

PELATIHAN PERENCANAAN KESELAMATAN KONSTRUKSI PADA BANGUNAN GEDUNG BERBASIS DIGITALISASI 3D BIM KEPADA SISWA SMK JURUSAN TEKNIK BANGUNAN

Rossy Armyn Machfudiyanto^{1,2}, Leni Sagita Riantini¹, Kemala Hayati³, Muhammad Yahya Alfandi Tuasikal¹, Muhamad Farauk Al Farizi¹, Vicky Hidajat Effendi¹, dan Adam Mawarji¹

¹Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

²Departemen Interdisiplin Keteknikan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

³Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Wilayah, Institut Teknologi PLN, Jakarta, Indonesia

Korespondensi: rossyarmyn@eng.ui.ac.id

ABSTRAK

Industri konstruksi memiliki tingkat risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) yang tinggi, namun adopsi keselamatan berbasis digital di Indonesia masih rendah. Kondisi ini berdampak pada kesenjangan kompetensi lulusan vokasi, terutama pada kemampuan 3D BIM dan penerapan K3 yang sering diajarkan terpisah dari mata pelajaran produktif. Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan untuk meningkatkan literasi K3 dan keterampilan terapan *Building Information Modelling* (BIM) bagi siswa Sekolah Menengah Kejuruan Negeri 1 (SMKN 1) Cibinong, khususnya siswa pada kelas kompetensi keahlian Desain Pemodelan dan Informasi Bangunan (DPIB). Metode pelaksanaan meliputi sosialisasi, pelatihan intensif selama 3 hari (10–12 November 2025) yang mencakup *onboarding*, pemodelan 3D BIM, integrasi model 3D BIM dengan K3, game interaktif identifikasi bahaya dan risiko serta evaluasi pemahaman peserta melalui *pre-test* dan *post-test*. Hasil: Dengan melibatkan 70 siswa dari dua kelas yang berbeda (XI DPIB 1–2), kegiatan yang dilakukan berhasil menunjukkan peningkatan rata-rata skor pengetahuan K3 siswa dari 24,25 menjadi 28,83 (+4.58). Secara teknis, 100% peserta berhasil melakukan *setup software* 3D BIM, dan 90% peserta mampu menghasilkan model 3D serta gambar kerja (*sheet*) yang valid. Kegiatan ini menghasilkan luaran berupa modul ajar, poster, dan *template* proyek standar yang memungkinkan replikasi mandiri oleh pihak sekolah. Pelatihan efektif memperkuat kesiapan kerja siswa (*job-ready*) melalui peningkatan kompetensi BIM sekaligus pembiasaan budaya keselamatan digital, serta memberi manfaat berkelanjutan bagi sekolah melalui paket perangkat ajar yang dapat diadopsi dalam pembelajaran rutin.

Kata kunci: *Building Information Modelling* (BIM), Keselamatan Konstruksi, SMK, Digitalisasi.

ABSTRACT

The construction industry carries a high Occupational Health and Safety (OHS) risk, while the adoption of digital, safety-oriented practices in Indonesia remains limited. This gap contributes to vocational graduates' skills mismatch, particularly in applied 3D BIM competencies and the ability to contextualize OHS within design tasks. This community service program aimed to enhance OHS literacy and applied BIM-for-Safety skills among SMKN 1 Cibinong students (Building Design Modelling and Information/DPIB). The three-day program (10–12 November 2025) combined outreach, onboarding–3D modeling–safety integration sessions, an interactive hazard-identification game, and evaluation through *pre/post* tests and performance assessment. Results: Seventy students (XI DPIB 1–2) participated. Mean OHS scores increased from 24.25/30 to 28.83/30 (+4.58). Applied outcomes included 100% completion of 3D BIM setup and 90% of students producing a valid model plus one sheet (individual task). In the model-based hazard game, students identified 8–10 critical hazards with 85% tagging accuracy. Conclusion: The training effectively improved OHS knowledge and BIM-for-Safety capability, strengthening students' job readiness and supporting a school-level digital safety culture. The delivered package (teaching module, poster, and standard project template) enables teacher-led replication and sustained benefits for the local vocational education community and industry linkage.

Keywords: *Community Service, Vocational High School, 3D BIM, Safety Management.*

PENDAHULUAN

Industri konstruksi dikenal sebagai sektor dengan tingkat risiko kecelakaan kerja yang sangat tinggi secara global (HSE, 2025). Berbagai studi menunjukkan bahwa sektor ini secara konsisten menempati peringkat atas dalam statistik kecelakaan fatal maupun non-fatal (Berglund dkk., 2021). Di Indonesia, kondisi ini tercermin dari data Kementerian Tenaga Kerja yang mencatat bahwa sektor konstruksi berkontribusi sekitar 31,9% dari total kasus kecelakaan kerja nasional (Machfudiyanto dkk., 2020). Tingginya angka insiden ini mengindikasikan bahwa pendekatan manajemen keselamatan konvensional, yang seringkali bersifat reaktif dan administratif di lapangan, belum cukup efektif dalam mencegah terjadinya kecelakaan (Haslam dkk., 2005; Machfudiyanto dkk., 2017). Isu keselamatan konstruksi seringkali belum dipandang sebagai variabel utama dalam fase perencanaan desain, padahal keputusan desain memiliki dampak signifikan terhadap keselamatan pekerja di fase pelaksanaan (Gambatese dkk., 1997; NIOSH, 2024; Szymberski, 1997).

