

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

1. Ida Ayu Putu Sri Mahapatni, I Kadek Iwan Juliana

Pada penelitian mengenai “Analisis *Waste Level* dan *Waste Cost* Bekisting dan Pembesian Pada Pekerjaan Struktur Proyek Konstruksi (Studi Kasus: Pembangunan Gedung SMPN 4 Sukawati)”. Penelitian ini menggunakan metode pengumpulan data primer dan data sekunder, metode pengolahan data dengan mengetahui jawaban narasumber mengenai faktor-faktor penyebab *waste material* dan berapa persen material yang datang dan dipakai dalam setiap pekerjaan di lapangan. Metode analisis dalam penelitian ini adalah metode konvensional yang dipakai di lapangan dan metode analisis data dengan *software* Cutting Optimization Pro.

Berdasarkan hasil penelitian pemotongan material dengan metode konvensional diperoleh pada pekerjaan bekisting menghasilkan *waste level* rata-rata dari kedua jenis material sebesar 8,75%. Total *waste cost* dari kedua jenis material sebesar Rp10.098.174,14. Pada pekerjaan pembesian menghasilkan *waste level* rata-rata dari kelima jenis besi tulangan sebesar 9,30%. Total *waste cost* dari kelima jenis besi tulangan sebesar Rp20.403.359,00. Perbandingan *waste* pengamatan di lapangan dengan *software* Cutting Optimization Pro pada pekerjaan bekisting sebesar 7,05%. Sedangkan perbandingan *waste* pengamatan di lapangan dengan *software* Cutting Optimization Pro pada pekerjaan pembesian sebesar 5,20%.

2. Ramadhan Rizki Faruki, Henny Wiyanto

Pada penelitian “Analisis *Waste Material* Dan Faktor Penyebab Pada Proyek Apartemen X” menggunakan metode analisis material waste dominan dengan menggunakan *pareto law* 20-80 dimana grafik batang menunjukan 20,00% material yang diteliti dan memiliki nilai sebesar 80,00% dampak yang sering terjadi sampai yang paling sedikit terjadi dari total keseluruhan material rencana pada apartemen x. Tahap kedua, menentukan kuantitas material dari volume *waste*, *waste level*, *waste cost* menggunakan metode kuantitatif (konvensional) dan tahap ketiga

menganalisis faktor penyebab terjadinya waste menggunakan metode komparasi antara penyebab waste berdasarkan literatur dengan penyebab waste yang terjadi di apartemen x.

Berdasarkan hasil penelitian menggunakan metode kuantitatif untuk menghitung *waste level* dan *waste cost* didapat *waste cost* pada material bekisting senilai Rp. 3.489.407.801.- dan *waste level* 9,05%. Sedangkan presentase *waste level* pada material besi beton D22 sebesar 9,45% dan *waste cost* sebesar Rp. 2.566.841.335.-.

3. Candra Yuliana, Retna Hapsari Kartadipura

Pada penelitian “*Analysis of Minimizing Iron Material Waste for Construction Work in Wetlands with Bar Bending Schedule Method*” menggunakan metode BBS (konvensional) untuk meminimalisir pemborosan material. Sehingga pada akhir penelitian didapatkan hasil selisih antara perhitungan kebutuhan tulangan besi menggunakan metode BBS dengan kebutuhan tulangan besi berdasarkan pengamatan dan wawancara di lapangan serta data sekunder yang diberikan oleh pihak proyek.

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan selisih jumlah total kebutuhan tulangan dengan kedua metode tersebut adalah 38.501,18 kg. Metode BBS mengoptimalkan material sehingga hanya menyisakan material pada tulangan besi jenis ulir sekitar 14,79% untuk seluruh perhitungan kebutuhan tulangan D10 dan 6,65% untuk tulangan besi D16.

4. Ilyas Sadad, Aprizal, Ican Wahyu Januar

Pada penelitian “*Implementasi Building Information Modeling untuk Quantity Take Off Material Struktur Abutment*” bertujuan untuk menganalisa dan komparasi selisih perhitungan QTO melalui metode BIM yakni menggunakan *software* Autodesk Revit 2022 dengan metode konvensional, terkait keakuratan pekerjaan, efesiensi dan efektifitas perencanaan proyek.

Berdasarkan hasil penelitian bahwa penerapan BIM mampu meningkatkan keakuratan pada perhitungan volume tiap pekerjaan serta menunjukkan selisih akurasi presentase sebesar 3,33%, pekerjaan *beast wall*

menunjukkan selisih sebesar 5,90%, dan pekerjaan *conterford* menunjukkan selisih sebesar 0,85%.

5. Ghina Karomatul'Ula

Pada penelitian “Analisis *Waste Material* Pada Pekerjaan Struktur Menggunakan *Building Information Modeling* (BIM) Pada Gedung Pelayanan Institut Neurosains Nasional Jakarta” menggunakan metode *Building Information Modeling* (BIM) untuk meminimalisir *waste material* yaitu dengan menggunakan bantuan *software* Autodesk Revit dan *software* Cutting Optimization Pro. Pada *software* Autodesk Revit dilakukan pemodelan 3D yang akan menghasilkan *quantity take off* dari pekerjaan struktural, *quantity take off* yang dihasilkan dari pemodelan 3D Autodesk Revit akan dibandingkan dengan BOQ (*Bill Of Quantity*) dari proyek dan dilakukan perbandingan harga dari volume pekerjaan struktural. *Quantity take off* dari hasil pemodelan 3D Autodesk Revit akan diinput pada *software* Cutting Optimization Pro agar dapat menghasilkan *waste material* yang optimal, untuk hasil volume *waste material* dari *software* Cutting Optimization Pro akan dibandingkan dengan hasil *waste material* yang diperoleh dari metode Konvensional dan dilakukan perbandingan harga dari volume *waste material* yang dihasilkan metode konvensional dengan metode BIM.

Berdasarkan hasil penelitian akan menghasilkan perbandingan volume dan harga satuan pekerjaan dari pekerjaan struktural dari metode konvensional dengan BIM, dan perbandingan volume dan harga dari *waste material* metode konvensional dan metode BIM.

Tabel 2.1 Hasil Penelitian Terdahulu

No.	Judul	Tahun	Penulis	Hasil
1.	Analisis <i>Waste Level</i> dan <i>Waste Cost</i> Bekisting dan Pembesian Pada Pekerjaan Struktur Proyek Konstruksi (Studi Kasus: Pembangunan Gedung SMPN 4 Sukawati)	2022	Ida Ayu Putu Sri Mahapatni, I Kadek Iwan Juliana	Perbandingan <i>waste</i> pengamatan di lapangan dengan <i>software</i> Cutting Optimization Pro pada pekerjaan bekisting sebesar 7,05%. Sedangkan perbandingan <i>waste</i> pengamatan di lapangan dengan <i>software</i> Cutting Optimization Pro pada pekerjaan pembesian sebesar 5,2%.
2.	Analisis <i>Waste Material</i> Dan Faktor Penyebab Pada Proyek Apartemen X	2023	Ramadhan Rizki Faruki, Henny Wiyanto	Berdasarkan hasil penelitian menggunakan metode kuantitatif untuk menghitung <i>waste level</i> dan <i>waste cost</i> didapat <i>waste cost</i> pada material bekisting senilai Rp. 3.489.407.801.- dan <i>waste level</i> 9,05%. Sedangkan presentase <i>waste level</i> pada material besi

No.	Judul	Tahun	Penulis	Hasil
				beton D22 sebesar 9,45% dan <i>waste cost</i> sebesar Rp. 2.566.841.335.-
3.	<i>Analysis of Minimizing Iron Material Waste for Construction Work in Wetlands with Bar Bending Schedule Method</i>	2023	Candra Yuliana, Retna Hapsari Kartadipura	Berdasarkan hasil penelitian mendapat selisih jumlah total kebutuhan tulangan dengan kedua metode tersebut adalah 38.501,18 kg. Metode BBS mengoptimalkan material sehingga hanya menyisakan material pada tulangan besi jenis ulir sekitar 14,79% untuk seluruh perhitungan kebutuhan tulangan D10 dan 6,65% untuk tulangan besi D16.
4.	Implementasi <i>Building Information Modeling</i> untuk <i>Quantity Take Off</i> Material Struktur Abutment	2023	Ilyas Sadad, Aprizal, Ican Wahyu Januar	Berdasarkan hasil penelitian bahwa penerapan BIM mampu meningkatkan keakuratan pada perhitungan volume tiap pekerjaan serta menunjukkan selisih akurasi presentase sebesar 3.335%,

No.	Judul	Tahun	Penulis	Hasil
				pekerjaan <i>beast wall</i> menunjukkan selisih sebesar 5.901%, dan pekerjaan <i>conterford</i> menunjukkan selisih sebesar 0.859%.
5.	Analisis <i>Waste Material</i> Pada Pekerjaan Struktur Menggunakan <i>Building Information Modeling</i> (BIM) Pada Gedung Pelayanan Institut Neurosains Nasional Jakarta	2025	Ghina Karomatul'Ula	Menghasilkan perbandingan volume dan harga satuan pekerjaan dari pekerjaan struktural dari metode konvensional dengan BIM, dan perbandingan volume dan harga <i>waste material</i> metode konvensional dan metode BIM.

