

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Metode Konvensional

Perhitungan *Bill of Quantity* menggunakan metode konvensional perencanaan pada proyek dalam menentukan volume beton ataupun melakukan pekerjaan pembesian dengan alat bantu *software* Autocad sebagai acuan gambar kerja dan *spreadsheet* Microsoft Excel untuk melakukan proses perhitungan.

2.1.1 Metode Konvensional untuk Beton

Dalam mendapatkan hasil perhitungan volume beton pada pekerjaan kolom, balok, dan pelat lantai pengerjaan *bill of quantity* menggunakan *software* Autocad untuk acuan gambar dan Microsoft Excel untuk melakukan perhitungan, untuk tiap pekerjaan balok dan kolom dengan rumus sebagai berikut:

$$V = P \times l \times t \quad (2.1)$$

Keterangan:

V = Volume (m³)

P = Panjang (m)

L = Lebar (m)

T = Tinggi (m)

Untuk perhitungan pada pekerjaan pengecoran Pelat Lantai di lakukan dengan rumus sebagai berikut:

$$V = P \times l \times t \quad (2.2)$$

Keterangan:

V = Volume (m³)

Luas = Luas Area Pelat Lantai

T = Tebal Pelat Lantai

2.1.2 Metode Konvensional untuk Tulangan Baja

Dalam pekerjaan metode konvensional untuk melakukan perhitungan pekerjaan pembesian menggunakan *software* Autocad untuk acuan gambar dan melakukan perhitungan pada Microsoft Excel. Untuk menghitung tulangan baja sebelum melakukan perhitungan *buistad* dikerjakan dengan rumus sebagai berikut:

$$Volume = Berat \times Panjang \times Jumlah Batang \quad (2.3)$$

dengan keterangan rumus sebagai berikut:

Berat = Berat Jenis Besi

Panjang = Panjang Besi Tulangan

Jumlah batang = Jumlah Batang Rencana Yang Terpasang

2.2 *Building Information Modeling (BIM)*

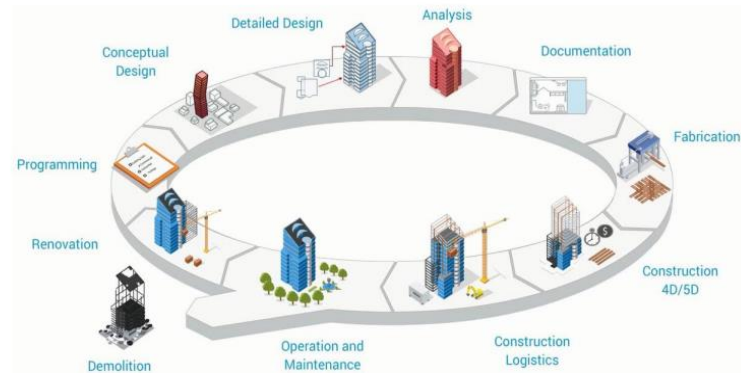
Kemajuan di dunia informasi dan teknologi diharapkan mampu mengatasi masalah koordinasi yang biasa terjadi dalam pelaksanaan proyek konstruksi guna memperbaiki produktivitas industri konstruksi untuk berkembang lebih baik lagi. Dengan majunya teknologi dan hadirnya inovasi ataupun metode baru berupa *Building Information Modelling* (BIM) merupakan seperangkat teknologi, proses dan kebijakan yang seluruh prosesnya berjalan secara kolaborasi dan berintegrasi dalam model digital.

Dengan Penggunaan *Building Information Modeling* (BIM) dalam proyek konstruksi bisa memberikan manfaat untuk meningkatkan kualitas produk dan memungkinkan desain bangunan lebih berkelanjutan. Salah satu tantangan terbesar sektor konstruksi dalam memasuki Era Revolusi 4.0 adalah kebutuhan pengembangan teknologi pada industri konstruksi secara terus menerus.

Pekerjaan yang menjadi suatu keharusan dan saat ini hampir seluruh bidang sudah melakukan otomatisasi dengan penggunaan *software* termasuk *AEC* (*Architecture, Engineering and Construction*). Penggunaan teknologi komputasi oleh perancang dan praktisi konstruksi sudah umum digunakan di Indonesia, di mana perkembangan teknologi pada konstruksi tumbuh dari bentuk dokumen menjadi visualisasi tiga dimensi, kemudian berkembang dimensi lainnya terhadap *Time Schedule* (4D), Estimasi Biaya (5D), hingga dimensi seterusnya hingga dimensi ke-n (n-D) dan perkembangan inilah menjadi evolusi informasi teknologi yang kemudian disebut *Building Information Modelling* (BIM).

Building Information Modeling (BIM) merupakan salah satu teknologi di bidang *AEC* yang mampu mensimulasikan informasi berupa representasi digital dari karakteristik fisik dan karakter fungsional dari suatu Bangunan yang di dalamnya terkandung semua Informasi mengenai elemen-elemen Bangunan tersebut yang digunakan sebagai basis pengambilan keputusan dalam kurun waktu

siklus umur bangunan mulai dari konsep hingga demolisi, seperti ditunjukkan pada Gambar (Fakhrudin dkk., 2019).



Gambar 2.1 Siklus *Building Information Modeling* (BIM)

Sumber: (Fakhrudin dkk., 2019)

Kekuatan dalam BIM adalah informasi pada setiap *life cycle* sebuah *project* mulai dari tahap perencanaan hingga monitoring dan evaluasi. BIM juga mampu mengurangi potensi kesalahan desain, mengurangi pekerjaan berulang, dapat diakses secara virtual dari manapun dan kapan saja oleh semua pihak yang terlibat di proyek, dan dapat ditindaklanjuti segera dengan memberikan informasi kepada pihak pengambil keputusan. BIM membantu semua tim dalam proyek untuk berkoordinasi dan berkomunikasi dengan lebih baik. Jika semua tim proyek bekerja pada hal yang sama, yaitu dengan menggunakan BIM, maka proses peralihan antar tahapan desain memiliki tingkat akurasi yang tinggi dan mengurangi pekerjaan berulang. BIM membantu untuk mengurangi masalah koordinasi di lapangan karena BIM dapat menyampaikan maksud dari desain yang dibuat untuk menjadisi sebuah model yang nyata (Parung dkk., 2021).



Gambar 2.2 Peran BIM dalam *Life Cycle* Pada Proyek

Sumber: (Parung dkk., 2021)

2.2.1 Ketentuan Penggunaan *Building Information Modeling* (BIM) di Indonesia

Berdasarkan Undang-Undang Jasa Konstruksi Pasal 5, pemerintah pusat memiliki kewenangan untuk mengembangkan standar material dan peralatan konstruksi, serta inovasi teknologi konstruksi. Diperkuat juga di dalam PP Nomor 50 Tahun 2012, peningkatan kinerja keselamatan dapat dilakukan jika adanya perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Saat ini teknologi dan informasi sedang berkembang di seluruh industri konstruksi di dunia. Oleh karena itu di Indonesia ada peraturan yang menjelaskan terkait penggunaan BIM sendiri yang aturannya ada di dalam Permen PUPR Nomor 22 Tahun 2018 sebagai payung hukum penerapan BIM di Indonesia menyatakan bahwa BIM wajib diterapkan pada Bangunan Gedung Negara dengan luas di atas 2000 m² (dua ribu meter persegi) dan di atas 2 (dua) lantai (Permen PU No. 22/PRT/M/2018, 2018).

