



ANALISIS SISA MATERIAL PENGUAT BALOK DAN KOLOM MENGGUNAKAN *BUILDING INFORMATION MODELING* (BIM)

JUNITA EKA SUSANTI^{1*}, VESTY VERONA MAHARDIKA², PUTRI AYU DWIYANA³

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan

*Corresponding Author: junita.susanti@si.itera.ac.id

Naskah diterima: 19 Januari 2026. Disetujui: 19 Mei 2026. Diterbitkan: 31 Juli 2026

ABSTRAK

Waste material merupakan hasil pekerjaan maupun material konstruksi yang tersisa, tercecer, atau rusak sehingga tidak dapat digunakan lagi sesuai fungsinya. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung berat kebutuhan, berat waste, waste level, waste kumulatif, dan waste cost material besi tulangan struktur balok dan kolom. Metode penelitian ini adalah kuantitatif berbasis Building Information Modeling (BIM) menggunakan software Autodesk Revit 2025 dan Cutting Optimization Pro. Data yang digunakan adalah shop drawing struktur balok dan kolom, serta Standar Satuan Harga (SSH) Kota Bandar Lampung Tahun 2024. Didapatkan hasil berat kebutuhan menggunakan software Autodesk Revit 2025 sebesar 90886,13 kg pada tulangan balok dan 57410,70 kg pada tulangan kolom, dengan total sebesar 148296,83 kg. Didapatkan juga hasil berat waste menggunakan software Cutting Optimization Pro sebesar 5237,62 kg dengan waste level sebesar 5,76% pada tulangan balok, berat waste sebesar 11900,91 kg dengan waste level sebesar 20,73% pada tulangan kolom, dan total berat waste sebesar 17138,53 kg dengan waste kumulatif sebesar 11,56%. Didapatkan waste cost sebesar Rp69.649.838 pada tulangan balok dan Rp158.258.319 pada tulangan kolom, serta total waste cost sebesar Rp227.908.157.

Kata kunci : Waste Material, *Building Information Modeling* (BIM), Autodesk Revit, Cutting Optimization Pro.

1. PENDAHULUAN

Proyek konstruksi memiliki lima sumber daya utama yaitu pekerja (man), metode (methode), alat (machine), biaya (money), dan material (materials). Dari kelima komponen tersebut, material memegang peranan penting dalam suatu proyek konstruksi karena material menghabiskan 40-60% dari total biaya keseluruhan proyek (Atullah dkk., 2023). Oleh

karena itu, pengendalian pada material sangat penting dilakukan untuk mencapai tiga komponen utama yang menentukan keberhasilan suatu proyek konstruksi yaitu tepat waktu, biaya dan mutu.

Kurangnya pengendalian pada material dapat berdampak pada tidak tercapainya tiga komponen utama tersebut, salah satu akibat dari kurangnya pengendalian material adalah timbulnya waste material. Material sisa atau waste material merupakan sesuatu yang sifatnya berlebih dari yang disyaratkan baik itu berupa hasil pekerjaan maupun material konstruksi yang tersisa, tercecer, atau rusak sehingga tidak dapat digunakan lagi sesuai fungsinya. Faktor yang menjadi sumber timbulnya waste material konstruksi antara lain terdapat pada desain bangunan, pengadaan dan pengendalian material, pelaksanaan pembangunan, dan lain-lain. Timbulnya waste dapat menyebabkan kerugian khususnya bagi pihak kontraktor maupun penyelenggara jasa konstruksi. Menurut penelitian sebelumnya, waste material pada proyek konstruksi dapat mencapai 5-10% dari total penggunaan material proyek, bahkan pada beberapa proyek tertentu nilainya dapat melebihi angka tersebut (Sari dkk., 2023).

Pekerjaan pembesian pada pembangunan gedung bertingkat merupakan salah satu aktivitas konstruksi yang berpotensi besar menimbulkan waste material, khususnya pada besi tulangan. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa waste besi tulangan umumnya disebabkan oleh kurang optimalnya perencanaan volume kebutuhan material, kesalahan pemotongan, perubahan desain, dan rendahnya efisiensi pengelolaan material di lapangan (Dwi dkk., 2026). Waste material yang terjadi dalam pekerjaan pembesian tentu berdampak pada semakin besarnya biaya yang akan dikeluarkan oleh pelaksana proyek. Upaya pengendalian waste material diharapkan dapat mengontrol biaya suatu proyek, dan mengurangi potensi pencemaran atau kerusakan lingkungan (Suarliak dan Suroso, 2021).