2.2 Waste Material

Waste material atau sisa material merupakan salah satu masalah serius dalam konstruksi bangunan. Upaya untuk meminimalkan sisa material konstruksi akan membantu kontraktor untuk meningkatkan keuntungan dan mengurangi dampak lingkungan. Dalam proses konstruksi, penggunaan material oleh pekerja di lapangan sering kali menghasilkan sisa material yang cukup banyak. Beberapa penelitian di Brazil menunjukkan sisa material konstruksi dapat mencapai 20-30% berat dari total material di lokasi. Sisa material konstruksi, tidak hanya penting dari sudut pandang efisiensi, tetapi juga mempengaruhi lingkungan. Sisa material konstruksi dapat mencapai 15-30% dari sampah kota, sehingga upaya untuk mengurangi sisa material penting untuk diterapkan oleh para pelaku konstruksi (Faruki & Henny Wiyanto, 2023).

Waste material merupakan kelebihan kuantitas material yang digunakan/didatangkan, tetapi tidak menambah nilai pekerjaan. Tujuan dari pengalokasian sumber daya proyek adalah dalam rangka menekan/mengendalikan biaya proyek, yang pada intinya adalah pengendalian produktivitas dari sumber daya alat, tenaga dan pengendalian tingkat *waste* bagi material, serta pengendalian *cost of money* dari sumber daya uang (Faruki & Henny Wiyanto, 2023).

Menurut (Mahapatni & Juliana, 2022), pada tahap pelaksanaan konstruksi penggunaan material di lapangan sering terjadi sisa material yang cukup besar, sehingga upaya untuk meminimalisir sisa material penting untuk diterapkan. Material dalam konstruksi dapat digolongkan menjadi dua bagian, yaitu:

1. *Consumable material*, adalah material yang pada akhirnya akan menjadi bagian dari struktur fisik bangunan, misalnya semen, pasir, batu pecah, batu bata, besi tulangan, baja, dan lain-lain.
2. *Non-Consumable material*, adalah material penunjang dalam proses konstruksi, dan bukan bagian fisik bangunan, biasanya material ini bisa dipakai ulang dan pada akhir proyek akan menjadi *waste material* juga, misalnya: perancah, bekisting, dan dinding penahan sementara.

Alur penggunaan *consumable* material mulai sejak pengiriman ke lokasi, proses konstruksi, sampai pada posisinya yang terakhir akan berakhir pada salah satu dari keempat posisi dibawah ini (Singarimbun et al., 2021), yaitu :

1. Struktur fisik bangunan
2. Kelebihan material (*left over*)
3. Digunakan kembali pada proyek yang sama (*reuse*)
4. Sisa material (*waste*)

Waste material konstruksi ini akan terus bertambah sesuai dengan perkembangan pembangunan yang dilaksanakan, selain mempengaruhi biaya proyek juga akan menimbulkan permasalahan baru yang dapat mengganggu lingkungan proyek dan sekitarnya. Pengendalian besarnya kuantitas *waste material* tersebut dapat dilakukan dengan beberapa cara (Singarimbun et al., 2021), antara lain:

1. Mencari jalan untuk memakai kembali sisa material tersebut.
2. Mendaur ulang sisa material tersebut menjadi barang yang berguna.
3. Memusnahkan sisa material dengan cara pembakaran.
4. Mencari cara untuk mengurangi sisa material yang timbul.

Volume sisa material merupakan jumlah material yang telah menjadi sisa atau tidak digunakan dalam pelaksanaan konstruksi bangunan. Analisis jumlah sisa material yang diperoleh melalui pengamatan lapangan dilakukan dengan cara mengurangi volume material yang siap pakai di lapangan dengan volume material yang tercantum dalam gambar rencana dan *bill of cuantity* (BOQ), kemudian dikurangi sisa stok material yang ada di lapangan (Suryanto Intan, Ratna S. Alifen, 2005).

Biaya sisa material konstruksi adalah biaya yang timbul dalam proyek akibat pengeluaran untuk pembelian material yang tidak digunakan dalam konstruksi bangunan karena berbagai faktor. Biaya ini dapat dihitung dengan mengalikan volume sisa material dengan harga satuan material berdasarkan data proyek.

2.2.1 Klasifikasi *Waste Material*

(Iswinarno, 2017) menyatakan *waste material* dapat digolongkan kedalam dua kategori berdasarkan tipenya yaitu: *direct waste* dan *indirect waste*.

1. *Direct Waste*

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

a. *Transport & Delivery Waste*

Semua *waste material* yang terjadi pada saat melakukan transportasi material di dalam lokasi pekerjaan, termasuk pembongkaran dan penempatan pada tempat penyimpanan seperti membuang/melempar semen, keramik pada saat dipindahkan.

b. *Site Storage Waste*

Waste material yang terjadi karena penumpukan / 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.

c. *Conversion Waste*

Waste material yang terjadi karena pemotongan bahan dengan bentuk yang tidak ekonomis seperti material besi beton, keramik, dan sebagainya.

d. *Fixing Waste*

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

1) *Cutting Waste*

Waste material yang dihasilkan karena pemotongan bahan seperti, tiang pancang, besi beton, batu bata, keramik, besi beton, dan sebagainya.

2) *Application & Residu Waste*

Waste material yang terjadi seperti mortar yang jatuh/tercecer pada saat pelaksanaan atau mortar yang tertinggal dan telah mengeras pada akhir pekerjaan.

3) *Criminal Waste*

Waste material yang terjadi karena pencurian atau tindakan perusakan (*vandalism*) di lokasi proyek.

4) *Wrong Use Waste*

Pemakaian tipe atau kualitas material yang tidak sesuai dengan spesifikasi dalam kontrak, maka pihak direksi akan memerintah kontraktor untuk menggantikan material tersebut yang sesuai dengan kontrak, sehingga menyebabkan terjadinya sisa material di lapangan.

2. *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:

a. *Substitution Waste*

Waste 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.

b. *Production Waste*

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

c. *Negligence Waste*

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

2.2.2 **Faktor Penyebab Terjadinya *Waste Material***

Waste material adalah material yang terbuang sia-sia dan tidak dapat dipakai kembali karena berbagai faktor penyebab, seperti kerusakan, kesalahan

pemotongan, kesalahan pemasangan, dan sebagainya. Penyebab timbulnya *waste material* yang berlebihan merupakan faktor utama yang berkaitan dengan peningkatan biaya. Penyebab *waste material* terjadi karena beberapa hal yaitu karena residu sisa material pada akhir pekerjaan, tidak adanya perencanaan pemotongan material sebelum pelaksanaan, kecerobohan dalam penanganan material di lapangan, adanya perubahan desain, pesanan yang berlebihan, pemesanan material yang tidak sesuai spek, dan rusak/patah/tercecer/ pada saat dipindahkan.

Menurut (Iswinarno, 2017), *waste* pada proyek konstruksi dapat bersumber dari beberapa faktor sebagai berikut:

1. Desain

Terdapat 12 faktor penyebab *waste material* yang bersumber dari desain yaitu: frekuensi perubahan desain, kesalahan desain, kurangnya informasi desain, kualitas desain yang buruk, distribusi gambar yang lambat, dokumen kontrak tidak lengkap, desain rumit, pengalaman desainer, kesalahan dalam dokumen kontrak, interaksi antara berbagai spesialis, koordinasi yang buruk dari pihak pihak selama tahap desain, dan kebutuhan klien pada menit terakhir.

2. Penanganan

Faktor penyebab *waste material* yang bersumber dari penanganan terdiri dari: penyimpanan bahan yang salah, penanganan bahan yang buruk, kerusakan selama transportasi, buruknya kualitas bahan, kegagalan peralatan, menunda waktu pengiriman, alat tidak cocok digunakan dan metode pembongkaran yang tidak efisien.

3. Pekerja

Faktor penyebab *waste material* yang bersumber dari pekerja terdiri dari: kesalahan pekerja selama konstruksi, pekerja tidak kompeten, sikap buruk pekerja, kerusakan yang disebabkan oleh pekerja, kurangnya pelatihan bagi pekerja, kurangnya pengalaman, kekurangan pekerja terampil, penggunaan bahan yang tidak tepat, pengerjaan yang buruk, pekerja tidak ada antusiasme, persediaan bahan tidak didokumentasikan dengan baik, memakai peralatan yang abnormal, kurangnya kesadaran para pekerja, terlalu banyak lembur bagi pekerja.

4. Manajemen

Konstruksi Faktor penyebab *waste material* yang bersumber dari manajemen terdiri dari: perencanaan yang buruk, pengendalian yang buruk, manajemen lokasi yang buruk, pengawasan yang buruk, metode konstruksi yang tidak tepat, kurangnya koordinasi antara pihak, kualitas informasi yang buruk, kelangkaan peralatan, kurangnya rencana pengelolaan sampah, masalah sumber daya, pengulangan pekerjaan, menunggu waktu, masalah komunikasi, peralatan usang, ketidaktersediaan peralatan, kurangnya pengetahuan tentang konstruksi, durasi proyek lama, kurangnya pengaruh kontraktor, dan kurangnya kesadaran lingkungan.

5. Pengelolaan *Waste Material*

Faktor penyebab *Waste material* yang bersumber Pengelolaan sisa material terdiri dari: sisa hasil pemotongan yang sudah tidak terpakai, pencampuran yang berlebihan pada material basah yang disebabkan oleh kurangnya pengetahuan, dan banyaknya limbah dari proses aplikasi.

