

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam implementasi konstruksi, pendekatan tradisional sering kali dianggap kurang optimal. Salah satu isu umum yang sering muncul adalah proses pengiriman informasi yang terpecah. Informasi yang terpecah dapat mengakibatkan berbagai permasalahan, terutama dalam hal efisiensi dan koordinasi, seperti salah paham antar tim dan kesulitan dalam mendeteksi masalah sejak awal (Sabil, 2023). Sebagai solusi untuk mengatasi ketidakefektifan pendekatan tradisional adalah penerapan aplikasi *Building Information Modeling* (BIM) dalam perencanaan proyek.

Dalam merencanakan sebuah bangunan, perlu melibatkan teknologi seperti sistem BIM. BIM adalah sebuah konsep atau sistem digital yang menggunakan perangkat lunak untuk membuat pemodelan 3D yang berisi informasi pemodelan yang terintegrasi untuk koordinasi, simulasi, dan visualisasi di antara para pihak yang berkepentingan (Kurniadi et al, 2015). BIM merupakan salah satu jenis teknologi yang dapat membantu dalam perencanaan proyek. BIM dapat secara drastis meningkatkan kualitas dan efisiensi perencanaan, tidak hanya untuk elemen bangunan yang diproduksi dengan cara tradisional, tetapi juga untuk elemen bangunan yang dibuat melalui metode aditif (Paolini et al, 2019). Dalam BIM, setiap model berfungsi sebagai basis data yang mencakup semua informasi yang diperlukan untuk perencanaan konstruksi, termasuk tampak, denah, detail, jadwal pelaksanaan, dan berbagai informasi lain (Henry et al., 2020).

Jalan tol adalah salah satu fokus pembangunan Pemerintah saat ini. Jalan tol di Indonesia bermula pada tahun 1978 dengan mulai beroperasinya jalan tol Jagorawi yang membentang sejauh 59 km (termasuk jalur akses), menghubungkan Jakarta, Bogor, dan Ciawi (BPJT, 2024). Pembangunan infrastruktur jalan tol di Indonesia, seperti proyek Jalan Tol Serang–Panimbang Seksi 3, yang dilaksanakan oleh perusahaan kontraktor BUMN, PT. Adhi Karya (Persero) Tbk. Porsi pekerjaan dalam proyek jalan tol Serang-Panimbang seksi 3 mencakup area dari STA 74+275 hingga STA 77+387 (3,112). Proyek ini merupakan bagian dari upaya pemerintah untuk meningkatkan konektivitas dan mendukung pertumbuhan ekonomi di Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Pariwisata Tanjung Lesung. Sebuah konstruksi

yang dibuat dalam proyek ini adalah jembatan *Pile Slab* yang dibangun di atas lahan dengan kemampuan dukung yang sangat minim di STA 76+067.50 hingga STA 76+397.50. Struktur ini memiliki bentang panjang dan menerapkan metode perbaikan tanah yang kompleks. Dengan demikian, teknologi BIM sangat diperlukan untuk meminimalkan kesalahan yang mungkin terjadi. Jembatan *Pile Slab* dapat disesuaikan dengan berbagai kondisi geoteknik dan kebutuhan desain, sehingga memungkinkan bentang yang lebih panjang dengan efisiensi struktural yang lebih baik.

Implementasi BIM 5D pada jembatan *Pile Slab* di ruas Jalan Tol Serang-Panimbang Seksi 3 tidak hanya berfokus pada aspek teknis konstruksi, tetapi juga memberikan keuntungan signifikan dalam meningkatkan efisiensi dan mengurangi kesalahan dalam perencanaan teknis jalan dan jembatan. Dengan bantuan BIM, proses perencanaan dan pengawasan teknis menjadi lebih efisien serta membantu dalam mengidentifikasi dan mengurangi risiko yang mungkin timbul selama proses konstruksi.

1.2 Tujuan

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat diketahui tujuan penelitian sebagai berikut.

- a. Membuat pemodelan 3D Jembatan *Pile Slab* dengan menggunakan *Autodesk Revit* (BIM 3D).
- b. Menyusun item pekerjaan dan urutan pelaksanaan pada pekerjaan Jembatan *Pile Slab* (BIM 4D).
- c. Mendapatkan hasil perhitungan volume dan menyusun Rencana Anggaran Biaya (RAB) pekerjaan Jembatan *Pile Slab* dengan menggunakan *Autodesk Revit* dan *Microsoft Excel* (BIM 5D).
- d. Membuat penjadwalan pada pekerjaan Jembatan *Pile Slab* dengan menggunakan *Microsoft Project* dan *Autodesk Navisworks* (BIM 4D Lanjutan).