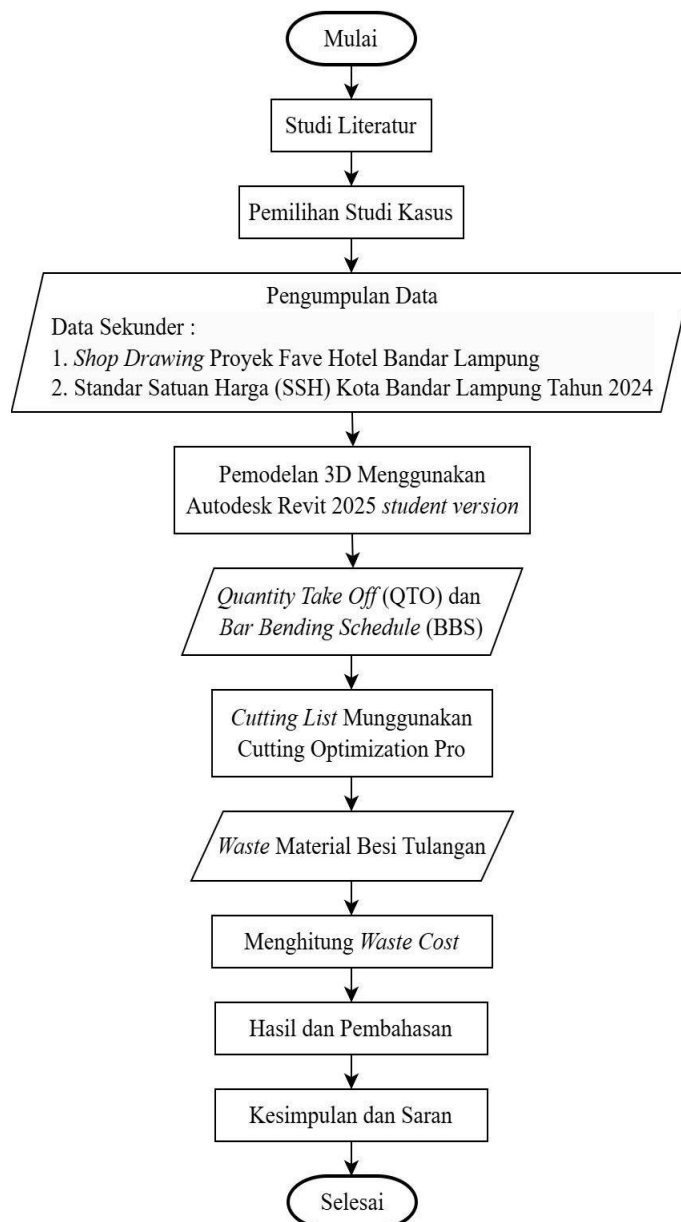
Berdasarkan informasi dari pelaksana proyek, faktor terjadinya waste material besi tulangan di lokasi proyek dikarenakan adanya kesalahan dalam menghitung kebutuhan besi di lapangan, akibatnya proses fabrikasi besi tidak sesuai kebutuhan sehingga menimbulkan sisa potongan besi berlebih. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis berat kebutuhan, berat waste, serta waste cost material besi tulangan struktur kolom dan balok pada salah satu lokasi proyek di Kota Bandar Lampung dengan menggunakan Building Information Modeling (BIM). Penggunaan Building Information Modeling (BIM) dalam proyek konstruksi mampu meningkatkan akurasi perhitungan volume dan kebutuhan material sehingga dapat meminimalkan terjadinya construction waste. Melalui sistem pemodelan digital yang terintegrasi, BIM dapat membantu mengidentifikasi potensi kesalahan perencanaan dan kelebihan penggunaan material sejak tahap awal proyek. Oleh karena itu, penerapan BIM pada pekerjaan pembesian struktur kolom dan balok diharapkan dapat mengurangi waste material besi tulangan serta menekan waste cost pada proyek konstruksi gedung. Hasil penelitian ini diharapkan dapat mengetahui nilai waste serta biaya akibat waste pada material besi tulangan yang nantinya berguna untuk melihat seberapa besar pengaruh nilai waste terhadap biaya anggaran proyek.

2. METODE PENELITIAN

Gambar 1 menunjukkan diagram alir metode penelitian. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif yang merupakan penelitian terstruktur terhadap suatu fenomena dengan cara mengumpulkan data yang dapat diukur, setelah itu dianalisis menggunakan teknik matematis, komputasi, atau statistik (Abdullah dkk., 2022). Subjek penelitian ini adalah struktur utama balok dan kolom pada salah satu proyek di Bandar Lampung. Pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini yaitu data sekunder yang didapatkan dari instansi

terkait, data tersebut adalah *shop drawing* Proyek dan Standar Satuan Harga (SSH) Kota Bandar Lampung Tahun 2024.