Salah satu solusi transformatif untuk mengatasi tantangan tersebut adalah adopsi teknologi digital melalui *Building Information Modelling* (BIM) (Bryde dkk., 2013; Sacks dkk., 2018). Teknologi BIM memungkinkan integrasi informasi keselamatan ke dalam model virtual bangunan sebelum konstruksi fisik dimulai, sebuah konsep yang dikenal sebagai *Design for Safety* (Gambatese dkk., 2005; NIOSH, 2024). Melalui simulasi BIM, potensi bahaya seperti konflik ruang kerja, aksesibilitas yang buruk, atau urutan kerja yang berisiko dapat diidentifikasi dan dimitigasi lebih dini (Faisal & Fansuri, 2023; Zhang dkk., 2013). Namun, penerapan BIM di industri konstruksi Indonesia masih menghadapi kendala besar, terutama terkait kesiapan sumber daya manusia (SDM). Terdapat kesenjangan keterampilan (*skills gap*) yang nyata antara lulusan pendidikan vokasi dengan kebutuhan industri yang semakin terdigitalisasi (Abdirad & Dossick, 2016; Mieslenna & Wibowo, 2019; Sacks & Pikas, 2013; Telaga, 2018).

Kegiatan pengabdian ini mengambil lokasi mitra di SMKN 1 Cibinong, sebuah institusi pendidikan vokasi yang memiliki Jurusan Teknik Bangunan (DPIB). Berdasarkan analisis situasi yang mendalam (*Gap Analysis*) pada tahap pra-kegiatan, ditemukan sebuah paradoks antara ketersediaan infrastruktur dan kompetensi pengguna. Secara fisik, sekolah memiliki fasilitas laboratorium komputer yang memadai dengan spesifikasi perangkat keras yang mampu menjalankan perangkat lunak pemodelan 3D standar industri. Namun, hasil asesmen awal (*baseline*) menunjukkan bahwa tingkat penguasaan siswa terhadap kompetensi digital konstruksi baru mencapai angka estimasi 20% dari standar kompetensi dasar industri.

Rendahnya kompetensi ini disebabkan oleh beberapa faktor fundamental. Pertama, belum terbentuknya ekosistem kerja digital yang terstandarisasi, seperti manajemen file terpusat, penggunaan *template* proyek yang konsisten, dan protokol kolaborasi data antar-pengguna (Sacks dkk., 2018). Kedua, materi Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) cenderung diajarkan secara terpisah dari mata pelajaran produktif (gambar teknik), sehingga siswa kesulitan menghubungkan teori keselamatan dengan praktik desain bangunan (NIOSH, 2024). Akibatnya, lulusan yang dihasilkan memiliki kemampuan parsial; mahir menggambar CAD 2D namun gagap dalam alur kerja BIM 3D yang kolaboratif dan berorientasi keselamatan (Barison & Santos, 2010; Sacks & Pikas, 2013).

Dalam konteks pendidikan nasional, kegiatan ini juga selaras dengan semangat revitalisasi pendidikan vokasi melalui kebijakan "*Link and Match*" antara Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) dengan Dunia Usaha dan Dunia Industri (DUDI) (Republik Indonesia, 2016). Salah satu tantangan terbesar dalam implementasi kebijakan ini adalah kecepatan adaptasi kurikulum sekolah terhadap dinamika teknologi industri yang berubah sangat cepat. Kurikulum DPIB yang ada saat ini umumnya masih didominasi oleh penguasaan perangkat lunak *Computer-Aided Design* (CAD) 2D yang berfokus pada produksi gambar teknis semata. Sementara itu, industri konstruksi modern telah bergeser menuju paradigma BIM yang

menuntut integrasi data multidimensi (3D geometri, 4D waktu, 5D biaya, hingga 6D keberlanjutan dan 7D manajemen fasilitas) (Montiel-Santiago dkk., 2020; Raza dkk., 2023; Sacks dkk., 2018). Kesenjangan materi ajar ini menyebabkan lulusan SMK seringkali mengalami kegagalan teknologi (*technological stuttering*) saat memasuki dunia kerja, sehingga memerlukan pelatihan ulang yang memakan waktu dan biaya bagi Perusahaan (Abdirad & Dossick, 2016; Sacks & Pikas, 2013). Oleh karena itu, intervensi berupa pelatihan tambahan (*upskilling*) yang dibawa oleh perguruan tinggi menjadi jembatan vital untuk mempersempit jurang kompetensi tersebut (Ismail dkk., 2019).

