

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terdahulu

1. Hasil Penelitian (Nursyifa & Walujodjati, 2022)

Penelitian yang dilakukan oleh Zakiah Nursyifa dan Eko Walujodjati (2021) dari Institut Teknologi Garut dengan judul "Analisis Kolom Beton Bertulang Baja Ringan". Penelitian ini menganalisis penggunaan profil baja ringan sebagai alternatif pengganti tulangan baja konvensional pada struktur kolom beton bertulang untuk bangunan tahan gempa. Tujuan penelitian adalah untuk mengevaluasi kemampuan kolom beton bertulang baja ringan dalam memikul beban aksial serta merencanakan tulangan geser menggunakan pelat kopel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kolom berukuran 23 x 23 cm dengan tulangan profil baja ringan tipe C 150.50.12 mampu menahan beban aksial sebesar 32.529,654 kg dengan mutu beton f_c' 7,4 MPa dan 87.554,4 kg dengan mutu beton f_c' 31,2 MPa. Sistem tulangan geser menggunakan 10 pelat kopel berdimensi 1,1 x 70 mm dengan 12 sambungan screw per pelat terbukti efektif dalam menahan gaya geser yang terjadi pada kolom. Penelitian ini membuktikan bahwa baja ringan dapat menjadi alternatif yang layak menggantikan tulangan baja konvensional, terutama untuk struktur yang dirancang tahan gempa karena sifatnya yang lebih ringan dan elastis, meskipun perlu kehati-hatian terhadap potensi keruntuhan tekan jika terjadi kegagalan material.

2. Hasil Penelitian (Al Amin et al., 2024)

Penelitian yang dilakukan oleh Akrom Al Amin, Dwi Denny Apriliano, dan Imron (2025) dari Universitas Muhadi Setiabudi dengan judul "Penerapan *Building Information Modelling* (BIM) Untuk Estimasi Biaya Pekerjaan Struktur Bangunan Rumah Tinggal 1 Lantai di Daerah Halim Jakarta Timur".

Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif dengan studi kasus menggunakan pemodelan 3D, analisis spesifikasi dan harga satuan pekerjaan (AHSP), serta evaluasi *Bill of Quantity* melalui software Revit 2022. Data penelitian diperoleh dari kontraktor pelaksana PT. Arsitek Hijau Indonesia berupa dokumen detail engineering design dan rencana anggaran biaya proyek pembangunan rumah tinggal milik Bapak Silaen di Halim, Jakarta Timur.

Hasil penelitian menunjukkan perbandingan estimasi biaya yang signifikan antara metode konvensional dan BIM:

Perbandingan Hasil Estimasi:

- a. Estimasi biaya menggunakan Revit 2022: Rp 161.701.390
- b. Estimasi biaya berdasarkan data proyek konvensional: Rp 171.907.303
- c. Selisih penghematan: Rp 10.205.913 (5,94% lebih murah)

Lingkup pekerjaan struktur yang dianalisis meliputi:

- a. Pekerjaan struktur pondasi footplat
- b. Pekerjaan struktur sloof (balok pengikat)
- c. Pekerjaan struktur kolom beton
- d. Pekerjaan struktur balok lantai

Penelitian ini membuktikan bahwa menggunakan BIM Revit mampu menghasilkan estimasi biaya yang lebih akurat dan efisien, dengan kemampuan real-time update saat terjadi perubahan desain, serta mengurangi kesalahan perhitungan material yang dapat meminimalkan pembelian berlebih.

3. Hasil Penelitian (Khatimi et al., 2021)

Penelitian yang dilakukan oleh Husnul Khatimi, Muhammad Reza Fardian, dan Yuslena Sari (2021) dari Universitas Lambung Mangkurat dengan judul "*EFFECTIVENESS OF APPLYING BIM BASED COST ESTIMATION IN DEVELOPMENT OF THE SYAMSUDIN NOOR AIRPORT PROJECT BANJARMASIN*". Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pemodelan 3D menggunakan Tekla Structures untuk struktur atap baja, kemudian mengekspor model ke Autodesk Revit

melalui format IFC untuk analisis estimasi biaya berbasis BIM. Perangkat lunak yang digunakan adalah Tekla Structures untuk pemodelan struktur baja dan Autodesk Revit untuk estimasi biaya berbasis BIM. Penelitian ini membandingkan efektivitas perhitungan estimasi biaya antara metode konvensional dengan metode berbasis BIM. Hasil penelitian menunjukkan terdapat perbedaan biaya yang cukup signifikan antara perhitungan konvensional dan estimasi biaya berbasis BIM menggunakan Revit senilai Rp 3.690.741.474 - Rp 5.047.206.780 dengan persentase 14% - 20%. Perbedaan besar ini disebabkan karena model yang diekspor hanya berhasil 90% akibat adanya perbedaan dalam pemetaan profil objek dan kondisi geometri BREP yang berbeda antara kedua software.