2.2.2 Manfaat *Building Information Modeling* (BIM)

Building Information Modeling (BIM) memiliki keunggulan yaitu memberikan kemudahan dalam koordinasi antar pekerja dan memberikan transparansi data bagi semua pihak pekerja proyek. Penggunaan teknologi BIM sangat berguna dalam menghadapi tantangan dunia konstruksi saat ini, yaitu *zero tolerance for errors, time constraint, high precision and big responsibility*. BIM memiliki beberapa kelemahan, kelemahan yang paling utama adalah nilai investasi *software* hingga kini masih relatif mahal sehingga jenis proyek yang lebih efisien dan efektif untuk memakai BIM adalah proyek *design and built* yang saat ini banyak dipergunakan dalam proyek - proyek percepatan nasional (Roesdiana, 2023).

Dalam proses pembangunan konstruksi yang belum menggunakan BIM, terutama dalam proses desain sering kali tidak mengikutsertakan kontraktor dalam pembuatannya. Hal tersebut membatasi kemampuan kontraktor dalam berkontribusi pengetahuan mereka pada saat proses desain, yang memungkinkan para kontraktor mampu menambahkan hal yang penting. Dimensi ini mengidentifikasi dan menghilangkan hambatan produktivitas di seluruh desain, konstruksi, dan pengiriman fasilitas. Untuk meningkatkan tingkat produktivitas, dimensi ini mendorong penggunaan drone dan mesin manufaktur.

Keuntungan penerapan BIM adalah sebagai berikut (Alhogbi dkk., 2018):

- Meningkatkan produktivitas karena adanya koordinasi dan kolaborasi informasi yang terintegrasi satu sama lainnya (*collaboration management*);
- Mendeteksi mitigasi atau mengurangi risiko dalam proses perencanaan, ketidakpastian, meningkatkan keselamatan, menganalisis dampak potensial;
- Mengoptimalkan *resources* (biaya, waktu dan SDM);
- Memproduksi gambar teknis lebih cepat dan akurat; serta
- Meminimalisir terjadinya *variation order* (VO)

Teknologi BIM dapat memberikan berbagai manfaat sepanjang siklus hidup suatu aset, mulai dari awal pengadaan sampai dengan pengoperasian aset tersebut. Penelitian yang dilakukan oleh (Al-Ashmori dkk., 2020) menemukan 7 manfaat adopsi BIM yaitu: produktivitas tinggi, efisien, mudah mengakses waktu dan biaya terkait perancangan, monitoring dan penelusuran (*tracking*) kemajuan konstruksi dan menghilangkan tabrakan elemen rancang bangun (*clash*) Berikut ini secara umum manfaat BIM. Manfaat secara khusus untuk suatu kegiatan maupun untuk aktor sebagai berikut (Sigurdsson H., 2000):

1. Memodernisasi proses penawaran berdasarkan perhitungan kebutuhan material bangunan yang akurat. Dengan model BIM, evaluasi penawaran dapat dilaksanakan secara adil, harga perkiraan sendiri (HPS) dapat menunjukkan biaya aktual bukan estimasi biaya karena disusun berdasarkan kuantitas pekerjaan yang akurat.
2. Dapat secara signifikan menurunkan emisi karbon selama konstruksi. Dengan kuantitas material yang akurat, HPS akan mendekati biaya akhir dari konstruksi yang dapat menurunkan sampah selama konstruksi, mengurangi mobilitas angkutan material yang berdampak pada penurunan konsumsi energi, dan emisi karbon.
3. Mengoptimalkan sistem MEP dalam fase desain akan menurunkan konsumsi listrik dan air selama operasi. Dengan perancangan yang menyeluruh, simulasi dapat dilaksanakan selama fase perancangan sehingga system MEP dapat diuji dan direvisi dengan mudah sehingga efisiensi pada saat operasi dan pemeliharaan dapat dicapai.

4. Meningkatkan pengalaman penghuni di gedung. Dengan model BIM yang akurat memberikan kesempatan kepada calon penghuni merasakan secara virtual rancangan gedung pada fase rancang bangun.
5. Memfasilitasi komunikasi selama konstruksi. Komunikasi semua pihak yang terlibat pada fase seperti tim spesialis, tim penjadwalan waktu maupun material dapat dijamin real-time sehingga setiap perubahan yang terjadi pada saat perancangan segera diketahui. Para pihak yang terlibat dapat bekerja dari tempat yang berbeda secara bersama-sama pada waktu yang sama pada model yang sama. Dengan mengintegrasikan teknologi *virtual reality* (VR) dapat menyajikan rancangan secara *virtual* seperti bangunan sudah jadi. Revisi dapat dilakukan dengan mudah pada saat fase rancang bangun sehingga kesalahan pada fase konstruksi dapat dikurangi.
6. Mengendalikan biaya. Dengan menggunakan model BIM, pekerjaan ulang pada masa konstruksi dapat dicegah sejak fase perancangan sehingga dapat menghemat waktu, upah dan material selama fase konstruksi.
7. Dapat memperkirakan pemeliharaan. Dengan rancang bangun dan konstruksi yang akurat dapat memudahkan manajemen fasilitas dalam mengelola dan memelihara fasilitas karena model BIM dapat memberikan data aset yang akurat sehingga siklus pemeliharaan dapat dirancang dengan baik.
8. Menurunkan biaya seumur hidup bangunan. Apabila hipotesis iceberg dianggap benar bahwa 1% biaya seumur hidup gedung dihabiskan pada saat fase perancangan sedangkan 70% dikeluarkan selama masa pemeliharaan. Dengan perancangan model BIM, biaya perancangan akan sedikit meningkat, tetapi biaya pemeliharaan akan menurun.
9. Memungkinkan sistem manajemen gedung dan sistem manajemen fasilitas. Penggunaan sensor pada intelligent building, tidak hanya menunjukkan cara pengoperasiannya, tetapi memberikan informasi mengenai fungsi fasilitas gedung. Dengan model BIM, manajemen dapat mengetahui kondisi setiap fasilitas, baik masa garansi, pemasangan, penggantian dan Kesehatan fasilitas.