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam Tugas Akhir implementasi Building Information Modeling (BIM) 5D pada pembangunan jembatan tipe *Pile Slab* di Ruas Jalan Tol Serang–Panimbang Seksi 3 adalah:

- a. Tugas Akhir ini hanya akan membahas implementasi BIM 5D pada Jembatan *Pile Slab* dengan bentang 330 meter pada STA (76+067.5-76+393,5) di ruas Cileles – Panimbang, tanpa membahas keseluruhan proyek jalan tol atau ruas lainnya.
- b. Harga Satuan Dasar (HSD) yang digunakan dalam menyusun RAB yaitu HSD Kabupaten Pandeglang tahun 2025.
- c. Acuan untuk membuat permodelan 3D adalah *Shop Drawing* Jembatan *Pile Slab* pada proyek pembangunan jalan Tol Serang – Panimbang Seksi 3.

1.4 Kerangka Pemikiran

Pile slab adalah jenis konstruksi fondasi yang terdiri dari dua elemen utama yaitu, *pile* (tiang pancang) dan *slab* (pelat beton). Dalam sistem ini, *pile* berfungsi sebagai elemen struktural yang menyalurkan beban dari struktur bangunan ke lapisan tanah keras di bawahnya. Sementara itu, *slab* merupakan pelat beton yang didukung oleh tiang-tiang pancang dan berperan dalam mendistribusikan beban secara merata ke seluruh sistem fondasi.

Implementasi BIM 5D Pada Jembatan *Pile Slab* di Ruas Jalan Tol Serang-Panimbang Seksi 3 sendiri diharapkan dapat membantu dalam upaya efisiensi waktu pekerjaan konstruksi, *Quality Control*, sehingga dapat menekan nilai pembengkakan anggaran biaya terhadap kerugian waktu maupun material yang telah dikeluarkan.

1.5 Kontribusi

Kontribusi dari Tugas Akhir Implementasi BIM 5D Pada Jembatan *Pile Slab* di Ruas Jalan Tol Serang-Panimbang Seksi 3 adalah:

- a. Politeknik Negeri Lampung, memberi materi pembelajaran mengenai perencanaan jembatan pada program studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan.
- b. Komunitas Teknik Sipil, memberi kontribusi keilmuan tentang penggunaan BIM 5D pada Jembatan *Pile Slab* Jalan Tol.
- c. Mahasiswa, memberi pembelajaran mengenai (BIM) 5D Jembatan *Pile Slab*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jembatan

Jembatan adalah suatu struktur konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terputus akibat adanya rintangan, seperti lembah, alur sungai, dan saluran irigasi (Bastian & Rulhendri, 2023). Pada umumnya, jembatan memberikan akses bagi jalur transportasi untuk melewati berbagai macam halangan yang berada di bawah, seperti jalan raya lainnya atau sumber air.

Jembatan memiliki tempat khusus dalam infrastruktur transportasi karena hubungan langsungnya dengan tempat lain. Struktur ini memiliki tujuan untuk meneruskan beban lalu lintas jalan raya, melewati rintangan apapun, dan melakukan komunikasi yang efektif antara dua tujuan. Karena ada banyak variable yang perlu dipertimbangkan dalam kinerja jembatan, seperti geometri, jarak bebas bentang, arus lalu lintas, dan material yang tersedia, ada banyak pilihan jembatan yang dapat dipilih (Gonzales et al, 2020). Jembatan dapat dikelompokkan menurut jenis material bangunan dan bentuk strukturnya.

2.1.1 Klasifikasi Jembatan

Klasifikasi jembatan dapat dilakukan berdasarkan berbagai kriteria, termasuk fungsi, material yang digunakan, bentuk struktur, dan waktu penggunaan. Berdasarkan tipe strukturnya, jembatan dibedakan sebagai berikut :

1. Jembatan plat (*slab bridge*)

Jembatan plat adalah struktur jembatan yang terdiri dari elemen horizontal (plat) yang ditopang oleh tiang vertikal. Pelat pada jembatan sendiri berfungsi untuk mendistribusikan beban-beban sepanjang bentang jembatan menuju abutment jembatan yang kemudian bebannya ditahan oleh pondasi. Suatu jembatan beton dengan struktur atas berupa *slab* atau pelat akan lebih efisien bila digunakan untuk bentang pendek (Timotius & Leo, 2019). Struktur ini sangat sederhana namun efektif dalam menahan gaya lentur dan geser yang dihasilkan oleh beban yang melintas di atasnya. Jembatan plat biasanya digunakan untuk bentang pendek hingga menengah. Jembatan plat berupa ruas

horizontal yang ditopang oleh tiang atau pilar vertikal. Hal ini memudahkan dalam proses konstruksi.



Gambar 1. Jembatan plat

Sumber : <https://images.app.goo.gl/8ZdByhwGVrN8833C7>

2. Jembatan gelagar (*girder bridge*)

Jembatan gelagar merupakan struktur jembatan yang terdiri dari satu atau lebih gelagar yang berfungsi sebagai penopang utama. Gelagar ini dapat berbentuk *I-beam*, *box girder*, atau bentuk lainnya dan biasanya terbuat dari baja atau beton. Jembatan gelagar dapat digunakan untuk bentang pendek hingga panjang, tergantung pada desain dan material yang digunakan (Gandaria, 2016). Dengan kemampuan menahan beban berat dan daya tahan terhadap kondisi cuaca ekstrem, jembatan ini menjadi pilihan utama dalam pembangunan jembatan modern yang memerlukan bentang panjang dan kekuatan struktural tinggi.