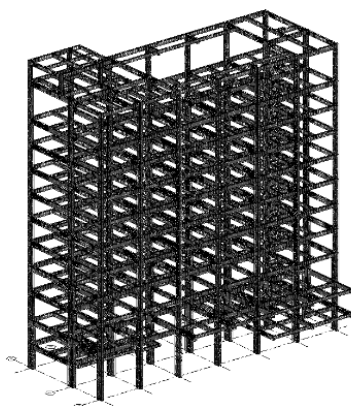
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kebutuhan material besi tulangan, mengetahui besarnya *waste material* dan *waste cost*, serta mengevaluasi potensi pengendalian *construction waste* pada pekerjaan struktur kolom dan balok menggunakan pendekatan *Building Information Modeling* (BIM). Untuk mencapai tujuan tersebut, pengolahan data dilakukan melalui pemodelan 3D menggunakan Autodesk Revit *student version* guna memperoleh *Quantity Take Off* (QTO) dan *Bar Bending Schedule* (BBS). Selanjutnya, optimasi pola pemotongan dilakukan menggunakan Cutting Optimization Pro untuk memperoleh *cutting list*, data *waste*, perhitungan *waste level*, *waste* kumulatif, serta *waste cost*.



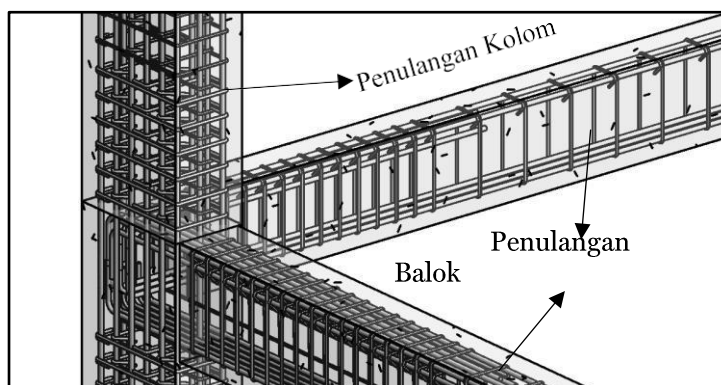
Gambar 1. Diagram alir metode penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menganalisis terkait *waste level*, *waste kumulatif*, dan *waste cost* pada tulangan balok dan kolom salah satu Proyek di Bandar Lampung. Untuk menghitung *waste level*, *waste kumulatif*, dan *waste cost* memerlukan berat kebutuhan yang didapatkan dari pemodelan serta berat *waste* yang didapatkan dari *cutting list*.