2.2.3 Dimensi *Building Information Modeling* (BIM)

Pada saat ini *Building Information Modeling* (BIM) adalah sebuah proses yang sangat populer terkhusus pada dunia Teknik di bidang infrastruktur bangunan. dikarenakan teknologi atau metode ini mampu mendeteksi kejanggalan antara desain guna meminimalisasi pengurangan kegagalan proyek. Tiap dimensi pada BIM memiliki kegunaan ataupun fungsi pertiap dimensinya, dengan seiringnya waktu terdapat penambahan ataupun perubahan yang ada untuk saat ini dimensi dari BIM terdiri dari 10D dengan sesuai fungsi dari dimensinya. (Popescu dkk., 2023).



Gambar 2.3 BIM dari 3D Sampai 10D

Sumber: (Popescu dkk., 2023)

Terdapat 3 tambahan baru dimensi yang sebelumnya hanya terdiri hingga 7D yang harus kita kenali yaitu 8D dengan kegunaan untuk integrasi persyaratan Kesehatan dan keselamatan dari desain dan eksekusi lapangan, 9D dengan kegunaan sebagai intsegrasi persyaraatan lean construction dan 10D adalah sebagai prospektif lain dari sistem BIM untuk memanfaatkan konstruksi industri dengan menggabungkan rencana manajemen bencana. Berikut model 3D hingga 10D pada BIM sebagai berikut:

1. BIM 3D (*Desain Virtual 3D*)

Yang dimaksud dengan “BIM 3D” adalah model bangunan yang menyertakan parameter informasi, komponen yang lebih detail, dan kemungkinan digabungkan dengan banyak *Platform* untuk ditingkatkan ke dimensi berikutnya (pemodelan).

2. BIM 4D (*Time Schedule*)

Terkait suatu hal dengan data jadwal kerja

3. BIM 5D (*Estimating*)

Dengan menambahkan biaya proyek terhadap model, BIM dapat mencetak *Quantity Take-Off* (QTO) dan biaya estimasi termasuk menyusun hubungan antara kuantitas, biaya dan lokasi

4. BIM 6D (*Sustainability*)

Menguji model untuk menemukan konflik tata ruang. Dalam kasus apapun, pemberitahuan otomatis akan terlihat. Selain itu dengan kemampuan analisis energi dan keberlanjutan bangunan, *Building Information Modeling* (BIM) akan memberikan pengguna dengan rinci pemodelan energi akurat, informasi terkait keberlanjutan bangunan, dan dampak lingkungan.

5. BIM 7D (*Facility Management Application*)

Digunakan oleh manajer dalam operasi dan pemeliharaan fasilitas sepanjang siklus hidupnya. Memungkinkan user untuk mengekstrak dan melacak data seperti status komponen, spesifikasi, pemeliharaan manual operasi, data garansi dan lainnya sehingga penggantian lebih mudah dan lebih cepat. Tersedia pula proses untuk mengelola data supplier subkontraktor dan komponen fasilitas melalui seluruh siklus manajemen operasi.

6. BIM 8D (*Health and Safety*)

Sebagai keamanan pada saat pelaksanaan dapat diantisipasi sejak tahap desain. Dengan pentingnya 8D BIM mendukung dalam mengelola keselamatan lokasi konstruksi dan membantu dalam mencegah risiko serta bahaya bagi pekerja. BIM 8D sangat bermanfaat dalam tahap pelaksanaan untuk pekerja selain itu juga pada tahap desain dengan memodelkan semua elemen seperti pagar, perancah mesin, dll serta

memvisualisasikannya untuk mencegah kemungkinan risiko bahaya bagi pekerja. Kemudian ada keuntungan dari BIM 8D sendiri sebagai berikut:

- Memiliki gambaran lengkap mengenai skenario yang mungkin di lakukan dilokasi proyek
- Menyusun rencana keselamatan terperinci
- Melatih pekerja melalui realitas virtual
- Mengurangi risiko kecelakaan bagi pekerja

7. BIM 9D (*Lean Construction*)

Seperti yang kita kenal *lean construction* atau konstruksi ramping adalah untuk mengoptimalkan dan menyederhanakan semua langkah yang terlibat dalam implementasi proyek dengan mendigitalisasikan prosesnya. Dengan sistem *Integrated Project Delivery* (IPD)-nya untuk memaksimalkan nilai (*Value*) dengan menghasilkan pemborosan (*Waste*) seminimal mungkin dan terdapat beberapa prinsip dasar pada *lean construction* sebagai berikut:

- Menghilangkan barang sisa
- Mengoptimalkan, mengurangi atau menghilangkan aktivitas yang tidak menambah nilai pada proses yang berlangsung

8. BIM 10D (*Industrialization Processes of Constructions*)

BIM 10D ini bertujuan untuk melakukan industrialisasi dan menjadikan sektor konstruksi lebih terintegrasi dengan teknologi baru dan informasi real time.

2.3 *Lean Construction*

Lean adalah suatu upaya terus menerus (*continuous improvement effort*) untuk menghilangkan pemborosan (*waste*), meningkatkan nilai tambah (*value added*) produk (barang dan atau jasa) dan memberikan nilai kepada pelanggan (*customer value*) (Gaspersz,2008). *Construction* dapat didefinisikan sebagai suatu kegiatan yang bertujuan untuk mendirikan suatu bangunan yang membutuhkan sumber daya, baik biaya, tenaga kerja, material dan peralatan. Proyek konstruksi di lakukan secara detail dan tidak di lakukan berulang (Yuniar dkk., 2023).

Lean construction adalah cara untuk mendesain sistem produksi untuk mengendalikan dan meminimalkan *waste* dalam bahan material, waktu, dan usaha

untuk menghasilkan nilai (*value*) semaksimal mungkin (Abdelhamid & Salem, 2005). Definisi lain adalah sebuah fasilitas desain dan pengiriman dengan tujuan yang menyeluruh untuk memaksimalkan nilai tambah bagi seluruh klien secara sistematis, sinergis, dan perbaikan terus-menerus dalam pengaturan kontrak, desain produk, proses desain konstruksi dan pemilihan metode, *supply chain*, dan *workflow reliability* dalam operasi lapangan (Abdelhamid & Salem, 2005). Jadi *lean* merupakan cara baru untuk memikirkan dan melakukan pekerjaan di konstruksi. Mengidentifikasi perubahan, mendapatkan pengetahuan, proses pemetaan, dan membuat perencanaan yang handal adalah langkah pertama untuk menjadi *lean* (Kololu & Camerling, 2017).

Dengan sistem *ter-integrated project delivery* atau pendekatan yang terstruktur dengan sebuah proses yang mengandalkan kolaboratif membuat *lean construction* bekerja dengan memaksimalkan *value* untuk meminimalisir pemborosan (*Waste*) dengan begitu bisa memaksimalkan kinerja dari segi kontrol produksi dan segi desain.