6. Kondisi

Lokasi Faktor penyebab *waste material* yang bersumber dari kondisi lokasi terdiri dari: bahan berlebih di lokasi, limbah yang dihasilkan dari kemasan, kondisi lokasi yang buruk, kemacetan di lokasi, masalah pencahayaan, kesulitan mengakses lokasi konstruksi dan kondisi tanah yang tidak terduga.

7. Pengadaan/pembelian

Faktor penyebab *waste material* yang bersumber dari pengadaan/pembelian terdiri dari: kesalahan pemesanan, item tidak sesuai dengan spesifikasi, kesalahan dalam pengiriman, kesalahan dalam survei kuantitas, kesalahan pemasok, prosedur pengangkutan materi yang salah, frekuensi pemesanan bervariasi, metode yang berbeda digunakan untuk estimasi, dan menunggu pengganti.

8. Faktor eksternal

Faktor penyebab *waste material* yang bersumber dari faktor eksternal terdiri dari: pengaruh cuaca, kecelakaan, pencurian, kurangnya penegakan legislatif, *vandalisme*, kerusakan yang disebabkan oleh pihak ketiga, perayaan festival dan kondisi lokal yang tak terduga.

2.2.3 Perhitungan *Waste Material*

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

1. Perhitungan Kebutuhan Material

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

a. Perhitungan kebutuhan baja tulangan

Perhitungan *waste material* untuk baja tulangan 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 dilakukan untuk menekan jumlah *waste* pada material baja tulangan seminimal mungkin sehingga dapat mengurangi biaya pada *waste material*.

b. Perhitungan kebutuhan material beton dan bekisting

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

2. Perhitungan *Waste Material*

a. Menghitung kuantitas *waste material*

$$\text{Waste material} = \text{Volume rencana} - \text{Volume terpasang} \quad (2.1)$$

b. Menghitung persentase *waste material*

Persentase *waste* dihitung untuk mengetahui volume *waste* dari masing-masing item yang dianalisis (Partama et al., 2023). Persentase dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Persentase waste} = \frac{\text{Volume Waste}}{\text{Volume rencana}} \times 100\% \quad (2.2)$$

Keterangan:

Volume rencana = Volume kebutuhan material yang dihasilkan dari nilai BOQ metode BIM dan konvensional

Volume terpasang = Volume material terpasang/realisasi di lapangan

c. Menghitung *Waste Cost*

Biaya sisa atau *waste cost* dihitung untuk mengetahui kerugian dari pembelian material yang tidak terpakai (Partama et al., 2023). *Waste Cost* dapat dihitung dengan metode pendekatan rumus:

$$\text{Waste Cost} = \text{Persentase waste} \times \text{Harga satuan} \quad (2.3)$$

Keterangan:

Harga Satuan = Harga per satuan batang atau berat material yang ditinjau

2.3 Perhitungan Metode Konvensional

Perhitungan *Bill of Quantity* menggunakan metode konvensional adalah pengerjaan dengan alat bantu berupa perangkat lunak Autocad sebagai acuan gambar kerja dan Microsoft Excel untuk proses perhitungan kebutuhan volume dan biaya yang ditambahkan beberapa informasi. Untuk perkiraan proyek, industri konstruksi secara historis menggunakan *blueprint* dan bentuk lain dari lembar rencana 2D. Setiap halaman dari rencana proyek harus diperiksa, dengan jumlah bahan tertentu yang dibutuhkan dihitung dengan berhati-hati untuk tidak menghitung dua kali atau mengabaikan bahan apapun.

Pertimbangan terhadap limbah harus dihitung selain bahan yang diperlukan untuk pembangunan suatu proyek. Jika estimator menghasilkan *quantity take off* secara manual, mereka harus melakukan perhitungan yang kompleks (Apriansyah, 2021). Namun, kemajuan teknis terbaru dalam pemodelan 3D meningkatkan efisiensi proyek yang direncanakan, dikembangkan, dan disampaikan. *Building Information Modeling* (BIM) dapat mensimulasikan proyek konstruksi dalam bentuk 3D dan sekaligus menyajikan gambar kerja dalam 2D serta menganalisis *quantity take off* material (5D) pada setiap pekerjaan (Apriansyah, 2021).

Secara umum (metode konvensional) rumus perhitungan volume pekerjaan adalah sebagai berikut:

1. Pekerjaan dalam satuan lump sum – ls

Volume dihitung kebutuhan biaya selama 1 bulan dikalikan dengan jumlah perkiraan bulan diselesaikannya pekerjaan tersebut. Sebagai contoh pekerjaan air kerja dan listrik kerja dihitung pembayaran air kerja dan listrik kerja selama 1 bulan dikalikan dengan berapa bulan pekerjaan itu diselesaikan.

2. Pekerjaan dalam satuan panjang – m'

Volume dihitung berdasarkan panjang konstruksi sesuai dengan gambar rencana dengan memperhatikan skala pada gambar tersebut. Karena biaya adalah perkalian voume dengan harga satuan maka perlu diperhatikan analisa harga satuannya dimana analisa dilakukan tiap 1 m' (satu meter panjang).

3. Pekerjaan dalam satuan luas – m²

$$V = P \times l \quad (2.4)$$

Keterangan:

V = volume

p = panjang

l = lebar

4. Pekerjaan dalam satuan volume – m³

$$V = P \times l \times t \quad (2.5)$$

Keterangan:

V = volume

p = panjang

l = lebar

t = tinggi

5. Pekerjaan dalam satuan buah – bh dihitung jumlahnya berdasarkan gambar yang ada.

2.3.1 Perhitungan Volume Kolom

Perhitungan volume kolom menggunakan rumus volume umum yaitu:

$$V = P \times l \times t \quad (2.6)$$

Keterangan:

V = volume

p = panjang

l = lebar

t = tinggi

2.3.2 Perhitungan Volume Balok dan Pelat Lantai

Perhitungan volume balok dan pelat lantai menggunakan rumus volume umum yaitu:

$$V = P \times l \times t \quad (2.7)$$

Keterangan:

V = volume

p = panjang

l = lebar

t = tinggi

2.3.3 Perhitungan Kebutuhan Tulangan

Material tulangan yang diperlukan pada pekerjaan beton berdasarkan perhitungan volume pekerjaan dan perhitungan akhir yaitu total tulangan dalam satuan berat, dan juga jumlahnya dalam batang. Secara umum (metode konvensional) rumus perhitungan untuk mencari kebutuhan Panjang dan Berat tulangan adalah sebagai berikut:

$$\text{Tul. Utama} = 0,006165 \times D^2 \times \text{Panjang tulangan} \quad (2.8)$$

$$\text{Tul. Sengkang} = 0,006165 \times D^2 \times (\text{Keliling} + \text{Panjang Lekukan}) \quad (2.9)$$

Keterangan:

Tul. Utama = Volume berat kebutuhan tulangan utama (Kg)

Panjang = Panjang balok atau tinggi kolom

Tul. Sengkang = Volume berat kebutuhan tulangan sengkang/ties (Kg)

Keliling = Panjang keliling tulangan sengkang/ties

D = Diameter tulangan

2.3.4 Perhitungan Kebutuhan Bekisting

Bekisting adalah cetakan sementara yang digunakan untuk menahan beton selama beton dituang dan dibentuk sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Secara umum (metode konvensional) rumus perhitungan untuk mencari kebutuhan bahan membuat bekisting adalah sebagai berikut:

1. Menghitung Volume Bekisting

$$\text{Volume} = \text{Keliling} \times \text{Tinggi} \times \text{Jumlah} \quad (2.10)$$

2. Menghitung Kebutuhan Bahan Bekisting

$$\text{Kebutuhan Bahan} = \text{Volume} \times \text{Koefisien SNI} \quad (2.11)$$

2.4 *Lean Construction*

Lean construction adalah suatu metode yang diterapkan dalam pekerjaan konstruksi dengan cara mengurangi limbah berupa material dan waktu, dengan tujuan meningkatkan *value* (nilai). *Lean construction* merupakan konsep yang diadaptasi dari *lean production* yang dikembangkan oleh perusahaan manufaktur Toyota dengan tim yang dipimpin oleh Taichi Ohno pada tahun 1950-an, dan kemudian diterapkan pada proses desain dan pelaksanaan industri konstruksi setelah melalui berbagai macam penelitian (Allo & Bhaskara, 2022).

Lean construction mampu membantu bisnis untuk bertahan secara lingkungan, sosial serta ekonomi, kemampuan untuk penghematan pengeluaran biaya, menciptakan inovasi dan meningkatkan daya saing. (Howell, 1999) dalam menjelaskan perbedaan penerapan umum (*current practice*) dan *lean* melalui Tabel 2.2 berikut ini.

