

BAB I Pendahuluan

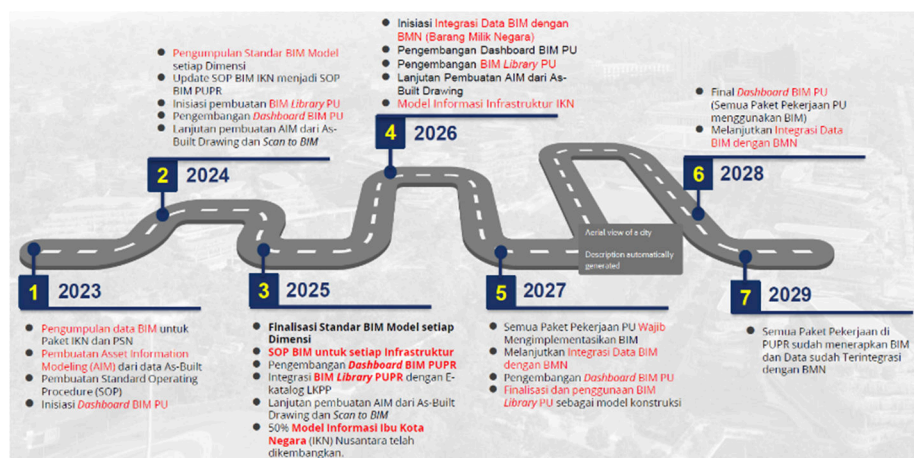
1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Revolusi industri di bidang konstruksi telah mendorong perubahan, salah satunya adalah transformasi pada sektor industri AEC dalam pemanfaatan teknologi informasi. Building Information Modeling (BIM) adalah salah satu inovasi utama yang muncul dalam industri konstruksi saat ini, yang mengubah pengelolaan dan pelaksanaan proyek konstruksi (Wijaya, 2024).

Tingkat awareness atau kesadaran terhadap BIM cukup tinggi, sekitar 70%, tetapi tingkat implementasi BIM di Indonesia masih rendah, yaitu 38% (Puspita & Patriotika, 2021). Kesenjangan ini menunjukkan bahwa meskipun pemangku kepentingan memahami nilai BIM, mereka masih menghadapi hambatan struktural dan teknis dalam penerapannya.

Implementasi BIM di Indonesia didorong oleh regulasi pemerintah, harapan peningkatan kinerja, serta kesiapan teknologi dan sumber daya manusia (Susanti et al., 2023). Kementerian PU Indonesia menetapkan pada tahun 2029 penerapan BIM semua pekerjaan dibawah naungannya. Tanpa solusi konkret, target pemerintah mungkin sulit tercapai, sehingga penelitian ini menjadi sangat urgent untuk mendukung transisi digital di industri konstruksi Indonesia.



Gambar 1. Road Map BIM PU

Sumber: <https://youtu.be/fEkXTOPQOug?si=ARxTUb9sqnylpf6U>

Pada awal penerapannya, BIM lebih sering digunakan sebagai alat visualisasi tiga dimensi (3D). Namun, seiring dengan berkembangnya teknologi, penelitian menunjukkan bahwa BIM dapat digunakan lebih jauh untuk mengelola informasi terkait material, waktu, biaya, hingga dampak lingkungan (Lee, 2024).

Pendekatan terstruktur dirancang untuk mempercepat dan memperdalam implementasi BIM, mulai dari perencanaan hingga operasi bangunan. Dengan mengotomatiskan proses kolaborasi, memastikan konsistensi data, dan memperkuat pelatihan tim, pendekatan ini memungkinkan organisasi untuk beralih dari penggunaan BIM secara terbatas ke integrasi yang lebih mendalam dalam

seluruh siklus hidup proyek (Al-Roumi & Al-Sabah, 2024). Pendekatan ini tidak hanya mempercepat adopsi teknologi, tetapi juga meningkatkan kualitas dan efisiensi proyek secara keseluruhan.

Pengembangan dan pemanfaatan metrik evaluasi BIM sangat penting untuk benchmarking dan meningkatkan performa proyek konstruksi di masa transisi menuju BIM secara penuh (Nepal et al., 2014). Dengan adanya metrik yang terukur, stakeholder dapat secara objektif menilai tingkat kematangan BIM dalam organisasi, mengidentifikasi celah kinerja, serta mengarahkan sumber daya untuk perbaikan yang lebih fokus dan efektif.

Penetapan outcome BIM, produk kerja BIM, atribut BIM, dan sumber daya secara spesifik berdasar penggunaan BIM yang diidentifikasi merupakan kunci keberhasilan evaluasi dan peningkatan kapabilitas (Yilmaz et al., 2023). Tanpa kejelasan ini, evaluasi akan kehilangan arah dan fokus, sehingga hasilnya tidak dapat diandalkan untuk pengambilan keputusan atau perbaikan proses.

Kapabilitas BIM yang terdefinisi dengan jelas menjadi fondasi penting bagi organisasi untuk merancang implementasi BIM secara strategis. Dengan pendekatan yang sistematis, logis, dan terukur, kapabilitas ini memungkinkan proyek mencapai hasil yang lebih konsisten, efisien, dan produktif (Esnaashary Esfahani et al., 2020).

Temuan penelitian menunjukkan bahwa kematangan strategi BIM memiliki pengaruh penting terhadap kinerja proyek, meskipun besaran efeknya relatif kecil terhadap indikator biaya dan waktu. Secara umum, hasil yang diperoleh cukup positif: 95,2% responden menilai kinerja waktu proyek sebagai baik atau sangat baik, 90,6% menilai biaya sesuai target, dan 95,7% memandang kualitas hasil proyek tinggi (Smits et al., 2017).

Hipotesis penelitian ini menyatakan bahwa pemetaan sistematis terhadap indikator BIM akan mempermudah pengambil kebijakan dan peneliti dalam merumuskan strategi nasional adopsi BIM yang lebih efektif (Kassem, 2013). Menilai secara sistematis dan memilih model kematangan BIM yang paling sesuai dengan konteks dan kebutuhan mereka, sehingga mendorong adopsi BIM yang lebih efektif (Ferraz et al., 2020). Tingkat kematangan strategi BIM berpengaruh secara signifikan, meskipun dengan ukuran efek yang relatif kecil, terhadap kinerja biaya dan waktu proyek (Smits et al., 2017). Signifikansi penelitian terletak pada Pengembangan praktik & Kebijakan dan standar. Penelitian ini tidak hanya memperjelas hubungan antara kematangan BIM dan kinerja proyek.