Gambar 2. Jembatan gelagar

Sumber: <https://images.app.goo.gl/ecBsiTeC62uM3kc8A>

3. Jembatan rangka (*truss bridge*)

Jembatan rangka (*truss bridge*) adalah jenis jembatan yang struktur penyangganya terdiri dari rangkaian elemen yang terhubung. Elemen-elemen ini biasanya terbuat dari baja atau kayu dan diatur dalam pola segitiga untuk memberikan stabilitas dan kekuatan, sehingga jembatan rangka sering digunakan untuk bentang yang lebih panjang dan dapat menahan beban berat (Atika, 2018).



Gambar 3. Jembatan rangka

Sumber : https://id.wikipedia.org/wiki/Jembatan_rangka_batang

4. Jembatan pelengkung (*arch bridge*)

Jembatan pelengkung (*arch bridge*) adalah jenis jembatan yang memiliki struktur berbentuk setengah lingkaran, di mana lengkungan ini berfungsi untuk mendistribusikan beban dari jembatan ke abutmen di kedua sisi. Desain ini memungkinkan jembatan pelengkung untuk menahan beban berat dengan efisiensi yang tinggi, menjadikannya pilihan populer untuk berbagai aplikasi infrastruktur (Budiono *et al*, 2016).



Gambar 4. Jembatan pelengkung

Sumber : <https://images.app.goo.gl/89z7BFEX6RhJjPry8>

5. Jembatan gantung (*suspension bridge*)

Jembatan gantung (*suspension bridge*) adalah jenis jembatan yang menggunakan kabel utama yang digantung di antara dua atau lebih menara untuk mendukung plat jembatan. Desain ini memungkinkan jembatan gantung untuk menjangkau bentang yang sangat panjang, menjadikannya pilihan ideal untuk lokasi di mana jembatan konvensional tidak praktis (Mangi, 2017).



Gambar 5. Jembatan gantung

Sumber : <https://images.app.goo.gl/WWV9YtvdFsJKZ2cK6>

6. Jembatan kabel (*cable stayed bridge*)

Jembatan kabel (*cable-stayed bridge*) adalah jenis jembatan yang menggunakan kabel-kabel berkekuatan tinggi untuk mendukung dek jembatan, yang terhubung ke menara (*pylon*). Desain ini memungkinkan jembatan kabel untuk menjangkau bentang panjang dengan efisiensi struktural yang tinggi. Pada umumnya jembatan *Cable Stayed* menggunakan gelagar baja, rangka beton, atau beton pratekan sebagai gelagar utama (Janizar *et al*, 2022).



Gambar 6. Jembatan kabel

Sumber : https://en.wikipedia.org/wiki/Cable-stayed_bridge

Jembatan adalah komponen infrastruktur penting dalam sistem transportasi yang memungkinkan pergerakan antar daerah dengan mengatasi berbagai rintangan

fisik. Dengan berbagai jenis dan desain, jembatan memainkan peran krusial dalam mendukung mobilitas dan konektivitas di masyarakat.

2.1.2 Tipe Jembatan *Pile Slab* Jalan Tol Serang-Panimbang Seksi 3

Pile Slab adalah jenis struktur yang digunakan dalam konstruksi jembatan atau bangunan di atas tanah lunak atau area yang memerlukan dukungan tambahan. Struktur ini terdiri dari beberapa elemen utama, termasuk pelat (*slab*), kepala tiang (*pile cap*), dan tiang pancang (*pile*) (Arifi, 2015).

Struktur *Pile Slab* adalah elemen kunci dalam mendukung beban lalu lintas. Penerapan metode yang tepat dalam perencanaan dan konstruksi sangat penting untuk memastikan kekuatan dan stabilitas (Rizal *et al*, 2024). Menggunakan BIM 5D untuk merencanakan struktur ini dapat mengoptimalkan proses, mulai dari pemilihan material hingga pengaturan jadwal dan biaya.

Perbedaan utama antara jembatan *Pile Slab* dan jenis jembatan lainnya terletak pada struktur pondasi efisiensi konstruksi, dan penggunaannya di kondisi tanah tertentu. Jembatan *Pile Slab* menggunakan tiang pancang (*pile*) sebagai pondasi utama yang langsung menopang pelat beton (*slab*), sementara jembatan lain seperti jembatan gelagar (*girder bridge*) atau jembatan rangka (*truss bridge*) biasanya menggunakan struktur pendukung tambahan seperti gelagar atau rangka baja untuk menahan beban dan memiliki kemudahan dalam pelaksanaan konstruksi. Jembatan *Pile Slab* juga memiliki penurunan vertikal yang kecil, sehingga lebih stabil dalam jangka panjang.