Tabel 2.2 Perbandingan Proyek Berkonsep Umum dan *Lean*

Uraian	Umum	<i>Lean</i>
Perencanaan	Mengetahui	Mempelajari
Ketidakpastian	Eksternal	Internal
Kontrol	<i>Tracking</i>	<i>Steering</i>
Koordinasi	Mengikuti perintah	Membuat dan menepati komitmen
Tujuan dan supervisi	Point cepat (<i>Point speed</i>)	Mereduksi variasi system meningkatkan <i>output</i>
Kontrol komersil	Menampilkan efisiensi system produksi untuk keamanan nyata	Menyusun sasaran sistem produksi dan kepeningan

Sumber: (Howell, 1999)

Lean Construction memiliki perbedaan kontrol dengan konsep umum, untuk konsep *lean construction* dengan kontrol *steering* dan konsep umum dengan kontrol *tracking*. Kedua kontrol tersebut merupakan konsep penting dalam manajemen proyek yang berfokus pada efisiensi, pengurangan pemborosan, dan peningkatan nilai. Adapun penjelasan perbedaan kontrol tersebut sebagai berikut:

1. Kontrol *Tracking* (Umum) adalah memantau dan mencatat kemajuan proyek terhadap rencana yang telah dibuat sebelumnya. Kontrol ini berfokus pada aktivitas observasional pada pengumpulan data aktual. Tujuan dari kontrol ini untuk mengetahui apakah proyek berjalan sesuai rencana dan mendeteksi deviasi (penyimpangan) dari jadwal, biaya, atau output.
2. Kontrol *Steering (Lean)* adalah tindakan mengambil keputusan dan melakukan penyesuaian berdasarkan hasil tracking untuk menjaga proyek tetap pada jalur atau memperbaiki arah. Kontrol ini bertujuan untuk menyesuaikan strategi atau metode pelaksanaan agar sesuai target, mengelola risiko dan penyimpangan, dan meningkatkan efisiensi dan efektivitas pelaksanaan.

Berikut adalah sebelas prinsip tentang pemikiran ramping (*Lean Principle*) yaitu sebagai berikut:

1. Menghilangkan aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah Tindakan mitigasi dan reduksi terhadap aktivitas-aktivitas yang tidak memberikan nilai bagi konsumen, namun menyebabkan adanya pengeluaran (biaya) dan penambahan waktu pengerjaan. Mengurangi porsi non-nilai tambah kegiatan merupakan pedoman mendasar.
2. Meningkatkan nilai pemenuhan kebutuhan konsumen dan pemilik memenuhi kebutuhan konsumen dan pemilik proyek, sehingga mampu meningkatkan nilai pengeluaran proyek, inilah prinsip dasarnya. Nilai yang dihasilkan oleh pemenuhan kebutuhan pelanggan. Untuk setiap aktivitas terdapat dua jenis pelanggan yaitu aktivitas tindak lanjut dan konsumen akhir.
3. Mengurangi variabilitas
Pilihannya adalah seleksi variabilitas yang disebabkan oleh perbedaan kebutuhan konsumen dan pemilik atau pandangan terhadap aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah. Proses produksi bervariasi. Meskipun kedua produk ini adalah produk yang sama dan sumber daya (waktu, bahan mentah, tenaga kerja) yang dibutuhkan untuk memproduksinya berbeda, masih terdapat perbedaan di antara keduanya.
4. Mengurangi *cycle times*
Aktivitas ini diperlukan agar material tidak tersedia sebelum material itu diperlukan maupun peralatan yang tidak sesuai dengan standar. Waktu adalah

proses yang mengalir. Dibandingkan biaya dan kualitas, waktu lebih berharga dan lebih umum, karena waktu dapat digunakan untuk perbaikan.

5. Mengurangi langkah kerja

Langkah kerja mengurangi perilaku komponen produksi dan langkah-langkah dalam proses penyediaan barang/bahan. Penyederhanaannya dapat dipahami sebagai berikut:

- a. Mengurangi jumlah komponen dalam suatu produk.
- b. Mengurangi jumlah Langkah-langkah dalam aliran material.
- c. Meningkatkan fleksibilitas hasil akhir

Dengan menggunakan desain awal, sulit untuk meminimalkan perbaikan dan penggantian, dan kapasitas kerja dapat ditingkatkan secara fleksibel. Meningkatkan fleksibilitas keluaran tampaknya berlawanan dengan penyederhanaan. Desain produk modular terkait dengan penggunaan aktif prinsip-prinsip lain, terutama pengurangan siklus dan transparansi.

6. Meningkatkan transparansi

Para pekerja menggunakan proses yang obyektif dan transparan dalam proses pengendalian dan pengembangan, sehingga tidak ada kecurangan dalam bentuk apa pun selama proses produksi. Minimnya transparansi proses meningkatkan kemungkinan kesalahan.

7. Fokus pengendalian terhadap keseluruhan proyek

Lewat kemandirian dan fokus pada kerja tim, pengendalian selama kegiatan konstruksi akan lebih jauh efektif.

8. Membangun perkembangan yang berkelanjutan

Pembangunan berkelanjutan adalah menghilangkan pemborosan dan mengurangi kegiatan yang tidak diperlukan. Upaya mengurangi pemborosan yang harus dilakukan secara berkelanjutan.

9. Keseimbangan yang berkelanjutan

Melalui koneksi internal antara jaringan dan pengembangan pekerjaan, pemborosan, seperti biaya peralatan, dapat sangat dikurangi. Melalui prinsip ini, biaya peralatan dapat ditekan, tetapi kapasitas produksinya sama dengan perkiraan harga sebelumnya, selain itu juga dapat lebih fokus untuk memenuhi

teknologi baru. Untuk setiap proses produksi, aspek proses dan konversi memiliki potensi perbaikan yang berbeda.

10. *Benchmark*

Tujuan yang mengacu pada prinsip analisis SWOT (*Strength, Weakness, Opportunity, Threat*), tujuannya adalah memungkinkan peluang yang ada digunakan dengan tepat dan melengkapi keunggulan yang ada untuk mengkompensasi kelemahan dan menghindari ancaman yang ada. Tolak ukur biasanya merupakan pendorong yang berguna yang mencapai peningkatan terobosan melalui konfigurasi ulang. Ini membantu mengatasi sindrom NIH (*Not Invented Here*) dan intensitas program yang disematkan. Dengan cara ini, kelemahan logika dasar dalam proses tersebut dapat dieksplorasi.

Sudah dijelaskan sebelumnya menurut (Allo & Bhaskara, 2022) bahwa *lean construction* adalah suatu metode yang digunakan pada pekerjaan konstruksi dengan cara meminimalkan *waste* berupa material dan waktu, dengan tujuan untuk meningkatkan nilai (*value*), jadi dalam hal ini perlu digunakan suatu konsep pendukung yaitu dengan menggunakan *Building Information Modeling* (BIM) sebagai sarana untuk tercapainya *waste* yang seminimal mungkin dalam pengerjaan suatu proyek konstruksi, karena dengan menggunakan konsep *Building Information Modeling* (BIM) maka dengan itu dapat menghemat biaya pekerjaan proyek konstruksi dan meminimalkan *waste* yang berlebih, karena itu *lean construction* memiliki hubungan dengan *Building Information Modeling* (BIM).

2.5 *Bar Bending schedule* (BBS)

Bar bending schedule (BBS) merupakan dokumen untuk mempermudah proses kebutuhan tulangan/pembesian dan biasanya diperlukan untuk konstruksi bangunan gedung karena banyaknya jumlah batang tulangan dengan diameter berbeda-beda yang diperlukan. Dengan *Bar bending schedule* (BBS) maka akan terlihat pengelompokan daftar potongan besi yang tersisa agar dapat digunakan kembali pada tipe besi tulangan berikutnya, sehingga penggunaan besi lebih efisien (Yuliana et al., 2023).

Menurut (Yuliana et al., 2023) *Bar bending schedule* (BBS) memiliki peran penting dalam proses konstruksi. yaitu:

1. Menghemat waktu dan biaya

Bar bending schedule (BBS) berfungsi untuk menghitung jumlah material yang dibutuhkan secara tepat. Hal ini membantu menghindari pemborosan material dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya, sehingga menghemat waktu dan biaya konstruksi.

2. Kesesuaian dengan gambar

Bar bending schedule (BBS) berfungsi untuk memastikan semua tulangan yang digunakan sesuai kekuatan, keamanan, dan kualitas struktur bangunan.

3. Efisiensi pekerjaan

Bar bending schedule (BBS) memiliki panduan yang jelas tentang bagaimana mempersiapkan dan membentuk tulangan. Hal ini dapat mempercepat proses pekerjaan dan meningkatkan efisiensi konstruksi.

Menghitung *Bar bending schedule* (BBS) menggunakan metode konvensional diperlukan alat bantu berupa *software* AutoCAD sebagai acuan gambar kerja, serta menggunakan Microsoft Excel untuk menghitung panjang dan berat tulangan yang dibutuhkan. Untuk perkiraan proyek, industri konstruksi secara historis menggunakan *blueprint* dan bentuk lain dari lembar rencana 2D. Setiap halaman dari rencana proyek harus diperiksa, dengan jumlah bahan tertentu yang dibutuhkan dihitung dengan berhati-hati untuk memastikan bahwa tidak ada bahan yang dihitung dua kali atau tertinggal.

2.6 *Quantity Take Off Material (QTO)*

Quantity Take Off (QTO) digunakan untuk menyusun daftar seluruh bahan yang diperlukan untuk proyek konstruksi. *Quantity Take Off* (QTO) juga memberikan estimasi biaya untuk setiap bahan. Meskipun ini adalah unsur utama dari *quantity take off* konstruksi, ada baiknya untuk mempelajari lebih lanjut ke komponen-komponen lain dari jenis *Quantity Take Off* (QTO) ini. Bagian pertama dari *quantity take off* meliputi penyusunan daftar semua bahan yang diperlukan untuk suatu proyek, yang mencakup semua bahan baku, seperti kayu, beton, aspal, dan baja. Selain bahan baku, *Quantity Take Off* (QTO) akan mencakup segala prefabrikasi dalam konstruksi yang diperlukan untuk proyek. Istilah "*Quantity Take Off*" mengacu pada proses "*Take Off*" semua bahan untuk proyek dari gambar

desain atau cetak biru. Sebagai bagian dari proses ini, estimator atau kontraktor perlu mencatat secara rinci setiap materi yang diperlukan (Apriansyah, 2021).