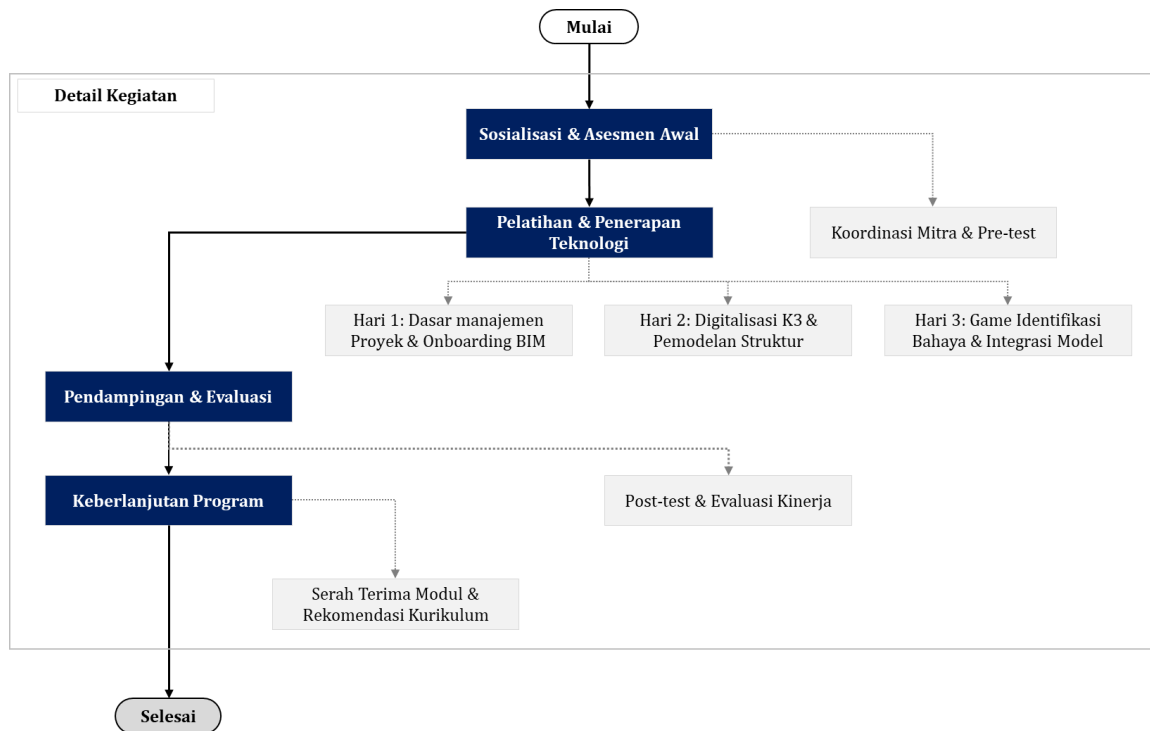
Merespons permasalahan prioritas tersebut, kegiatan pengabdian masyarakat ini menghadirkan solusi berupa pelatihan intensif perencanaan keselamatan konstruksi berbasis digital menggunakan 3D BIM (Ismail dkk., 2019; Sacks & Pikas, 2013). Program ini dirancang tidak hanya sebagai pelatihan perangkat lunak (*software training*), tetapi sebagai intervensi edukasi komprehensif yang mencakup aspek kognitif, afektif (kesadaran keselamatan), dan psikomotorik. Tujuan utama kegiatan adalah meningkatkan kompetensi siswa dalam penguasaan BIM Struktural, menanamkan budaya keselamatan digital sejak dini, serta menyiapkan lulusan SMK yang adaptif (*job-ready*) untuk mendukung percepatan transformasi digital industri konstruksi di Indonesia.

METODE PELAKSANAAN

Metode pelaksanaan pengabdian dirancang menggunakan pendekatan Project-Based Learning (PjBL) yang terstruktur untuk menjawab kesenjangan kompetensi di sekolah mitra. Kegiatan dilaksanakan secara luring penuh selama tiga hari berturut-turut pada tanggal 10–12 November 2025, bertempat di Laboratorium Komputer SMKN 1 Cibinong. Total durasi pelatihan mencapai 18 jam pelajaran efektif (6 jam per hari), yang dialokasikan untuk penyampaian teori, demonstrasi terbimbing, dan praktik mandiri.

Partisipan dan Tim Pelaksana Kegiatan ini melibatkan 70 siswa kelas XI dari kompetensi keahlian Desain Pemodelan dan Informasi Bangunan (DPIB), yang terbagi dalam dua kelas paralel (XI DPIB 1 dan XI DPIB 2). Pemilihan siswa kelas XI didasarkan pada pertimbangan strategis bahwa mereka telah memiliki dasar gambar teknik namun belum memasuki masa Praktik Kerja Industri (Prakerin), sehingga pelatihan ini menjadi bekal krusial sebelum terjun ke dunia kerja. Untuk menjamin kualitas pendampingan, tim pelaksana terdiri dari 3 Dosen Inti (Rossy Army Machfudiyanto, Leni Sagita Riantini, dan Kemala Hayati) serta didukung oleh 4 asisten mahasiswa Universitas Indonesia sebagai fasilitator teknis. Rasio pendampingan yang diterapkan adalah 1 fasilitator untuk setiap 10 siswa (1:10), yang memungkinkan intervensi cepat saat terjadi kendala teknis maupun kesulitan pemahaman materi.

Tahapan dan Materi Pelaksanaan Alur kegiatan disusun secara sistematis mulai dari tahap persiapan hingga evaluasi pasca-kegiatan, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 1:



Gambar 1. Diagram Alir tahapan pelaksanaan pengabdian.

Rincian kurikulum dan aktivitas pada setiap tahapan adalah sebagai berikut:

1. **Sosialisasi dan Asesmen Awal (Pra-Kegiatan)** Tahap ini diawali dengan koordinasi intensif (*kick-off meeting*) bersama manajemen sekolah dan guru produktif untuk menyepakati teknis pelaksanaan dan instalasi perangkat lunak di laboratorium. Tim pengabdian juga melakukan survei spesifikasi perangkat keras guna memastikan kompatibilitas dengan *software* BIM (Revit) yang akan digunakan. Selanjutnya, dilakukan *pre-test* digital yang terdiri dari 30 butir soal untuk memetakan *baseline* pengetahuan siswa pada tiga domain: (1) Dasar Manajemen Proyek Konstruksi dan (2) Identifikasi Bahaya dan Risiko (HIRADC).
2. **Spesifikasi Perangkat dan Instrumen** Pelatihan ini memanfaatkan laboratorium komputer sekolah yang dilengkapi dengan 36 unit *Personal Computer* (PC). Spesifikasi teknis perangkat keras yang digunakan meliputi prosesor setara Intel Core i5 Generasi ke-10, RAM 16 GB, dan kartu grafis terdedikasi (GPU) 4 GB. Spesifikasi ini dinilai memenuhi persyaratan minimum untuk menjalankan perangkat lunak *Autodesk Revit* versi 2020 hingga 2024 yang digunakan dalam pelatihan. Pemilihan variasi versi perangkat lunak disesuaikan dengan ketersediaan lisensi edukasi yang dimiliki sekolah. Selain perangkat keras, instrumen evaluasi yang dikembangkan meliputi: (1) Kuesioner *Pre-test* dan *Post-test* berbasis Google Form; serta (2) Rubrik Penilaian Unjuk Kerja yang menilai lima aspek utama: ketepatan geometri model, kelengkapan elemen struktur, akurasi penamaan *file*, ketepatan tagging bahaya, dan estetika penyajian gambar kerja (*sheet layout*).
3. **Pelatihan Intensif dan Penerapan Teknologi** Kurikulum pelatihan dirancang secara bertingkat (*scaffolded*) selama tiga hari:
 - **Hari Pertama: Onboarding dan Standardisasi Digital** Fokus utama adalah membangun fondasi budaya kerja digital. Materi mencakup pengenalan antarmuka (*interface*) BIM, pengaturan satuan proyek, dan penerapan standar manajemen data. Siswa dilatih menggunakan *Project Template* khusus yang telah disiapkan tim pengabdian, yang berisi pengaturan standar untuk garis, font,

dan browser organization. Target harinya adalah peserta mampu melakukan setup lingkungan kerja dan menyimpan file sesuai konvensi penamaan (*naming convention*) baku .

- **Hari Kedua: Pemodelan Struktur 3D dan Dokumentasi** Siswa mempraktikkan pemodelan elemen struktur bangunan gedung sederhana (2 lantai). Materi teknis meliputi pembuatan *Grid* dan *Level*, pemodelan elemen Pondasi, Kolom, Balok, dan Pelat Lantai, serta produksi gambar kerja 2D (*Shop Drawing*) yang tergenerasi otomatis dari model 3D. Target harinya adalah setiap siswa menghasilkan satu model 3D utuh dan satu lembar gambar kerja (*sheet*) siap cetak dengan kop gambar (*title block*) standar.
 - **Hari Ketiga: Integrasi Keselamatan (BIM for Safety)** Tahap ini merupakan puncak integrasi materi. Pembelajaran dilakukan melalui metode *Game* Identifikasi Bahaya. Siswa dibagi ke dalam kelompok kecil dan diberikan akses ke model BIM yang berisi skenario konstruksi tidak aman. Tugas mereka adalah menavigasi model, mendeteksi potensi bahaya (seperti tepi lantai tanpa railing atau penumpukan material), dan memberikan penanda digital (*safety tags*) pada model tersebut.
4. **Pendampingan dan Evaluasi:** Selama sesi praktik, fasilitator melakukan pendampingan aktif (*floor walking*) untuk mengatasi kendala *software*. Evaluasi akhir dilakukan melalui dua instrumen: (1) *Post-test* untuk mengukur peningkatan kognitif, dan (2) Penilaian Unjuk Kerja (*Performance Assessment*) untuk mengevaluasi kualitas model 3D dan akurasi identifikasi bahaya yang dilakukan siswa.
 5. **Keberlanjutan Program:** Sebagai langkah akhir, tim pengabdian menyerahkan luaran berupa modul ajar, *template* proyek standar, dan materi digital kepada pihak sekolah agar program ini dapat direplikasi secara mandiri.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan pelatihan di SMKN 1 Cibinong dilaksanakan untuk menjawab tiga masalah prioritas hasil pra-kegiatan: (1) rendahnya literasi K3 dan kemampuan identifikasi bahaya–risiko, (2) keterampilan terapan 3D BIM dan dokumentasi kerja yang belum terbentuk, serta (3) belum adanya standar alur kerja digital (*template*, struktur folder, dan konvensi penamaan file) yang konsisten. Oleh karena itu, hasil kegiatan dianalisis berdasarkan ketercapaian tujuan PKM melalui tiga indikator utama: peningkatan kognitif (skor pre-test/post-test), capaian psikomotorik (produk model 3D dan *sheet* individu), serta penerapan K3 dalam konteks desain melalui simulasi identifikasi bahaya berbasis model (*tagging*). Tingkat partisipasi peserta juga tinggi dengan kehadiran harian rata-rata 97% (67–69 siswa dari 70 peserta).

Secara operasional, intervensi disusun bertahap sesuai rancangan pelatihan tiga hari: hari pertama menekankan onboarding dan standardisasi digital (untuk menutup *gap workflow*), hari kedua fokus pemodelan struktur 3D dan produksi gambar kerja (untuk membangun keterampilan BIM terapan), dan hari ketiga mengintegrasikan K3 melalui “game” identifikasi bahaya pada model (untuk menjembatani K3 dengan praktik desain). Evaluasi dilakukan menggunakan post-test serta rubrik penilaian unjuk kerja untuk menilai kualitas model, ketertiban data, dan akurasi *tagging* bahaya.