Jembatan *Pile Slab* ini merupakan jembatan yang berada di ruas jalan tol Serang – Panimbang yang terletak pada STA (76+067,5-76+393,5). Jembatan ini dibangun diatas permukaan tanah lunak atau tanah yang memerlukan dukungan tambahan. Pada pembangunan jembatan *Pile Slab*, sistem konstruksi yang digunakan dalam pembangunan *Pile Slab* di mana pelat beton (*slab*) ditempatkan langsung diatas tiang pancang (*pile*). Tiang pancang ini berfungsi sebagai pondasi yang mentransfer beban dari struktur pelat beton ke lapisan tanah yang lebih dalam dan lebih stabil.

Penggunaan Jembatan *Pile Slab* pada ruas Jalan Tol Serang – Panimbang Seksi 3 dipilih karena daya dukung tanah di lokasi tersebut cenderung rendah dan terdapat keterbatasan ruang akibat pembebasan lahan. Oleh karena itu, Jembatan

Pile Slab sangat dianjurkan, mengingat jenis struktur ini dirancang khusus untuk kondisi tanah dengan daya dukung yang rendah, sehingga dapat memberikan stabilitas dan keamanan yang diperlukan untuk insfrastruktur jalan tol. Gambar struktur Jembatan *Pile Slab* dapat dilihat pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Jembatan Pile Slab
Sumber : Dokumentasi pribadi

2.2 Building Information Modeling (BIM)

BIM adalah proses yang menggunakan perangkat lunak untuk menghasilkan dan mengelola data terkait sebuah bangunan sepanjang siklus hidupnya. BIM memungkinkan kolaborasi antara berbagai pemangku kepentingan, termasuk arsitek, insinyur, dan kontraktor, dengan menyediakan representasi digital yang komprehensif dari aspek fisik dan fungsional suatu proyek (Eastman *et al.*, 2011).

BIM tidak hanya menyimpan informasi tentang elemen-elemen bangunan, tetapi juga berfungsi sebagai platform kolaboratif yang digunakan oleh berbagai pemangku kepentingan dalam siklus hidup proyek, mulai dari perencanaan, desain, konstruksi, operasional, hingga demolisi. Di Indonesia, implementasi BIM telah didorong oleh Kementerian PUPR sejak tahun 2019 sebagai upaya meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam industri konstruksi.

2.2.1 Perangkat Lunak Pendukung

Perangkat lunak pendukung BIM 5D adalah alat yang digunakan dalam industri konstruksi untuk mengintegrasikan model tiga dimensi (3D) dengan informasi waktu (4D) dan biaya (5D). beberapa perangkat lunak yang populer dan sering digunakan dalam konteks BIM 5D antara lain *Autodesk Revit*, *Tekla Structures*, *Autodesk Navisworks*, dan *Cubicost*. Perangkat lunak pendukung dalam konteks BIM mencakup berbagai aplikasi yang membantu dalam perencanaan,

desain, dan pengelolaan proyek konstruksi dengan lebih efisien, serta meningkatkan akurasi estimasi biaya dan waktu. Berikut adalah beberapa perangkat lunak yang digunakan dalam pembuatan tugas akhir ini:

1. *Autodesk Revit*

Autodesk Revit adalah perangkat lunak desain berbasis BIM yang dirancang untuk membantu profesional di industri konstruksi, seperti arsitek, insinyur, dan kontraktor, dalam merancang, membangun, dan mengelola proyek bangunan dengan lebih efisien (Apriansyah, 2021). Berikut adalah beberapa fungsi utama *Autodesk Revit* dalam konstruksi:

- *Modeling Informasi Bangunan*

Revit memungkinkan pengguna untuk membuat model 3D bangunan yang cerdas yang menyimpan informasi terkait *Quantity Take Off* (volume pekerjaan), *Clash Detection* (pendeteksi masalah) dan spesifikasi yang digunakan di setiap elemen bangunan untuk mempermudah proses desain, konstruksi, dan pemeliharaan proyek.

- *Revit Dynamo*

Revit Dynamo adalah sebuah *visual programming* yang terintegrasi dengan *Autodesk Revit*, yang memungkinkan pengguna untuk membuat skrip untuk otomatisasi tugas-tugas desain dan konstruksi. Dengan Dynamo, pengguna dapat membuat bentuk atau konstruksi yang kompleks yang mungkin membutuhkan waktu yang lebih singkat. Dynamo cocok digunakan untuk para profesional seperti arsitek, desainer, dan insinyur yang bekerja dengan model 3D.

2. *Autodesk Civil 3D*

Autodesk Civil 3D adalah aplikasi berbasis model yang digunakan untuk merancang berbagai proyek infrastruktur seperti jalan, jembatan, saluran air, dan sistem drainase (Wibowo, 2024). Dengan kemampuan untuk membuat model 3D, Civil 3D membantu pengguna dalam visualisasi dan analisis proyek secara mendalam.