Meskipun adopsi BIM di Indonesia telah dimulai, tingkat kematangan BIM pada proyek-proyek konstruksi masih berada pada fase awal (Chatsuwan et al., 2024). Hal ini penting untuk mengidentifikasi kesenjangan antara praktik yang ada dengan standar kematangan BIM yang diharapkan..

Pemerintah Indonesia menunjukkan komitmen kuat dalam mendorong adopsi BIM melalui regulasi, pedoman teknis, dan SOP yang telah diterbitkan (Maulani & Maharani, 2025). praktik implementasinya masih beragam dan belum

merata di berbagai proyek. Oleh karena itu, data empiris yang dapat digunakan untuk memperbaiki pendekatan pengembangan BIM secara strategis dan adaptif sesuai kebutuhan proyek.

Sejauh mana faktor-faktor kematangan BIM pada berbagai jenis proyek, serta bagaimana variasi tersebut memengaruhi nilai proyek?. Peningkatan tingkat kematangan BIM secara signifikan dapat meningkatkan nilai proyek konstruksi melalui efisiensi operasional, kolaborasi lintas disiplin, dan kualitas outcome proyek (Giménez et al., 2025).

Penelitian ini menganalisis tingkat penerapan BIM pada proyek konstruksi dengan merujuk pada Indikator Kinerja Kunci (IKK) yang termuat dalam *Pedoman Pemantauan & Evaluasi Penerapan BIM* Kementerian PUPR 2022. Penilaian dilakukan berdasarkan SOP Implementasi BIM PU 2024 dan Standar BIM lain yang diterapkan dalam industri Konstruksi, sehingga setiap IKK dapat diukur secara kuantitatif dan dibandingkan dengan standar nasional. Hasil evaluasi diharapkan memberikan gambaran objektif tentang keberhasilan implementasi BIM serta rekomendasi perbaikan untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan kualitas output proyek.

1.2. Rumusan Masalah

Penelitian ini mengkaji tingkat kematangan BIM, serta faktor faktor dari 10 Indikator Kinerja Kunci. Rumusan masalah dirumuskan sebagai berikut:

- 1) Seberapa tingkat kematangan penerapan BIM yang diterapkan pada proyek?
- 2) Apakah terdapat perbedaan tingkat kematangan penerapan BIM di antara jenis proyek?
- 3) Faktor apa yang paling memengaruhi tingkat kematangan penerapan BIM pada proyek?

Hipotesis dirumuskan sebagai hubungan antara tingkat kematangan penerapan BIM sebagai variabel dependen (X) dan IKK sebagai variabel independen (Y). Hipotesis dijabarkan sebagai berikut:

- 1) Tingkat Kematangan BIM pada Proyek, $X = \sum Y/10$.
 - Hipotesis nol (H_0) Tidak ada kematangan penerapan BIM.
 - Hipotesis alternatif (H_1) Ada kematangan penerapan BIM.
- 2) Perbedaan Tingkat Kematangan BIM, $X_D = X_{max} - X_{min}$.
 - Hipotesis nol (H_0) Tidak ada perbedaan tingkat kematangan BIM.
 - Hipotesis alternatif (H_1) Ada perbedaan signifikan yang dipengaruhi oleh IKK.
- 3) Faktor pengaruh terbesar, $X_{max} = Y_{max}$, $X_{min} = Y_{min}$.
 - Hipotesis nol (H_0) Tidak ada perbedaan signifikan satu IKK dengan IKK lainnya.
 - Hipotesis alternatif (H_1) Ada perbedaan signifikan satu IKK dengan IKK lainnya.

1.3. Tujuan dan Manfaat

Penelitian memberikan wawasan yang dapat digunakan untuk strategi implementasi dan peningkatan BIM di masa depan. Adapun bertujuan antara lain:

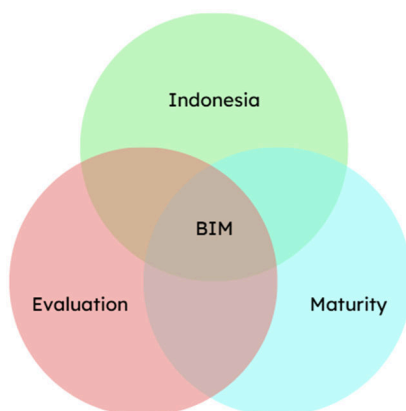
- 1) Menganalisis tingkat kematangan BIM pada proyek dengan menggunakan IKK.
- 2) Menganalisis perbandingan tingkat kematangan BIM antara jenis proyek yang berbeda.
- 3) Menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi kematangan BIM pada proyek.

Manfaat yang diharapkan mencakup dampak ilmiah, praktis, kebijakan, dan keberlanjutan. Kami berharap penelitian ini memberikan kontribusi signifikan bagi ilmu pengetahuan, praktik industri, dan kebijakan pemerintah dalam penerapan BIM di Indonesia.

BAB II Kajian Pustaka

2. Kajian Pustaka

Tinjauan pustaka ini menguraikan tiga aspek utama yang menjadi landasan bagi penelitian ini. Pertama, Definisi BIM & Kematangan Penerapannya. Kedua, pemantauan dan evaluasi penerapan BIM melibatkan pengukuran konsistensi penggunaan model, kepatuhan terhadap standar berdasarkan (PUPR, 2022). Ketiga, penerapan BIM pada proyek konstruksi mencakup tahapan-tahapan mulai dari perencanaan konseptual, desain detail, hingga konstruksi dan operasi, di mana masing-masing fase berdasarkan (PU, 2024).



Gambar 2. Diagram Tinjauan Pustaka

2.1. Definisi BIM dan Kematangan Penerapan BIM

1) Building Information Modelling

BIM adalah teknologi dan metode manajemen proyek yang menggunakan model digital tiga dimensi dari suatu bangunan sebagai alat untuk merencanakan, merancang, mengelola, dan mendokumentasikan proyek konstruksi. BIM memfasilitasi kolaborasi antar-disiplin dan meningkatkan akurasi dalam proses pembangunan, mulai dari desain hingga operasi dan pemeliharaan bangunan. Berikut definisi BIM dari beberapa Ahli dan Asosiasi.