Peningkatan Kompetensi Kognitif

Efektivitas transfer pengetahuan diukur melalui perbandingan skor *pre-test* dan *post-test*. Sebelum pelatihan, rata-rata skor pengetahuan siswa berada pada angka 24,25 (skala 0-30). Rendahnya skor awal ini terutama disebabkan oleh minimnya pemahaman siswa mengenai

regulasi keselamatan dan integrasi teknologi dalam manajemen proyek. Setelah mengikuti rangkaian materi dan simulasi selama tiga hari, rata-rata skor *post-test* meningkat signifikan menjadi 28,83, mencatatkan kenaikan absolut sebesar +4,58 poin. Kenaikan ini mengindikasikan bahwa metode pembelajaran visual berbasis model 3D efektif membantu siswa memahami konsep abstrak manajemen keselamatan dengan lebih baik dibandingkan metode ceramah konvensional. Dengan demikian, tujuan PKM untuk meningkatkan literasi K3 dan pemahaman konsep dasar keselamatan dalam manajemen proyek tercapai secara terukur. Kenaikan skor ini juga menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis visualisasi 3D membantu peserta menghubungkan konsep K3 yang sebelumnya cenderung “teoretis-terpisah” menjadi lebih kontekstual dalam pekerjaan desain dan perencanaan.

Analisis Detail Peningkatan Pengetahuan per Domain

Analisis per domain dilakukan pada tiga kelompok materi evaluasi, yaitu Dasar Manajemen Proyek, Konsep Dasar K3, dan Identifikasi Bahaya dan Risiko (HIRADC). Jika ditelaah lebih dalam berdasarkan domain materi, peningkatan skor siswa menunjukkan pola yang menarik. Pada domain Dasar Manajemen Proyek, peningkatan skor relatif moderat (sekitar 15%), mengingat siswa kelas XI telah mendapatkan paparan materi ini di mata pelajaran Estimasi Biaya Konstruksi. Namun, lonjakan skor tertinggi terjadi pada domain Konsep Dasar K3, yang mencatat kenaikan lebih dari 40% dibandingkan skor awal. Pada saat pre-test, mayoritas siswa kesulitan mengidentifikasi hierarki pengendalian risiko (*Hierarchy of Controls*) yang benar. Pasca-pelatihan, data post-test menunjukkan bahwa 92% siswa mampu menjelaskan definisi manajemen proyek dengan tepat dan 88% siswa berhasil mengurutkan langkah pengendalian risiko mulai dari eliminasi, substitusi, hingga penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) dengan benar. Temuan ini mengonfirmasi bahwa metode visualisasi 3D sangat efektif untuk mengajarkan konsep-konsep abstrak yang sebelumnya sulit dipahami siswa hanya melalui teks buku ajar.

Capaian Keterampilan Teknis (Psikomotorik)

Capaian psikomotorik ini secara langsung menargetkan masalah utama di sekolah mitra, yaitu belum terbentuknya ekosistem kerja digital yang terstandarisasi serta keterampilan BIM 3D terapan yang dibutuhkan industri. Keberhasilan pelatihan juga dievaluasi berdasarkan kualitas produk digital yang dihasilkan siswa secara individu. Indikator capaian teknis menunjukkan hasil yang memuaskan:

- **Kesiapan Lingkungan Kerja (100%):** Seluruh peserta berhasil menyelesaikan tahap setup awal, termasuk instalasi template dan pembuatan struktur *folder* proyek. Capaian ini krusial karena manajemen data sering menjadi titik lemah utama dalam alur kerja digital di sekolah.
- **Pemodelan Struktur (90%):** Sebanyak 63 dari 70 siswa mampu menyelesaikan model struktur bangunan 2 lantai dengan elemen lengkap serta memproduksi minimal satu lembar gambar kerja (*sheet*) yang valid dan berskala tepat. Kegagalan pada 10% peserta sebagian besar disebabkan oleh kendala teknis perangkat (laptop lambat) dan bukan karena ketidakmampuan menyerap materi.
- **Kepatuhan Standar (≥90%):** Tingkat kepatuhan siswa terhadap aturan penamaan file dan lokasi pengunggahan tugas ke *cloud storage* sangat tinggi, menandakan keberhasilan penanaman disiplin administrasi digital.

Simulasi "Game" Keselamatan Konstruksi

Sesi ini dirancang untuk menyelesaikan akar masalah yang ditemukan pada pra-kegiatan, yaitu materi K3 yang diajarkan terpisah dari mata pelajaran produktif, sehingga peserta dilatih mengidentifikasi bahaya langsung dari konteks desain/model, bukan sekadar menghafal regulasi. Sesi game identifikasi bahaya pada hari ketiga menjadi validasi pemahaman siswa terhadap konteks keselamatan. Dalam simulasi ini, siswa bekerja secara berkelompok untuk

melakukan "inspeksi virtual". Hasilnya, rata-rata setiap kelompok mampu mendeteksi dan menandai (tagging) 8–10 potensi risiko/bahaya kritikal pada model. Temuan bahaya yang paling sering diidentifikasi meliputi: (1) Operasi alat berat di zona tidak aman, (2) Pekerja di ketinggian tanpa APD, (3) Rambu keselamatan tertutup/ terhalang, dan (4) Kondisi *housekeeping* yang buruk. Tingkat akurasi identifikasi bahaya mencapai 85% dari kunci jawaban fasilitator.

Observasi Kesalahan Umum dan Proses Belajar

Selama proses pendampingan teknis, tim fasilitator mencatat beberapa pola kesalahan umum (*common pitfalls*) yang dialami peserta, yang menjadi indikator proses belajar mereka. Kesalahan yang paling sering muncul di hari pertama dan kedua adalah ketidaktepatan dalam mendefinisikan *level* atau elevasi bangunan (misalnya: kolom lantai 1 menembus hingga atap tanpa terpotong di lantai 2) dan kesalahan dalam melakukan sambungan (*join geometry*) antara elemen balok dan pelat lantai. Kesalahan-kesalahan ini wajar terjadi dalam fase transisi dari pola pikir 2D ke 3D. Dalam CAD 2D, garis yang saling menumpuk tidak menjadi masalah selama hasil cetaknya terlihat benar. Namun dalam BIM, tumpukan elemen (*clash*) akan terdeteksi sebagai kesalahan volume material. Melalui bimbingan intensif, siswa diajarkan untuk memahami logika konstruksi virtual: bahwa mereka tidak sedang "menggambar garis", melainkan sedang "membangun gedung" di dalam komputer. Pergeseran mindset ini adalah capaian kualitatif terpenting dari pelatihan ini, di mana siswa mulai berpikir layaknya seorang insinyur yang memperhitungkan logika struktur dan urutan konstruksi.