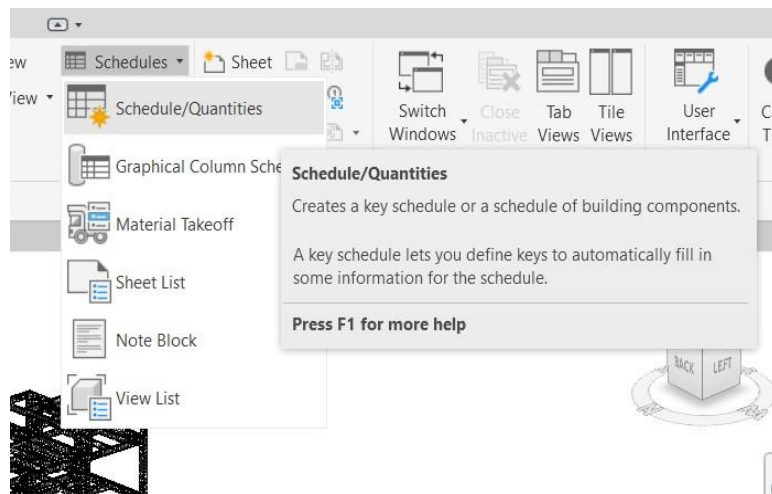
Gambar 2. Tampilan Hasil Pemodelan



Gambar 3. Tampilan Detail Penulangan

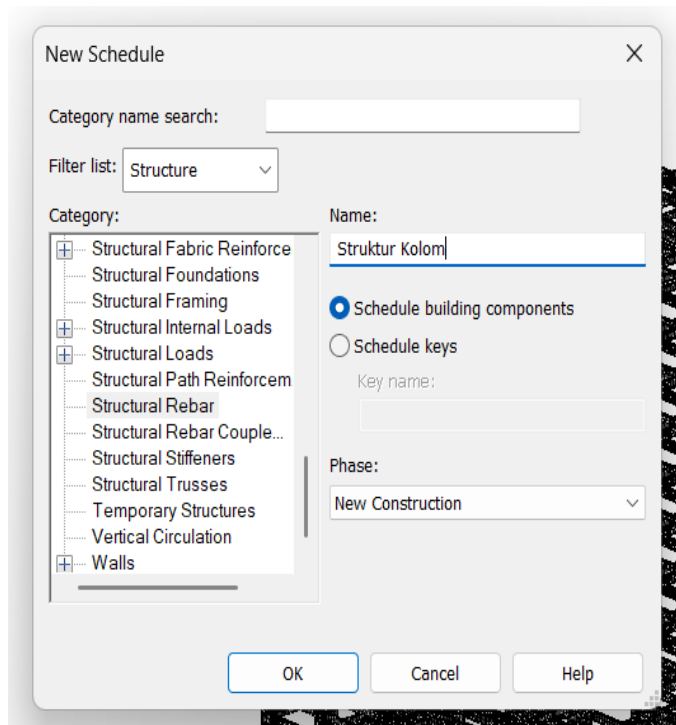
Pemodelan struktur balok dan kolom pada penelitian ini menggunakan data *shop drawing* proyek dengan *software* Autodesk Revit 2025 *student version*. Langkah demi langkah dilakukan pada *software* Autodesk Revit 2025 *student version* sampai menghasilkan pemodelan yang dapat dilihat pada **Gambar 2** dan **Gambar 3**. Setelah melakukan pemodelan, selanjutnya mengeluarkan hasil *Quantity Take Off* (QTO) dan *Bar Bending Schedule* (BBS). *Bar Bending Schedule* (BBS) dan *Quantity Take Off* (QTO) pada penelitian ini dilakukan terhadap elemen struktur balok dan kolom, termasuk pada area sambungan (*joint*) kolom-balok. Analisis pada bagian *joint* perlu diperhatikan karena merupakan daerah pertemuan tulangan yang memiliki tingkat kerumitan pembesian lebih tinggi dan berpotensi menimbulkan *waste material* akibat panjang penyaluran, penyaluran kait, serta overlapping tulangan. Oleh karena itu, pemodelan dan perhitungan kebutuhan besi tulangan pada penelitian ini telah mempertimbangkan detail pembesian pada sambungan kolom-balok untuk memperoleh hasil estimasi material dan *waste* yang lebih akurat. Tahapan dalam mengeluarkan hasil QTO dan BBS struktur balok dan kolom Proyek, sebagai berikut:

1. Perhitungan Data *Quantity Take Off* (QTO) dikeluarkan dengan cara memilih *schedule* pada tab view, kemudian pilih *schedule/quantities* (Gambar 4).



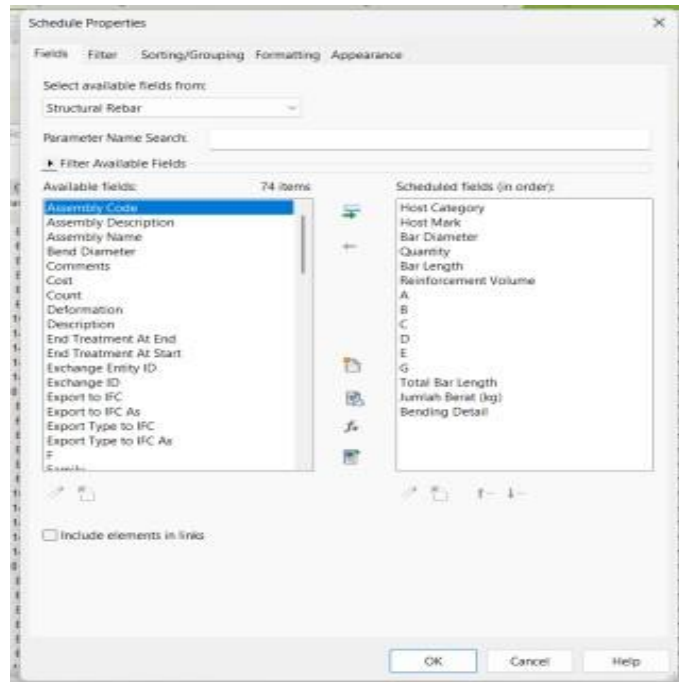
Gambar 4. Pembuatan *Quantity Take Off* (QTO)

2. Pada kategori *structural rebar* dan beri nama *schedule*, kemudian pilih OK (Gambar 5).



Gambar 5. Pengaturan Pembuatan *Quantity Take Off* (QTO)

3. Pilih parameter (Gambar 6) yang akan digunakan, kemudian pilih OK untuk mengeluarkan hasil *Quantity Take Off* (QTO) lihat Gambar 7.