Diperlukan tingkat ketelitian yang tinggi dalam menghitung material pada *Quantity Take Off* (QTO) konstruksi. Setiap bahan harus ditentukan sehingga bahan yang dipesan benar, dan agar perkiraan harga mencerminkan biaya dunia nyata. Jika estimator menghasilkan *Quantity Take Off* (QTO) secara manual, mereka harus melakukan perhitungan yang rumit. Memberikan kuantitas yang tepat untuk material sangat penting. sehingga penaksir harus terbiasa dengan kondisi konstruksi, bahan yang digunakan, dan pemahaman yang baik tentang proses konstruksi. Poin terakhir ini adalah karena *Quantity Take Off* (QTO) juga perlu memasukkan sejumlah bahan tambahan untuk memperhitungkan pemborosan selama proses konstruksi (Apriansyah, 2021).

Volume suatu pekerjaan adalah menghitung jumlah banyaknya volume pekerjaan dalam satu satuan. Volume juga disebut sebagai kubikasi pekerjaan. Jadi volume (kubikasi) suatu pekerjaan, bukanlah merupakan volume (isi sesungguhnya), melainkan jumlah volume bagian pekerjaan dalam satu kesatuan (Peraturan Menteri PUPR NO : 08/PRT/M/2023, 2023).

Menurut (Peraturan Menteri PUPR NO : 08/PRT/M/2023, 2023), Volume pekerjaan disesuaikan dengan kebutuhan per kegiatan pekerjaan yang dicantumkan dalam daftar kuantitas dan harga *Bill of Quantity* (BOQ). Harga total keseluruhan merupakan jumlah dari seluruh hasil perkalian volume pekerjaan dengan harga satuan pekerjaan masing-masing. Pajak pertambahan nilai (PPN) besarnya adalah 11% dari harga total keseluruhan pekerjaan.

Menurut (Peraturan Menteri PUPR NO : 08/PRT/M/2023, 2023) harga satuan setiap pekerjaan adalah harga suatu jenis pekerjaan tertentu per satuan tertentu berdasarkan rincian metoda pelaksanaan, yang memuat jenis, kuantitas dan harga satuan dasar dari komponen tenaga kerja, bahan, dan peralatan yang diperlukan dan didalamnya sudah termasuk biaya umum dan keuntungan, harga satuan pekerjaan dicantumkan dalam daftar kuantitas dan harga *bill of quantity* (BOQ) yang merupakan hasil perkalian volume pekerjaan dengan harga satuan.

Pekerjaan *Quantity Take Off* (QTO) merupakan salah satu jenis pekerjaan yang dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Building Information Modeling*

(BIM). Sebagian besar perangkat lunak berbasis *Building Information Modeling* (BIM) dilengkapi dengan fitur yang dapat menghitung volume dari data geometri yang ada pada pemodelan tersebut. *Quantity Take Off* (QTO) yang berbasis BIM menghasilkan *output* yang lebih sederhana, akurat, dan detail dibandingkan dengan perhitungan *Quantity Take Off* (QTO) secara konvensional (Sadad et al., 2023).

Tabel 2.3 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: (Piter & I Ketut, 2024)

2.7 Metode *Building Information Modeling* (BIM)

Industri konstruksi sering kali bergantung pada gambar dua dimensi dan dokumen terpisah yang tidak sepenuhnya terintegrasi, yang menyebabkan masalah komunikasi, kesalahan desain, dan pemborosan waktu serta biaya. Seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi informasi, *Building Information Modeling* (BIM) muncul sebagai solusi yang memungkinkan pembuatan representasi digital

tiga dimensi (3D) dari bangunan yang mencakup seluruh informasi terkait proyek, mulai dari perencanaan hingga operasional.

Seiring dengan perkembangan era Revolusi Industri 4.0 yang menuntut penggunaan teknologi canggih, *Building Information Modeling* (BIM) semakin menjadi kebutuhan yang tak terelakkan bagi industri konstruksi. Keunggulannya dalam mendukung perencanaan yang lebih baik, pengendalian biaya yang lebih efektif, serta koordinasi yang lebih optimal antara berbagai disiplin ilmu menjadikannya solusi yang sangat relevan untuk menghadapi tantangan di masa depan.

Building Information Modeling (BIM) merupakan salah satu teknologi di bidang AEC (*Architecture Engineer & Construction*) yang dapat mensimulasikan seluruh informasi di dalam proyek pembangunan ke dalam model 3 dimensi. Teknologi ini memungkinkan produksi dan pengelolaan informasi yang kemudian diterapkan pada berbagai aspek selama siklus hidup proyek, mulai dari desain konsep awal hingga tahap pemeliharaan. *Building Information Modeling* (BIM) menyajikan setiap informasi atribut seperti fitur, struktur, kegunaan, dan lain-lain, dengan menerapkan teknologi parametrik yang langsung mencerminkan perubahan elemen bangunan dengan memperhatikan hubungan antar elemen tersebut. Oleh karena itu, karakteristik hubungan dan informasi di semua objek bangunan dapat diperoleh dengan simulasi menggunakan model data (Fakhrudin et al., 2019).

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, dimana 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).

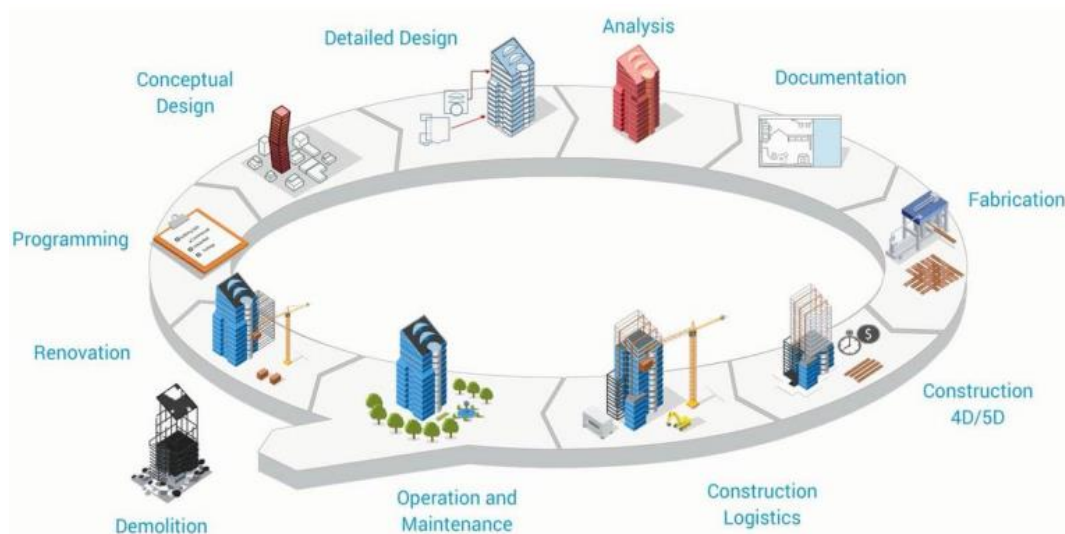
Teknologi *Building Information Modeling* (BIM) terdapat model virtual model bangunan yang akurat ditampilkan secara digital. Setelah selesai, pemodelan yang dihasilkan mencakup geometri serta data relevan yang diperlukan untuk

mendukung kegiatan pengadaan, fabrikasi, dan konstruksi, serta mewujudkan bangunan tersebut. *Building Information Modeling* (BIM) juga mengakomodasi berbagai fungsi yang dibutuhkan untuk model siklus hidup suatu proyek, menyediakan dasar untuk kemampuan konstruksi baru, serta perubahan dalam peran dan hubungan antar tim proyek. Jika diterapkan dengan tepat, BIM mempermudah proses desain dan konstruksi yang lebih terintegrasi, yang menghasilkan kualitas bangunan yang lebih baik, biaya proyek yang lebih rendah, dan mengurangi durasi pengerjaan (Aswin Indraprastha, 2022).

Building Information Modeling (BIM) meningkatkan produktivitas dalam desain dan konstruksi bangunan dengan menggunakan software permodelan bangunan dinamis 3D dan *real time*. Proses ini juga mencakup geometri bangunan, informasi geografis, hubungan ruang, dan kuantitas dan kualitas komponennya. Setiap siklus hidup bangunan, seperti proses konstruksi dan operasi fasilitas, dapat ditunjukkan dengan *Building Information Modeling* (BIM). Sangat mudah untuk mengetahui kualitas dan kuantitas suatu material. Pekerjaan dapat dibagi, dipisahkan, atau ditentukan. *Building Information Modeling* (BIM) memungkinkan kemajuan dengan membuat gambar model dari komponen nyata yang digunakan saat membangun gedung.