Lean construction berfungsi meminimalisir terjadinya *waste* terkait pemakaian material, waktu, dan proses yang menghasilkan pada suatu pekerjaan. Fokus dari *lean* adalah meningkatkan *value*, maka prinsip *lean construction* meliputi (Nuciferani dkk., 2022):

1. Menghentikan pekerjaan dari pada harus membiarkan pekerjaan yang salah berjalan.
2. Mengutamakan proses yang sederhana.
3. Menciptakan proses yang transparan.
4. Menciptakan manajemen tim yang saling terhubung untuk mengelola proyek.
5. Merencanakan proses produksi secara simultan.

2.4 Autodesk Revit

Sejak awal, Revit dimaksudkan untuk memungkinkan arsitek dan profesional bangunan lainnya merancang dan mendokumentasikan bangunan dengan menciptakan model tiga dimensi parametrik yang mencakup desain geometri dan nongeometris serta informasi konstruksi, yang juga dikenal sebagai Pemodelan Informasi Bangunan atau BIM. Kemudahan melakukan perubahan

mengilhami nama Revit, singkatan dari “*Revise-Instantly*”. Istilah *Parametric Building Model* diadopsi untuk mencerminkan fakta bahwa perubahan pada parameter akan mengubah keseluruhan model bangunan dan dokumentasi terkait, bukan hanya komponen individual. Autodesk, yang terkenal dengan jajaran produk Autocad-nya, membeli Revit Technology Corporation pada tahun 2002. Sejak Revit 2013 berbagai disiplin ilmu telah disatukan menjadi satu produk, cukup disebut Revit (Purwanto dkk., 2020).

Proyek konstruksi seringkali melibatkan sinkronisasi antara beberapa disiplin ilmu terkait, seperti: arsitektural, struktural, dan mekanikal elektrik. Terkadang fasilitas ataupun tempat pengerjaan menjadi salah satu kendala oleh para *engineer* karena tidak adanya fasilitas yang terintegrasi. Namun seiring perkembangan zaman dan teknologi, penggunaan dan penerapan aplikasi yang dapat mengintegrasikan ketiga disiplin ilmu tersebut dalam perencanaan proyek konstruksi telah muncul dan diterapkan agar sinkronisasi tercipta lebih efektif serta memudahkan pengerjaan di lapangan dan tentunya mempercepat pelaksanaan proyek sehingga tepat waktu, mutu dan kualitasnya. Salah satu program yang dapat digunakan untuk melakukan superimpose tersebut adalah Autodesk Revit.

Autodesk Revit yang kita ketahui adalah aplikasi atau alat program berbasis BIM yang membantu mendokumentasikan proyek dalam model 3D secara lebih realistis. Berikut adalah fitur-fitur lain yang ada pada Autodesk Revit (Reista dkk., 2022):

1. *Modelling*

Pemodelan adalah hal yang paling penting pada perencanaan sebuah proyek. Teknologi pemodelan Revit, yang berorientasi pada objek, dapat membuat pemodelan lebih mudah dan lebih efisien. Komponen seperti kolom, balok, tulangan, jendela, dan pintu otomatis dapat dipilih (*family*), sehingga sebagai *modeler* hanya perlu memasukkan spesifikasi yang diperlukan sesuai dengan desain rencana.

2. *Massing*

Dengan menggunakan *massing*, objek yang digunakan untuk menggambarkan bentuk dan geometri suatu bangunan dapat dilakukan dengan lebih sederhana. Tujuan dari *massing* ini adalah untuk menentukan

luas, volume, atau dapat diintegrasikan ke dalam aplikasi lain seperti *insight* untuk menganalisis konsumsi energi, pencahayaan, dan lain lain.

3. *Phasing*

BIM sering disebut sebagai aplikasi empat dimensi karena dapat dilihat setiap waktu. Revit dapat melakukan perubahan model sesuai kebutuhan selama fase proyek. Pada setiap fase konstruksi, dapat menentukan komponen mana yang akan terlihat atau disembunyikan.

4. *Grouping*

Revit juga berfungsi sebagai aplikasi yang dapat menampilkan data dalam berbagai format. Model yang dibuat di Autodesk Revit dapat mengatur objek-objek ini dalam satu susunan daftar. Daftar tersebut terintegrasi langsung ke dalam model yang dibuat, sehingga saat mengubah objek juga akan mengubah daftar.

2.4.1 Keunggulan Autodesk Revit

Dengan seiringnya perkembangan zaman yang menuntut kita kearah lebih modern dalam dunia digitalisasi teknologi Autodesk Revit hadir dengan banyak sekali fitur serta keuntungan bagi penggunanya di mana keunggulannya terdapat sebagai berikut:

1. Terdapat fitur *Student License* gratis untuk pelajar selama satu tahun percobaan.
2. Dapat digunakan pada perangkat dengan spesifikasi menengah atau medium
3. Dapat digunakan untuk pekerjaan arsitektur, struktur, dan MEP sehingga integrasi antar disiplin ilmu dapat di lakukan dalam satu perangkat lunak

2.4.2 Kekurangan Autodesk Revit

Terdapat kekurangan dalam penggunaan *software* Autodesk Revit yaitu:

1. Terdapat fitur atau biaya *subscription* tahunan
2. Tidak bisa membuka versi desain terdahulu di versi terbaru
3. Memerlukan spesifikasi perangkat ter *up to date*
4. Untuk kelengkapan fitur bawaan revit sendiri terbatas

2.5 Cutting Optimization Pro

Untuk memaksimalkan pengendalian *waste* pembesian maka di lakukan suatu metode baru dengan cara mengembangkan suatu metode dengan bantuan perangkat lunak (*software*) yang dapat menganalisis dan mengkoreksi *waste* tulangan baja untuk membuat pola pemotongan material yang paling optimal.

Perangkat lunak ini memiliki satu fitur yaitu mengkombinasikan pola pemotongan yang di input oleh pengguna sehingga menghasilkan sisa besi tulangan yang paling optimal. Berikut kemampuan aplikasi Cutting Optimization Pro (CPO):

1. Memiliki kapasitas input data hingga 1000 *parts required* untuk pemotongan yang dibutuhkan dengan ukuran berbeda-beda dan 200 sourced bars untuk sumber material yang tersedia.
2. Mampu membuat susunan pola-pola yang telah tersusun dengan menggunakan alogaritma program dinamis untuk mendapatak hasil *waste* paling optimal.
3. Mampu membuat diagram pemotongan besi tulangan sesuai dengan input pengguna.

Penelitian ini di lakukan pada proyek pembangunan Gedung manufaktur indonesia, yang berlokasi di No.1644 Jalan Raya Warung Jeruk, Desa Citeko, Kecamatan Plered, Kabupaten Purwakarta, Jawa Barat. Pada proyek ini menggunakan metode pemotongan konvensional nantinya akan membandingkan dengan metode aplikasi *software*. Yang menjadi tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pembesian pada pekerjaan struktur atas gedung berupa kolom, balok dan pelat lantai sesuai dengan metode yang dipakai di lapangan. Untuk mengetahui perbandingan *waste* antara metode konvensional di lapangan dengan menggunakan *software* Cutting Optimization Pro (CPO).