- Menurut (Institute of Building Sciences, 1999), "BIM sebagai representasi digital dari karakteristik fisik dan fungsional suatu fasilitas. BIM berfungsi sebagai sumber informasi yang dapat diandalkan untuk membuat keputusan selama siklus hidup proyek mulai dari awal hingga akhir."
- Menurut (Azhar, 2011), BIM adalah "proses pengelolaan data proyek konstruksi dalam format digital yang memungkinkan kolaborasi antar-disiplin di sepanjang siklus hidup proyek konstruksi."
- Menurut (C. Eastman et al., 2011), BIM adalah "metodologi yang melibatkan representasi digital dari aspek fisik dan fungsional suatu bangunan dalam lingkungan komputasi yang mendukung otomatisasi pengelolaan dan pembuatan dokumen proyek."

- Menurut (Succar, 2009) mendefinisikan BIM sebagai "seperangkat teknologi, proses, dan kebijakan yang terintegrasi untuk memfasilitasi kolaborasi antar-pelaku proyek konstruksi dalam menciptakan, berbagi, dan mengelola data digital sepanjang siklus hidup bangunan."
- Menurut (Barison & Santos, 2010) mendefinisikan BIM sebagai "sistem yang memungkinkan pengelolaan informasi tentang bangunan secara lengkap, yang digunakan oleh berbagai aktor sepanjang proses desain, konstruksi, hingga pemeliharaan."

2) Definisi Kematangan Penerapan BIM

Implementasi BIM telah menjadi prasyarat utama dalam meningkatkan produktivitas, kualitas, dan keberlanjutan proyek konstruksi. Seiring dengan maturasi teknologi dan meningkatnya tekanan regulasi, penelitian mengenai tingkat kematangan penerapan BIM menjadi fokus penting untuk menilai sejauh mana organisasi dapat memanfaatkan BIM secara optimal.

- Menurut (Khosrowshahi & Arayici, 2012), "Kematangan BIM menunjukkan tahapan proses yang menawarkan kerangka kerja sistematis untuk klasifikasi aplikasi BIM dari tingkat kematangan pra-BIM, BIM Tahap 1, BIM Tahap 2, dan BIM Tahap 3, yang memungkinkan perbandingan dan pembandingan implementasi BIM di berbagai negara."
- Menurut (Succar & Change Agents, 2009), "Kematangan BIM adalah ukuran sejauh mana informasi terkait BIM dihasilkan, dipertukarkan, dan digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan di seluruh siklus hidup proyek; BIMMI mengadopsi skala lima tingkat yang berasal dari Model Kematangan Kemampuan (CMM)."
- Menurut (C. M. . Eastman, 2008), "BIM adalah cara kolaboratif bagi tim multidisiplin untuk menghasilkan, mengomunikasikan, dan menganalisis model bangunan; oleh karena itu, kematangan BIM mencerminkan seberapa baik proses kolaboratif ini tertanam dalam budaya, proses, dan teknologi organisasi."
- Menurut (Barlish et al., 2011), "Kematangan adopsi BIM adalah tingkat kelembagaan proses, standar, dan struktur tata kelola BIM suatu organisasi untuk mencapai manfaat yang konsisten dan berulang."
- Menurut (Sacks et al., 2018), "Kematangan BIM mencerminkan evolusi dari model 3D yang terisolasi menjadi lingkungan yang terintegrasi penuh dan kaya data yang mendukung kolaborasi waktu nyata, analisis prediktif, dan manajemen aset siklus hidup."

Penilaian tingkat kematangan penerapan BIM menjadi langkah krusial untuk menilai sejauh-mana organisasi atau proyek telah mengintegrasikan BIM secara efektif. Berbagai jurnal yang Anda lampirkan mengidentifikasi lebih dari 20 model yang telah dipublikasi, masing-masing menekankan aspek proses, teknologi, organisasi, standar, maupun manusia.

Tabel 1. Metode Penilaian Kematangan BIM.

No	Nama Model	Tujuan Utama	Variabel / Indikator	Tingkat / Skala
1.	NBIMS Capability Maturity Model (NBIMS-CMM) (Wu et al., 2017)	Menyediakan standar nasional (USA) untuk menilai kesiapan BIM secara menyeluruh pada organisasi	11 area, Strategy, Process, People, Technology, Information, Standards, Organization, Collaboration, Data Management, Training, Governance.	5 level (Initial → Optimized)
2.	IU BIM Proficiency Indeks (Wu et al., 2017)	Mengukur tingkat kompetensi BIM pada organisasi atau tim secara cepat dengan bobot yang merata.	8 area (Management, Process, Standards, Technology, People, Project, Collaboration, Information), 32 ukuran	Skor 0-1, dikategorikan ke 5 level
3.	BIM Maturity Matrix (BIM-MM) (Wu et al., 2017)	Menyediakan kerangka kerja komprehensif yang mencakup aspek teknis dan non-teknis BIM	3 dimensi utama – Process, Technology, Organization, masing-masing dibagi menjadi sub-indikator	5 level (Initial, Managed, Defined, Integrated, Optimized).
4.	BIM Quick Scan (Wu et al., 2017)	Alat skrining cepat (≈ 15 menit) untuk menilai kesiapan BIM pada tahap awal proyek.	5 area utama – Strategy, Process, Technology, People, Data.	5 level (1 – 5). Mulai dari “Tidak siap” s.d. “Sangat siap”.
5.	BIM Characterization Framework (Wu et al., 2017)	Menyajikan karakterisasi BIM berdasarkan wawasan fungsional dan strategis.	5 dimensi – Business, Process, Technology, Data, People.	5 level (Level 1 – Level 5) integrasi masing-dimensi.
6.	Organizational BIM Assessment Profile (OBAP) (Wu et al., 2017)	Mengukur kesiapan BIM pada tingkat organisasi (bukan hanya proyek).	6 kategori – Leadership, Process Management, Technology Infrastructure, Data Standards, Training & Skills, Collaboration.	5 level (Ad Hoc, Emerging, Defined, Integrated, Optimized).
7.	VDC Scorecard (Wu et al., 2017)	Menyediakan metrik kuantitatif berbasis Virtual Design and Construction untuk menilai nilai tambah BIM.	7 metrik utama – Cost Savings, Time Savings, Rework Reduction, Collaboration Index, Data Quality, Process Automation, Innovation.	5-level persentil
8.	Owner's BIM CAT (Wu et al., 2017)	Alat penilaian yang dikembangkan khusus untuk pemilik proyek (owner) untuk mengevaluasi kesiapan kontraktor dalam mengadopsi BIM	5 domain – Contractual Commitment, Information Management, Process Integration, Technology Adoption, Performance Monitoring.	5 level (1 – 5)
9.	BIM Cloud Score (BIMCS) (Wu et al., 2017)	Menilai kematangan BIM dari perspektif penggunaan layanan cloud-based (BIM 360, Trimble Connect, dll).	4 dimensi – Data Accessibility, Collaboration, Automation, Analytics.	5 level (1 – 5)
10.	Two-Dimensional BIM Application Maturity (BATM) (Sun et al., 2022)	Menilai BIM secara dua dimensi: Capability (kemampuan teknis) dan Integration (tingkat integrasi lintas disiplin).	Modeling, Documentation, Analysis, Simulation, Coordination, Construction, Inter-disciplinary Collaboration, Data Exchange Stand., Process Alignment, Stakeholder Eng., Performance Feedback.	5 × 5 matrix (Level 1-5 pada masing-masing dimensi).
11.	Design-Principle Based Framework (Ferraz et al., 2020)	Evaluasi model BIM berdasar prinsip desain (deskriptif, preskriptif, komparatif)	fokus readiness, deskriptif, benchmarking, deskriptif, operational, strategic, administrative, VDC Scorecard, BIM Capability Assessment.	memakai Likert 1-5, sebagian kualitatif.
12.	SEM-Based Maturity (Pokojski et al., 2020)	Menguji hubungan kausal antara process management, technology management, dan overall BIM maturity	Faktor-faktor proses & teknologi	Nilai maturity (0-1) melalui SEM