Analisis Kendala dan Solusi Teknis

Meskipun secara umum berhasil, pelaksanaan kegiatan menghadapi sejumlah tantangan teknis yang memberikan pembelajaran berharga bagi implementasi kurikulum BIM di sekolah vokasi. Rangkuman kendala dan solusi yang diterapkan disajikan dalam Tabel 1:

Tabel 1. Identifikasi Kendala Teknis dan Solusi Mitigasi Selama Pelatihan

Kendala Utama	Akar Masalah	Solusi Yang Diterapkan
Variasi Versi Perangkat Lunak	Komputer laboratorium memiliki versi Revit yang berbeda-beda (2020–2024), menyebabkan isu kompatibilitas <i>file</i> (tidak bisa <i>downgrade</i>).	Penggunaan <i>Template Legacy-Compatible</i> (dibuat di versi terendah) dan format pertukaran data netral (IFC/DWG) jika diperlukan.
Keterbatasan Spesifikasi Perangkat	Beberapa unit PC mengalami lag atau kelambatan performa saat merender model 3D yang kompleks.	Penyesuaian materi menggunakan model bangunan yang disederhanakan (<i>lightweight model</i>) dan penyediaan paket materi offline.
Manajemen Kelas Besar	Jumlah peserta yang banyak (35 siswa/kelas) meningkatkan risiko ketertinggalan siswa dalam mengikuti instruksi teknis.	Penerapan rasio pendampingan 1:10, strategi <i>floor-walker</i> (fasilitator keliling), dan metode <i>peer-tutoring</i> (teman sebaya).
Isu Konektivitas & Pengumpulan	Gangguan jaringan internet saat seluruh siswa mencoba mengunggah tugas secara bersamaan.	Kebijakan " <i>Single Uploader</i> " untuk tugas kelompok dan penyediaan <i>folder Release Read-Only</i> di jaringan lokal.

- **Variasi Versi Perangkat Lunak:** Ditemukan ketidakseragaman versi *software* Revit di laboratorium (versi 2020 s.d. 2024), yang menyebabkan isu kompatibilitas *file*. Tim

pengabdian mengatasinya dengan strategi penggunaan *Template Legacy-Compatible* yang dibuat pada versi terendah, sehingga dapat dibuka oleh semua komputer tanpa hambatan.

- **Spesifikasi Perangkat:** Beberapa komputer mengalami kelambatan (*lag*) saat merender model 3D kompleks. Solusinya adalah penyesuaian materi dengan menggunakan model bangunan yang disederhanakan (*lightweight model*) tanpa mengurangi esensi pembelajaran struktur utama.
- **Manajemen Kelas Besar:** Risiko ketertinggalan siswa lambat diatasi dengan penerapan rasio fasilitator 1:10 dan metode *peer-tutoring* (teman sebaya).

Produk Teknologi dan Keberlanjutan

Program Guna menjamin keberlanjutan dampak pasca-kegiatan, tim pengabdian melakukan alih teknologi melalui penyerahan paket instrumen pembelajaran lengkap kepada pihak sekolah. Paket luaran ini meliputi:

- **Modul Ajar BIM-K3 (Cetak & Digital):** Panduan visual langkah demi langkah yang dirancang agar mudah dipelajari secara mandiri oleh siswa.
- **Template Proyek Standar:** *File template (.rte)* yang berisi pengaturan standar industri (ketebalan garis, dimensi, title block). Penggunaan template ini terbukti memangkas waktu persiapan (*setup*) siswa hingga 50%.
- **SOP dan Checklist Digital:** Dokumen prosedur operasional standar untuk manajemen *file* dan daftar periksa keselamatan yang dapat diadopsi guru dalam pembelajaran rutin.

Paket luaran tersebut tidak hanya menjadi dokumentasi kegiatan, tetapi merupakan “mekanisme solusi” untuk memastikan masalah awal tidak kembali terulang: template dan SOP mengunci standarisasi workflow digital, modul ajar mengintegrasikan BIM dengan K3 dalam satu alur belajar, dan checklist memberi alat evaluasi rutin bagi guru untuk mengawasi kepatuhan praktik digital serta aspek keselamatan pada tugas desain siswa.



Gambar 2. Rangkaian Dokumentasi Kegiatan Mulai dari Koordinasi Awal Hingga Pelaksanaan Pelatihan

Diskusi: Implikasi terhadap Pendidikan Vokasi Keberhasilan model pelatihan ini memberikan implikasi penting bagi pengembangan kurikulum pendidikan vokasi di masa depan. Temuan ini mendukung teori pembelajaran konstruktivisme, di mana siswa membangun pengetahuan mereka sendiri melalui pengalaman aktif membuat objek nyata (dalam hal ini, *model digital*). Penggunaan teknologi BIM berperan sebagai *cognitive tool* yang mengurangi beban kognitif siswa dalam memvisualisasikan ruang tiga dimensi, sehingga mereka dapat mengalokasikan kapasitas mentalnya untuk memahami aspek yang lebih kompleks seperti analisis risiko keselamatan. Selain itu, integrasi materi K3 ke dalam praktik BIM membuktikan bahwa pendidikan keselamatan tidak harus dilakukan secara dogmatis atau hafalan regulasi. Dengan "mengalami" risiko secara virtual melalui simulasi, siswa membangun memori episodik yang lebih kuat mengenai bahaya konstruksi. Pendekatan ini sejalan dengan tren global dalam pendidikan teknik yang menekankan pada *Immersive Learning* dan *Gamification* untuk meningkatkan keterlibatan (*engagement*) dan retensi pengetahuan siswa generasi Z.