2.6 Komponen Bangunan Gedung

Pekerjaan strukutral, pekerjaan arsitektural, dan pekerjaan *Mechanical Electrical Plumbing* (MEP) menjadi satu kesatuan dari ke tiga disiplin ilmu dalam terbentuknya sebuah bangunan Gedung.

Bangunan Gedung adalah wujud fisik hasil pekerjaan konstruksi yang menyatu dengan tempat kedudukannya, sebagian atau seluruhnya berada di atas dan atau di dalam tanah dan atau air, yang berfungsi sebagai tempat manusia melakukan

kegiatannya, baik untuk hunian atau tempat tinggal, kegiatan keagamaan, kegiatan usaha, kegiatan sosial, budaya, maupun kegiatan khusus (Pekerjaan dkk., 2021).

2.6.1 Pekerjaan Struktur Atas Bangunan Gedung

Jenis-jenis struktur bangunan pada umumnya terdiri dari struktur bawah (*lower structure*) dan struktur atas (*upper structure*). Jenis struktur bawah (*lower structure*) adalah pondasi dan struktur bangunan yang berada di bawah permukaan tanah, sedangkan yang dimaksud dengan struktur atas (*upper structure*) adalah struktur bangunan yang berada di atas permukaan tanah seperti kolom, balok, Pelat. Setiap komponen tersebut memiliki fungsi yang berbeda-beda di dalam sebuah struktur sebagai berikut:

1. Kolom

Kolom berfungsi sebagai penerus beban seluruh bangunan ke pondasi. Kolom termasuk struktur utama untuk meneruskan berat bangunan dan beban lain seperti beban hidup (manusia dan barang-barang), serta beban hembusan angin. Kolom berfungsi sangat penting agar bangunan tidak mudah runtuh. Beban sebuah bangunan dimulai dari atap. Beban atap akan meneruskan beban yang diterimanya ke kolom. Seluruh beban yang diterima kolom didistribusikan ke permukaan tanah di bawahnya. Kesimpulannya, sebuah bangunan akan aman dari kerusakan bila besar dan jenis pondasinya sesuai dengan perhitungan. Namun, kondisi tanah pun harus benar-benar udah mampu menerima beban dari pondasi. Kolom menerima beban dan meneruskannya ke pondasi, karena itu pondasinya juga harus kuat, terutama untuk konstruksi rumah bertingkat, harus diperiksa kedalaman tanah kerasnya agar bila tanah turun atau terjadi gempa tidak mudah runtuh. Struktur dalam kolom dibuat dari besi dan beton. Keduanya merupakan gabungan antara material yang tahan tarikan dan tekanan. Besi adalah material yang tahan tarikan, sedangkan beton adalah material yang tahan tekanan. Gabungan kedua material ini dalam struktur beton memungkinkan kolom atau bagian struktural lain seperti balok bisa menahan gaya tekan dan gaya tarik pada bangunan (Tarigan & Sibagariang, 2021).

2. Balok

Balok merupakan salah satu bagian penting dalam sebuah struktur bangunan. Balok adalah bagian struktur yang berfungsi menahan beban struktur atas dan menyalurkannya ke kolom (Darmansyah & Chairani, 2022).

3. Pelat Lantai

Pelat lantai merupakan suatu struktur solid tiga dimensi dengan bidang permukaan yang lurus, datar dan tebalnya jauh lebih kecil dibandingkan dengan dimensinya yang lain. Struktur Pelat bisa saja dimodelkan dengan elemen 3 dimensi yang mempunyai tebal, panjang, dan lebar. Adapun fungsi dari pelat lantai adalah untuk menerima beban yang akan disalurkan ke struktur lainnya (Zebua, 2018).

2.7 Manajemen *Materials*

Manajemen material konstruksi merupakan suatu proses perencanaan, pelaksanaan dan pengendalian sumber daya material yang tepat dengan kualitas yang sudah ditentukan. Manajemen material singkatnya merupakan perpaduan dari berbagai aktifitas yang cara pelaksanaannya merupakan manajemen terpadu, di mana prosesnya dimulai sejak tahap pengadaan material sampai diolah menjadi suatu bahan yang siap pakai, dalam proyek konstruksi, manajemen material umumnya meliputi tahap pengadaan, penyimpanan, penanganan dan pemakaian material.

Manajemen material didefinisikan sebagai suatu sistem manajemen yang diperlukan untuk merencanakan dan mengendalikan mutu material, jumlah material dan penempatan peralatan yang tepat waktu, harga yang baik dan jumlah yang sesuai dengan kebutuhan (Lestaluhu & Musyafa, 2020).

Dalam peranan manajemen material atau pengelolaan material pada pelaksanaan konstruksi juga sangat pentingnya mengingat nilai produktivitas pada proyek serta biaya proyek Pembangunan. Ada beberapa tahapan manajemen material agar menghasilkan proses konstruksi yang baik, teratur dan nilai yang maksimal, berikut tahapan pada manajemen material yaitu (Putri dkk., 2021):

1. Pemilihan Material

Pemilihan material dalam suatu proyek harus berdasarkan ketentuan yang ada dalam perencanaan proyek yang terdapat pada spesifikasi dan gambar

proyek yang sesuai dengan kontrak. Namun Ada beberapa material pada suatu proyek yang memiliki spesifikasi yang tidak sesuai dengan kontrak, sehingga pemilihan material harus ditentukan berdasarkan kinerja yang di hasilkan. Sedangkan pemilihan materialnya di lakukan oleh pihak pelaksana.

2. Pemilihan Penyuplai Material

Pada dasarnya pemilihan penyuplai material ditentukan sesuai dengan penawaran harga terendah. Namun perlu diperhatikan faktor-faktor lain yang akan mempengaruhi dalam memutuskan pemilihan penyuplai material antara lain: kemampuan penyuplai, kualitas penyuplai, Kuantitas Penyuplai, layanan purna jual yang ditawarkan penyuplai, persyaratan pembayaran yang di mita penyuplai, dan kemampuan penyuplai material dalam menyediakan material dalm kondisi tidak terjadwal atau mendesak.

3. Pembelian Material

Pembelian material dapat di lakukan dengan berbasis terpusat maupun berbasis lokal, hal ini disesuaikan dengan kebutuhan proyek kontruksi yang di kerjakan terutama pada proyek yang mempunyai struktur organisasi pembangunan proyek yang mempunyai lokasi proyek yang berbeda.

4. Pengiriman Material

Pengiriman material di lakukan berdasarkan surat permintaan yang telah disetujui dengan jaminan bahwa material yang dikirim sesuai dengan spesifikasi barang, ketepatan lokasi pengiriman dan ketepatan waktu yang telah di janjikan. Pengiriman material ini mempunyai tugas yang penting karena akan berpengaruh terhadap kinerja kontraktor sebagai pelaksana proyek kontruksi. Jika terjadi kegagalan dalam pengiriman material akan menyebabkan keterlambatan pekerjaan yang pada akhirnya mempengaruhi proses pembangunan menjadi tidak ekonomis dan efisien.