3) Kemampuan BIM

BIM menawarkan pendekatan berbasis data yang terintegrasi, memudahkan kolaborasi antara semua pemangku kepentingan, dan memberikan manfaat signifikan pada setiap tahap siklus hidup proyek konstruksi. Manfaat ini tidak hanya terbatas pada desain dan konstruksi, tetapi juga pada pengoperasian dan pemeliharaan bangunan setelah penyelesaian proyek.

- **Peningkatan Kolaborasi dan Komunikasi**

BIM menyediakan platform terpadu yang memungkinkan semua pemangku kepentingan, mulai dari arsitek, insinyur, kontraktor, hingga pemilik proyek, untuk bekerja dalam satu model data yang terintegrasi. Dalam model BIM, setiap perubahan yang dilakukan pada elemen desain segera diperbarui secara otomatis dan dapat diakses oleh semua pihak. Menurut (C. Eastman et al., 2011), BIM membantu "membuat perubahan desain secara terkoordinasi di seluruh disiplin, yang meningkatkan komunikasi antar tim dan mengurangi kesalahan akibat kurangnya integrasi."

- **Peningkatan Akurasi Desain dan Pengurangan Kesalahan**

Dengan BIM, proyek konstruksi dapat dimodelkan dalam bentuk 3D yang sangat mendetail, mencakup setiap elemen bangunan mulai dari struktur utama hingga elemen mekanik, elektrik, dan plumbing (MEP). Visualisasi yang jelas memungkinkan deteksi dini terhadap potensi kesalahan atau konflik antar elemen desain, yang mengurangi kebutuhan akan perubahan di lapangan selama konstruksi. Menurut (Azhar, 2011), "BIM secara signifikan mengurangi jumlah perubahan pesanan (change orders) yang diperlukan selama konstruksi, karena banyak konflik yang dapat diidentifikasi dan diselesaikan selama fase desain."

- **Pengelolaan Waktu dan Biaya yang Lebih Efisien**

BIM memungkinkan perencanaan waktu dan biaya yang lebih efektif melalui integrasi 4D (waktu) dan 5D (biaya) ke dalam model 3D. Dalam 4D BIM, jadwal konstruksi diintegrasikan dengan model digital, memungkinkan tim proyek untuk mensimulasikan urutan pekerjaan dan mengidentifikasi potensi konflik sebelum pekerjaan dimulai. Sementara itu, 5D BIM memungkinkan estimasi biaya yang lebih akurat berdasarkan perubahan desain. Menurut (Bryde et al., 2013), "BIM memungkinkan perkiraan biaya yang lebih akurat dan lebih responsif terhadap perubahan desain, yang pada akhirnya menghasilkan pengendalian biaya yang lebih baik selama proyek konstruksi."

- **Peningkatan Kualitas dan Keberlanjutan Proyek**

Dengan model yang lebih akurat dan terperinci, BIM membantu memastikan bahwa proyek konstruksi memenuhi standar kualitas yang lebih tinggi. Seluruh elemen bangunan dapat dianalisis secara mendalam, mulai dari struktur hingga material yang digunakan, sehingga memastikan kualitas bangunan yang lebih baik. Selain itu, BIM juga memungkinkan simulasi kinerja energi bangunan, yang sangat penting dalam perencanaan bangunan yang berkelanjutan. Menurut (Sacks et al., 2010), "BIM berfungsi sebagai alat untuk meningkatkan keberlanjutan bangunan dengan memungkinkan analisis energi, pemilihan material yang ramah lingkungan, dan optimalisasi desain untuk mengurangi dampak lingkungan bangunan. Dengan integrasi 6D BIM, data terkait operasi dan

pemeliharaan bangunan juga tersedia untuk mempermudah pengelolaan bangunan secara berkelanjutan setelah konstruksi selesai.”

- **Pengurangan Risiko dan Peningkatan Keamanan**

BIM membantu mengidentifikasi risiko sejak awal dalam siklus hidup proyek, khususnya terkait dengan konflik desain dan kesalahan yang mungkin tidak terlihat dalam pendekatan konvensional. Visualisasikan model bangunan secara 3D dan mensimulasikan skenario konstruksi, potensi bahaya di lapangan dapat diidentifikasi sebelum pekerjaan dimulai. Menurut (Kassem et al., 2015), “BIM memberikan kontribusi signifikan terhadap keselamatan kerja di lokasi konstruksi karena memungkinkan simulasi risiko dan manajemen keselamatan yang lebih baik.”

- **Pengelolaan Aset dan Pemeliharaan Bangunan yang Lebih Baik**

Setelah proyek konstruksi selesai, BIM masih berfungsi sebagai alat yang sangat berguna untuk pengelolaan aset dan pemeliharaan bangunan. Dengan 6D BIM, data terkait material, umur pakai, dan panduan perawatan disimpan dalam model digital yang dapat diakses oleh manajer fasilitas. Menurut (Volk et al., 2014), “BIM menyediakan basis data yang lengkap untuk pengelolaan aset bangunan, yang memungkinkan pemantauan dan perawatan yang lebih efisien selama siklus hidup bangunan.” Semua informasi terkait pemeliharaan dan operasi bangunan dapat diakses dengan mudah dalam pengelolaan fasilitas.