4. Hasil Penelitian (Fatchurrochman et al., 2024)

Penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Aljabbaar Fatchurrochman, Irna Hendriyani, dan Reno Pratiwi (2024) dari Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Balikpapan dengan judul "Analisis Rencana Anggaran Biaya Menggunakan Konsep BIM 5D Pada Pekerjaan Struktur Proyek Villa Jalan Mulawarman Batakan *Village* Balikpapan". Penelitian ini mengevaluasi volume dan biaya konstruksi villa dua lantai dengan menerapkan konsep BIM 5D menggunakan perangkat lunak Autodesk Revit 2021 Student Version. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perhitungan volume BIM 5D lebih efektif dibandingkan dengan teknik Konvensional. Pada pekerjaan pembesian, BIM 5D menghasilkan volume 8,63% lebih kecil dari analisis konsultan, pekerjaan beton 9,55% lebih kecil, dan struktur atap 64,12% lebih kecil. Untuk perhitungan biaya, BIM 5D juga menunjukkan efisiensi dengan selisih 8,62% untuk pembesian, 9,44% untuk beton, dan 64,12% untuk struktur atap dibandingkan perhitungan konsultan. Penelitian ini membuktikan bahwa teknologi BIM 5D dapat memberikan estimasi biaya yang lebih akurat dan efisien, terutama dalam mengintegrasikan data biaya dengan daftar kuantitas yang

berasal dari model 3D, sehingga memberikan perkiraan biaya yang lebih tepat dalam perencanaan proyek konstruksi.

Berdasarkan analisis dari keempat jurnal penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa teknologi *Building Information Modeling* (BIM) terbukti sangat efisien dalam mengurangi risiko kerugian dan meminimalisir kesalahan yang terjadi selama pelaksanaan proyek. Selain itu, penggunaan BIM juga memberikan dampak positif terhadap penghematan dalam perhitungan estimasi biaya proyek.

Seorang insinyur muda dituntut untuk memiliki kemampuan adaptasi terhadap perkembangan teknologi terkini. Meskipun demikian, implementasi BIM dalam industri konstruksi saat ini masih belum optimal karena memerlukan tahapan persiapan yang memakan waktu cukup lama dan cenderung rumit. Namun, investasi waktu pada tahap awal ini akan memberikan manfaat jangka panjang dengan mengurangi berbagai potensi masalah yang dapat merugikan proyek, terutama terkait pembengkakan anggaran biaya.

Atas dasar pertimbangan tersebut, peneliti bermaksud untuk mengaplikasikan teknologi BIM dalam proses perhitungan estimasi biaya untuk struktur rangka atap baja ringan pada pembangunan gedung SMP Harapan Bunda.

B. Landasan Teori

1. Proyek Konstruksi

Proyek konstruksi adalah suatu kegiatan yang sekali dilaksanakan dan biasanya berjangka waktu pendek. Dalam rangkaian kegiatan tersebut, terdapat suatu proses yang menjadikannya sumber daya proyek menjadi suatu hasil kegiatan yang berupa bangunan. Dalam mencapai proses tersebut harus ada 3 pilar penting yaitu biaya, mutu dan waktu yang harus dipertimbangkan sedetail mungkin agar menghasilkan proyek terbaik (Soeharto, 1999).

a. Biaya

Dalam suatu proyek konstruksi biaya merupakan sumber daya keuangan yang dibutuhkan agar proyek selesai dengan spesifikasi yang sudah direncanakan.

b. Mutu

Mutu adalah tingkat pemenuhan kualitas agar sesuai spesifikasi teknis dan standar yang ditetapkan, serta kepuasan *owner* terhadap hasil konstruksi.

c. Waktu

Proyek yang dikerjakan harus sesuai dengan durasi yang telah ditentukan. Apabila hasil akhir dari proyek tersebut merupakan suatu produk baru, maka penyerahan produk tidak boleh melebihi dari batas waktu yang telah ditentukan. Biaya, mutu dan waktu saling berkaitan satu sama lain. Maka dari itu dalam proyek konstruksi apabila ingin meningkatkan mutu maka harus meningkatkan biaya. Sebaliknya, jika ingin mengurangi mutu maka harus mengurangi anggaran pekerjaan.

2. Manajemen Proyek

Manajemen proyek adalah proses pengelolaan pada suatu proyek yang terdiri dari perencanaan, pengorganisasian dan pengendalian tugas sumber daya guna mewujudkan harapan yang ingin dicapai dengan memikirkan faktor waktu dan biaya (Aldi Bagus Hermawan et al., 2023)

Menurut (Tama et al., 2020) Dalam mengerjakan suatu proyek harus mempunyai Manajemen yang baik agar sumber daya terbatas ini dapat dimanfaatkan secara optimal sehingga bisa mencapai hasil yang maksimal dan tujuan yang diinginkan. Manajemen dikatakan berhasil apabila mampu menerapkan prinsip efektivitas dan efisien.

Tanpa adanya manajemen proyek yang tepat, proyek akan mengalami beberapa masalah yaitu Pembangunan proyek akan membutuhkan waktu lebih lama untuk diselesaikan dan seringkali melebihi anggaran yang sudah direncanakan.

3. *Building Information Modelling* (BIM)

Building Information Modelling (BIM) merupakan proses dokumentasi yang terdiri dari berbagai informasi tentang fase yang berbeda dari setiap proyek sebagai salah satu proses dokumentasi menyeluruh yang bermanfaat bagi visualisasi dan aplikasi konstruksi seperti estimasi, penjadwalan dan koordinasi desain (Zakaria Rugas et al., 2024).