3. *Autodesk Navisworks*

Autodesk Navisworks adalah perangkat lunak yang membantu dalam manajemen proyek konstruksi dengan memungkinkan peninjauan model 3D

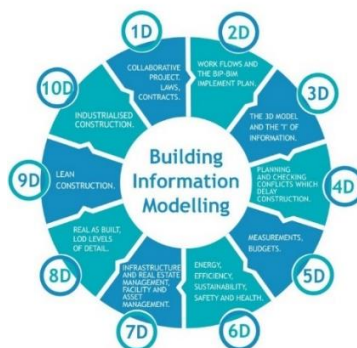
secara menyeluruh (Biaya, 2022). Perangkat ini digunakan untuk mendeteksi tabrakan (*clash detection*), simulasi konstruksi 4D, dan koordinasi antar disiplin ilmu arsitektur, mekanik, serta elektrik. Navisworks memfasilitasi kolaborasi tim, membantu dalam pengukuran kuantitas material, serta memastikan proyek berjalan sesuai rencana sebelum konstruksi dimulai (Huzaini, 2021). Navisworks mengurangi risiko kesalahan, memperbaiki efisiensi, dan menjaga agar jadwal proyek tetap *on track* dengan visualisasi dan analisis yang detail.

4. *Microsoft Project*

Microsoft Project adalah aplikasi yang menyediakan alat untuk perencanaan, pelacakan, dan kolaborasi dalam proyek. Dengan menggunakan perangkat lunak ini, pengguna dapat mengatur jadwal, mengalokasikan sumber daya, dan memantau kemajuan proyek secara efektif (Hidayatullah & Putra, 2024). *Microsoft Project* sering digunakan di berbagai industri untuk memastikan bahwa proyek berjalan sesuai dengan waktu, anggaran, dan kualitas yang ditetapkan.

2.2.2 Dimensi

BIM (*Building Information Modeling*) adalah sistem manajemen berbasis digital yang digunakan untuk merancang, membangun, dan mengelola bangunan atau infrastruktur. BIM memungkinkan integrasi informasi dari semua aspek proyek ke dalam model 3D yang dapat diakses oleh seluruh *stakeholder*. Gambar diagram BIM dapat dilihat pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Diagram BIM

Sumber : <https://www.linkedin.com/pulse/dimensions-bim-amirthavarshan-kiritharan>

Berdasarkan pada gambar 8 diatas, berikut adalah pengertian BIM berdasarkan dimensinya:

1. BIM 2D (Model Dua Dimensi)
Representasi dua dimensi seperti denah, tampak, dan potongan. Ini adalah bentuk dasar dokumentasi proyek tanpa integrasi data tambahan.
2. BIM 3D (Model Tiga Dimensi)
Model tiga dimensi yang mencakup geometri bangunan serta hubungan spasial antar elemen. Digunakan untuk visualisasi, koordinasi desain, dan deteksi bentrok (*clash detection*).
3. BIM 4D (Model Empat Dimensi)
Menambahkan dimensi waktu ke model 3D untuk mengintegrasikan jadwal konstruksi. Ini memungkinkan simulasi proses pembangunan dan pelacakan kemajuan proyek.
4. BIM 5D (Model Lima Dimensi)
Menggabungkan data biaya ke dalam model 4D, sehingga memungkinkan estimasi anggaran yang lebih akurat dan analisis biaya secara *real-time*.
5. BIM 6D (Model Enam Dimensi)
Berfokus pada keberlanjutan dan efisiensi energi bangunan. Informasi ini digunakan untuk analisis energi dan desain ramah lingkungan.
6. BIM 7D (Model Tujuh Dimensi)
Dimensi ini mendukung pengelolaan aset dan fasilitas selama siklus hidup bangunan, termasuk pemeliharaan dan perbaikan.
7. BIM 8D (Model Delapan Dimensi)
Difokuskan pada keselamatan kerja dan perencanaan darurat selama konstruksi maupun operasi bangunan untuk mengurangi risiko kecelakaan.
8. BIM 9D (Model Sembilan Dimensi)
Simulasi dan analisis keberlanjutan, termasuk konsumsi energi, emisi karbon, dan efisiensi sumber daya. Hal ini membantu perencanaan bangunan yang lebih ramah lingkungan.
9. BIM 10D (Model Sepuluh Dimensi)
Bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dengan memanfaatkan teknologi baru

dan digitalisasi proses. Hal ini memungkinkan pengelolaan yang lebih baik terhadap semua aktivitas proyek.

2.2.3 Implementasi *Building Information Modeling* (BIM)

BIM merupakan teknologi yang semakin penting dalam industri konstruksi, memungkinkan integrasi informasi proyek dalam model 3D di Indonesia, implementasi BIM telah mendapatkan perhatian serius dari pemerintah dan pelaku industri. Implementasi BIM di Indonesia menunjukkan komitmen untuk mengadopsi teknologi modern dalam industri konstruksi, sejalan dengan upaya pemerintah untuk meningkatkan kualitas infrastruktur dan efisiensi proyek.

BIM memiliki manfaat signifikan dalam meningkatkan efisiensi dan meminimalisir kesalahan dalam perencanaan teknis jalan dan jembatan. Di Direktorat Jenderal Bina Marga, penerapan BIM mencakup berbagai proyek penting, termasuk pembangunan jalan, jalan bebas hambatan, jalan tol, serta terowongan jalan dan jembatan khusus. Perusahaan konstruksi yang mengadopsi BIM dapat meningkatkan daya saing, memberikan nilai lebih kepada klien, dan berkontribusi pada pembangunan yang lebih efisien dan berkelanjutan.