- **Transparansi dan Akuntabilitas**

BIM memberikan manfaat penting dalam hal transparansi dan akuntabilitas dalam proyek konstruksi. Karena semua data terkait proyek tersedia secara digital dan dapat diakses oleh semua pemangku kepentingan, BIM memungkinkan pemantauan proyek yang lebih baik dan meningkatkan akuntabilitas semua pihak yang terlibat. Menurut (Hardin & McCool, 2015), “BIM meningkatkan transparansi proyek dengan menyediakan jejak digital dari setiap keputusan desain dan konstruksi yang dibuat, sehingga meningkatkan akuntabilitas.”

BIM memberikan banyak manfaat bagi proyek konstruksi, baik dari segi peningkatan kolaborasi, pengurangan risiko, pengelolaan waktu dan biaya yang lebih baik, hingga pemeliharaan bangunan setelah proyek selesai. Melalui visualisasi yang lebih baik, integrasi data lintas disiplin, dan kemampuan untuk mensimulasikan skenario yang kompleks, BIM membantu meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam setiap tahap siklus hidup proyek.

2.2. Pemantauan dan Evaluasi Penerapan BIM (PUPR, 2022)

Pelaksanaan pemantauan dan evaluasi menggunakan Indikator Kinerja Kunci (IKK) yang terdiri dari 10 indikator kinerja yang telah disepakati dan divalidasi oleh para akademisi dan para pakar BIM serta unit organisasi terkait sehingga diharapkan IKK telah di validasi dapat diharapkan secara sistematis dan terukur dalam pelaksanaan pemantauan dan evaluasi penerapan BIM bidang PUPR.

Indikator kinerja Kunci (IKK) Penerapan BIM yang digunakan disusun dan divalidasi oleh pakar dari akademisi dan praktisi yang mengacu pada standar protokol penerapan BIM di Kementerian PUPR dan ISO 19650 Series.

Instrumen disusun dengan sistematis berdasarkan kriteria yang sesuai untuk mengukur kinerja penerapan BIM. Kriteria instrumen yang harus dipenuhi adalah kriteria S.M.A.R.T atau singkatan dari *specific, measureable, achievable, Relevant, and Time-bound*. Artinya instrumen yang disusun spesifik pada suatu target, dapat diukur, dapat diimplementasikan, relevan, dan terbatas pada suatu jangka waktu. Instrumen terdiri dari 10 IKK yang disusun, sebagai bukti pemenuhan IKK tersebut perlu dilampirkan bukti pendukung.

Tabel 2. Indikator dan Pertanyaan Indikator Kinerja Kunci Penerapan BIM (PUPR, 2022)

IKK	Pertanyaan IKK
(1)	(2)
IKK I: Kebutuhan Informasi Pengguna Jasa	a. Apakah penjelasan Kebutuhan informasi organisasi (OIR) Pengguna jasa ada didalam KAK?
	b. Apakah penjelasan kebutuhan informasi aset/ aset information requirement (AIR) pengguna jasa ada di dalam KAK?
	c. Apakah penjelasan kebutuhan informasi proyek/Project Information Requirement (PIR) ada didalam KAK?
IKK II: Spesifikasi Teknis BIM dalam Dokumen Tender/KAK	a. Apakah output dan outcome dari penerapan BIM dijabarkan dengan jelas pada dokumen tender?
	b. Apakah persyaratan teknis minimum terkait metode penerapan BIM ditentukan dengan jelas dalam dokumen tender?
	c. Apakah Kebutuhan minimum akan SDM, hardware, & software untuk penerapan BIM ditentukan dalam dokumen tender?
IKK III: Ketersediaan Dokumen Rencana Penerapan BIM/BEP	a. Apakah tersedia dokumen rencana penerapan BIM (BEP) yang dibuat oleh penyedia jasa?
	b. Apakah rencana teknis penerapan BIM oleh penyedia jasa dijabarkan dengan jelas dalam dokumen BEP penyedia jasa?
	c. Apakah terdapat bagan matrik peran dan tanggung jawab / responsibility matrix pada dokumen BEP?
	d. Apakah kebutuhan pertukaran informasi / exchange information requirement (EIR) antar disiplin ilmu yang berbeda dijelaskan dalam dokumen BEP?
IKK IV: Output BIM (Model BIM)	a. Apakah dimensi output model BIM yang ada sudah memenuhi kebutuhan minimum sesuai yang disyaratkan?
	b. Apakah tingkat kedetailan informasi model BIM (Level of Detail dan Level of Development) sudah memenuhi kebutuhan minimum sesuai yang disyaratkan?
IKK V: Metode Persetujuan (Approval) Model Informasi	a. Apakah proses persetujuan dokumen sudah dilakukan sepenuhnya secara digital?
	b. Apakah terdapat ketentuan batasan waktu (deadline) dalam pemberian persetujuan dokumen baik secara digital atau konvensional?
	c. Apakah terdapat prosedur pemeriksaan kelengkapan dan kesesuaian dokumen/file sebelum diajukan untuk persetujuan?
IKK VI: Handover Model Informasi Antar stakeholder	a. apakah platform kolaborasi bersama/Common data Environment (CDE) digunakan dalam penerapan BIM?
	b. Apakah tersedia prosedur baku (SOP) yang dibuat penyedia jasa untuk serah terima model BIM antar disiplin ilmu yang berbeda?
	c. Apakah tersedia prosedur baku (SOP) yang dibuat penyedia jasa untuk serah terima model informasi di akhir proyek dari penyedia kepada pengguna jasa?
	d. Apakah seluruh model informasi BIM diserahkan kepada pengguna jasa setelah proyek selesai?
IKK VII: Ketersediaan Standar Pedoman terkait BIM	a. Apakah ada standar dan pedoman tertentu/khusus tentang BIM yang digunakan sebagai acuan yang dibuat oleh penyedia jasa?
	b. Apakah ada pedoman internal pada penyedia jasa untuk manajemen aset, manajemen resiko, pengawasan dan pengendalian, reward/punishment?

