

MENINGKATKAN EFISIENSI KONSTRUKSI DENGAN TEKNOLOGI BIM DALAM PENGURANGAN PEMBOROSAN MATERIAL DAN PERCEPATAN PROSES ESTIMASI

Aditya Purnama¹, Imam Mustofa², Faiz Muhammad Azhari³

¹ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tulungagung

^{2,3} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kadiri

e-mail: adityapurnama@unita.ac.id¹, imammustofa@unik-kediri.ac.id², faiz_azhari@unik-kediri.ac.id³

Abstrak

Penerapan teknologi Building Information Modeling (BIM) memiliki peran yang krusial dalam meningkatkan efisiensi proyek konstruksi, khususnya dalam hal pengelolaan material seperti besi tulangan, yang berpengaruh besar terhadap biaya dan struktur proyek. Di wilayah seperti Tulungagung, penggunaan BIM dalam proyek konstruksi berskala kecil dan menengah masih terbatas. Oleh karena itu, kegiatan pengabdian masyarakat ini dirancang untuk mengedukasi dan melatih pelaku konstruksi lokal dalam pemanfaatan teknologi BIM, dengan fokus pada perencanaan material tulangan besi. Pelatihan ini memanfaatkan perangkat lunak Autodesk Revit untuk membuat model struktur 3D serta menerapkan metode Bar Bending Schedule (BBS) guna menghitung volume, berat, dan estimasi material dengan lebih presisi. Hasil pelatihan menunjukkan bahwa penerapan BIM dapat menurunkan pemborosan material besi tulangan hingga 18,7% dan mempercepat estimasi waktu pengerjaan dari 9 jam menjadi 3 jam. Peserta pelatihan, mayoritas pelaku konstruksi lokal, menunjukkan antusiasme yang besar untuk mengintegrasikan BIM dalam proyek mereka di masa depan. Temuan ini menegaskan bahwa pelatihan berbasis studi kasus lokal tidak hanya meningkatkan efisiensi dan ketepatan dalam perencanaan, tetapi juga memperkuat kapasitas sumber daya manusia di sektor konstruksi. Oleh karena itu, disarankan untuk memperluas inisiatif serupa di daerah-daerah lain yang memiliki karakteristik serupa serta menyediakan infrastruktur digital yang mendukung guna memperkuat dampak positif dari adopsi BIM dalam industri konstruksi di Indonesia.

Kata kunci: BIM, Efisiensi Material, Tulangan Besi, Estimasi, Konstruksi Digital, Pengabdian Masyarakat

Abstract

The application of Building Information Modeling (BIM) technology has a crucial role in improving the efficiency of construction projects, especially in terms of material management such as reinforcing iron, which has a major impact on project costs and structures. In areas like Tulungagung, the use of BIM in small and medium-scale construction projects is still limited. Therefore, this community service activity is designed to educate and train local construction actors in the use of BIM technology, with a focus on the planning of iron reinforcement materials. This training utilizes Autodesk Revit software to create 3D structural models and applies the Bar Bending Schedule (BBS) method to calculate volume, weight, and material estimates more precisely. The results of the training showed that the implementation of BIM can reduce the waste of reinforcing iron materials by 18.7% and accelerate the estimated processing time from 9 hours to 3 hours. The trainees, the majority of whom are local construction players, showed great enthusiasm to integrate BIM in their future projects. These findings confirm that local case study-based training not only improves efficiency and precision in planning, but also strengthens the capacity of human resources in the construction sector. Therefore, it is recommended to expand similar initiatives in other areas with similar characteristics and provide supporting digital infrastructure to strengthen the positive impact of BIM adoption in the construction industry in Indonesia.

Keywords: BIM, Material Efficiency, Iron Reinforcement, Estimation, Digital Construction, Community Service

PENDAHULUAN

Industri konstruksi, sebagai salah satu sektor yang berkembang pesat, memerlukan penerapan teknologi yang dapat meningkatkan efisiensi dan mengurangi pemborosan. Salah satu teknologi yang memiliki potensi besar dalam merubah cara tradisional konstruksi adalah Building Information Modeling (BIM). BIM memungkinkan pemodelan digital yang menyeluruh dari elemen-elemen

struktur bangunan, yang berfungsi untuk merencanakan, merancang, dan mengelola proyek secara lebih akurat(Arifin et al., 2025). Salah satu aplikasi utama BIM adalah untuk mengelola material konstruksi, khususnya besi tulangan, yang berperan penting dalam struktur beton bertulang. Pengelolaan material tulangan yang efisien dapat mengurangi pemborosan material, mempercepat estimasi, dan meminimalkan kesalahan yang sering terjadi dalam perhitungan manual, yang berdampak langsung pada efisiensi biaya dan waktu dalam proyek konstruksi(Putra et al., 2020).

