (4), 439–449.

[48] Dang, T., and H.-J. Bargstädt. (2016): 4D relationships: The missing link in 4D scheduling. *Journal of Construction Engineering and Management,* 142 (2), 04015072.

[49] Love, P. E. D., D. Mistry, and P. R. Davis. (2010): Price competitive alliance projects: Identification of success factors for public clients. *Journal of Construction Engineering and Management,* 136 (9), 947–956.

[50] Laan, A., H. Voordijk, N. Noorderhaven, and G. Dewulf. (2012): Levels of interorganizational trust in construction projects: Empirical evidence. *Journal of Construction Engineering and Management,* 138 (7), 821–831.

[51] Choi, B., H.-S. Lee, M. Park, Y. K. Cho, and H. Kim. (2014): Framework for work-space planning using four-dimensional BIM in construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management,* 140 (9), 04014041.

[52] Ahn, Y. H., Y. H. Kwak, and S. J. Suk. (2016): Contractors' transformation strategies for adopting building information modelling. *Journal of Construction Engineering and Management,* 32 (1), 05015005.

[53] Jaselskis, E. J., S. D. Anderson, and J. S. Russell. (1996): Strategies for Achieving Excellence in Construction Safety Performance. *Journal of Construction Engineering and Management,* 122 (1), 61–70.

[54] Li, H., N. Chan, T. Huang, H. L. Guo, W. Lu, and M. Skitmore. (2009): Optimizing construction planning schedules by virtual prototyping enabled resource analysis. *Automation in Construction,* 18 (7), 912–918.

[55] Benjaoran, V., and S. Bhokhai. (2010): An integrated safety management with construction management using 4D CAD model. *Safety Science*, 48 (3), 395–403.

[56] Zhang, S., J. Teizer, J.-K. Lee, C. M. Eastman, and M. Venugopal. (2013): Building information modeling (BIM) and safety: Automatic safety checking of construction models and schedules. *Automation in Construction,* 29 183–195.

[57] Olatunji, S. O., T. O. Olawumi, and I. O. Aje. (2017): Rethinking partnering among quantity-surveying firms in Nigeria. *Journal of*

Construction Engineering and Management, 143 (11), 05017018.

[58] Chien, K. F., Z. H. Wu, and S. C. Huang. (2014): Identifying and assessingcritical risk factors for BIM projects: Empirical study. *Automation in Construction* 45, 1–15.

[59] Udom, K. (2012): BIM: Mapping out the legal issues. Accessed August 29, 2022. https://www.thenbs.com/knowledge/bim-mapping-out-the-legal-issues.

[60] Fox, S. (2008): Evaluating potential investments in new technologies: Balancing assessments of potential benefits with assessments of potential disbenefits, reliability and utilization. *Critical Perspectives on Accounting*, 19 (8), 1197–1218. https://doi.org/10.1016/j.cpa.2007.11.002.

[61] Cao, D., H. Li, and G. Wang. (2014): Impacts of isomorphic pressureson BIM adoption in construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management,* 40 (12), 04014056.

[62] Tulenheimo, R. (2015): Challenges of implementing new technologies in the world of BIM—Case study from construction engineering industry in Finland. *Procedia Economics and Finance*, 21, 469–477.

[63] Sabela, A. P., Nindyapradana, L., Hermawan dan Hatmoko, J. U. D. (2021): Studi awal pemodelan Building Information Modeling (BIM) 4D menggunakan program Tekla sStructures berbasis life cycle (Studi Kasus Pada Proyek X di Yogyakarta), *Prosiding KoNTekS ke-15*, ISBN: 978-623-7635-91-8.

[64] Putra, A. A. P., Oei, N. I., W., Hermawan, dan Hasiholan, B. (2022): Comparative study in bill of quantity estimates on reinforcement works of pile cap, single pier and double pier of flyover between conventional methods and BIM (Building Information Modelling). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1065, 012041.