(1)	(2)
IKK VIII: Ketersediaan Hardware dan Software Pendukung BIM	a. Apakah Infrastruktur jaringan dan hardware untuk BIM (internet, komputer, dsb) tersedia dengan memadai?
	b. Apakah lisensi authoring software BIM yang digunakan pada paket pekerjaan dimiliki oleh pengguna jasa?
	c. Apakah lisensi authoring software BIM yang digunakan pada paket pekerjaan dimiliki oleh penyedia jasa?
	d. Apakah lisensi authoring software BIM yang digunakan pada paket pekerjaan dimiliki oleh penyedia jasa?
	e. Apakah lisensi platform kolaborasi / common data environment (CDE) BIM dimiliki oleh penyedia jasa?
IKK IX: Kompetensi SDM BIM	a. Apakah jumlah tenaga ahli BIM yang dimiliki penyedia jasa sudah memenuhi kebutuhan minimum sesuai disyaratkan dalam KAK?
	b. Apakah semua tenaga ahli BIM sudah memiliki sertifikat kompetensi?
	c. Apakah jumlah tenaga terampil BIM yang dimiliki perusahaan sudah memenuhi kebutuhan minimum sesuai disyaratkan dalam KAK?
	d. Apakah semua tenaga terampil BIM sudah memiliki sertifikat kompetensi?
	e. Apakah tersedia program/rencana peningkatan kompetensi SDM BIM secara rutin dan terjadwal dari penyedia jasa?
IKK X: Dukungan Management	a. Apakah manajemen pada penyedia jasa memberikan dukungan tertulis terhadap program penerapan BIM?
	b. Apakah terdapat bagian/divisi khusus dalam struktur organisasi penyedia jasa yang berfokus dalam penanganan BIM?
	c. Apakah manajemen pada penyedia jasa memberikan jaminan keuangan (anggaran) untuk keberlanjutan program penerapan BIM?

1) Kebutuhan Informasi Pengguna Jasa

Kebutuhan informasi pengguna jasa merupakan dasar untuk menentukan jenis dan cakupan data yang harus dikumpulkan dan disajikan dalam model BIM. Ini meliputi spesifikasi kebutuhan klien, kontraktor, manajemen proyek, dan stakeholder lain agar model BIM bisa menjadi sumber informasi yang tepat guna. Pemahaman yang akurat terhadap kebutuhan informasi pengguna mendorong pengembangan model BIM yang relevan dan fungsional, meningkatkan efisiensi komunikasi dan pengambilan keputusan selama proyek berlangsung. (Coates et al., 2010) menunjukkan bahwa klarifikasi kebutuhan informasi sejak awal berdampak signifikan pada akurasi model dan kelancaran workflow proyek.

2) Spesifikasi Teknis BIM dalam Dokumen Tender/Kerangka Acuan Kerja (KAK)

Spesifikasi teknis BIM dalam tender dan KAK mendetailkan standar, persyaratan teknis, dan metodologi penggunaan BIM yang wajib dipenuhi oleh kontraktor dan pihak terkait. Dokumen ini menetapkan kerangka kerja yang menjamin keseragaman, kualitas, dan keterbukaan informasi antar pihak, sehingga meminimalkan risiko miskomunikasi dan perubahan selama pembangunan. (Alnajjar et al., 2025) mengemukakan bahwa integrasi spesifikasi teknis BIM ke dokumen tender meningkatkan konsistensi pelaksanaan dan mendorong akurasi output BIM.

3) Ketersediaan Dokumen Rencana Penerapan BIM/BIM Execution Plan (BEP)

BEP adalah dokumen perencanaan komprehensif yang mengatur bagaimana BIM digunakan sepanjang siklus proyek, mulai dari desain, konstruksi, hingga operasi dan pemeliharaan. BEP menjadi acuan utama koordinasi aktivitas BIM, pengelolaan data, dan distribusi tanggung jawab antar stakeholder, berperan penting dalam menjaga keteraturan dan keberlangsungan proyek. (Saksena, 2024) melaporkan bahwa ketersediaan dan implementasi BEP secara efektif

meningkatkan integrasi data dan kerja sama tim pada proyek infrastruktur Indonesia.

4) Output BIM (Model BIM)

Output BIM adalah model digital yang memuat informasi geometris dan non-geometris yang lengkap dan akurat sesuai kebutuhan proyek. Model yang berkualitas tinggi memungkinkan visualisasi realistis, simulasi, dan analisis yang mendorong pengambilan keputusan yang tepat dan mengurangi risiko kesalahan di lapangan. (Gustian et al., 2022) menemukan bahwa kualitas output BIM sangat mempengaruhi efektivitas komunikasi teknis dan koordinasi antar tim proyek.

5) Metode Persetujuan (Approval) Model Informasi

Metode persetujuan mengatur proses review, validasi, dan persetujuan model BIM oleh semua stakeholder terkait untuk memastikan akurasi dan konsistensi data. Proses persetujuan yang sistematis mempercepat deteksi dan koreksi kesalahan sehingga menghindari kesalahan teknis dan mencegah pemborosan biaya.

6) Handover Model Informasi antar Stakeholder

Handover adalah proses serah terima model BIM antar pihak selama tahapan proyek, memastikan semua pihak menerima informasi terkini dan lengkap. Proses handover yang tepat mengurangi konflik data, memperlancar koordinasi antar fase pekerjaan, dan memperkuat continuity project delivery. (Saksena, 2024) menjelaskan bahwa mekanisme handover yang jelas menghindari kehilangan informasi penting antar tim proyek.

7) Ketersediaan Standar dan Pedoman terkait BIM

Standar dan pedoman menyediakan referensi teknis dan regulasi yang membimbing implementasi BIM secara profesional dan konsisten. Ketersediaan standar resmi seperti ISO 19650 memberikan fondasi legal dan teknis yang memperkuat akuntabilitas serta kualitas proyek. Standar ISO 19650 dan pedoman lokal sangat memengaruhi kualitas output BIM dan compliance oleh kontraktor.

8) Ketersediaan Hardware dan Software Pendukung BIM

Perangkat keras dan lunak yang memadai sangat penting untuk menjalankan teknologi BIM dengan optimal. Ketersediaan teknologi yang sesuai mempercepat proses modelling dan kolaborasi real time, meningkatkan produktivitas tim. (Coates et al., 2010) menyatakan bahwa kecukupan teknologi adalah faktor kunci dalam keberhasilan adopsi BIM.

9) Kompetensi SDM BIM

Kompetensi SDM mengacu pada kemampuan teknis, pengalaman, dan pengetahuan operator BIM dalam mengelola dan menggunakan teknologi BIM. Sumber daya manusia berkualitas tinggi dapat mengoptimalkan penggunaan BIM, mengurangi kesalahan, dan meningkatkan inovasi selama proyek. (Alnajjar et al., 2025) menunjukkan pelatihan dan sertifikasi menjadi faktor utama peningkatan kompetensi SDM BIM.