Di tengah perkembangan industri konstruksi yang pesat, masih banyak proyek konstruksi di daerah non-perkotaan, termasuk Tulungagung, yang menggunakan metode tradisional dalam perencanaan dan estimasi material. Hal ini menyebabkan banyaknya pemborosan material dan ketidaktepatan dalam estimasi waktu, yang pada akhirnya mempengaruhi biaya keseluruhan proyek(Mustofa et al., 2024). Di sisi lain, perkembangan teknologi BIM yang terbukti mampu meningkatkan efisiensi dalam perencanaan dan pengelolaan material, belum banyak diterapkan pada proyek konstruksi. Dengan demikian, penting untuk melakukan upaya dalam memperkenalkan dan menerapkan teknologi BIM kepada para pelaku konstruksi lokal, agar dapat meningkatkan efisiensi dan kualitas proyek konstruksi di wilayah tersebut(Daryanto, 2020).

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa teknologi BIM memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi dalam perencanaan dan pengelolaan material pada proyek konstruksi. Eastman et al. (2018) menyebutkan bahwa BIM dapat mengurangi kesalahan desain, meningkatkan akurasi estimasi, dan mempercepat proses perencanaan dengan integrasi model 3D. Azhar (2021) menekankan bahwa BIM memungkinkan deteksi konflik desain sejak tahap awal, sehingga mengurangi pemborosan material dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya. Namun, mayoritas penelitian ini lebih berfokus pada proyek konstruksi besar di kota-kota metropolitan, sementara penerapan BIM pada proyek konstruksi kecil dan menengah di daerah dengan keterbatasan sumber daya, seperti Tulungagung, masih sangat minim(Demirdögen et al., 2021).

Meski BIM terbukti memberikan manfaat besar pada proyek besar, penerapannya pada proyek skala kecil dan menengah, terutama di wilayah dengan infrastruktur terbatas seperti Tulungagung, masih sangat jarang(Yang et al., 2025). Selain itu, belum ada penelitian yang secara khusus mengkaji efektivitas penerapan BIM dalam mengurangi pemborosan material dan mempercepat estimasi pada proyek konstruksi skala kecil(Cahyono et al., 2023). Selain itu, belum banyak penelitian yang berfokus pada bagaimana pelatihan berbasis studi kasus lokal dapat meningkatkan adopsi teknologi BIM di kalangan pelaku konstruksi daerah(Afandi, 2022).

Tujuan utama pengabdian masyarakat ini adalah untuk memperkenalkan dan melatih pelaku konstruksi lokal mengenai penerapan BIM pada proyek konstruksi(Azhari & Mustofa, 2023). Kegiatan ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan material, mengurangi pemborosan, serta mempercepat proses estimasi waktu pengerjaan. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk meningkatkan kapasitas sumber daya manusia konstruksi melalui pelatihan praktis yang dapat diimplementasikan langsung pada proyek-proyek di daerah tersebut(Almuhibah, 2023). Diharapkan bahwa penerapan BIM dalam pelatihan ini dapat memberikan hasil yang signifikan.Dengan menggunakan BIM, perencanaan kebutuhan material menjadi lebih akurat, mengurangi kesalahan yang sering terjadi dalam perhitungan manual(Parchami Jalal et al., 2020).

Manfaat penerapan BIM dalam proyek konstruksi di Tulungagung tidak hanya terbatas pada efisiensi material dan waktu, tetapi juga membawa dampak positif terhadap kapasitas sumber daya manusia(Mustofa et al., 2023). Pengadopsian BIM diharapkan dapat meningkatkan keterampilan teknis pelaku konstruksi lokal, membuka peluang bagi adopsi teknologi digital lebih luas, dan memberikan kontribusi pada pembangunan berkelanjutan di sektor konstruksi(Mustofa, 2023). Selain itu, dengan mengurangi pemborosan material dan waktu, BIM dapat membantu menekan biaya konstruksi, yang sangat penting untuk proyek-proyek dengan anggaran terbatas(Ferdosi et al., 2023).