Gambar 6. Memilih Parameter yang akan digunakan

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Type Kolom	Diameter (mm)	N (Jumlah)	Panjang (mm)	A	B	C	D	E	G	Total Panjang (mm)
C1	10	8	1760	80 mm	520 mm	320 mm	520 mm	320 mm	80 mm	14080
C1	10	6	960	80 mm	520 mm	0 mm	0 mm	0 mm	80 mm	3960
C1	10	8	660	80 mm	520 mm	0 mm	0 mm	0 mm	80 mm	5280
C1	10	8	460	80 mm	320 mm	0 mm	0 mm	0 mm	80 mm	3680
C1	10	8	460	80 mm	520 mm	0 mm	0 mm	0 mm	80 mm	3680
C1	10	5	660	80 mm	520 mm	0 mm	0 mm	0 mm	80 mm	3960
C1	10	10	660	80 mm	520 mm	0 mm	0 mm	0 mm	80 mm	6600
C1	10	14	1760	80 mm	520 mm	320 mm	520 mm	320 mm	80 mm	24640
C1	10	14	660	80 mm	520 mm	0 mm	0 mm	0 mm	80 mm	9240
C1	10	14	460	80 mm	320 mm	0 mm	0 mm	0 mm	80 mm	6440
C1	10	14	460	80 mm	320 mm	0 mm	0 mm	0 mm	80 mm	6440
C1	10	10	660	80 mm	520 mm	0 mm	0 mm	0 mm	80 mm	6600
C1	10	8	1760	80 mm	520 mm	320 mm	520 mm	320 mm	80 mm	14080
C1	10	6	960	80 mm	520 mm	0 mm	0 mm	0 mm	80 mm	3960
C1	10	8	660	80 mm	520 mm	0 mm	0 mm	0 mm	80 mm	5280
C1	10	8	460	80 mm	320 mm	0 mm	0 mm	0 mm	80 mm	3680
C1	10	8	460	80 mm	520 mm	0 mm	0 mm	0 mm	80 mm	3680
C1	10	5	660	80 mm	520 mm	0 mm	0 mm	0 mm	80 mm	3960
C1	10	10	660	80 mm	520 mm	0 mm	0 mm	0 mm	80 mm	6600
C1	10	14	1760	80 mm	520 mm	320 mm	520 mm	320 mm	80 mm	24640
C1	10	14	660	80 mm	520 mm	0 mm	0 mm	0 mm	80 mm	9240
C1	10	14	460	80 mm	320 mm	0 mm	0 mm	0 mm	80 mm	6440
C1	10	14	460	80 mm	320 mm	0 mm	0 mm	0 mm	80 mm	6440
C1	10	10	660	80 mm	520 mm	0 mm	0 mm	0 mm	80 mm	6600
C1	10	8	1760	80 mm	520 mm	320 mm	520 mm	320 mm	80 mm	14080
C1	10	6	960	80 mm	520 mm	0 mm	0 mm	0 mm	80 mm	3960
C1	10	8	660	80 mm	520 mm	0 mm	0 mm	0 mm	80 mm	5280
C1	10	8	460	80 mm	320 mm	0 mm	0 mm	0 mm	80 mm	3680
C1	10	8	460	80 mm	320 mm	0 mm	0 mm	0 mm	80 mm	3680
C1	10	5	660	80 mm	520 mm	0 mm	0 mm	0 mm	80 mm	3960

Gambar 7. Tampilan Quantity Take Off (QTO)

Perhitungan *waste level* dilakukan dengan cara membagi berat *waste* dengan berat kebutuhan masing – masing tulangan berdasarkan dimensinya yang kemudian dikalikan dengan 100% sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (1):

$$waste\ Level = \frac{Berat\ Waste}{Berat\ Kebutuhan} \times 100\% \quad (1)$$

Validasi hasil perhitungan kebutuhan material dilakukan dengan membandingkan hasil *Quantity Take Off*(QTO) dan *Bar Bending Schedule*(BBS) dari model Building Information Modeling (BIM) terhadap data perencanaan eksisting proyek, seperti gambar struktur, detail penulangan, dan rekap kebutuhan material yang tersedia pada dokumen proyek.

Selain itu, pemodelan dilakukan berdasarkan dimensi dan detail pembesian sesuai gambar kerja sehingga hasil analisis tetap merepresentasikan kondisi aktual objek yang ditinjau. Dengan demikian, angka kebutuhan material dan waste yang diperoleh tidak hanya berasal dari simulasi, tetapi juga mengacu pada data teknis eksisting proyek sebagai dasar validasi penelitian.