Kekuatan utama dalam *Building Information Modeling* (BIM) terletak pada informasi yang tersedia di setiap *life cycle* sebuah proyek, mulai dari tahap perencanaan hingga pemantauan dan evaluasi. *Building Information Modeling* (BIM) juga dapat mengurangi potensi kesalahan desain, mengurangi pekerjaan yang berulang, serta dapat diakses secara virtual dari mana saja dan kapan saja oleh seluruh pihak yang terlibat dalam proyek. Selain itu, *Building Information Modeling* (BIM) memungkinkan tindak lanjut segera dengan memberikan informasi kepada pihak yang mengambil keputusan. *Building Information Modeling* (BIM) membantu seluruh tim proyek untuk berkoordinasi dan berkomunikasi lebih efektif. Apabila semua tim proyek bekerja pada hal yang sama, yaitu dengan menggunakan *Building Information Modeling* (BIM), maka proses transisi antar tahapan desain akan memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi dan mengurangi pekerjaan yang berulang. *Building Information Modeling* (BIM) juga berperan dalam mengurangi masalah koordinasi di lapangan karena dapat

menyampaikan maksud desain yang dibuat dalam bentuk model yang nyata (Fakhruddin et al., 2019).



Gambar 2.1 Siklus *Building Information Modeling*

Sumber: (Fakhruddin et al., 2019)

2.7.1 Prinsip Kerja *Building Information Modeling* (BIM)

Penerapan *Building Information Modeling* (BIM) dalam proses konstruksi sebenarnya bukan hal baru di Indonesia. Metodologi dimana seluruh informasi (spesifikasi, kuantitas, harga, tahapan pekerjaan, dan lain-lain) yang terintegrasi dengan bentuk 3D model bangunan ini sudah digunakan oleh perusahaan konstruksi besar, baik BUMN maupun swasta sejak tahun 2015. Meskipun demikian, penggunaan dan pengembangannya belum maksimal karena belum adanya platform yang terpadu di Indonesia. Dibandingkan dengan negara tetangga seperti Singapura yang sudah menggarap *Building Information Modeling* (BIM) secara serius sejak tahun 2010, pemerintah melalui Kementerian PUPR yang baru menginisiasi *Building Information Modeling* (BIM) secara resmi pada tahun 2017, perlu berpacu lebih kencang lagi (Permen PUPR Nomor 03/PRT/M/2019, 2019).

Saat ini, *Building Information Modeling* (BIM) merupakan sebuah proses yang sangat populer, terutama dalam dunia teknik di bidang infrastruktur bangunan. Hal ini disebabkan oleh kemampuan teknologi atau metode ini dalam mendeteksi ketidaksesuaian antara desain untuk meminimalkan potensi kegagalan proyek. Setiap dimensi dalam *Building Information Modeling* (BIM) memiliki kegunaan atau fungsi masing-masing. Seiring berjalannya waktu, terdapat penambahan atau

perubahan, sehingga saat ini dimensi *Building Information Modeling* (BIM) terdiri dari 10D sesuai dengan fungsi dari masing-masing dimensinya.

Menurut (Ershadi et al., 2021) sebagai suatu alir kerja, BIM memiliki tahapan (dimensi) yang merepresentasikan tingkat implementasi/*maturity* terhadap proses konstruksi. dan terdapat 10 dimensi dengan penjelasan sebagai berikut:

1. *Building Information Modeling* (BIM) 3D, adalah bantuan bagi pemangku kepentingan untuk mengoordinasikan kegiatan multidisiplin mereka dan menganalisis fitur struktural komponen. Data akurat pada tiga aspek model dikumpulkan dan disimpan dalam database untuk digunakan dalam tahapan siklus hidup. *Building Information Modeling* (BIM) 3D menambah ruang pada gambar 2D CAD (*Computer-Aided Design*) tradisional dan memberikan wawasan yang lebih mendalam tentang fitur grafis fasilitas.
2. *Building Information Modeling* (BIM) 4D, Penggabungan *schedule* ke dalam model 3D fasilitas memungkinkan pendeteksian kesalahan dalam waktu dan urutan aktivitas. *Schedule* proyek harus diperiksa secara ketat terhadap setiap konflik dan gangguan dalam logika keras atau lunak dari ketergantungan aktivitas yang tampaknya bermasalah.
3. *Building Information Modeling* (BIM) 5D, Dimensi BIM ini menggabungkan estimasi biaya ke dalam *Building Information Modeling* (BIM) 4D untuk memungkinkan perencanaan biaya dan penganggaran proyek yang terintegrasi. Perangkat lunak anggaran, perangkat lunak penjadwalan, dan model 3D BIM beroperasi dengan lancar sehingga estimator dapat menganalisis modal dan biaya operasi selama tahap konstruksi.
4. *Building Information Modeling* (BIM) 6D, mengoptimalkan konsumsi energi dan mengurangi biaya jangka panjang yang terkait dengan pengoperasian fasilitas dan meningkatkan kinerja. Dimensi *Building Information Modeling* (BIM) ini secara signifikan berkontribusi pada *sustainability* dan menciptakan infrastruktur hijau dengan menghemat energi di sektor pembangunan infrastruktur.
5. *Building Information Modeling* (BIM) 7D, Penjelasan lebih lanjut tentang alat terkait menunjukkan bahwa *Building Information Modeling* (BIM) 7D mencakup lebih banyak informasi terkait siklus hidup yang diperlukan untuk

mencapai efisiensi energi dan keberlanjutan di seluruh siklus hidup. Setiap informasi yang penting untuk pengoperasian dan pemeliharaan fasilitas mulai dari desain hingga pembongkaran diintegrasikan ke dalam BIM 6D menjadi *Building Information Modeling* (BIM) 7D. *Building Information Modeling* (BIM) 7D membantu manajer memvisualisasikan biaya seumur hidup fasilitas dan membuat keputusan yang tepat dengan mempertimbangkan semua dampak seumur hidup dari keputusan mereka terhadap pengembangan atau perubahan fasilitas.

6. *Building Information Modeling* (BIM) 8D, Dimensi kedelapan *Building Information Modeling* (BIM) berkaitan dengan integrasi persyaratan kesehatan dan keselamatan di lokasi ke dalam *Building Information Modeling* (BIM) 7D untuk memastikan keselamatan semua personel baik selama tahap konstruksi maupun pengoperasian fasilitas. Dimensi ini memungkinkan manajer untuk berinteraksi dengan para pemangku kepentingan dan berkomunikasi dengan lancar untuk melaksanakan rencana keselamatan dari tahap awal dalam siklus hidup fasilitas. *Building Information Modeling* (BIM) 8D dapat mendeteksi dan mengeliminasi risiko keselamatan melalui analisis visual fasilitas dan komponennya.
7. *Building Information Modeling* (BIM) 9D, Integrasi persyaratan *lean construction* ke dalam *Building Information Modeling* (BIM) 8D membentuk *Building Information Modeling* (BIM) 9D sebagai alat potensial yang kuat untuk pengiriman dan pengoperasian fasilitas yang lebih efektif dengan penggunaan sumber daya dan modal yang optimal. *Building Information Modeling* (BIM) 9D menganalisis semua sumber daya yang terlibat dalam proses pembangunan dan pengoperasian infrastruktur. Misalnya, wawasan yang berguna dapat diperoleh untuk penggunaan truk yang optimal untuk pengangkutan material, mengurangi jumlah kendaraan di lokasi dan jalan sirkulasi, menghilangkan tugas yang tidak menambah nilai berulang, dan mengurangi waktu siklus.
8. *Building Information Modeling* (BIM) 10D, adalah dimensi prospektif lain dari sistem BIM yang bertujuan untuk memanfaatkan konstruksi industri dan menggabungkan rencana manajemen bencana. 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.



Gambar 2.2 BIM dari 3D sampai 10D

Sumber: (Ershadi et al., 2021)

2.7.2 Tingkat Implementasi *Building Information Modeling* (BIM)

Terdapat ilustrasi pada Gambar 2.3 mengenai tingkat adopsi *Building Information Modeling* (BIM) dalam suatu organisasi yang menentukan tingkat *maturity* (kematangan) penerapan teknologi informasi dalam konstruksi yang mengekspresikan tingkat kolaborasi dalam proses serta tingkat kecanggihan *tools* (alat bantu). Dalam pandangan ini *Building Information Modeling* (BIM) dilihat sebagai serangkaian tahapan perjalanan yang dimulai dengan era kertas CAD 2D menuju ke industri era digital (Pantiga & Soekiman, 2021).

1. *Building Information Modeling* (BIM) Level 0

Tingkat ini tidak terjadi kolaborasi dan hanya menggunakan gambar 2 dimensi yang berbasis kertas atau CAD.