METODE

Metode kegiatan ini menggabungkan pendekatan partisipatif dan praktis dengan tujuan untuk mensosialisasikan dan melatih pelaku konstruksi lokal dalam penerapan Building Information Modeling (BIM) untuk efisiensi penggunaan material, khususnya besi tulangan, serta mempercepat proses estimasi waktu proyek(Pan & Zhang, 2021).

1. Sosialisasi dan Pengenalan Teknologi BIM

Pengenalan konsep dasar BIM, manfaatnya dalam pengelolaan material, dan urgensinya dalam meningkatkan efisiensi proyek konstruksi. Kegiatan pertama yang dilakukan adalah sosialisasi mengenai teknologi Building Information Modeling (BIM). Pada tahap ini, peserta akan diberikan pemahaman dasar mengenai konsep BIM, terutama mengenai penerapannya dalam pengelolaan material seperti besi tulangan dalam proyek konstruksi(Parchami Jalal et al., 2020). Sosialisasi ini bertujuan untuk menjelaskan bagaimana BIM dapat mengurangi pemborosan material, meningkatkan akurasi perencanaan, dan mempercepat proses estimasi dalam proyek konstruksi. Selain itu, peserta juga akan mengetahui potensi BIM dalam meningkatkan koordinasi antar elemen proyek(Wulandari et al., 2023).

2. Pelatihan Praktis Penggunaan BIM

Pelatihan langsung mengenai penggunaan Autodesk Revit untuk pemodelan struktur 3D dan penerapan BBS untuk perhitungan kebutuhan material. Setelah sosialisasi, peserta akan dilatih secara langsung membuat model struktur 3D, terutama struktur kolom dan balok. Dengan menggunakan BIM, peserta dapat melihat bagaimana pemodelan struktur beton bertulang dapat dilakukan dengan lebih presisi, serta mempelajari cara menghitung kebutuhan material besi dengan mengacu pada desain struktural(Andújar-Montoya et al., 2020).

3. Studi Kasus Proyek Lokal

Menggunakan proyek konstruksi lokal sebagai studi kasus untuk menerapkan BIM dalam perencanaan material tulangan besi. Pada tahap ini, peserta akan mengerjakan studi kasus berdasarkan proyek konstruksi lokal yang relevan, dengan fokus pada struktur kolom dan balok. Melalui pemodelan struktur menggunakan BIM, peserta akan mengidentifikasi kebutuhan tulangan besi secara lebih efisien. Studi kasus ini bertujuan untuk memberikan gambaran nyata mengenai penerapan BIM dalam konteks proyek yang ada di Tulungagung dan daerah sekitarnya(Rui et al., 2021).

4. Evaluasi Dampak dan Umpulan Balik

Mengukur dampak pelatihan terhadap keterampilan peserta dan mendapatkan umpan balik mengenai pengalaman mereka selama pelatihan. Setelah pelatihan, dilakukan evaluasi untuk mengukur pemahaman dan keterampilan peserta dalam menggunakan BIM untuk menghitung kebutuhan material tulangan besi. Evaluasi ini dilakukan dengan meminta peserta untuk melakukan pemodelan struktur dan perhitungan material menggunakan BIM. Selain itu, umpan balik dari peserta juga dikumpulkan untuk mengetahui sejauh mana mereka merasa siap untuk menerapkan BIM dalam proyek mereka. Evaluasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi kekuatan dan kelemahan dari pelatihan yang telah diberikan, serta mengetahui potensi kendala dalam penerapan BIM di proyek nyata(Arifin et al., 2025).

5. Penyusunan Rencana Tindak Lanjut

Menyusun rencana untuk melanjutkan adopsi BIM dalam proyek konstruksi lokal dan menyediakan akses perangkat lunak BIM. Setelah pelatihan dan evaluasi, akan disusun rencana tindak lanjut untuk memastikan adopsi BIM dapat diterapkan secara berkelanjutan dalam proyek konstruksi di daerah tersebut. Rencana ini mencakup rekomendasi untuk memberikan pelatihan lanjutan, serta penyediaan akses perangkat lunak BIM bagi pelaku konstruksi yang membutuhkan. Selain itu, diusulkan agar BIM dapat diintegrasikan dalam kurikulum pendidikan vokasi dan pelatihan di tingkat lebih tinggi, guna mempersiapkan SDM konstruksi di daerah tersebut menghadapi perkembangan teknologi digital(Sbiti et al., 2022).