Tabel 1. Rekapitulasi *Waste Level* Tulangan Balok

Diameter	Berat Kebutuhan (kg)	Berat Waste (kg)	Waste Level (%)
D10	20737,12	888,52	4,28
D13	1541,23	135,40	8,78
D16	16928,84	1503,38	8,88
D19	28508,56	1726,85	6,06
D22	23170,38	983,46	4,24
Total	90886,13	5237,62	5,76

Berdasarkan hasil rekapitulasi (Tabel 1) didapat nilai total *waste level* pada tulangan balok sebesar 5,76%. Nilai total *waste level* tersebut didapat dengan cara membagi total berat kebutuhan dengan total berat waste yang kemudian dikali dengan 100%. Nilai *waste level* tertinggi pada tulangan balok terjadi pada tulangan D16 sebesar 8,88%, yang menunjukkan bahwa tulangan D16 memiliki persentase sisa material paling besar dibandingkan jenis tulangan lainnya. Kondisi ini diduga disebabkan oleh pola pemotongan yang kurang optimal dan tingginya variasi kebutuhan panjang tulangan pada elemen balok sehingga menghasilkan lebih banyak potongan sisa yang tidak dapat dimanfaatkan kembali secara maksimal. Sementara itu, jumlah batang waste tertinggi terdapat pada tulangan D19 sebanyak 252 batang dari total waste 794 batang, yang mengindikasikan bahwa penggunaan tulangan D19 pada proyek relatif lebih banyak sehingga akumulasi sisa material yang dihasilkan juga lebih besar. Hasil total *waste level* sebesar 5,76% didapatkan dengan cara membagi total berat waste dengan total berat kebutuhan, kemudian dikali dengan 100%.

Tabel 2. Rekapitulasi *Waste Level* Tulangan Kolom

Diameter	Berat Kebutuhan (kg)	Berat Waste (kg)	Waste Level (%)
D10	5865,76	38,20	0,65
D13	10809,72	230,76	2,13
D19	337,05	36,86	10,93
D22	40398,17	11595,10	28,70
Total	57410,70	11900,91	20,73

Berdasarkan Tabel 2, didapatkan nilai total *waste level* pada tulangan kolom sebesar 20,73%. Nilai total *waste level* tersebut didapatkan dengan cara membagi total berat kebutuhan dengan total berat waste yang kemudian dikalikan dengan 100%. Nilai *waste level* tertinggi pada tulangan kolom terdapat pada tulangan D22 sebesar 28,70%. Didapatkan juga total jumlah batang waste sebesar 357 batang dengan jumlah batang waste tertinggi terdapat pada tulangan D22 sebesar 326 batang. Hasil total *waste level* sebesar 20,73% didapatkan dengan cara membagi total berat waste dengan total berat kebutuhan, kemudian dikali dengan 100%. Perhitungan waste kumulatif dilakukan dengan cara membagi berat waste masing – masing tulangan berdasarkan dimensinya dengan total berat kebutuhan yang kemudian dikalikan dengan 100% sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (2):

$$Waste\ Kumulatif = \frac{Berat\ Waste}{Berat\ Kebutuhan} \times 100\% \quad (2)$$

Tabel 3. Rekapitulasi *Waste Level* Tulangan Balok dan Kolom

Diameter	Jumlah Berat Kebutuhan (kg)	Jumlah Berat <i>Waste</i> (kg)	<i>Waste</i> Kumulatif (%)
D10	26602,88	926,72	0,62
D13	12350,95	336,15	0,25
D16	16928,84	1503,38	1,01
D19	28845,61	1763,71	1,19
D22	63568,55	12578,56	8,48
Total	148296,83	17138,53	11,56

Berdasarkan Tabel 3. didapatkan hasil penjumlahan antara tulangan balok dan kolom pada berat kebutuhan sebesar 148296,83 kg, sedangkan didapatkan hasil penjumlahan antara tulangan balok dan kolom pada berat *waste* sebesar 17138,53 kg, didapatkan juga hasil penjumlahan antara balok dan kolom pada jumlah batang *waste* sebesar 1151 batang. Nilai *waste* kumulatif tertinggi terdapat pada tulangan D22 sebesar 8,48%. Didapatkan juga nilai total *waste* kumulatif pada tulangan balok dan kolom sebesar 11,56%. Hasil total *waste* kumulatif sebesar 11,56% didapatkan dengan cara menjumlahkan keempat nilai *waste* kumulatif pada tulangan kolom. Perhitungan *waste cost* dilakukan dengan cara mengalikan berat *waste* dengan harga satuan besi tulangan sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (3):

$$\text{Waste Cost} = \text{Berat Waste} \times \text{Harga Satuan Besi Tulangan} \quad (3)$$

Dalam perhitungan *waste cost* memerlukan perhitungan *cost* kebutuhan sebagai tambahan pada analisis *waste cost*. Perhitungan *cost* kebutuhan dilakukan dengan cara mengalikan berat kebutuhan dengan harga satuan besi tulangan sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (4):

$$\text{Cost Kebutuhan} = \text{Berat Kebutuhan} \times \text{Harga Satuan Besi Tulangan} \quad (4)$$