Pendekatan BIM, yang mencakup data arsitektur, teknik, dan konstruksi dengan pemodelan 3D, diubah menjadi bentuk 3D selama fase implementasi proyek (KemenPUPR, 2018). Akibatnya, cakupan BIM memfasilitasi desain proyek yang terkoordinasi dengan baik, penjadwalan, dan informasi lainnya. (Kementrian PUPR-BPSDM, 2018).

a. Ciri-ciri BIM

Dalam penerapan BIM di bihi mempunyai panduan ciri-cirinya sesuai Kementrian PUPR-BPSDM, 2018 yaitu :

- 1) BIM adalah pendekatan revolusioner yang menggunakan model 3D yang digabungkan dengan data tentang karakteristik fungsional dan fisik suatu bangunan untuk memudahkan proses desain dan konstruksi bangunan.
- 2) BIM dapat didefinisikan sebagai metode pembuatan model 3D yang kaya informasi digital, di mana data tersebut melekat langsung pada model. Seluruh aktivitas ini terjadi dalam lingkungan kolaboratif yang dikenal sebagai *Common Data Environment (CDE)*.
- 3) BIM melebihi sekadar pembuatan model 3D di komputer. BIM adalah sebuah metode terintegrasi yang melibatkan penciptaan model beserta data terkait secara *realtime*, kemudian berkolaborasi antar perangkat lunak sepanjang proyek berjalan mulai dari tahapan perencanaan, desain, hingga proses konstruksi dan pemeliharaan.

b. Standar Pekerjaan *Building Information Modelling* (BIM)

Standar pekerjaan BIM adalah pedoman untuk membuat, mengelola, dan menyebarkan informasi proyek dalam lingkungan BIM. Standar ini bertujuan untuk menjamin konsistensi, interoperabilitas, efisiensi, dan kualitas data sepanjang proyek berjalan. Adapun untuk standar peraturan *Building Information Modelling*(BIM) terbagi menjadi 2 yaitu, Internasional dan Nasional. Standar global yang sering digunakan untuk implementasi BIM adalah ISO 19650 *series*. Fokus Standar ini ialah pada manajemen informasi sepanjang seluruh siklus hidup aset bangunan menggunakan BIM. Beberapa bagian penting dari ISO 19650 :

1) ISO 19650-1

Bagian satu adalah pondasi dari seluruh seri, yang mana gagasan dasar dan prinsip-prinsip untuk melandasi manajemen informasi BIM. Bagian ini Memberikan pemahaman mengapa manajemen informasi itu penting, kemudian apa saja yang terlibat dan bagaimana semua elemen ini saling berkaitan.

2) ISO 19650-2

Bagian kedua, bagian paling operasional yang berfokus pada manajemen informasi selama fase desain dan konstruksi. Bagian ini Menjelaskan proses langkah demi langkah untuk menghasilkan dan mengelola informasi BIM selama proyek berjalan, mulai dari perencanaan hingga serah terima.

3) ISO 19650-3

Bagian ketiga meneruskan fokus pada manajemen informasi setelah proyek selesai dan aset mulai digunakan atau dioperasikan. Bagian ini menyediakan panduan informasi BIM yang dapat terus dimanfaatkan dan diperbarui untuk pengelolaan, pemeliharaan, dan operasional aset sepanjang masa pakainya.

4) ISO 19650-4

Bagian keempat menerapkan metode dan prosedur untuk pertukaran data yang efisien dan akurat antara berbagai *software* dan pemangku kepentingan, memastikan keterpaduan sistem.

5) ISO 19650-5

Bagian terakhir ini memperhatikan aspek keamanan siber dalam pengelolaan informasi BIM, agar tidak terjadi hal yang diinginkan (akses tidak sah, modifikasi, atau penghapusan).

Di Indonesia, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) telah membuat aturan mengenai implementasi *Building Information Modeling* (BIM). Meskipun demikian, perlu dicatat bahwa saat ini belum ada standar BIM nasional yang bersifat seragam dan komprehensif, layaknya standar internasional seperti ISO 19650 yang diadopsi secara penuh. Beberapa regulasi dan pedoman penting yang perlu diketahui sebagai berikut:

- 1) Peraturan Menteri PUPR Nomor 22/PRT/M/2018 tentang Pembangunan Bangunan Gedung Negara
Peraturan ini mewajibkan penerapan Building Information Modeling (BIM) khusus untuk Bangunan Gedung Negara yang memiliki luas lebih dari 2000 m² dan tinggi lebih dari 2 lantai.
- 2) Dasar regulasi penerapan Building Information Modeling di bidang penyelenggaraan jasa konstruksi merujuk pada Surat Edaran yang diterbitkan oleh Direktorat Jenderal Bina Konstruksi dengan nomor 22/SE/M/2018. Peraturan ini menekankan penggunaan BIM pada proyek-proyek pemerintah, khususnya yang bersifat strategis dan kompleks.
- 3) Pedoman Implementasi Building Information Modelling (BIM) pada Lingkup Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (misalnya, Surat Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 11/SE/Db/2021 dan Pedoman Nomor 12/P/BM/2023)

Pedoman ini mengatur bagaimana BIM digunakan untuk proyek-proyek jalan dan jembatan, termasuk organisasi, anggaran, dan persyaratan informasi minimum.

c. Manfaat *Building Information Modeling* (BIM)

Manfaat Penerapan BIM menurut (Putra, 2025), adalah sebagai berikut:

1) Meningkatkan Koordinasi Antar Tim Proyek

Melalui *Building Information Modeling* (BIM), seluruh pihak proyek (arsitek, insinyur, kontraktor, pemilik) dapat berkolaborasi dalam satu platform digital yang terintegrasi. Dengan model 3D yang dapat diakses bersama, metode ini dapat meningkatkan koordinasi dan meminimalisir kesalahan komunikasi serta kesalahan desain.