5. Penerimaan Material

Pada proses penerimaan material kontraktor harus melakukan pengecekan terhadap material-material yang dikirim sesuai surat permintaan pembelian sebelum diserahkan kepada petugas gudang. Pemeriksaan di lakukan baik

dari segi kualitas maupun kuantitas material sesuai dengan surat permintaan material.

6. Penyimpanan Material

Apabila material yang telah diserahkan sudah sesuai dengan surat permintaan material dan dapat diterima. Maka material harus disimpan dengan baik sesuai dengan kondisi material yang ada oleh petugas gudang. Petugas gudang ini bertanggung jawab dalam menjaga dan menyimpan material-material yang telah diterima dan di simpan mulai dari penyerahan material hingga waktu material tersebut dikeluarkan dari gudang dan didistribusikan pada pelaksanaan proyek konstruksi. Aspek utama manajemen material adalah aspek keamanan fisik dan selalu siap (*availability*). Pemeriksaan secara periodik terhadap material-material yang disimpan harus diadakan untuk memperkuat catatan petugas gudang agar tidak terjadi perbedaan jumlah material yang disimpan dengan catatan yang ada.

7. Pemilihan Penyuplai Material

Pada dasarnya pemilihan penyuplai material ditentukan sesuai dengan penawaran harga terendah. Namun perlu diperhatikan faktor-faktor lain yang akan mempengaruhi dalam menentukan penyuplai material antara lain kridebilitas dari toko, kemampuan toko dalam menyuplai material, lokasi gudang penyuplai material dari lokasi proyek, dll.

8. Pengeluaran Material

Penerapan administrasi yang baik dalam sistem pengeluaran material sangat dibutuhkan. Semua material yang digunakan dalam pelaksanaan pembangunan proyek konstruksi jalan harus tercatat dengan baik dan tersimpan rapi di dalam gudang. Material dikeluarkan dari gudang penyimpanan harus melengkapi surat permintaan material dari pengawas proyek dan berita acara pengeluaran material yang dikeluarkan dari gudang penyimpanan yang dikeluarkan oleh petugas gudang. Para petugas gudang juga harus dapat memberi jaminan bahwa semua barang diberikan kondisinya baik dan sesuai dengan permintaan, serta peralatan yang telah selesai digunakan dikembalikan setelah dibersihkan dan masih dapat

beroperasi penuh. Bila dibutuhkan perbaikan, petugas gudang harus memperbaiki secepatnya, sehingga barang tersebut siap pakai bila tiba-tiba dibutuhkan.

2.8 *Waste Materials*

Waste merupakan bentuk ketidak efisienan dan pemborosan yang disebabkan dari material, sumber daya manusia, dan waktu (Mudzakir dkk., 2017). *Waste* digambarkan sebagai aktivitas manusia yang menggunakan sumber daya tetapi tidak menghasilkan nilai tambah (Womack and Jones, 1996 dalam Formoso dkk., 2002). *Waste* juga dapat diartikan sebagai kerugian atau kehilangan dari berbagai sumber daya yang diakibatkan oleh kegiatan-kegiatan yang membutuhkan biaya tetapi tidak memiliki nilai tambah terhadap produk atau hasil akhir (Formoso dkk., 2002). Dalam kegiatan proyek konstruksi, *waste material* yang dihasilkan tentunya tidak sedikit dan akan mempengaruhi pada produktivitas proyek dan memberikan dampak yang kurang baik kepada lingkungan di sekitarnya. Ramah lingkungan dalam pengertian suatu bahan biasanya dikaitkan dengan aspek produk dari bahan itu sendiri, yaitu bahan yang tidak merusak lingkungan selama penggunaan atau pembuangannya (Allo & Bhaskara, 2022).

Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya sisa material adalah pengawasan yang kurang, area kerja yang tidak mendukung, peralatan bantu yang kurang memadai, tidak adanya pengklasifikasian bidang pekerjaan, tidak efektifnya jumlah tenaga kerja dalam suatu area kerja, dan kurangnya pengalaman para tukang (Prasetyo dan Septian, 2010), pada pelaksanaan suatu proyek konstruksi, tidak akan dapat dihindari munculnya sisa material konstruksi. Lebih dari 75% yang dihasilkan oleh industri konstruksi merupakan sisa material yang memiliki nilai residu dan dapat didaur ulang, diselamatkan dan atau digunakan kembali. (Yeheyis.M dkk, 2012). Oleh karena itu, dibutuhkan mekanisme pengelolaan, teknologi, sistem penilaian dan pengelolaan sisa material yang komprehensif dan terpadu (Sudiro & Musyafa, 2018).

Waste material atau Sisa Material pada konstruksi dapat diartikan sebagai segala jenis material yang berasal dari bagian alam di bumi yang dipindahkan, diolah ke suatu tempat untuk kemudian digunakan pada proses konstruksi baik pada suatu lokasi atau dengan berbagai kemungkinan yang dapat timbul antara lain

kerusakan, kelebihan, tidak terpakai, tidak sesuai dengan spesifikasi atau hasil dari proses konstruksi (Ferdiana, 2009).

2.8.1 Klasifikasi *Waste Materials*

Keberadaan sisa material konstruksi terus terjadi sejalan dengan proses pembangunan ataupun pembongkaran yang dilaksanakan. Jenis sisa material dapat dikategorikan dua bagian yaitu (Fajar dkk., 2018):

1. *Demolition waste* adalah sisa material akibat hasil proses pembongkaran, renovasi atau rehabilitasi atau penghancuran bangunan lama.
2. *Construction waste* adalah sisa material berasal dari proses Pembangunan atau renovasi bangunan.

Menurut Skoyles (1976) menyatakan bahwa sisa material konstruksi dapat digolongkan ke dalam dua kategori berdasarkan tipe, yaitu: direct waste dan indirect waste ;(Asnudin, 2010).

a. Sisa Material Langsung (*Direct Waste*)

Direct waste adalah sisa material yang timbul di proyek karena rusak dan tidak dapat digunakan lagi, yang terdiri dari:

- Sisa Material akibat Transportasi dan Pengiriman (*Transport and delivery waste*)

Semua sisa material yang terjadi pada saat melakukan transport material di dalam lokasi pekerjaan, termasuk pembongkaran dan penempatan pada tempat penyimpanan seperti membuang atau melempar semen, keramik pada saat dipindahkan.

- Sisa Material akibat Tempat Penyimpanan (*Site storage waste*)

Sisa material yang terjadi karena penumpukkan atau penyimpanan material pada tempat yang tidak aman terutama untuk material pasir dan batu pecah, atau pada tempat dalam kondisi yang lembab terutama untuk material semen.