SIMPULAN

Pelaksanaan kegiatan pengabdian masyarakat di SMKN 1 Cibinong telah berhasil mencapai tujuan utamanya, yaitu menjembatani kesenjangan kompetensi digital dan keselamatan konstruksi bagi siswa vokasi. Esensi temuan kegiatan ini menunjukkan bahwa integrasi K3 ke dalam praktik pemodelan 3D (BIM-for-Safety) dan pembelajaran berbasis proyek dapat mengubah K3 dari materi "hafalan" menjadi keterampilan kontekstual yang melekat pada proses desain dan perencanaan kerja. Secara kuantitatif, pelatihan intensif selama tiga hari terbukti efektif meningkatkan literasi kognitif siswa secara signifikan, ditandai dengan kenaikan rata-rata skor pengetahuan manajemen proyek dan K3 sebesar +4,58 poin (dari 24,25 menjadi 28,83). Peningkatan ini menegaskan bahwa integrasi materi keselamatan ke dalam pelatihan visual berbasis *software* lebih efektif dalam membangun pemahaman siswa dibandingkan metode pengajaran teoritis semata.

Dari aspek keterampilan teknis dan manajerial, penerapan strategi standarisasi lingkungan kerja melalui penggunaan *template* proyek *legacy-compatible* terbukti menjadi solusi ampuh dalam mengatasi hambatan variasi perangkat lunak di laboratorium sekolah. Hal ini dibuktikan dengan capaian 100% peserta yang mampu melakukan setup lingkungan kerja digital secara mandiri dan 90% peserta berhasil memproduksi model struktur 3D beserta dokumen gambar kerja yang valid. Lebih jauh, kemampuan siswa mendeteksi rata-rata 8–10 titik risiko kritis pada model digital mengindikasikan bahwa BIM dapat berfungsi sebagai media latihan "inspeksi keselamatan" sebelum siswa terjun ke proyek nyata, sehingga memperkuat kesiapan prakerin dan kesiapan kerja awal (*job-ready*).

Secara kelembagaan, keberlanjutan dampak program diperkuat melalui alih teknologi berupa paket instrumen pembelajaran (Modul Ajar, Template Standar, SOP, dan Checklist) yang telah diserahkan kepada mitra. Paket ini bukan sekadar luaran administratif, tetapi alat implementasi untuk menormalkan budaya kerja digital yang rapi (penamaan file, struktur folder, dan disiplin unggah) sekaligus memasukkan aspek keselamatan ke dalam tugas produktif DPIB. Dengan demikian, lulusan diharapkan memiliki keunggulan kompetitif: tidak hanya mahir menggambar, tetapi juga mampu membaca risiko dan menerapkan prinsip keselamatan sejak tahap perencanaan.

Kemanfaatan ke depan dari kegiatan ini adalah tersedianya model pelatihan singkat yang dapat diadopsi sekolah sebagai bagian dari pembelajaran rutin, serta dapat direplikasi untuk angkatan berikutnya tanpa ketergantungan tinggi pada tim pengabdian. Untuk memperkuat dampak jangka menengah–panjang, program lanjutan yang direkomendasikan adalah: (1) integrasi "mini-project BIM–K3" ke satu modul produktif per semester (tugas model + sheet + tagging bahaya), (2) pelatihan Training-of-Trainers (ToT) untuk guru produktif agar