2.2.4 Regulasi dan Peraturan

Berikut adalah standar dan referensi yang dijadikan acuan dalam membuat *BIM Execution Plan*:

1. ISO 19650

Merupakan standar internasional tentang organisasi dan digitalisasi informasi mengenai bangunan dan pekerjaan teknik sipil, termasuk manajemen informasi menggunakan *Building Information Modelling* (BIM). ISO 19650 terdiri dari beberapa bagian:

- Bagian 1 (2018): Konsep dan prinsip manajemen informasi.
- Bagian 2 (2018): Manajemen informasi selama fase pengiriman aset.
- Bagian 3 (2020): Manajemen informasi selama fase operasional aset.
- Bagian 4 (2022): Persyaratan untuk pertukaran informasi.
- Bagian 5 (2020): Pendekatan keamanan dalam manajemen informasi.

2. Pedoman Bidang Jalan, No. 12/P/BM/2023

Pedoman ini mengatur implementasi BIM pada lingkup pekerjaan konstruksi jalan dan jembatan, memberikan arahan spesifik untuk penerapan teknologi BIM dalam proyek-proyek infrastruktur.

3. Surat Edaran Bina Marga No. 11/SE/Db/2021

Surat edaran ini menjelaskan penerapan BIM pada perencanaan, teknis, konstruksi, dan pemeliharaan jalan dan jembatan, serta menetapkan pedoman bagi semua pihak yang terlibat dalam proyek infrastruktur.

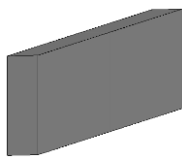
4. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 22/PRT/M/2018

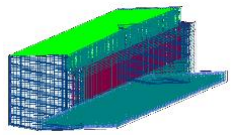
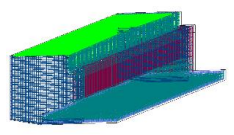
Peraturan ini mengatur tentang pembangunan bangunan gedung negara dan mencakup ketentuan yang relevan terkait penerapan BIM dalam proyek-proyek pemerintah.

2.2.5 Level Of Development (LOD)

Level Of Development (LOD) merupakan perpaduan antara *Level Of Detail* dan *Level Of Information*. Pembuatan 3D Model dengan tingkatan informasi grafis LOD dan dengan atribut disesuaikan dengan tiap-tiap tahap sebagai berikut:

Tabel 1. *Level of Development* BIM

No	LOD	Phase	Deskripsi	Gambar
1	100	<i>Consept Design</i>	Model elemen dapat diwakili dengan model secara grafis dengan simbol atau representasi umum lainnya	
2	200	<i>Primary Design</i>	Model Elemen dapat diwakili sebagai sistem, objek, perakitan yang mempunyai perkiraan <i>quantity</i> , ukuran, bentuk, lokasi dan orientasi	
3	300	<i>Final Design</i>	Model Elemen dapat diwakili sebagai sistem yang spesifik, objek, perakitan yang mempunyai kuantitas, ukuran, bentuk, lokasi dan orientasi	

No	LOD	Phase	Deskripsi	Gambar
4	350	<i>Pre-Construction phase</i>	Model Elemen dapat diwakili sebagai sistem yang spesifik, <i>object</i> , perakitan, yang mempunyai kuantitas, ukuran, bentuk, lokasi dan orientasi yang berhubungan dengan sistem bangunan lain	
5	400	<i>Construction phase</i>	Model Elemen dapat diwakili sebagai sistem yang spesifik, <i>object</i> , perakitan yang mempunyai kuantitas, ukuran, bentuk, lokasi dan orientasi detail, fabrikasi, perakitan, dan informasi pemasangan	
6	500	<i>As Built</i>	Model Elemen yang sudah terverifikasi yang mempunyai kuantitas, ukuran, bentuk, lokasi dan orientasi detail, fabrikasi, perakitan, dan informasi pemasangan. Informasi Non-grafis juga bisa ditambahkan.	

Sumber: Dokumen BIM Execution Plan (BEP) Serang - Panimbang

2.3 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

RAB suatu proyek adalah kegiatan yang harus dilakukan sebelum proyek di mulai. RAB merupakan banyaknya biaya yang dibutuhkan dalam sebuah pekerjaan proyek konstruksi, yang berisi volume, harga satuan, dan total harga material dan upah tenaga yang dibutuhkan dalam pelaksanaan proyek konstruksi (Tondon, 2023).

RAB adalah dokumen penting dalam perencanaan proyek yang mencakup estimasi biaya yang diperlukan untuk melaksanakan suatu kegiatan atau proyek konstruksi (Mariani & Witjaksana, 2019). RAB berfungsi sebagai panduan keuangan yang membantu pemilik proyek dalam merencanakan dan mengelola anggaran dengan lebih efektif. Dokumen rencana anggaran biaya berisi rincian sebagai berikut.