Tabel 4. Rekapitulasi *Waste Cost* Tulangan Balok dan Kolom

Diameter	Jumlah Berat Kebutuhan (kg)	Jumlah Berat <i>Waste</i> (kg)	Harga Satuan Besi Tulangan (Rp)	<i>Cost</i> Kebutuhan (Rp)	<i>Waste Cost</i> (Rp)
D10	26602,88	926,72	13.298	353.765.098	12.323.560
D13	12350,95	336,15		164.242.933	4.869.095
D16	16928,84	1503,38		225.119.714	19.992.008
D19	28845,61	1763,71		383.588.922	23.453.800
D22	63568,55	12578,56		845.334.578	167.269.694
Total	148296,83	17138,53		1.972.051.245	227.908.157

Berdasarkan hasil perhitungan *waste level*, *waste* kumulatif, dan *waste cost* (Tabel 2-4) antara tulangan balok dan kolom, besi tulangan D22 pada kolom menjadi tulangan dengan nilai *waste level*, *waste* kumulatif, dan *waste cost* tertinggi. Tingginya nilai tersebut mengakibatkan nilai *waste level* dan *waste cost* pada tulangan kolom lebih besar dibandingkan dengan tulangan balok. Persentase *waste level* mengacu pada suatu material atau aktivitas tertentu, fungsinya untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi titik pemborosan dalam sebagian pekerjaan. Sedangkan persentase *waste* kumulatif mengacu pada berbagai material atau aktivitas proyek dengan batasan tertentu, fungsinya untuk menilai dan mengevaluasi persentase *waste* secara menyeluruh. Dari hasil perhitungan

rekapitulasi, total *waste cost* memiliki nilai persentase sebesar 11,56% dari total *cost* kebutuhan, yang mana nilai tersebut sama dengan nilai total *waste* kumulatif.

Hasil analisis menunjukkan bahwa persentase *waste cost* akan berbanding lurus dengan persentase total *waste* kumulatif dikarenakan penggunaan data yang serupa, yakni data berat *waste* dalam kedua persamaan tersebut, sama halnya dengan hasil analisis pada penelitian (Antara dkk., 2022) yang menyatakan bahwa persentase *waste cost* yang terbentuk sama dengan persentase *waste* kumulatifnya. Hasil analisis juga menunjukkan bahwa persentase *waste* akan berpengaruh pada besaran *waste cost*, semakin besar persentase *waste* maka akan semakin besar juga *waste cost* yang dihasilkan, hal serupa juga terjadi pada penelitian (Rinengga dkk., 2024). Eratnya hubungan antara persentase *waste* dengan *waste cost* menyebabkan perhitungan *waste cost* menjadi penting pada penelitian ini, karena objek yang ditinjau adalah pekerjaan pembesian struktur kolom dan balok yang menggunakan material besi tulangan dengan nilai biaya cukup besar dalam proyek gedung bertingkat. Semakin tinggi persentase *waste* yang dihasilkan pada proses pemotongan dan pemasangan tulangan, maka semakin besar pula kerugian biaya yang ditimbulkan akibat sisa material yang tidak dapat dimanfaatkan secara optimal. Oleh karena itu, analisis *waste cost* pada penelitian ini digunakan untuk mengidentifikasi jenis tulangan yang paling dominan menyebabkan pemborosan biaya sehingga dapat menjadi dasar evaluasi dan pengendalian penggunaan material pada pekerjaan struktur proyek konstruksi.

Dengan demikian, upaya yang perlu dilakukan untuk menekan angka persentase *waste* yang akan berpengaruh pada *waste cost* yaitu optimalisasi. Hal ini sejalan dengan hasil analisis (Bastari dkk., 2024) dan (Putra, 2021) yang mengatakan bahwa diameter penulangan dapat mempengaruhi berat *waste* beserta *waste level* yang dihasilkan, dan perlu dilakukannya optimalisasi sebagai salah satu penerapan manajemen *waste material* pada proyek konstruksi.

Dalam mengoptimalkan besi tulangan tentu memerlukan hasil Bar Bending Schedule (BBS) yang akurat dan informatif dalam perencanaannya. Untuk itu, penerapan Building Information Modeling (BIM) perlu dilakukan dalam menghasilkan Bar Bending Schedule (BBS) dan pola pemotongan yang optimal. Saat ini, Bar Bending Schedule (BBS) dan pola pemotongan yang optimal dapat dengan mudah dihasilkan menggunakan teknologi berbasis Building Information Modeling (BIM) berupa software Autodesk Revit 2025 student version dan Cutting Optimization Pro, hal ini sejalan dengan pernyataan (Nurvireza dkk., 2023) bahwa penggunaan software Autodesk Revit dapat menghasilkan Bar Bending Schedule (BBS) yang akurat, tepat, cepat, serta meminimalisasi human error dan software Cutting Optimization Pro dapat menghasilkan pola pemotongan yang optimal sehingga mampu mengendalikan *waste* dan biaya material besi tulangan, serta mengurangi terjadinya kesalahan dalam menghitung kebutuhan besi tulangan pada proyek konstruksi. Oleh sebab itu, analisis *waste material* khususnya material besi tulangan penting dilakukan dalam sebuah perencanaan pembangunan proyek konstruksi untuk mengendalikan kebutuhan material serta efisiensi biaya yang optimal