6. Dokumentasi dan Penyebarluasan Hasil Pengabdian

Mempublikasikan hasil pengabdian melalui laporan dan publikasi untuk menyebarluaskan manfaat BIM. Untuk memastikan bahwa hasil pengabdian ini dapat memberikan dampak yang lebih luas, dokumentasi lengkap mengenai kegiatan pelatihan, hasil yang dicapai, dan dampak terhadap efisiensi proyek konstruksi akan disusun dalam laporan yang komprehensif. Laporan ini akan dibagikan melalui jurnal ilmiah, seminar, atau platform online, sehingga pelaku konstruksi di daerah lain juga dapat mengetahui manfaat penerapan BIM dan bagaimana teknologi ini dapat meningkatkan efisiensi proyek mereka(Rizqy et al., 2021).

HASIL DAN PEMBAHASAN

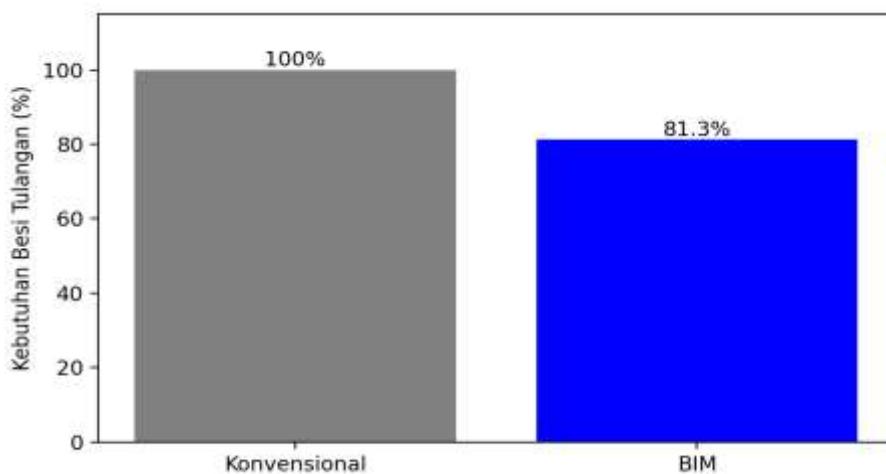
Kegiatan ini melatih pelaku konstruksi local tentang penerapan Building Information Modeling (BIM) dalam pengelolaan material tulangan besi telah memberikan hasil yang signifikan dalam

beberapa aspek. Pemborosan material pada masing-masing metode dihitung berdasarkan perhitungan konvensional dan BIM.

Tabel 1. Perbandingan Waktu Estimasi antara Metode Konvensional dan BIM

Elemen Struktur	Perhitungan Konvensional (kg)	Perhitungan BIM (kg)	Pengurangan (%)
Kolom	1000	820	18.7
Balok	1500	1230	18.7
Total	2500	2050	18.7

Tabel ini menunjukkan pengurangan pemborosan material pada proyek yang menggunakan teknologi BIM. Perhitungan menggunakan BIM menghasilkan penggunaan material yang lebih efisien, mengurangi total kebutuhan besi tulangan sebesar 18,7% dibandingkan dengan metode konvensional.



Gambar 1. Perbandingan Kebutuhan Besi Tulangan

Setelah penerapan BIM, ditemukan bahwa penggunaan besi tulangan pada proyek yang dimodelkan menggunakan BIM mengalami pengurangan pemborosan hingga 18,7% dibandingkan dengan perhitungan konvensional. Hal ini disebabkan oleh kemampuan BIM untuk melakukan perhitungan kebutuhan material yang lebih akurat, sehingga menghindari kelebihan pengadaan material yang tidak diperlukan. Selain itu, visualisasi model 3D yang dihasilkan oleh BIM memungkinkan peserta untuk memeriksa elemen-elemen struktur dengan lebih rinci, mengidentifikasi potensi kesalahan desain, dan memperbaikinya sejak awal, yang mengurangi risiko pemborosan material akibat kesalahan desain.