2.3.1 Harga Satuan Dasar (HSD)

HSD adalah perhitungan untuk menentukan harga dasar setiap pekerjaan meliputi perhitungan kebutuhan biaya tenaga kerja, bahan, dan peralatan yang digunakan untuk mendapatkan harga satuan untuk satu jenis pekerjaan tertentu.

Besaran harga satuan dasar ditentukan berdasarkan harga barang dan jasa di daerah setempat (Alami *et al*, 2021).

2.3.2 Kuantitas Pekerjaan

Kuantitas pekerjaan atau *Bill Of Quantity* adalah volume atau jumlah pekerjaan yang berisi rincian kebutuhan bahan, komponen, dan tenaga kerja yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu proyek konstruksi (Siswanto & Salim, 2019). BoQ merupakan bagian penting yang digunakan untuk total biaya proyek, dan memastikan proyek selesai sesuai anggaran. Perhitungan kuantitas pekerjaan dapat dihitung berdasarkan gambar detail perencanaan pekerjaan.

2.3.3 Harga Satuan Pekerjaan (HSP)

HSP adalah perhitungan biaya untuk tenaga kerja, bahan, dan, peralatan suatu pekerjaan yang sudah termasuk nilai keuntungan (Putra & Affandy, 2017). HSP merupakan komponen dari analisa harga satuan pekerjaan (AHSP) yang dikeluarkan oleh kementerian pekerjaan umum dan perumahan rakyat. HSP dihitung berdasarkan perhitungan AHSP yang terdiri dari koefisien tenaga kerja, alat dan bahan yang dapat dihitung berdasarkan kemampuan tenaga kerja dan alat dalam menyelesaikan suatu pekerjaan.

1. Analisis Harga Satuan Bahan

Harga satuan bahan atau material adalah harga satuan bahan bangunan yang berlaku dipasar pada saat anggaran disusun. Koefisien bahan menunjukkan kebutuhan bahan atau material bangunan untuk setiap satuan jenis pekerjaan

$$\text{Produktivitas} = \text{HSD bahan} \times \text{koefisien bahan} \dots\dots\dots(1)$$

2. Analisis Harga Satuan Alat

Harga satuan alat adalah perhitungan banyaknya alat yang digunakan serta besarnya biaya alat untuk menyelesaikan per satuan pekerjaan. Koefisien alat menunjukan kebutuhan alat untuk setiap satu jenis pekerjaan.

$$\text{Produktivitas} = \text{HSD alat} \times \text{koefisien alat} \dots\dots\dots(2)$$

3. Analisis Harga Satuan Upah Tenaga kerja

harga satuan tenaga kerja adalah perhitungan kebutuhan tenaga kerja serta

biaya untuk menyelesaikan per satuan pekerjaan konstruksi. Koefisien upah tenaga kerja menunjukkan kebutuhan tenaga kerja untuk tiap-tiap posisi kerja.

$$\text{Produktivitas} = \text{HSD Upah} \times \text{koefisien Upah} \dots\dots\dots (3)$$

dari hasil perhitungan analisis bahan, alat, upah tenaga kerja maka di dapat perhitungan sebagai berikut.

$$\text{Jumlah harga Bahan, Alat, dan Upah} = (1) + (2) + (3) \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{Overhead dan Profit} = \dots\% \times (4) \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{Harga Satuan Pekerjaan (HSP)} = (4) + (5) \dots\dots\dots (6)$$

2.4 Penjadwalan

Penjadwalan proyek adalah proses penting dalam manajemen proyek yang bertujuan untuk mengatur dan mengelola waktu serta sumber daya yang diperlukan untuk menyelesaikan proyek secara efisien.

2.4.1 *Work Breakdown Structure* (WBS)

Work Breakdown Structure (WBS) adalah alat manajemen proyek yang digunakan untuk membagi proyek besar menjadi bagian-bagian yang lebih kecil dan lebih mudah dikelola (Purwadi, 2016). Yang bertujuan untuk memudahkan Manajemen Proyek Dengan membagi proyek menjadi bagian-bagian yang lebih kecil, dapat lebih mudah mengelola dan mengawasi kemajuan setiap bagian.

WBS adalah alat penting dalam manajemen proyek yang membantu memecah proyek besar menjadi bagian-bagian kecil yang lebih mudah dikelola. Dengan menggunakan WBS, manajer proyek dapat meningkatkan efisiensi, memperjelas tanggung jawab, serta memfasilitasi estimasi biaya dan waktu dengan lebih akurat.

2.4.2 *Produktivitas dan Durasi Pekerjaan*

Produktivitas dalam proyek konstruksi merujuk pada seberapa banyak output yang dihasilkan dari input tertentu, sering kali diukur dalam satuan waktu atau jumlah pekerjaan yang diselesaikan. Dalam konteks konstruksi, produktivitas dapat dinyatakan sebagai jumlah pekerjaan yang dilakukan per unit waktu, misalnya kilogram material per jam kerja atau volume pekerjaan yang diselesaikan per hari. Untuk menentukan produktivitas dan durasi dari masing masing item pekerjaan dapat menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\text{Produktivitas} = \frac{1}{\text{koeffisien}} \dots\dots\dots(7)$$

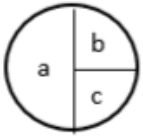
$$\text{Durasi} = \frac{\text{Volume}}{(\text{Produktivitas} \times \text{Jumlah Pekerja})} \dots\dots\dots(8)$$

2.4.3 Critical Path Method (CPM)

Critical Path Method (CPM) adalah teknik manajemen proyek yang digunakan untuk merencanakan dan menjadwalkan serangkaian tugas penting yang menentukan durasi total proyek (Padaga *et al*, 2018). Dengan menggunakan CPM, manajer proyek dapat mengidentifikasi tugas-tugas yang paling kritis dan mengatur urutan serta waktu penyelesaian untuk memastikan proyek selesai tepat waktu dan sesuai anggaran.