- Sisa Material akibat Pengubahan (*Conversion waste*)

Sisa material yang terjadi karena pemotongan bahan dalam bentuk yang tidak ekonomis, seperti: material besi beton, keramik, dan sebagainya.

- *Fixing waste*

Material yang tercecer, rusak atau terbuang selama pemakaian di lapangan, seperti: pasir, semen, batu bata, dan sebagainya.

- Sisa Material akibat Pemotongan (*Cutting waste*)
Sisa material yang dihasilkan karena pemotongan bahan, seperti: tiang pancang, besi beton, batu bata, keramik, besi beton, dan sebagainya.
- Sisa Material akibat Pelaksanaan dan Sisa tertinggal (*Application and residue waste*)
Sisa material yang terjadi seperti mortar yang jatuh atau tercecer pada saat pelaksanaan atau mortar yang tertinggal dan telah mengeras pada akhir pekerjaan.
- Sisa Material akibat Tindakan Kriminal (*Criminal waste*)
Sisa material yang terjadi karena pencurian atau tindakan perusakan (vandalism) di lokasi proyek.
- Sisa Material akibat kesalahan penggunaan material (*Wrong use waste*)
Pemakaian tipe atau kualitas material yang tidak sesuai dengan spesifikasi dalam kontrak, maka pihak direksi memerintahkan kontraktor untuk menggantikan material tersebut sesuai dengan kontrak, sehingga menyebabkan terjadinya sisa material di lapangan.
- Sisa Material akibat Manajemen (*Management waste*)
Terjadinya sisa material disebabkan karena pengambilan keputusan yang salah atau keraguan dalam mengambil keputusan, hal ini terjadi karena organisasi proyek yang lemah atau kurangnya pengawasan.

b. Sisa Material Tidak Langsung (*Indirect Waste*)

Indirect waste adalah sisa material yang terjadi dalam bentuk sebagai suatu kehilangan biaya (*moneter loss*), terjadi kelebihan pemakaian volume material dari yang direncanakan, dan tidak terjadi sisa material secara fisik di lapangan. Indirect waste ini dapat dibagi atas tiga jenis, yaitu:

- *Substitution waste*

Sisa material yang terjadi karena penggunaannya menyimpang dari tujuan semula, sehingga menyebabkan terjadinya kehilangan biaya yang dapat disebabkan, karena tiga alasan: (1) Terlalu banyak material yang dibeli; (2) Material yang rusak; (3) Makin bertambahnya kebutuhan material tertentu.

- *Production waste*

Sisa material yang disebabkan karena pemakaian material yang berlebihan dan kontraktor tidak berhak mengklaim atas kelebihan volume tersebut karena dasar pembayaran berdasarkan volume kontrak, contoh pasangan dinding bata yang tidak rata menyebabkan pemakaian mortar berlebihan karena plesteran menjadi tebal.

- *Negligence waste*

Sisa material yang terjadi karena kesalahan di lokasi (*site error*), sehingga kontraktor menggunakan material lebih dari yang ditentukan, misalnya: penggalian pondasi yang terlalu lebar atau dalam yang disebabkan kesalahan atau kecerobohan pekerja, sehingga mengakibatkan kelebihan pemakaian volume beton pada waktu pengecoran pondasi.

2.8.2 Faktor Terjadinya *Waste Materials*

Adapun faktor penyebab terjadinya sisa material (*waste material*), khususnya Pada proyek konstruksi penggunaan material dialokasikan secara tidak optimal dan efisien yang menyebabkan atau menimbulkan terjadinya sisa material yang jumlahnya dapat mempengaruhi rencana anggaran biaya dan berdampak pada keuntungan bagi pelaksana atau kontraktor. menurut Thoengsal (2014) Banyak sekali faktor yang dapat menyebabkan sisa material, adapun faktor atau penyebab yang dapat menimbulkan sisa material antara lain proses pengiriman material, adanya perubahan desain, adanya perubahan pekerja oleh owner (*Change Order*), adanya pekerjaan yang diulang (*rework*), Kualitas Material, Keahlian atau keterampilan sumber daya manusia, cara penyimpanan material di lokasi proyek, pengawasan, metode kerja, miskomunikasi, informasi kurang jelas, kondisi lapangan, kesalahan estimasi volume pekerjaan dan lain-lain (Putri dkk., 2021).

Material konstruksi memiliki potensi menjadi *waste material* apabila material tersebut tidak dapat dipergunakan sesuai dengan fungsi semula, ataupun material yang berlebihan yang sudah selesai digunakan dan pemilik material tersebut mempunyai keinginan untuk membuang. Sumber-sumber yang dapat menyebabkan terjadinya *waste material* pada pelaksanaan konstruksi terbagi menjadi lima kategori yaitu: desain, pengadaan material, penanganan material, pelaksanaan, *residual* (sisir). Sebagaimana sumber-sumber penyebab terjadinya *waste material* pada kategori pelaksanaan saja yang tercantum pada Tabel.

Tabel 2.1 Faktor Penyebab *Waste Material*

Tahapan Proyek	No	Faktor Penyebab	Suryanto dkk 2005	I Putu dkk 2009	Sri Fajar 2018	Pranisa 2020
Pelaksanaan	1	Kesalahan yang diakibatkan oleh tenaga kerja	✓	✓	✓	✓
	2	Peralatan yang tidak berfungsi dengan baik	✓	✓	✓	✓
	3	Cuaca yang buruk	✓	✓	✓	✓
	4	Kecelakaan pekerjaan dilapangan	✓	✓	✓	✓
	5	Penggunaan material yang salah sehingga perlu diganti	✓	✓	✓	✓
	6	Metode untuk menempatkan pondasi	✓		✓	
	7	Jumlah material yang dibutuhkan tidak diketahui karena perencanaan yang tidak sempurna	✓		✓	✓
	8	Informasi tipe dan ukuran material yang akan digunakan terlambat disampaikan kepada kontraktor	✓		✓	✓
	9	Kecerobohan dalam mencampur, mengolah dan kesalahan dalam	✓		✓	✓

Tahapan Proyek	No	Faktor Penyebab	Suryanto dkk 2005	I Putu dkk 2009	Sri Fajar 2018	Pranisa 2020
		penggunaan material sehingga perlu diganti				
	10	Pengukuran dilapangan tidak akurat sehingga terjadi kelebihan volume	✓		✓	✓

Sumber: (Singarimbun dkk., 2021)

2.8.3 Perhitungan *Waste Materials*

Perhitungan *waste material* di lakukan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel. Perhitungan waste material dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Perhitungan Kebutuhan Material

Langkah pertama yang di lakukan adalah mengidentifikasi setiap item pekerjaan dan jenis material yang digunakan, kemudian menghitung kuantitas kebutuhan material berdasarkan gambar *for construction* dan *shop drawing*.

a. Perhitungan tulangan baja

Perhitungan *waste material* untuk tulangan besi pada penelitian ini menggunakan metode optimasi *cut bar* dengan perangkat lunak Cutting Optimization Pro. Perangkat lunak ini digunakan untuk mendapatkan nilai minimum dari *waste*. Optimasi pemotongan tulangan besi di lakukan untuk menekan jumlah *waste* pada material tulangan baja seminimal mungkin sehingga dapat mengurangi biaya pada *waste material*.

b. Perhitungan material beton

Perhitungan material beton di lakukan dengan membuat pemodelan yang diperoleh melalui aplikasi Autodesk Revit.