2) Mengurangi Risiko Benturan Desain (*Clash Detection*)

BIM memiliki fitur unggulan dalam mendeteksi benturan antara berbagai komponen desain, termasuk struktur, sistem mekanikal, elektrik, perpipaan (MEP), dan arsitektur. Ini sangat bermanfaat karena memastikan masalah teknis dapat teridentifikasi pada tahap perencanaan, sebelum pelaksanaan konstruksi di lapangan dimulai.

3) Efisiensi Biaya dan Waktu

Teknologi BIM memiliki kemampuan untuk melakukan perencanaan dalam dimensi 4D yang berkaitan dengan aspek waktu, serta dimensi 5D yang mencakup aspek pembiayaan. Kemampuan ini memberikan kemudahan bagi manajer proyek dalam menyusun penjadwalan dan kalkulasi anggaran dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi. Adanya simulasi tahap pra-konstruksi ini memfasilitasi para pengambil keputusan manajerial untuk membuat pilihan yang lebih tepat dan terukur. Dokumentasi Digital Terpusat

Building Information Modeling (BIM) memungkinkan seluruh data proyek tersimpan dalam satu model digital yang terpusat.

Informasi teknis, spesifikasi bahan, dan urutan tahapan konstruksi terdokumentasi secara teratur dan mudah dijangkau. Kondisi ini secara signifikan mempermudah proses pengendalian kualitas dan penelusuran perubahan proyek (atau *change order*).

4) Mendukung Keberlanjutan Proyek (*Sustainability*)

Pengembangan BIM memungkinkan integrasi analisis energi dan evaluasi dampak lingkungan ke dalam model desain. Kapabilitas ini memfasilitasi penciptaan desain bangunan yang berkelanjutan, selaras dengan kebutuhan konstruksi hijau di masa mendatang.

d. Istilah yang terdapat di *Building Information Modeling* (BIM)

Ketika mengaplikasikan *Building Information Modeling* (BIM), pengguna seringkali akan menemui berbagai terminologi yang mungkin belum familiar. Oleh karena itu, beberapa istilah berikut dapat dijadikan panduan penting selama penggunaan BIM menurut (Afandi, 2022) dalam (Nugraha, 2020).

1) *Asset Information Model* (AIM)

Asset Information Model (AIM) merupakan salah satu kategori model informasi yang difungsikan untuk menjalankan pengelolaan, operasional, dan perawatan aset selama keseluruhan masa pakai bangunan. Penggunaan AIM memberikan manfaat penting dalam beberapa aspek:

- a) Berperan sebagai repositori informasi terpusat mengenai aset
- b) Menyediakan jembatan konektivitas atau jalur akses menuju sistem internal organisasi.
- c) Mendukung proses komunikasi dan transfer informasi dengan pihak di luar organisasi, baik untuk keperluan penerimaan maupun pengiriman data di seluruh lingkup proyek

2) *As-Built Model*

As-Built Model adalah model tiga dimensi yang diserahkan kepada owner bangunan, memuat dokumentasi digital yang telah diperbaharui mencakup spesifikasi teknis, revisi dari pemilik, serta

perubahan-perubahan lain selama proses konstruksi, yang disusun secara sistematis untuk menampilkan seluruh keputusan dan modifikasi yang telah dilakukan. Model ini juga mengintegrasikan informasi produk, sampel material, duplikat gambar kerja (*shop drawing*), dan dokumen-dokumen pengajuan yang telah mendapat persetujuan.

3) *Bill of Quantities* (BoQ/BQ)

Bill of Quantities (BoQ) merupakan rincian komprehensif mengenai material dan sumber daya manusia dalam suatu proyek yang diformulasikan oleh quantity surveyor sebagai informasi kebutuhan proyek. Teknologi BIM memberikan kontribusi signifikan dalam penyusunan BoQ, di mana tingkat efektivitasnya sangat ditentukan oleh ketepatan dan kedetailan informasi yang telah disepakati sebelum proses pemodelan dilakukan.

4) *BIM Coordinator*

BIM Coordinator memegang peranan esensial sebagai penghubung koordinasi di antara para modeler dan *BIM Manager*. Posisi ini bertanggung jawab atas koordinasi harian anggota tim serta penerapan standar dan protokol pemodelan yang ditetapkan oleh *BIM Manager*, demi tercapainya target proyek.

5) *BIM Dimension Information*

BIM Dimension Information merujuk pada properti non-grafis suatu objek yang ada dalam model, atau bisa dibilang, informasi di luar representasi visualnya. Istilah ini secara spesifik menggambarkan keterkaitan seluruh aspek manajemen informasi siklus hidup proyek dengan komponen *Computer-Aided Design* (CAD). Umumnya, konsep ini dikenal melalui akronim seperti 6D (manajemen siklus bangunan), 5D (biaya), dan 4D (waktu).

6) *Building Information Modelling Execution Plan* (BEP)

BIM Execution Plan (BEP) adalah dokumen kesepakatan yang mendefinisikan secara menyeluruh proses pengerjaan proyek dari

awal hingga akhir. Tujuannya adalah untuk memastikan kelancaran proyek dan mencegah potensi konflik yang dapat menghambat jalannya pekerjaan di kemudian hari.

7) *Building Information Modelling Manager (BM)*

BIM Manager adalah pihak yang memegang tanggung jawab penuh dalam mengelola proses dan aspek administratif terkait *Building Information Modeling (BIM)* pada suatu proyek. Peran ini meliputi sejumlah aktivitas, di antaranya evaluasi, pengendalian, pengawasan, pengarahan, koordinasi, dan perancangan proses BIM. Tujuan pokoknya adalah memastikan bahwa setiap fase proyek terlaksana sejalan dengan objektif yang telah ditentukan.