CPM melibatkan identifikasi semua tugas yang diperlukan untuk menyelesaikan proyek, menentukan urutan pelaksanaan tugas-tugas tersebut, dan menghitung durasi terpanjang yang diperlukan untuk menyelesaikan proyek dari awal hingga akhir. Tugas-tugas yang berada di jalur kritis harus diselesaikan tepat waktu, jika ada keterlambatan dalam salah satu tugas ini, maka keseluruhan proyek akan tertunda.

Menurut safitri (2019), dalam metode CPM ini terdapat 4 macam simbol yang memiliki fungsi dan kegunaan masing-masing. Penjelasan dari masing-masing simbol tersebut antara lain sebagai berikut.

- 1)  Menyatakan suatu aktivitas/kegiatan
- 2)  Menyatakan suatu peristiwa
- 3)  Menyatakan kegiatan semu (*dummy*)
- 4) 
 - a) Nomor petunjuk (*node*)
 - b) Saat kejadian/peristiwa paling awal, *earlest event time* (EET). Perhitungan kedepan jika masuk ke *node* lebih dari satu pilih harga terbesar.
 - c) Saat kejadian/peristiwa paling lambat, *lates event time* (LET). Perhitungan kebelakang jika keluar lebih dari satu pilih harga terkecil.

2.4.4 *Precedence Diagram Method (PDM)*

Precedence Diagram Method (PDM) adalah salah satu teknik dalam manajemen proyek yang digunakan antara aktivitas dalam suatu proyek. PDM merupakan bagian dari metode diagram jaringan (*network diagram*) dan sering digunakan dalam Teknik *Critical Path Method (CPM)* (Kerzner, H. (2017)). Metode ini membantu dalam mengidentifikasi jalur kritis proyek, mengoptimalkan jadwal, serta mengantisipasi potensi keterlambatan lebih efektif.

Dalam PDM diwakili oleh kotak (*node*), sementara panah menunjukkan ketergantungan antar aktivitas. Metode ini termasuk dalam kategori *Activity-on-Node (AON)* dan memiliki beberapa karakteristik penting. PDM memiliki komponen utama, yaitu:

1. Aktivitas (*Activity*): kegiatan atau tugas dalam proyek yang membutuhkan waktu dan sumber daya.
2. *Node* (Kotak): representasi grafis dari aktivitas proyek.
3. Panah (*Arrow*): menghubungkan aktivitas untuk menunjukkan urutan kerja dan ketergantungan.
4. *Lag* dan *Lead Time*: waktu tunda (*Lag*) atau percepatan (*Lead*) antara dua aktivitas yang saling bergantung.

Berdasarkan buku PMI (2017), dalam PDM aktivitas proyek direpresentasikan sebagai kotak atau *node*, dan hubungan ketergantungannya dihubungkan dengan panah. Metode ini memungkinkan empat jenis hubungan ketergantungan:

1. *Finish-to-Start (FS)*, berarti aktivitas B tidak dapat dimulai sebelum aktivitas A selesai.
2. *Start-to-Start (SS)*, Berarti aktivitas B tidak dapat dimulai sebelum aktivitas A dimulai.
3. *Finish-to-Finish (FF)*, berarti aktivitas B tidak dapat selesai sebelum aktivitas A selesai.
4. *Start-to-Finish (SF)*, berarti aktivitas B tidak dapat selesai sebelum aktivitas A dimulai.

Dengan fleksibilitas dalam mendefinisikan hubungan antar aktivitas, PDM menjadi alat yang efektif untuk Menyusun jadwal proyek secara lebih akurat,

sehingga membantu dalam pengelolaan sumber daya dan penyelesaian proyek tepat waktu.

2.4.5 Kurva S

Kurva S adalah alat penting dalam manajemen proyek yang digunakan untuk menggambarkan hubungan antara waktu dan biaya dalam suatu proyek. Kurva “S” merupakan pengembangan dan penggabungan dari diagram balok dan *Hannum Curve*. Dimana diagram balok dilengkapi dengan bobot tiap pekerjaan dalam persen (%). Kurva “S” digunakan untuk menggambarkan kemajuan volume pekerjaan yang diselesaikan sepanjang siklus proyek (Hasil *et al*, 2019). Menggunakan kurva S dalam manajemen proyek memberikan berbagai keuntungan yang signifikan, terutama dalam konteks proyek konstruksi.