2. *Building Information Modeling (BIM) Level 1*

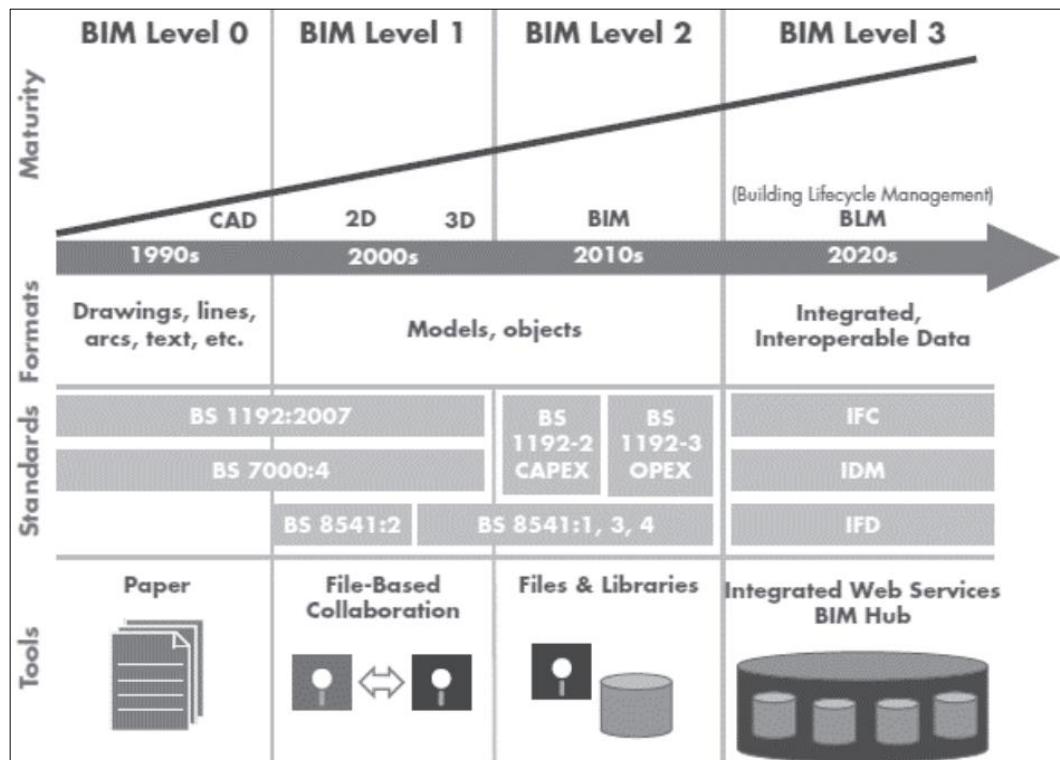
Tingkat ini, penggunaan BIM sudah mampu memodelkan gambar secara 3 dimensi, meskipun hanya sebatas visualisasi. Sebagai contoh dengan menggunakan *google sketchup*, *3ds max*, dan lain sebagainya.

3. *Building Information Modeling (BIM) Level 2*

Tingkat ini penggunaan *Building Information Modeling (BIM)* memodelkan 3 dimensi dengan urut memperhitungkan volume, *schedule*, serta biaya. Adapun pada *level* ini, penggunaanya dapat berkolaborasi dengan berbagai disiplin ilmu.

4. *Building Information Modeling (BIM) Level 3*

Tingkat ini kolaborasi terjadi secara yang lebih luas, sehingga memungkinkan setiap pihak dapat bekerja sama melalui layanan *cloud*.



Gambar 2.3 BIM Maturity Level

Sumber: (Aswin Indraprastha, 2022)

2.7.3 Kelebihan dan kekurangan *Building Information Modeling* (BIM)

Berikut adalah kelebihan dan kekurangan *Building Information Modeling* (BIM) menurut (Berlian P. et al., 2016) antara lain:

1. Kelebihan *Buillding Information Modeling* (BIM)

a. Integritas Perangkat Lunak

Pada proyek yang menggunakan aplikasi konvensional, biasanya diperlukan berbagai perangkat lunak, seperti untuk analisis kekuatan struktur, perangkat lunak untuk desain dan gambar, serta perangkat lunak untuk perhitungan volume dan penjadwalan. Akan tetapi, dengan menggunakan perangkat lunak *Building Information Modeling* (BIM), semua kebutuhan tersebut dapat dipenuhi dalam satu perangkat lunak yang dapat dikerjakan oleh satu orang saja, berkat adanya integrasi dengan perangkat lunak lain yang dibutuhkan. Deteksi Tabrakan Desain. Tabrakan desain terjadi karena ketidaksesuaian antara desain arsitek, struktur, dan MEP, dalam *Building Information Modeling* (BIM) hal tersebut dapat dihindari dengan adanya deteksi *clash* dari perangkat lunak BIM. Hal ini juga mengurangi revisi desain dan kesalahan yang terjadi ketika pelaksanaan pekerjaan proyek dimulai.

b. Proses yang lebih cepat

Perangkat lunak *Building Information Modeling* (BIM) akan membantu segala proses lebih cepat dibandingkan penggunaan sistem konvensional. Perangkat desain yang terintegrasi maupun perangkat untuk berbagi informasi yang sudah *mobile* membuat segala proses menjadi lebih cepat.

c. Penghematan Sumber Daya

Penggunaan aplikasi konvensional membutuhkan lebih banyak pekerja dikarenakan masing-masing pekerja mengerjakan bagiannya masing-masing. Sementara dengan penggunaan aplikasi *Building Information Modeling* (BIM) kebutuhan sumber daya dapat diminimalisir karena beberapa pekerjaan dapat dikerjakan satu orang saja.

d. Penghematan Biaya

Dengan adanya efisiensi waktu dan sumber daya manusia maka biaya yang dibutuhkan dalam suatu perencanaan proyek dengan menggunakan

aplikasi *Building Information Modeling* (BIM) dapat berkurang jika dibandingkan dengan penggunaan aplikasi konvensional.

2. Kekurangan *Building Information Modeling* (BIM)

- a. Mahalnya harga lisensi.
- b. Dibutuhkan spesifikasi *hardware* yang mumpuni, agar aplikasi dengan konsep *Building Information Modeling* (BIM) bekerja dengan baik diperlukan RAM minimal 16 GB, dan *graphics card* minimal *NVIDIA Quadro Series* atau sejenisnya.
- c. *Building Information Modeling* (BIM) kurang mampu mendetailkan gambar dengan skala yang cukup kecil dengan optimal. Oleh karena itu penggambaran dengan skala dibawah 1:20 masih membutuhkan gambar dengan menggunakan *software* Autocad.

2.8 *Level of Development* (LOD)

Level of Development (LOD) dalam *Building Information Modeling* (BIM) merupakan protokol untuk mengelola informasi pedoman dasar Pemodelan Informasi Bangunan atau *Building Information Modeling* (BIM). *Level of Development* (LOD) dibuat untuk mengidentifikasi kebutuhan konten spesifik dari elemen model *Building Information Modeling* (BIM) pada waktu tertentu (Aswin Indraprastha, 2022).

Konsep *Level of Development* (LOD) diperkenalkan dalam *Building Information Modeling* (BIM) untuk memungkinkan para pelaku konstruksi di industri *Architecture, Engineering and Construction* (AEC) untuk mengartikulasikan dengan tingkat kejelasan konten yang tinggi serta model 3D di berbagai tahap. *Level of Development* (LOD) berhubungan dengan *Level of Detail*, *Level of Detail* adalah jumlah detail yang disertakan dalam elemen model bangunan. Di sisi lain, *Level of Development* (LOD) adalah tingkat geometri elemen dan informasi terkait mengenai komponen telah direncanakan oleh tim proyek dapat mengandalkan informasi saat menggunakan model. Intinya, *Level of Detail* adalah input untuk elemen, sedangkan *Level of Development* (LOD) mendefinisikan output yang dapat diandalkan (Aswin Indraprastha, 2022).

Level of Development (LOD) digunakan untuk mengatasi beberapa masalah yang terjadi pada tahap desain. Hal ini disebabkan, mudah untuk salah

menginterpretasikan ketepatan dari sebuah elemen yang akan dimodelkan. Selain itu, ada kebutuhan untuk membedakan jumlah informasi dari elemen model bangunan. Selain itu, hal ini memungkinkan pelaku konstruksi untuk memahami dengan jelas kegunaan dan keterbatasan model bangunan yang diterima. Terdapat lima tingkatan *Level of Development* (LOD), yang terdiri dari LOD 100, LOD 200, LOD 300, LOD 400, LOD 500. Tingkatan ini mencakup mulai dari konseptual hingga *as-built* dan manajemen fasilitas (Aswin Indraprastha, 2022). Informasi mengenai masing-masing karakteristik *Level of Development* (LOD) ditunjukkan pada Gambar 2.4:



Gambar 2.4 Tingkat Pengembangan *Level of Development* (LOD)

Sumber: (Aswin Indraprastha, 2022)

1. *Level of Development* (LOD) 100

Level of Development (LOD) 100 adalah level konseptual atau desain konseptual. Elemen-elemen model direpresentasikan secara grafis dalam sebuah simbol. Model ini umumnya digunakan untuk analisis pra-perencanaan proyek, seperti studi kelayakan, perhitungan area, dan proyeksi anggaran kasar.

2. *Level of Development* (LOD) 200

Level of Development (LOD) 200 atau desain pengembangan, pada *Level of Development* (LOD) 200 model mulai menunjukkan elemen-elemen bangunan dengan bentuk dan ukuran yang lebih spesifik. Meski demikian, elemen-elemen tersebut masih dapat berubah seiring berjalannya proyek. Model ini mencakup informasi lebih detail, seperti lokasi dan ukuran dari elemen

struktural, sistem mekanikal, dan lainnya. Meskipun sudah lebih rinci, elemen-elemen ini belum menunjukkan spesifikasi yang final.

3. *Level of Development (LOD) 300*

Level of Development (LOD) 300 atau desain dokumentasi, pada *Level of Development (LOD) 300*, model *Building Information Modeling (BIM)* mencakup elemen-elemen bangunan dengan lebih banyak detail yang mendekati bentuk final. Model ini dapat mencakup informasi mengenai material, dimensi yang lebih akurat, dan sistem konstruksi yang lebih jelas. Desain sudah stabil dan siap untuk digunakan sebagai dasar dalam perencanaan konstruksi dan pemilihan material. Informasi teknis seperti sambungan, penempatan dan pengaturan elemen-elemen juga sudah lebih jelas.