Sebelum pelatihan BIM, proses estimasi material dan waktu dilakukan secara manual dan memakan waktu hingga 9 jam untuk menghitung kebutuhan besi tulangan untuk kolom dan balok. Namun, setelah pelatihan, dengan menggunakan BIM, waktu estimasi dapat dipangkas menjadi hanya 3 jam. Hal ini menunjukkan efisiensi waktu yang signifikan, yang tentunya akan berpengaruh pada percepatan keseluruhan proyek konstruksi. Peningkatan efisiensi waktu ini sangat penting, terutama untuk proyek konstruksi yang memiliki tenggat waktu ketat, serta dalam meningkatkan koordinasi antar tim di lapangan dan tim perencana.

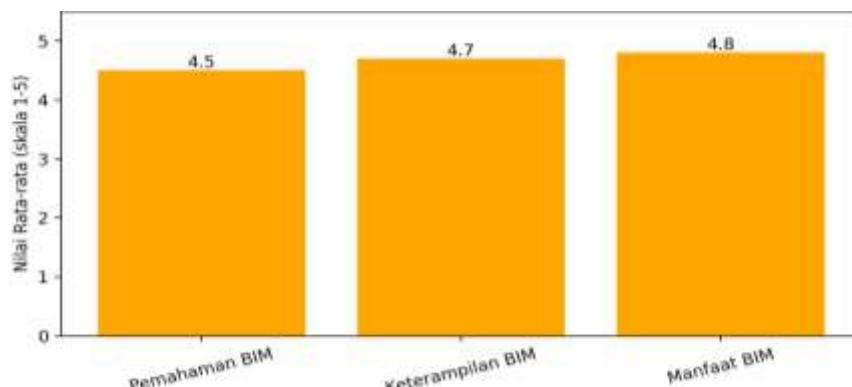
Nilai rata-rata yang diperoleh dari tiga aspek yang dinilai, yaitu pemahaman BIM, keterampilan penggunaan BIM, dan keuntungan penerapan BIM.

Tabel 2. Umpulan Peserta tentang Pelatihan BIM

Aspek yang Dinilai	Nilai Rata-Rata (1-5)	Umpulan Peserta
Pemahaman BIM	4.5	Peserta merasa lebih memahami penerapan BIM dalam konstruksi.
Keterampilan	4.7	Peserta merasa lebih siap untuk menggunakan BIM

Penggunaan BIM		pada proyek mereka.
Keuntungan Penerapan BIM	4.8	Peserta sangat setuju bahwa BIM mengurangi pemborosan material dan mempercepat estimasi.

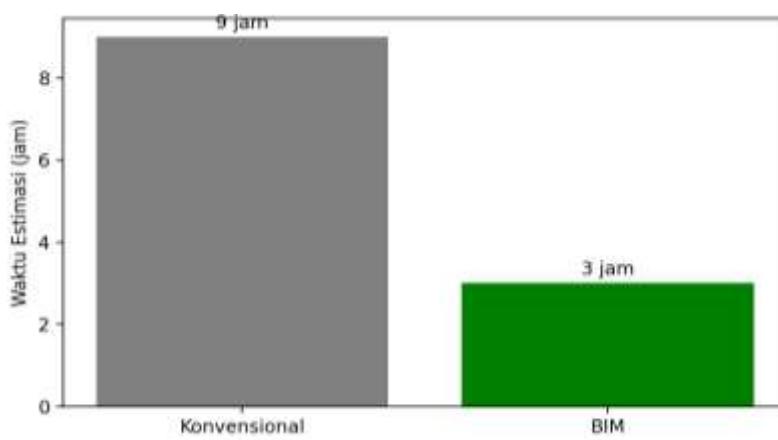
Tabel ini menunjukkan hasil umpan balik dari peserta pelatihan mengenai pemahaman dan keterampilan mereka setelah mengikuti pelatihan BIM. Rata-rata nilai yang tinggi menunjukkan bahwa peserta merasa lebih siap untuk mengimplementasikan BIM dalam proyek mereka.