10) Dukungan Manajemen

Dukungan manajemen menyangkut kebijakan, sumber daya, dan leadership yang mendorong adopsi BIM secara efektif. Manajemen yang proaktif mengalokasikan anggaran, mengatur sumber daya, dan memberikan arahan

strategis sehingga implementasi BIM berjalan lancar dan berkelanjutan. Penelitian oleh (Saksena, 2024) membuktikan bahwa dukungan manajemen adalah faktor kritis dalam kesuksesan implementasi BIM pada proyek besar.

Tabel 3. Kesesuaian IKK dengan Model Kematangan BIM lainnya.

No.	Indikator Kinerja Kunci	NBIMS CMM	Multi-functional BIM MM	BIM Proficiency - Matrix	BIM QuickScan	BIM-AMM
1	Kebutuhan Informasi Pengguna Jasa	Kebutuhan informasi	Process - Information	Manajemen data	Data & information	Information Management
2	Spesifikasi Teknis BIM dalam Dokumen Tender/KAK	Standar data	Process	Standar kerja	Standar	Process Integration
3	Ketersediaan Dokumen Rencana Penerapan BIM/BEP	BIM Execution Plan	Process	BEP	BEP	Process Integration
4	Output BIM (Model BIM)	Model 3-D/4-D	Technology - Model	Deliverable BIM	Model quality	Technology Adoption
5	Metode Persetujuan (Approval) Model Informasi	Pengendalian mutu	Process	Review & Approval	Approval	Process Integration
6	Handover Model Informasi Antar stakeholder	Kolaborasi	Process	Handover	Handover	Information Management
7	Ketersediaan Standar Pedoman terkait BIM	Standar	Process	Standar kerja	Standar	Process Integration
8	Ketersediaan Hardware & Software Pendukung BIM	Infrastruktur TI	Technology	Infrastruktur TI	Teknologi	Technology Adoption
9	Kompetensi SDM BIM	Human	Human	Kompetensi SDM	Human	Human
10	Dukungan Management	Organisasi	Organization	Kebijakan BIM	Strategi	Process

Implementasi BIM yang sukses diawali dengan memahami kebutuhan informasi pengguna, dilanjutkan dengan mendefinisikan spesifikasi teknis di dokumen resmi proyek. Kemudian, perencanaan melalui BEP digunakan sebagai panduan pelaksanaan. Seluruh output BIM harus melalui metode persetujuan ketat agar tersaring data akurat dan valid. Handover model antar stakeholder menjadi kunci kesinambungan proses. Standar dan pedoman memastikan keseragaman, diikuti oleh penyediaan hardware dan software yang sesuai. Kompetensi SDM BIM menjadi penggerak kualitas operasional, sementara dukungan manajemen memastikan keberlanjutan dan keseriusan implementasi.

2.3. Penerapan BIM Berdasarkan (PU, 2024)



Gambar 3. Dimensi BIM
Sumber: (PU, 2024)

Implementasi BIM berlaku di seluruh Unit Organisasi yang terlibat langsung dengan paket pekerjaan pembangunan infrastruktur yang dikelola oleh Kementerian Pekerjaan Umum untuk seluruh siklus proses konstruksi yang mencakup;

- 1) Pra Lelang Perencanaan dan Pelaksanaan Konstruksi
- 2) Pelaksanaan Digital survey,
- 3) Perencanaan Teknis, termasuk didalamnya tahap Perancangan/Desain,
- 4) Tahap Land Acquisition
- 5) Pelaksanaan Konstruksi,
- 6) Manajemen Aset,
- 7) Operasional dan Manajemen Fasilitas. (PU, 2024)

Implementasi BIM harus didasari prinsip-prinsip sebagai berikut:

- 1) Informatif: Informasi yang dibangun harus terstruktur, sistematis dan dapat disajikan secara cepat, akurat, dan menjawab kebutuhan informasi
- 2) Kolaboratif: Penerapan teknologi BIM mewujudkan peningkatan proses kerja sama antara pengguna jasa dan penyedia jasa sehingga pekerjaan dapat dilakukan secara lebih efektif dan efisien.
- 3) Koordinasi: Implementasi BIM harus dapat meningkatkan pola komunikasi antara pengguna jasa dan penyedia jasa dalam pertukaran informasi pada CDE.
- 4) Integrasi Data: Implementasi BIM harus dapat menghasilkan data yang akurat, mutakhir, terpadu, dan dapat dipertanggungjawabkan, serta mudah digunakan untuk proses lainnya.
- 5) Menyeluruh: Penerapan BIM secara luas dan lengkap untuk seluruh tahapan pekerjaan konstruksi, mulai dari tahap perencanaan (survei, investigasi, desain/SID), tahap pengadaan lahan (land acquisition/LA), tahap pelaksanaan (construction), tahap operasi dan pemeliharaan bangunan (operation and maintenance) (SIDLACOM), termasuk proses pengadaan (procurement) di dalamnya, serta dapat digunakan pada tahap pembongkaran dan pembangunan kembali, dengan tingkat kedetailan (level of development/LOD) dan kedalaman informasi (level of information/LOI) pada setiap tahapan disesuaikan dengan jenis proyek pekerjaan.
- 6) Interoperabilitas: Teknologi yang digunakan dalam kolaborasi menggunakan aplikasi dan format file keluaran yang umum yang dapat diproses dengan aplikasi lain tanpa batasan software atau aplikasi tertentu, namun harus tetap mendukung pembentukan informasi yang dibutuhkan oleh Unit Organisasi PU.
- 7) Transparan dan Otentik: Informasi yang tersimpan di dalam platform kolaborasi (CDE) harus dapat diverifikasi dan divalidasi serta dapat diperiksa (audit).
- 8) Keberlanjutan: Informasi yang dihasilkan dari setiap tahap saling terhubung dan digunakan secara berkelanjutan sejak tahap perencanaan (survei, investigasi, desain/SID), tahap pelaksanaan (construction), tahap operasi dan pemeliharaan bangunan (operation and maintenance) (SIDLACOM), beserta proses pengadaan (procurement) di dalamnya.
- 9) Kemudahan Pemakaian (User Friendly): Pedoman, standar, dan sistem yang digunakan dalam implementasi BIM, CDE dan teknologi pendukung lainnya harus mudah digunakan dan mudah dipahami.