standardisasi workflow dan penggunaan template menjadi praktik baku, dan (3) evaluasi tindak lanjut 8–12 minggu pasca pelatihan untuk mengukur retensi kompetensi serta kualitas output siswa. Ke depan, cakupan juga dapat diperluas bertahap menuju 4D (urutan kerja) dan perencanaan pengendalian risiko berbasis HIRADC yang tertaut ke elemen model, sehingga sekolah memiliki jalur pembelajaran yang progresif dan selaras dengan kebutuhan industri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan, Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi atas kepercayaan dan dukungan pendanaan yang diberikan melalui skema Program Pengabdian kepada Masyarakat Batch III Tahun Anggaran 2025 dengan Surat Perjanjian Penugasan Nomor: PKS-244/UN2.PPM/HKP.05.00/2025. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Direktorat Pengabdian Masyarakat dan Inovasi Sosial, Universitas Indonesia atas fasilitasi pelaksanaan program. Rasa terima kasih yang mendalam disampaikan kepada SMK Negeri 1 Cibinong selaku mitra sasaran atas izin, fasilitas, dan kerja sama yang sangat baik. Penghargaan turut diberikan kepada tim mahasiswa pelaksana atas dedikasi dan pendampingan teknis selama kegiatan berlangsung. Penulis juga menyatakan bahwa proses penyuntingan tata bahasa dalam naskah ini dibantu oleh teknologi kecerdasan buatan, Gemini (Google), dengan peninjauan dan validasi akhir sepenuhnya dilakukan oleh penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdirad, H., & Dossick, C. S. (2016). BIM curriculum design in architecture, engineering, and construction education: A systematic review. *Journal of Information Technology in Construction*, 21, 250–271. https://www.itcon.org/papers/2016_17.content.03896.pdf
- Barison, M. B., & Santos, E. T. (2010). BIM teaching strategies: An overview of the current approaches. In W. Tizani (Ed.), *Proceedings of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE 2010)*. University of Nottingham. <https://www.engineering.nottingham.ac.uk/icccbeproceedings/pdf/pf289.pdf>
- Berglund, L., Johansson, M., Nygren, M., Samuelson, B., Stenberg, M., & Johansson, J. (2021). Occupational accidents in Swedish construction trades. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 27(2), 552–561. <https://doi.org/10.1080/10803548.2019.1598123>
- Bryde, D., Broquetas, M., & Volm, J. M. (2013). The project benefits of building information modelling (BIM). *International Journal of Project Management*, 31(7), 971–980. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.12.001>
- Faisal, U. F., & Fansuri, I. (2023). Pengembangan teknologi digital terhadap pemenuhan keselamatan konstruksi di Indonesia. *Indonesian Journal of Construction Engineering and Sustainable Development*, 6(2), 35–45. <https://doi.org/10.25105/cesd.v6i2.18811>
- Gambatese, J. A., Behm, M., & Hinze, J. W. (2005). Viability of designing for construction worker safety. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(9), 1029–1036. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2005\)131:9\(1029\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:9(1029))
- Gambatese, J. A., Hinze, J. W., & Haas, C. T. (1997). Tool to design for construction worker safety. *Journal of Architectural Engineering*, 3(1), 32–41. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1076-0431\(1997\)3:1\(32\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0431(1997)3:1(32))
- Haslam, R. A., Hide, S. A., Gibb, A. G. F., Gyi, D. E., Pavitt, T., Atkinson, S., & Duff, A. R. (2005). Contributing factors in construction accidents. *Applied Ergonomics*, 36(4), 401–415. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2004.12.002>

- Health and Safety Executive. (2025, July 15). Work-related fatal injuries in Great Britain, April 2024 to March 2025. GOV.UK. <https://www.gov.uk/government/statistics/work-related-fatal-injuries-in-great-britain-april-2024-to-march-2025>
- Ismail, A. S., Ali, K. N., Mustaffa, N. E., Iahad, N. A., & Yusuf, B. Y. (2019). Enhancing the graduates' employability and career development through building information modelling intensive training. *International Journal of Built Environment and Sustainability*, 6(1–2), 91–99. <https://doi.org/10.11113/ijbes.v6.n1-2.387>
- Machfudiyanto, R. A., Latief, Y., Sagita, L., & Suraji, A. (2020). Identification of institutional safety factors affecting safety culture in construction sector in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 426(1), Article 012031. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/426/1/012031>
- Machfudiyanto, R. A., Latief, Y., Yogiswara, Y., & Setiawan, R. M. F. (2017). Structural equation model to investigate the dimensions influencing safety culture improvement in construction sector: A case in Indonesia. *AIP Conference Proceedings*, 1855(1), 030019. <https://doi.org/10.1063/1.4985489>
- Mieslenna, C. F., & Wibowo, A. (2019). Mengeksplorasi penerapan building information modeling (BIM) pada industri konstruksi Indonesia dari perspektif pengguna. *Jurnal Sosial Ekonomi Pekerjaan Umum*, 11(1), 44–58.
- Montiel-Santiago, F. J., Hermoso-Orzáez, M. J., & Terrados-Cepeda, J. (2020). Sustainability and energy efficiency: BIM 6D. Study of the BIM methodology applied to hospital buildings. Value of interior lighting and daylight in energy simulation. *Sustainability*, 12(14), 5731. <https://doi.org/10.3390/su12145731>
- National Institute for Occupational Safety and Health. (2024). Prevention through design toolkit for the construction industry (DHHS [NIOSH] Publication No. 2024-124). Centers for Disease Control and Prevention. <https://doi.org/10.26616/NIOSH PUB2024124>
- Republik Indonesia. (2016). Instruksi Presiden Republik Indonesia Nomor 9 Tahun 2016 tentang Revitalisasi Sekolah Menengah Kejuruan dalam rangka peningkatan kualitas dan daya saing sumber daya manusia Indonesia. <https://peraturan.bpk.go.id/Details/195928/inpres-no-9-tahun-2016>
- Raza, M. S., Tayeh, B. A., Abu Aisheh, Y. I., & Maglad, A. M. (2023). Potential features of building information modeling (BIM) for application of project management knowledge areas in the construction industry. *Heliyon*, 9(9), e19697. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19697>
- Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers* (3rd ed.). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119287568>
- Sacks, R., & Pikas, E. (2013). Building information modeling education for construction engineering and management. I: Industry requirements, state of the art, and gap analysis. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(11), 04013016. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000759](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000759)
- Susanto, S., Karisma, D. A., Budi, K. C., Sumargono, & Winarno, B. (2020). Faktor yang berhubungan dengan pengetahuan penerapan keselamatan kerja pada pekerja konstruksi. *Civilla: Jurnal Teknik Sipil Universitas Islam Lamongan*, 5(2), 476–485.
- Szymberski, R. T. (1997). Construction project safety planning. *TAPPI Journal*, 80(11), 69–74.
- Telaga, A. S. (2018). A review of BIM (building information modeling) implementation in Indonesia construction industry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 352(1), 012030. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/352/1/012030>

Zhang, S., Teizer, J., Lee, J. K., Eastman, C. M., & Venugopal, M. (2013). Building information modeling (BIM) and safety: Automatic safety checking of construction models and schedules. *Automation in Construction*, 29, 183–195. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.05.006>