8) *BIM Maturity Level*

BIM Maturity Level adalah sebuah konsep yang dikembangkan berdasarkan prinsip kolaborasi dalam sistem *Building Information Modeling (BIM)*. Konsep ini menggambarkan berbagai tingkatan perkembangan penerapan BIM yang telah terbentuk.

9) *Building Information Modelling Process*

BIM Process merupakan kumpulan informasi yang diperoleh dari elemen model melalui pendekatan dan workflow pemodelan yang telah disepakati, bertujuan untuk menghasilkan data yang efisien dan spesifik. Metode pemodelan memiliki dampak signifikan terhadap kualitas informasi model. Penggunaan dan pembagian model yang efektif akan mendukung tercapainya keputusan dan hasil proyek yang diinginkan melalui pemanfaatan BIM.

10) *Collaboration*

Collaboration dalam konteks desain dan konstruksi bangunan merupakan sebuah praktik yang menyatukan berbagai disiplin ilmu. Aspek krusial dari kolaborasi ini mencakup integritas informasi dan koordinasi sistem serta prosedur. Sebagai ilustrasi, struktur proyek Konvensional yang sebelumnya hanya melibatkan

hubungan langsung antara konsultan, klien, dan kontraktor, kini telah berkembang menjadi hubungan yang jauh lebih terintegrasi.

11) *Common Data Environment (CDE)*

Common Data Environment (CDE) berfungsi sebagai sumber data tunggal dalam lingkup proyek, yang dipergunakan untuk mengelola, mengalirkan, dan mengakumulasikan keseluruhan dokumen proyek, baik yang sudah diotorisasi maupun yang sedang menunggu approval dari beragam tim multidisiplin dalam proses *Building Information Modeling (BIM)*. Oleh karena itu, CDE menjadi infrastruktur inti dalam pelaksanaan BIM.

12) *Conceptual Design (CD)*

Desain Konseptual merupakan tahap awal perancangan di mana karakter dan cakupan keseluruhan proyek ditentukan. Proses ini melibatkan respons terhadap berbagai pertimbangan, seperti perencanaan, arahan, anggaran, program dari klien, serta kondisi lokasi.

13) *Construction Operation BIM (COBie)*

Sebagai sistem pengumpul informasi desain dan konstruksi proyek, *Construction Operations Building Information Exchange (COBie)* dirancang untuk mendukung manajemen fasilitas (termasuk pemeliharaan dan operasional). Elemen utamanya adalah lembar kerja Excel pra-format yang berfungsi sebagai sarana pengumpulan data. COBie efektif mengurangi penyerahan dokumen kertas berjumlah besar kepada operator pasca-konstruksi, sekaligus menghilangkan keharusan pengambilan data lanjutan, sehingga menghemat biaya operasional dan memperlancar serah terima bangunan.

14) *Datum File (DF)*

Datum Files merupakan file model yang memuat elemen-elemen datum seperti level, grid, dan sistem koordinat. File ini berfungsi

sebagai acuan referensi dasar bagi seluruh pemodelan lintas disiplin

15) *Deliverables*

Deliverables dapat diartikan sebagai hasil pekerjaan rekayasa dan desain yang harus diserahkan kepada klien. Produk tersebut bisa berupa laporan, gambar, spesifikasi, atau dokumen lain yang terkait.

16) *Design Development*

Tahap *Design Development* adalah fase di mana desain skematik dikembangkan menjadi lebih rinci. Ini melibatkan proses elaborasi konsep awal menjadi elemen-elemen desain yang lebih spesifik dan terukur.

17) *Facilities Management*

Facilities Management merupakan sebuah proses yang bertujuan untuk mempertahankan operasional fasilitas sekaligus mengelolanya secara lebih efisien. Ini mencakup pengelolaan berbagai aset seperti properti, infrastruktur, dan bangunan.

18) *Industry Foundation Classes (IFC)*

Industry Foundation Classes (IFC) merupakan format data netral yang dirancang untuk memfasilitasi pertukaran, berbagi, dan deskripsi informasi dalam industri bangunan serta manajemen fasilitas. Oleh karena itu, fungsi utama IFC adalah menjadi penghubung antar perangkat lunak BIM yang seringkali memiliki format data internal yang berbeda-beda.

19) *Architecture Civil Engineering (AEC)*

Architecture Civil Engineering berfungsi untuk mendefinisikan dan menentukan ruang lingkup pekerjaan mereka, agar sejalan dengan setiap fase perancangan dalam proses kerja *Building Information Modeling (BIM)*.

20) Model 3D

Model 3D merupakan representasi visual tiga dimensi dalam format digital dari berbagai komponen bangunan. Model ini menggambarkan objek padat dengan dimensi dan hubungan spasial yang akurat. Selain itu, Model 3D juga mampu menampung data atau informasi tambahan.

e. *Level of Development (LOD)*

Level of Development (LOD) adalah standar yang digunakan dalam *Building Information Modeling (BIM)* agar semakin spesifik menjelaskan tingkat kedetailan (*geometry*) dan tingkat keandalan informasi (*information reliability*) suatu elemen model pada tahap tertentu dalam siklus hidup proyek. Ini tidak hanya sekedar detail visual suatu objek saja, tetapi juga seberapa banyak informasi non-grafis yang melekat padanya dan seberapa besar kepercayaan yang dapat ditempatkan pada informasi tersebut. Menurut penelitian (Latiffi et al., 2015) *level of development (LOD)* pada BIM dibagi dan dikelompokkan kedalam beberapa tingkatan:

1) LOD 100

LOD 100 adalah tahap konseptual dalam model. Pada level ini, elemen model direpresentasikan secara grafis dalam bentuk symbol dan tidak ada informasi tambahan serta dimanfaatkan untuk tahap pra-perencanaan proyek, studi kelayakan, serta estimasi biaya awal.