2. Perhitungan Sisa Material (*waste*)

a. Menghitung kuantitas sisa material

$$\text{Sisa material} = \text{Volume Rencana} - \text{Volume Terpasang} \quad (2.2)$$

b. Menghitung persentase sisa material

$$\text{persentase sisa material} = \frac{\text{sisa material}}{\text{volume rencana}} \times 100\% \quad (2.3)$$

Keterangan:

Volume Rencana = Volume yang dihasilkan dari nilai BoQ metode BIM dan Konvensional

Volume Terpasang = Volume material terpasang atau realisasi di lapangan

2.9 Consumable Materials

Consumable material, merupakan material yang pada akhirnya akan menjadi bagian dari struktur fisik bangunan, misalnya: tulangan baja, beton, dan lain-lain.

2.9.1 Besi Tulangan

Besi tulangan adalah baja berbentuk batang berpenampang bundar dengan permukaan polos atau sirip yang digunakan untuk penulangan beton, yang diproduksi dari bahan baku *billet* dengan cara canai panas (*hot rolling*) (SNI Baja Tulangan Beton, 2014). Berdasarkan jenisnya besi tulangan adalah sebagai berikut (Mahapatni & Juliana, 2022):

1. Besi tulangan beton polos Besi tulangan beton berpenampang bundar dengan permukaan rata tidak bersirip.
2. Besi tulangan beton ulir atau sirip Besi tulangan beton dengan bentuk khusus yang permukaannya memiliki sirip melintang dan memanjang yang dimaksudkan untuk meningkatkan daya lekat dan guna menahan Gerakan membujur dari batang secara relatif terhadap beton.

2.9.2 Beton

Beton merupakan bahan konstruksi yang sangat penting dan paling dominan digunakan pada struktur bangunan. Beton sangat diminati karena bahan ini merupakan bahan konstruksi yang mempunyai banyak kelebihan antara lain, mudah dikerjakan dengan cara mencampur semen, agregat, air, dengan perbandingan tertentu.

Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah atau agregat – agregat lain yang dicampur menjadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air sehingga membentuk suatu massa mirip batuan. Beton adalah material yang rumit. Beton dapat dibuat dengan mudah bahkan oleh mereka yang

tidak punya pengertian sama sekali tentang beton teknologi, tetapi pengertian yang salah dari kesederhanaan ini sering menghasilkan persoalan dari produk, antara lain reputasi jelek dari beton sebagai materi bangunan (A.Agung Fadhilah Putra 2015:1);(Bismark dkk., 2016).

2.10 *Quantity Take-Off*

Quantity Take-Off (QTO) pada dasarnya adalah pengukuran detail bahan bahan yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek konstruksi yang mana pada akhirnya menentukan langsung dari biaya proyek konstruksi. *Quantity Take-off* (QTO) dalam dasar pengerjaannya adalah dengan metode konvensional atau proses manual yakni dengan cara menghitung dimensi dari elemen-elemen bangunan melalui luas, volume, Panjang elemen dari gambar 2D dan 3D yang tersedia diinput datanya ke *software spreadsheet* seperti Microsoft Excel sehingga sangat rawan sekali terjadi kesalahan.

Quantity Take-Off (QTO) merupakan pekerjaan perhitungan mendetail terkait volume item pekerjaan yang dibutuhkan dalam pelaksanaan proyek konstruksi. Pekerjaan QTO diharuskan secara detail, akurat dan konsisten. Pada umumnya pekerjaan QTO dikerjakan dengan metode konvensional. Melalui metode ini, seringkali muncul kesalahan-kesalahan dalam proses penginputan data seperti dimensi, luasan, dsb. Pada proses perhitungan, kesalahan sangat amat mungkin terjadi seperti kesalahan dalam aritmatik, pembagian angka di belakang koma, jenis-jenis material, dsb (Soedrajat, 1984).

Dengan perhitungan atau pengukuran rincian bahan dan tenaga kerja yang dibutuhkan untuk penyelesaian proyek konstruksi berdasarkan gambar kerja, dan spesifikasi yang telah di tentukan memiliki prosedur yang harus di lakukan jika perhitungan menggunakan metode QTO adalah sebagai berikut:

1. Mengklasifikasikan komponen pekerjaan.
2. Membuat deskripsi dari komponen pekerjaan.
3. Menentukan dimensi dari pekerjaan yang akan di lakukan.
4. Memberi beban jam-orang
5. Memberi beban biaya

Perhitungan, QTO digunakan untuk mengestimasi rencana anggaran proyek. Banyak program yang telah dikembangkan untuk efisiensi dan keakuratan proses perhitungan. Salah satunya dengan metode BIM perhitungan QTO dapat dilakukan secara otomatis sehingga mengurangi ketidakakuratan dalam estimasi QTO (Filza Wiranti dkk., 2022).

Pekerjaan *Quantity Take Off* (QTO) merupakan salah satu jenis pekerjaan yang mampu dikerjakan dengan metode BIM. Kebanyakan perangkat lunak berbasis BIM memiliki fitur yang mampu melakukan perhitungan volume dari data geometri yang terdapat pada pemodelan tersebut. QTO yang berbasis BIM memiliki output lebih sederhana, akurat, dan detail disbanding perhitungan QTO secara konvensional. (Sadad dkk., 2023).

Tabel 2.2 Perbandingan QTO Metode Konvensional Dengan Berbasis BIM

Aspek	QTO Konvensional	QTO Berbasis BIM
Kualitas informasi	Risiko data usang dan dokumen tidak konsisten	Kolaborasi berbasis BIM membantu bekerja dengan model terkini; pengecekan <i>clash</i>
Kuantitas informasi	Tergantung pada dokumen yang tersedia	Informasi sesuai dengan fase perencanaan terkini
ketersediaan informasi	Manual (memakan waktu, rawan kesalahan)	Mudah dan cepat
kualitas QTO	Pengukuran manual mungkin berisi kesalahan.	Kesalahan yang disebabkan oleh salah pengukuran dapat dihindari
Penggunaan Kembali QTO	Tergantung pada format data QTO (MS Excel, <i>database</i> , dll)	Tautan langsung ke analisis 4D atau 5D; digunakan Kembali untuk mengatur pesanan material
Fleksibilitas Terhadap Perubahan Desain	Perlu merevisi QTO secara manual	Revisi efektif QTO

Sumber: (Retno Asih dkk., 2022)