4. *Level of Development (LOD) 350*

Level of Development (LOD) 350 atau *Model Coordination*, untuk model dan koordinasi LOD 350 sering kali diperlukan. pada tingkat ini, bagian-bagian yang diperlukan untuk koordinasi dengan sistem bangunan lain disertakan dalam model. ini berarti bahwa antarmuka dengan sistem bangunan lain diwakili secara grafis dan dukungan serta koneksi disertakan.

5. *Level of Development (LOD) 400*

Level of Development (LOD) 400 atau *ready for construction* adalah tahap di mana model BIM sudah sangat mendetail dan siap untuk digunakan dalam tahap konstruksi. Elemen-elemen bangunan ditunjukkan dengan dimensi akhir dan detail penggabungan antar elemen, termasuk informasi tentang konstruksi dan instalasi. Model ini juga berisi informasi tentang spesifikasi material, metode konstruksi, dan proses pemasangan.

6. *Level of Development (LOD) 500*

Level of Development (LOD) 500 atau *As-Built* adalah model yang menggambarkan kondisi fisik bangunan setelah selesai dibangun. Ini adalah representasi "sebenarnya" dari bangunan, dengan semua elemen yang telah terpasang, mencakup elemen-elemen yang mungkin telah berubah selama konstruksi. Informasi pada tahap ini biasanya digunakan untuk operasi dan pemeliharaan bangunan (O&M), serta manajemen fasilitas setelah pembangunan.

2.9 Autodesk Revit

Autodesk Revit merupakan *software Building Information Modeling* (BIM) oleh autodesk untuk desain arsitektur, struktur serta mekanikal, elektrik dan plumbing (MEP). Dikembangkan pertama kali oleh Leonaid Raiz dan Irwin Jungreis dibawah perusahaan Charles River perangkat lunak pada tahun 1977 dengan nama Reflex, selanjutnya perusahaan tersebut berganti nama menjadi *Revit Technology Corporation* di tahun 2000 dan merilis Revit versi 1.0 pada bulan April, namun tahun 2002 diakuisisi oleh *autodesk*. Setelah diakuisisi, pada 2005 Revit *structure* diperkenalkan, kemudian pada 2006 Revit MEP. Setelah rilis di tahun 2006 Revit *building* berganti nama menjadi Revit *architecture*. Sejak Revit 2013 berbagai disiplin ilmu telah diringkas menjadi satu produk, dan cukup disebut Revit.

Dengan *software* ini pengguna dapat merancang bangunan dan struktur dengan pemodelan komponen dalam 3D dan sekaligus menyajikan gambar kerja dalam 2D. Lebih jauh lagi pengguna dapat melakukan perencanaan untuk menentukan tahapan pelaksanaan dari elemen bangunan serta dapat menyajikan informasi berupa *quantities shedule*. Autodesk Revit juga ditujukan untuk perancangan utilitas bangunan yaitu mekanikal elektrik dan desain *plumbing*. Dengan demikian Autodesk Revit memungkinkan bagi arsitek, insinyur struktur serta insinyur sistem bangunan untuk berkolaborasi pada satu proyek bangunan gedung, dengan membuat desain secara terpisah sesuai bidangnya masing-masing dan kemudian Autodesk Revit dapat mengintegrasikan ketiganya, Keunggulan dari Autodesk Revit adalah cara menggunakannya simpel dan mudah, maka dengan beberapa alasan diatas peneliti memilih *software* Revit sebagai *software* pendukung dalam melakukan penelitian ini (Apriansyah, 2021).

2.9.1 Prinsip Kerja Autodesk Revit

Autodesk Revit merupakan salah satu perangkat lunak yang digunakan oleh perencana struktur atau desainer dengan alat-alat untuk merancang dan membangun struktur yang akurat dan efisien. Autodesk Revit juga digunakan untuk mendukung *Building Information Modeling* (BIM), mendapatkan informasi tentang proyek melalui simulasi dan analisis serta memprediksi kinerja sebelum pelaksanaan konstruksi dilakukan. Informasi yang diperoleh dari *Building Information*

Modeling (BIM) berupa data dan informasi yang terkoordinasi dan konsisten serta memberikan banyak kontrol dari suatu objek pemodelan dan server jaringan secara terdistribusi. Model *Building Information Modeling* (BIM) itu sendiri adalah database yang berisi informasi bangunan dan terkait dengan beberapa informasi dasar (Aswin Indraprastha, 2022). Beberapa hal database dari informasi model yang dapat digunakan yaitu:

1. Dapat berintegrasi dengan aplikasi lain, secara sederhana dengan mengeksport file model *Building Information Modeling* (BIM) dapat diintegrasikan dengan aplikasi perangkat lunak lainnya. Misalnya untuk menganalisis energi, pencahayaan, spesifikasi dan lain sebagainya. Hal ini dapat menghemat waktu dan mempercepat kinerja proyek, selain itu memungkinkan untuk meningkatkan desain yang lebih baik.
2. Membantu perhitungan, perangkat lunak *Building Information Modeling* (BIM) dalam hal ini Autodesk Revit mampu menghitung tidak hanya jumlah item dalam model (seperti pintu) tapi juga luas dinding, volume material, atau pun volume ruang. Setelah data dihitung dan diurutkan, dapat diterapkan beberapa perhitungan dengan data untuk mendapatkan informasi baru secara cepat.
3. Sebagai komunikasi, model *Building Information Modeling* (BIM) dirancang untuk memberikan informasi secara cepat tentang bagian tertentu dari proyek. Laporan dapat dimasukkan dalam dokumentasi proyek untuk diinformasikan kepada semua anggota proyek tentang elemen kunci pada proses konstruksi.

2.9.2 Kelebihan dan Kekurangan Autodesk Revit

Revit dibuat pertama kali untuk membantu mempermudah penerapan *Building Information Modeling* (BIM) pada pekerjaan arsitektur, namun seiring diperbaruinya versi pada Revit sekarang sudah dapat mengerjakan pekerjaan struktur hingga MEP. Berikut adalah kelebihan dan kekurangan Revit dibanding perangkat lunak berbasis *Building Information Modeling* (BIM) lainnya:

1. Kelebihan Autodesk Revit
 - a. Perangkat lunak yang umum dan banyak digunakan dalam jasa konstruksi.
 - b. Harga yang cukup murah dibanding perangkat lunak berbasis BIM lainnya.

- c. Menyediakan *free student license* untuk pelajar yang ingin menggunakan secara gratis.
 - d. Dapat digunakan pada perangkat dengan spesifikasi medium.
 - e. Dapat digunakan untuk pekerjaan arsitektur, struktur, dan MEP, sehingga pengintegrasian antar pekerjaan dapat dilakukan dalam satu perangkat lunak.
 - f. Dapat membuat tulangan langsung pada model.
2. Kekurangan Autodesk Revit
- a. Membutuhkan *software plug in* pendukung untuk melakukan *detailing* penulangan dengan cepat.
 - b. Kualitas *rendering* yang kurang bagus.
 - c. Autodesk Revit tidak disarankan untuk menghitung kekuatan bangunan, karena *software* ini hanya berfokus pada pembuatan gambar kerja dan manajemen informasi proyek.
 - d. Tidak dapat menampilkan simulasi waktu proyek.
 - e. Perlu pelatihan khusus untuk mendapatkan hasil yang cepat dan tepat.

2.10 Cutting Optimization Pro

Software Cutting Optimization Pro adalah suatu *software* yang membantu mengoptimasi kombinasi pola pemotongan tulangan serta membantu mengetahui *waste* lebih awal dan diharapkan dapat mengontrol jumlah *waste* yang sudah dikeluarkan sesuai pola pemotongan.

Perangkat lunak ini dibuat untuk mempermudah pekerjaan pemotongan bahan-bahan dari pabrik seperti pipa-pipa, profil baja, besi tulangan dan lain-lain. Perangkat lunak ini dapat melakukan proses pemilihan keputusan urutan pola pemotongan yang optimal sesuai dengan input pengguna. Input yang dibutuhkan perangkat lunak ini adalah berupa ukuran panjang standar besi yang dihasilkan pabrik, ukuran panjang besi yang dibutuhkan serta jumlahnya.

Perangkat lunak ini hanya memiliki satu fitur yaitu mengkombinasikan pola pemotongan yang di input oleh pengguna sehingga menghasilkan sisa besi tulangan yang paling optimal. Berikut fitur utama *software* Cutting Optimization Pro:

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 algoritma program dinamis untuk mendapatkan hasil *waste* paling optimal.
3. Mampu membuat diagram pemotongan besi tulangan sesuai dengan Input pengguna.
4. Mampu mengoptimalkan *waste material*.

Penelitian ini dilakukan pada proyek pembangunan Gedung RSPON Prof. Dr. dr. Mahar Mardjono Jakarta Sebagai RS Pendidikan Menjadi Institut Neurosains Nasional (INN) tepatnya di Gedung Pelayanan, yang berlokasi di Jl. Letjen M.T. Haryono No.Kav.11, Cawang, Kec. Kramat jati, Kota Jakarta Timur, Daerah Khusus Ibukota Jakarta. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pembesian pada pekerjaan struktur gedung berupa kolom, balok dan pelat lantai sesuai dengan metode yang dipakai di lapangan. Untuk mengetahui perbandingan volume *waste* antara metode konvensional di lapangan dengan menggunakan *software* Cutting Optimization Pro (CPO).