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pemodelan menggunakan Building Information Modeling (BIM), diperoleh total berat kebutuhan material besi tulangan sebesar 148.296,83 kg, yang terdiri atas tulangan balok sebesar 90.886,13 kg dan tulangan kolom sebesar 57.410,70 kg. Selanjutnya, berdasarkan hasil cutting list menggunakan Cutting Optimization Pro, diperoleh total berat *waste* besi tulangan sebesar 17.138,53 kg, yang terdiri atas *waste*

tulangan balok sebesar 5.237,62 kg dan waste tulangan kolom sebesar 11.900,91 kg. Berdasarkan perhitungan waste level dan waste kumulatif, diketahui bahwa waste level tulangan balok sebesar 5,76%, waste level tulangan kolom sebesar 20,73%, serta total waste kumulatif sebesar 11,56%. Dari sisi biaya, hasil perhitungan waste cost menunjukkan total kerugian biaya material sebesar Rp227.908.157, yang terdiri atas waste cost tulangan balok sebesar Rp69.649.838 dan waste cost tulangan kolom sebesar Rp158.258.319. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pekerjaan pembesian kolom menghasilkan nilai waste level dan waste cost yang lebih tinggi dibandingkan pekerjaan pembesian balok. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa kebutuhan pemotongan dan detail pembesian pada elemen kolom memiliki potensi pemborosan material yang lebih besar, sehingga diperlukan pengendalian material yang lebih optimal pada pekerjaan kolom.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, K. dkk. (2022). *Metodologi Penelitian Kuantitatif*. Yayasan Penerbit Muhammad Zaini.
- Antara, K.W., Herlambang, F.S. dan Purnawirati, I.G.. N. (2022). Pehitungan Kebutuhan dan Waste Material Besi Menggunakan Bar Bending Schedule pada Proyek Pembangunan Asrama Polisi T . 36 Sanglah. *Repository Politeknik Negeri Bali* 10(1): 1-7.
- Atullah, R.A. dkk. (2023). Analisis Waste Material Tulangan Pelat Menggunakan Building Information Modeling (BIM) Pada Proyek Pembangunan Gedung Kantor Baru Pengadilan Agama Gedong Tataan. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain (JRSDD)*. 11(3): 639-650.
- Bastari, M.A.D. dkk. (2024). Analisis Waste Material Tulangan Pelat Menggunakan Building Information Modeling (BIM) Pada Proyek Pembangunan SMPN 41 Bandar Lampung. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain (JRSDD)*. 12(1): 65-76.
- Dwi yuniar orillya putri, oril, Soetjipto, J. W. and Ratnaningsih, A. (2026) "Optimalisasi Waste Material Besi Terhadap Biaya pada Proyek Pembangunan Struktur Atas Gedung Melalui Penerapan BIM", *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, 16(1), pp. 51-63. doi: 10.29103/tj.v16i1.1314
- Nurvireza, D. dkk. (2023). Implementasi Building Information Modeling (BIM) Dalam Analisis Waste Material Tulangan Balok Pada Gedung Kuliah Umum 2 Institut Teknologi Sumatera. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain (JRSDD)*. 11(4): 779-788.
- Putra, I.G.P.A.S. (2021). Penerapan Waste Management pada Proyek Konstruksi. *Jurnal Civronlit Unbari*. 6(1): 1-4.
- Rinengga, B.A., Trisiana, A. dan Widiarti, W.Y. (2024). Perhitungan Waste Material Pada Proyek Pembangunan Gedung ICU RS Ngudi Waluyo Blitar. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan*. 8(1): 15-25.
- Sari, O.L., Situmorang, R. dan Septiana, N. (2023). Penanganan Faktor Penyebab Waste Dengan Menggunakan Pendekatan Lean Construction (Studi Kasus: Pembangunan Jembatan Sei Alalak Banjarmasin). *Spektrum Sipil*. 10(2): 147-152.
- Suarliak, M.A.A. dan Suroso, A. (2021). Analisis Model Pengaruh Penyebab Terjadinya Waste Terhadap Peningkatan Biaya Konstruksi Gedung Bertingkat Rendah di Jakarta. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*. 19(4): 427-438.