2) LOD 200

Pada LOD 200, tahap pengembangan desain produk telah tercapai. Dari basis LOD 100, informasi tambahan seperti dimensi (lebar, kedalaman, tinggi) dan detail produksi produk dapat diperoleh. Lebih lanjut, elemen model dalam LOD 200 digambarkan sebagai sistem atau objek umum dengan data kuantitas, ukuran, bentuk, lokasi, dan orientasi produk yang presisi. Tingkat ini juga memungkinkan dilakukannya analisis kinerja untuk memutuskan komponen-komponen yang tepat.

3) LOD 300

LOD 300 berfokus pada dokumentasi produk, di mana informasi non-grafis kadang kala juga disertakan. Pada tahap ini, model menjadi lebih akurat terkait kuantitas, ukuran, bentuk, lokasi, dan orientasi elemen. Selain itu, rincian spesifik mengenai aspek kinerja komponen dapat ditambahkan dengan informasi yang diperlukan untuk menyusun dokumen konstruksi.

4) LOD 400

LOD 400 berfokus pada detail konstruksi produk. Pada tahap ini, elemen model direpresentasikan sebagai sistem dan objek spesifik yang mencakup informasi detail mengenai orientasi, fabrikasi, serta pemasangan.

5) LOD 500

Pada tahap LOD 500, fokus utamanya adalah manajemen fasilitas. Tingkat detail ini juga dapat dipahami sebagai visualisasi digital produk yang dibangun secara sepenuhnya akurat.

f. Dimensi dan Tingkat implementasi dalam konstruksi *Building Information Modelling* (BIM)

Menurut (Fatchurrochman et al., 2024) Implementasi BIM melibatkan berbagai tahapan yang disebut dengan dimensi. Dimensi ini berfungsi sebagai indikator tingkat kemajuan pengerjaan proyek di setiap fase konstruksi

Berikut beberapa penjelasan lebih detail tentang dimensi menurut Kementerian PUPR-BPSDM, 2018 :

1) 3D (Geometri)

Dimensi ini yang paling awal dalam, kemudian bisa memvisualisasikan hasil proyek konstruksi dan mengelola kolaborasi secara disiplin agar lebih efektif serta menganalisis masalah spasial dan struktural yang rumit.

2) 4D (Waktu/Jadwal)

Model 4D diproduksi dengan kemampuan memvisualisasikan proses konstruksi, yaitu integrasi tahapan dan urutan konstruksi proyek ke dalam model 3D. Berisi optimasi jadwal proyek, perencanaan logistik situs yang lebih baik, dan komunikasi jadwal yang efektif kepada tim proyek dan klien.

3) 5D (Biaya)

Dengan integrasi data biaya proyek ke dalam model, BIM dapat menghasilkan *quantity take-off* (QTO) serta perkiraan biaya. Kemampuan ini juga memungkinkan korelasi antara volume pekerjaan, biaya, dan lokasi. Dimensi ini membuat Estimasi biaya yang lebih cepat dan akurat serta manajemen biaya proyek yang lebih transparan.

4) 6D (Keberlanjutan / Analisis Kinerja / Analisis Siklus Hidup)

Building Information Modeling (BIM) pada dimensi 6D memungkinkan identifikasi dan pendataan konflik spasial antar komponen bangunan secara otomatis. Di samping keunggulan tersebut, BIM juga membekali pengguna dengan fitur pemodelan energi yang presisi dan komprehensif. Dimensi ini bisa membantu agar bangunan mendapatkan sertifikasi *green building*.

5) 7D (Manajemen Fasilitas / Operasi & Pemeliharaan)

7D berfungsi untuk mengoperasikan dan memelihara aset sepanjang seluruh siklus hidupnya. Fitur ini memungkinkan pengguna untuk mengekstrak dan melacak berbagai data penting, seperti status komponen, spesifikasi, manual pemeliharaan/pengoperasian, hingga informasi garansi. Hal ini mempermudah dan mempercepat proses penggantian komponen. Selain itu, terdapat pula fasilitas untuk mengelola data pemasok/subkontraktor dan komponen aset selama siklus hidup aset tersebut. Jadi efisiensi operasional bangunan semakin meningkat.

BIM *Maturity Level* menurut Kementerian PUPR-BPSDM, 2018 antara lain:

1) BIM Level 0

Tidak ada kolaborasi dan digunakan ketika gambar proyek dalam 2 dimensi baik dengan software CAD atau di kertas

2) BIM Level 1

Kolaborasi Sebagian dengan kombinasi model desain konseptual 3D dan gambar CAD 2D.

3) BIM Level 2

Dalam konteks ini, meskipun ada kolaborasi model atau objek, setiap disiplin ilmu atau bidang tetap beroperasi dengan sistem dan lingkungan kerjanya masing-masing. Pertukaran informasi antarbidang tersebut dilakukan melalui protokol dan format yang telah disepakati, seperti IFC atau COBie.

4) BIM Level 3

Adanya kolaborasi menyeluruh antar para pemangku kepentingan yang mana mereka bekerja dengan objek bersama dan mendukung prinsip OpenBIM.