Gambar 2. Hasil Umpam Balik Peserta Pelatihan BIM

Pelatihan ini juga berhasil meningkatkan keterampilan teknis para pelaku konstruksi lokal dalam menggunakan BIM untuk perencanaan kebutuhan tulangan besi. Sebagian besar peserta menunjukkan antusiasme yang tinggi dan mengaku lebih siap untuk mengimplementasikan BIM dalam proyek mereka. Hal ini dibuktikan dengan keberhasilan peserta dalam memodelkan elemen struktural, menghitung kebutuhan material, dan menghasilkan estimasi yang lebih akurat.

Penerapan BIM dalam perencanaan dan pengelolaan material besi tulangan terbukti mengurangi pemborosan material hingga hampir **19%**, yang merupakan hasil yang sangat positif dalam konteks proyek konstruksi. Teknologi BIM memberikan pendekatan yang lebih sistematis dalam mengelola material dengan memanfaatkan pemodelan 3D dan data parametrik, yang memungkinkan perencanaan material yang lebih tepat. Perbandingan antara perhitungan konvensional dan BIM menunjukkan bahwa dengan BIM, estimasi kebutuhan besi tulangan lebih efisien, mengurangi ketidakpastian perhitungan yang sering terjadi pada metode konvensional.



Gambar 3. Perbandingan Waktu Estimasi Struktur Beton

Pengurangan waktu dari 9 jam menjadi 3 jam juga menjadi pencapaian yang signifikan. Efisiensi waktu ini terutama berasal dari kemudahan dalam mengakses dan memvisualisasikan model 3D, yang menghindari proses pengecekan dan koreksi manual yang memakan waktu. Kecepatan ini berpengaruh pada kecepatan penggerjaan di lapangan, yang dapat mengurangi keterlambatan proyek.

Dengan keterampilan yang lebih tinggi dalam menggunakan teknologi digital seperti BIM, para pelaku konstruksi lokal di Tulungagung dapat lebih bersaing di pasar konstruksi yang semakin berkembang. Selain itu, kemampuan untuk mengelola material dan waktu secara lebih efisien dapat membantu menurunkan biaya proyek, yang merupakan salah satu tantangan utama dalam proyek konstruksi skala kecil dan menengah.

Secara ekonomi, penerapan BIM yang berhasil mengurangi pemborosan material dan mempercepat estimasi dapat meningkatkan keuntungan proyek, dengan penghematan yang diperoleh dari pengurangan pembelian material berlebih dan pengurangan waktu yang dibutuhkan untuk estimasi. Keberhasilan dalam menekan biaya dan waktu ini juga akan berpengaruh pada keseluruhan biaya konstruksi yang lebih terkontrol dan lebih efisien.

Meskipun pelatihan ini berhasil meningkatkan pemahaman dan keterampilan peserta, beberapa tantangan juga teridentifikasi selama pelatihan. Salah satunya adalah keterbatasan akses perangkat lunak BIM di beberapa daerah yang kurang memiliki infrastruktur digital yang memadai. Selain itu, meskipun peserta menunjukkan minat yang tinggi, ada beberapa peserta yang masih membutuhkan waktu lebih lama untuk sepenuhnya menguasai penggunaan perangkat lunak BIM.



Gambar 4. Pelaksanaan Pelatihan

Namun, dengan adanya pelatihan yang berkelanjutan dan penyediaan akses perangkat lunak di masa depan, tantangan ini dapat diatasi. Peningkatan infrastruktur digital, seperti laboratorium BIM komunitas, akan sangat mendukung keberlanjutan dampak dari kegiatan pengabdian masyarakat ini.

Berdasarkan hasil pelatihan ini, disarankan untuk melakukan replikasi kegiatan serupa di daerah lain dengan karakteristik serupa, serta memperkenalkan teknologi BIM lebih luas dalam proyek-proyek konstruksi kecil dan menengah. Untuk memperluas dampak positif ini, perlu pengembangan modul pelatihan BIM yang lebih komprehensif, mencakup elemen struktural lainnya, serta dukungan infrastruktur digital seperti lab BIM komunitas yang dapat diakses oleh pelaku konstruksi lokal. Selain itu, perlu ada evaluasi jangka panjang untuk menilai efektivitas penerapan BIM dalam proyek konstruksi dan memastikan bahwa adopsi BIM dapat berlanjut secara berkelanjutan.