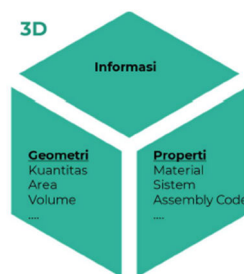
- 10) Andal (Reliable): Penerapan BIM dilakukan dengan ketentuan yang seragam dalam setiap proyek pekerjaan agar hasil penerapan BIM dapat dijamin tercapainya standar minimum kualitas yang seragam. (PU, 2024)

Cakupan implementasi BIM pada tahap perencanaan dan pelaksanaan konstruksi dipersiapkan untuk ke tahap operasional yang terdiri dari:

- 1) Implementasi BIM dengan tingkat kedetailan (LOD) dan tingkat kedalaman informasi (LOI) sesuai fase konstruksi
- 2) Penggunaan Dimensi BIM sebagai alat monitoring dan evaluasi pelaksanaan
- 3) Visualisasi dan Rendering agar pengguna dapat merasakan/experience model visual bangunan sebelum pelaksanaan konstruksi dan /atau sebelum aset terbangun secara fisik
- 4) Informasi yang akan di delivery selama pelaksanaan proyek dan pasca pelaksanaan.
- 5) Federation Strategy (Skema pembagian model) BIM
- 6) Responsibility Matrix (Skema Tanggung Jawab)
- 7) Digital Plan of Works (Rencana Implementasi BIM sesuai tahapan)
- 8) Milestone Implementasi BIM
- 9) Task Information Delivery Plan (TIDP) dan Master Information Delivery Plan (MIDP)
- 10) Target Kualitas BIM model (geometri dan informasi)
- 11) Protokol Keamanan dan Keabsahan Informasi BIM Model. (PU, 2024)

BIM pada dasarnya adalah representasi digital dari karakteristik fisik dan fungsional dari suatu bangunan atau infrastruktur. Model ini bukan hanya berupa visualisasi 3D, tetapi juga mengandung informasi lengkap terkait elemen-elemen bangunan, mulai dari ukuran, material, hingga waktu konstruksi dan biaya. BIM adalah proses yang mencakup berbagai tahapan dalam siklus hidup proyek, dari desain awal hingga perawatan setelah proyek selesai. Ini memungkinkan model bangunan untuk terus diperbarui seiring berjalannya proyek, sehingga semua pihak memiliki akses ke data yang terkini dan dapat membuat keputusan yang lebih tepat. Beberapa konsep penting dalam BIM adalah:

- 3D BIM: Dimensi ketiga merepresentasikan geometri objek dengan koordinat x,y,z, geospasial, dan memiliki informasi grafis seperti kuantitas, area, dan/atau volume serta informasi non grafis sesuai ketentuan yang tertuang pada EIR dan BEP.



Gambar 4. Detail Informasi Dimensi BIM 3D
Sumber: (PU, 2024)

- 4D BIM: Dimensi keempat merepresentasikan 3D model yang dilengkapi informasi jadwal pelaksanaan konstruksi (yang bersumber dari Master Schedule yang dibuat dari Project Scheduling tools) yang terintegrasi dan menghasilkan simulasi tahapan dan alur konstruksi.



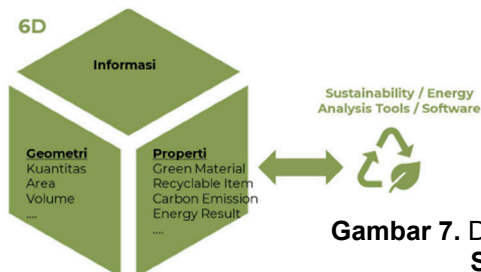
Gambar 5. Detail Informasi Dimensi BIM 4D
Sumber: (PU, 2024)

- 5D BIM: Dimensi kelima merepresentasikan 3D model yang dilengkapi dengan informasi biaya pada setiap objek. Detail informasi biaya dapat disusun menyesuaikan kebutuhan proyek. Atribut Biaya Terpasang harus dipastikan tersedia didalam model agar dapat dimanfaatkan pada tahapan O&M. pada Asset Information Model sebagai informasi biaya atas barang/ equipment terpasang.



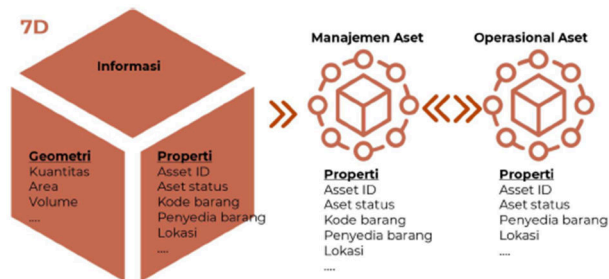
Gambar 6. Detail Informasi Dimensi BIM 5D
Sumber: (PU, 2024)

- 6D BIM: Dimensi keenam merepresentasikan 3D model yang dilengkapi dengan informasi dari hasil analisa-analisa energi dan/atau sustainability atau proses penggunaan 3D model yang sudah dibangun untuk analisa-analisa energi dan/atau sustainability pada tools/platform analisa lainnya.



Gambar 7. Detail Informasi Dimensi BIM 6D
Sumber: (PU, 2024)

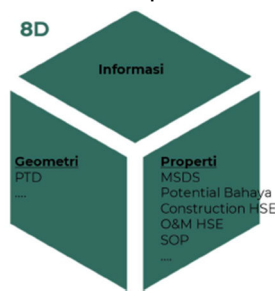
- 7D BIM: Dimensi ketujuh merepresentasikan pemanfaatan 3D model berbasis AIM (Asset Information Model) melalui ekstraksi informasi non grafis, alfanumerik, dan tautan untuk pencatatan aset, sebagai penyusunan master data asset yang selanjutnya data dan informasi tersebut diteruskan untuk fase operasional dan maintenance dengan menggunakan CMMS (Computerized Maintenance Manajemen System) atau manajemen aset dan/atau sistem operasional bangunan lainnya. Dimensi ke Tujuh menjadi ranah pengelola aset dan bangunan. Dalam pemanfaatannya, data tidak selalu harus diekstraksi dari model/objek BIM. Pemberi Tugas juga dapat mempersyaratkan metode lainnya untuk mendapatkan daftar alat/ mesin dari aset yang terbangun.



Gambar 8. Detail Informasi Dimensi BIM 7D

Sumber: (PU, 2024)

- 8D BIM: Dimensi kedelapan merepresentasikan 3D model yang digunakan untuk evaluasi keselamatan. Implementasi 8D memiliki cakupan yang luas dari fase desain, fase konstruksi, dan operasional. (PU, 2024) .



Gambar 9. Detail Informasi Dimensi BIM 8D

Sumber: (PU, 2024)