4. *Software Autodesk Revit*

Autodesk Revit adalah salah satu perangkat lunak *Building Information Modeling* (BIM) yang bisa mendesain elemen arsitektur, struktur, dan MEP dalam format 3D. Dokumen dari Autodesk Revit akan disimpan dalam format .rvt dan .rfa. *Software* ini kemampuan menghitung volume pekerjaan (quantity take off) dan membuat Rencana Anggaran Biaya (RAB) (Novita & Pangestuti, 2021). Selain itu, revit juga bisa memudahkan dalam integrasi perangkat lunak, kemampuan mendeteksi tabrakan desain dan meningkatkan efisiensi dalam pekerjaan. Tetapi, revit juga memiliki beberapa kekurangan, seperti lisensi yang mahal, serta kebutuhan akan spesifikasi hardware yang tinggi (Muhamad Alimin et al., 2023).

Menurut (Aulya Reista & Ilham, 2022) Revit mempunyai beberapa fitur-fitur antara lain :

a. *Modelling*

Pemodelan sangat penting dalam perencanaan proyek. Dengan teknologi Revit yang berorientasi objek, pembuatan model menjadi lebih mudah dan efisien. Revit memungkinkan modeler untuk langsung memilih komponen standar (misalnya, kolom, balok, jendela, pintu) dari fitur *family*, lalu cukup memasukkan spesifikasi desain.

b. *Massing*

Penggunaan *massing* memungkinkan penggambaran bentuk dan geometri bangunan dilakukan secara lebih sederhana. Tujuan utama dari *massing* ini adalah untuk menentukan luas dan volume, bahkan dapat diintegrasikan dengan aplikasi lain, seperti Insight, guna menganalisis konsumsi energi, pencahayaan, dan aspek lainnya.

c. *Phasing*

Building Information Modeling (BIM) kerap disebut sebagai aplikasi empat dimensi karena kemampuannya untuk menampilkan informasi seiring waktu. Dengan Revit, perubahan model bisa dilakukan sesuai kebutuhan di sepanjang fase proyek. Hal ini memungkinkan pengguna untuk mengatur visibilitas komponen (menampilkan atau menyembunyikan) pada setiap tahapan konstruksi.

d. *Grouping*

Revit juga berfungsi sebagai aplikasi yang mampu menyajikan data dalam beragam format. Model yang dibangun di Autodesk Revit dapat mengorganisir objek-objek ke dalam susunan daftar terpadu. Daftar ini terintegrasi langsung dengan model, yang berarti setiap perubahan pada objek juga akan otomatis memperbarui daftar tersebut, termasuk informasi mengenai volumenya.

Gambar yang didesain menggunakan Autodesk Revit bukan hanya sekadar gambar dua dimensi yang mewakili sebuah bangunan. Sebaliknya,

gambar tersebut adalah visualisasi 3D *real-time* dari model bangunan virtual itu sendiri (Tigauw et al., 2023).

5. Pekerjaan Rangka Atap Baja Ringan

Pekerjaan rangka atap baja ringan merupakan konstruksi atap dengan struktur yang memiliki kemiripan dengan konstruksi rangka atap kayu, namun material pembuatannya menggunakan baja ringan atau yang kerap disebut sebagai truss. Rangka atap (kuda-kuda) baja ringan adalah struktur rangka yang diproduksi dari material baja berlapis Zinalume yang mengandung komposisi aluminium, zinc, dan silikon. (Rahayu & Manalu, 2015)

a. Pendistribusan Rangka Atap

Rangka atap baja ringan dibuat agar memudahkan perakitan dan pemasangannya saat dilapangan. Walaupun material ini ringan dan tipis, tetapi kekuatannya 550 MPa. Kemudian ketebalannya sekitar 0,4 mm – 1 mm, Dengan ketebalan tersebut, rangka atap baja ringan memiliki kemampuan untuk menyangga material penutup atap yang ditunjang oleh komponen-komponen berikut: kuda-kuda, usuk/kasau, dan reng.

Material baja ringan memiliki sejumlah kekurangan dan kelebihan. Berikut adalah beberapa keunggulan rangka atap baja ringan apabila dibandingkan dengan material alternatif lainnya.:

- 1) Baja ringan memiliki bobot yang jauh lebih ringan jika dibandingkan dengan kayu maupun baja konvensional. Sehingga mengurangi beban struktural pada bangunan, kemudian bisa menghemat biaya pondasi dan struktur.
- 2) Memiliki kekuatan tarik yang tinggi.
- 3) Tidak mudah keropos, anti rayap, dan tahan terhadap karat jika dilapisi dengan benar
- 4) Proses pemasangannya menjadi lebih cepat dan efisien dibandingkan dengan material lain.

5) Dapat di daur ulang, sehingga bisa menjadi pilihan material yang ramah lingkungan.

Sementara kekurangan dari rangka atap baja ringan :

- 1) Sensitif terhadap korosi jika terjadi goresan, oleh karena itu perlu perhatian ketika proses pemasangan.
- 2) Ruangan di bawah atap baja ringan terasa lebih panas, jika tidak diimbangi dengan insulasi yang baik.
- 3) Profil baja ringan memiliki ketebalan yang tipis, sehingga rentan mengalami tekuk lokal dan batangnya mudah mengalami kerusakan jika pemasangan baut tidak tepat.
- 4) Suara berisik saat hujan lebat, apabila tanpa insulasi yang baik.
- 5) Membutuhkan tenaga ahli khusus dan peralatan yang tepat agar memastikan kekuatan dan stabilitas struktur.