SIMPULAN

Penerapan teknologi Building Information Modeling (BIM) dalam pengelolaan proyek konstruksi, khususnya dalam perencanaan kebutuhan material besi tulangan, terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi dan mengurangi pemborosan material. Melalui penggunaan BIM, pengurangan pemborosan material hingga 18,7% dapat dicapai, yang menunjukkan keunggulan teknologi ini dalam perencanaan yang lebih akurat dan terperinci. Selain itu, penggunaan BIM mempercepat proses estimasi, dengan waktu yang dibutuhkan untuk menghitung material dapat dipangkas dari 9 jam menjadi hanya 3 jam. Efisiensi waktu ini berdampak langsung pada percepatan keseluruhan proyek, yang menjadi faktor penting dalam pengelolaan proyek konstruksi dengan tenggat waktu yang ketat.

Pelatihan ini terbukti efektif dalam meningkatkan keterampilan dan pemahaman pelaku konstruksi di Tulungagung. Peserta menunjukkan antusiasme dan merasa lebih siap untuk menerapkan teknologi ini dalam pekerjaan konstruksi sehari-hari. Hasil pengabdian masyarakat ini tidak hanya memberikan manfaat teknis dalam efisiensi material dan waktu, tetapi juga membawa dampak positif pada peningkatan kapasitas sumber daya manusia di sektor konstruksi lokal. Dengan demikian,

penerapan BIM memiliki potensi besar untuk mendukung pembangunan konstruksi yang lebih efisien dan berkelanjutan di daerah dengan keterbatasan infrastruktur digital.

SARAN

Berdasarkan hasil dari kegiatan pengabdian masyarakat ini, disarankan agar pelatihan Building Information Modeling (BIM) dapat diperluas dan diterapkan di daerah lain dengan kondisi serupa, terutama di wilayah yang memiliki keterbatasan infrastruktur digital. Pelatihan BIM yang berfokus pada studi kasus lokal terbukti efektif dalam meningkatkan keterampilan dan pemahaman pelaku konstruksi, sehingga mereka dapat langsung mengimplementasikan pengetahuan tersebut pada proyek konstruksi di daerah masing-masing. Untuk itu, penting adanya dukungan dari pemerintah atau lembaga terkait dalam penyediaan perangkat lunak BIM yang dapat diakses oleh para pelaku konstruksi lokal, serta pengembangan infrastruktur digital seperti laboratorium BIM komunitas yang dapat mendukung pelatihan dan penggunaan BIM secara berkelanjutan.