b. Metode Pelaksanaan Rangka Atap Baja Ringan

Metode pelaksanaan rangka atap baja ringan secara umum melibatkan beberapa tahapan utama, yaitu mulai dari persiapan hingga pemasangan penutup atap. Semua proses tersebut harus dilakukan dengan cermat dan teliti agar memastikan kekuatan, kestabilan, dan keamanan pada struktur. Adapun metode pelaksanaannya sebagai berikut:

1) Persiapan

- a) Pengecekan gambar kerja, pastikan sesuai dengan gambar yang sudah di setujui
- b) Survei Lokasi
- c) Persiapan material yang dibutuhkan dan memastikan material dalam kondisi serta sesuai standar
- d) Penyiapan alat kerja yang diperlukan (bor, gunting baja ringan, waterpass, meteran)
- e) Persiapan area kerja supaya bersih dan aman

2) Pemasangan kuda-kuda utama

- a) Menentukan posisi kuda-kuda dengan cara manandai posisi setiap kuda-kuda sesuai jarak yang sudah ditentukan
- b) Perakitan kuda-kuda terlebih dahulu di bawah tanah
- c) Pemasangan kuda-kuda yang sudah dirakit dengan cara diangkat dan ditempatkan pada posisi yang telah ditandai di atas balok ring
- d) Penyikuan dan perataan menggunakan waterpass untuk memastikan kemiringan dan kelurusan yang tepat
- e) Pengikatan kuda-kuda ke balok ring menggunakan dynabolt atau ankur yang sesuai

3) Pemasangan elemen pendukung

- a) Pemasangan ikatan angin (*bracing*) pada bidang vertikal dan horizontal antar kuda-kuda agar memberikan kestabilan
- b) Pemasangan *sag rod/web bracing* pada area web kuda-kuda untuk mengurangi lendutan
- c) Pemasangan *top chord bracing* untuk mencegah puntiran.

4) Pemasangan reng

- a) Penentuan jarak reng yang disesuaikan dengan jenis penutup atap (misalnya, genteng metal, spandek, asbes, dll.)
- b) Pemasangan reng secara horizontal di atas *top chord* kuda-kuda dan diikat menggunakan baut SDS.
- c) Pengecekan ulang kerataan reng secara keseluruhan untuk memastikan penutup atap terpasang rata.

5) Finishing

- a) Pemasangan penutup atap setelah rangka atap terpasang kokoh
- b) Pengecekan sambungan kembali apakah sudah terpasang dengan kuat dan benar.
- c) Bersihkan material dan peralatan yang tersisa dari area kerja.
- d) Melakukan kontrol secara menyeluruh terhadap seluruh struktur rangka atap untuk memastikan tidak ada cacat, deformasi, atau kesalahan pemasangan.

6. Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Menurut (Firdaus et al., 2020) Dalam pelaksanaan proyek konstruksi banyak dipengaruhi beberapa faktor, salah satunya adalah faktor biaya. Rencana Anggaran Biaya adalah dokumen perencanaan yang berisi estimasi biaya untuk kebutuhan proyek. Dokumen ini sangat penting dalam mengatur dan mengontrol pengeluaran, supaya memastikan kesesuaian dengan sumber daya yang tersedia (Rizky Ashar & Beatrix, 2024)

Estimasi biaya pada penelitian ini menggunakan metode *Building Information Modelling* (BIM). Penerapan BIM dalam estimasi biaya akan mempermudah perhitungan dengan cepat dan akurat. Estimasi biaya yang akurat sangat penting dalam perencanaan konstruksi. Penggunaan BIM merupakan solusi efektif untuk meningkatkan ketelitian estimasi biaya.

Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dalam suatu proyek ditentukan oleh volume kuantitas pekerjaan dan analisis harga satuan pekerjaan (Ferial et al., 2022). Sehingga bisa dirumuskan :

$$RAB = \sum(\text{Volume} \times \text{Harga Satuan})$$

a. Volume Pekerjaan

Daftar volume pekerjaan atau *bill of quantity* (BoQ) merupakan kalkulasi dari volume setiap item pekerjaan yang tercantum dalam gambar konstruksi. Kalkulasi BoQ ini berperan dalam menentukan estimasi nilai dari sebuah pekerjaan konstruksi. Sebelum tahap konstruksi dilakukan, dibutuhkan *Quantity Take Off* (QTO) untuk pengendalian biaya proyek. Untuk merencanakan QTO material konstruksi secara tepat memerlukan akurasi dalam perhitungan volume pekerjaan (Zakaria Rugas et al., 2024)

Volume pekerjaan disesuaikan berdasarkan kebutuhan setiap kegiatan yang tercantum dalam *Bill of Quantity* (BQ). Sementara itu, total biaya keseluruhan proyek didapatkan dari akumulasi hasil perkalian antara volume pekerjaan dengan harga satuan untuk setiap item pekerjaan.. (Reista et al., 2022)

b. Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP)

Analisis harga satuan pekerjaan berfungsi sebagai pedoman awal dalam memperkirakan anggaran biaya konstruksi. Panduan ini menjumlah mencakup material, tenaga kerja, serta biaya untuk setiap unit pekerjaan. Dengan kata lain, harga satuan pekerjaan merepresentasikan biaya per unit untuk jenis pekerjaan spesifik, yang didasarkan pada perhitungan komponen bahan, upah tenaga kerja, dan peralatan yang diperlukan. Analisis ini melibatkan kalkulasi detail terhadap material, upah, dan peralatan guna menghasilkan koefisien pengali untuk berbagai kategori pekerjaan (Ferdinand & Pamadi, 2023).