Selain itu, perlu dilakukan pengembangan modul pelatihan BIM yang lebih komprehensif, mencakup elemen struktural lainnya selain kolom dan balok, serta metode perhitungan material lainnya yang sering digunakan dalam proyek konstruksi. Hal ini akan memperluas penerapan BIM pada berbagai jenis proyek konstruksi. Evaluasi jangka panjang terhadap dampak penggunaan BIM, baik dari segi efisiensi material, waktu, maupun biaya, juga penting untuk menilai keberhasilan adopsi teknologi ini dalam meningkatkan produktivitas dan kualitas proyek konstruksi. Dengan langkah-langkah ini, diharapkan teknologi BIM dapat terus berkembang dan memberikan kontribusi lebih besar dalam mendukung pembangunan konstruksi yang berkelanjutan di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, D. D. (2022). Penerapan Building Information Modelling (Bim) Untuk Estimasi Biaya Pekerjaan Rangka Atap Baja Ringan Application of Building Information Modelling (Bim) for Estimation of Light Steel Roof Work Costs. 1–96.
- Almujibah, H. (2023). Assessment of Building Information Modeling (BIM) as a Time and Cost-Saving Construction Management Tool: Evidence from Two-Story Villas in Jeddah. Sustainability (Switzerland), 15(9). <https://doi.org/10.3390/su15097354>
- Andújar-Montoya, M. D., Galiano-Garrigós, A., Echarri-Iribarren, V., & Rizo-Maestre, C. (2020). BIM-LEAN as a methodology to save execution costs in building construction-An experience under the spanish framework. Applied Sciences (Switzerland), 10(6), 1–21. <https://doi.org/10.3390/app10061913>
- Arifin, A. S., Mustofa, I., & Azhari, F. M. (2025). Sosialisasi penerapan teknologi bim sebagai solusi efisiensi material tulangan di tulungagung. Community Development Journal, 6(3), 4890–4897.
- Azhari, F. M., & Mustofa, I. (2023). Strategi Meningkatkan Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) Pada Pekerja Proyek Konstruksi di Tulungagung. 5(3), 1–8.
- Cahyono, A. D., Mustofa, I., Dewanta, R. K., Riyanto, D., & Kadiri, U. (2023). PELATIHAN PEMBUATAN BAHAN BAKAR ALTERNATIF DARI LIMBAH PERTANIAN. 2, 25–27.
- Daryanto, N. A. (2020). Peningkatan Efisiensi Dan Pengurangan Pemborosan Pada Proses Produksi Plat Precast Dengan Penerapan Metode Lean Construction. Doctoral Dissertation, Universitas Brawijaya.
- Demirdögen, G., Diren, N. S., Aladağ, H., & Işık, Z. (2021). Lean based maturity framework integrating value, BIM and big data analytics: Evidence from AEC industry. Sustainability (Switzerland), 13(18). <https://doi.org/10.3390/su131810029>
- Ferdosi, H., Abbasianjahromi, H., Banihashemi, S., & Ravanshadnia, M. (2023). BIM applications in sustainable construction: scientometric and state-of-the-art review. International Journal of Construction Management, 23(12), 1969–1981. <https://doi.org/10.1080/15623599.2022.2029679>
- Mustofa, I. (2023). Sosialisasi Anggaran Pengelolaan Konstruksi Berkelanjutan Melalui Pengabdian Masyarakat Pada Proyek Sekolah Dasar. Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Mandiri (JPMM), 1(2), 44–49.
- Mustofa, I., Azhari, F. M., & Rahmahima, B. A. (2024). Socialization of the Sustainable Construction Management Budget through Community Service in the Mekarsari Boarding House Construction Project. Cived, 11(1), 135–143. <https://doi.org/10.24036/cived.v11i1.553>
- Mustofa, I., Azhari, F. M., Rahmawaty, F., & Rahmahima, B. A. (2023). Permodelan Hubungan Antar

- Risiko Pada Proyek Konstruksi Berkelanjutan Perumahan Satria Residen Tulungagung. 5(2), 162–171.
- Pan, Y., & Zhang, L. (2021). A BIM-data mining integrated digital twin framework for advanced project management. *Automation in Construction*, 124(July 2020), 103564. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103564>
- Parchami Jalal, M., Yavari Roushan, T., Noorzai, E., & Alizadeh, M. (2020). A BIM-based construction claim management model for early identification and visualization of claims. *Smart and Sustainable Built Environment*, 10(2), 227–257. <https://doi.org/10.1108/SASBE-10-2019-0141>
- Putra, R. G., Fatmawati, W., Eng, M., Hj, I., & Mas, E. (2020). Analisa Waktu Dan Biaya Proyek Konstruksi Pembangunan Gedung Gudang Dan Kantor PT ABC Semarang Dengan Earned Value Analysis. Prosiding KONFERENSI ILMIAH MAHASISWA UNISSULA (KIMU) 3, 101–126.
- Rizqy, R. M., Martina, N., & Purwanto, H. (2021). Perbandingan Metode Konvensional Dengan Bim Terhadap Efisiensi Biaya, Mutu, Waktu. *Construction and Material Journal*, 3(1), 15–24. <https://doi.org/10.32722/cmj.v3i1.3506>
- Rui, Y., Yaik-Wah, L., & Siang, T. C. (2021). Construction project management based on building information modeling (Bim). *Civil Engineering and Architecture*, 9(6), 2055–2061. <https://doi.org/10.13189/cea.2021.090633>
- Sbiti, M., Beladjine, D., Beddiar, K., & Mazari, B. (2022). Leveraging Quantity Surveying Data and BIM to Automate Mechanical and Electrical (M & E) Construction Planning. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/app12094546>
- Wulandari, L. K., Sebayang, N., & Mundra, I. W. (2023). Penerapan Building Information Modeling (Bim) Untuk Pengendalian Waktu Dan Biaya Pada Terowongan Pengelak. Prosiding SEMSINA, 4(01), 261–267. <https://doi.org/10.36040/semsina.v4i01.8010>
- Yang, Y., Chen, C., Liu, X., & Zhang, Z. (2025). Integration of Lean Construction and BIM in Sustainable Built Environment : A Review and Future Research Directions. 1–20.