

Optimalisasi Waste Material Besi Terhadap Biaya pada Proyek Pembangunan Struktur Atas Gedung Melalui Penerapan BIM

Dwi Yuniar Orillya Putri¹⁾, Jojok Widodo Soetjipto²⁾, Anik Ratnaningsih³⁾

^{1, 2, 3)}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jember,
Jawa Timur, Indonesia.

Email: orillyaputri18@gmail.com^{1*)}, jojok.unej@unej.ac.id²⁾,
anik.teknik@unej.ac.id³⁾

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v16i1.1314>

(Received: 29 July 2025 / Revised: 14 November 2025 / Accepted: 28 January 2026)

Abstrak

Waste material konstruksi dapat memberikan dampak besar pada proyek pembangunan gedung, terutama pada inefisiensi anggaran proyek dan penurunan kinerja proyek. Faktor penyebab timbulnya waste adalah kurangnya optimalisasi dalam pemakaian besi tulangan karena perencanaan volume dan pola pemotongan yang kurang tepat. Artikel ini mengambil studi kasus pada proyek pembangunan Waron *Hospital Women & Children's Specialist* Surabaya. Tujuan artikel ini untuk mengoptimalkan pola potongan besi menggunakan metode *Software Cutting Optimization Pro* (SCOP) guna mendapatkan pola potongan besi paling optimal untuk mengurangi waste material. Data yang digunakan berupa *shop drawing* dan *bill of quantity*. Pemodelan berbasis *Building Information Modelling* (BIM) menggunakan *Software Revit* untuk visualisasi 3D, dengan *output* yang tercapai berupa *Quantity Take Off* (QTO). Dilanjut dengan menganalisis data QTO menggunakan SCOP untuk menghasilkan pola potongan besi paling optimal. Hasil dari penelitian Berdasarkan hasil analisis waste material besi pada pekerjaan struktur balok plat, dan kolom didapatkan waste terkecil pada pekerjaan kolom sebesar 0,15%, dilanjut dengan pekerjaan plat sebesar 0,22%, dan yang tertinggi pada pekerjaan balok sebesar 0,34%. Hasil optimasi pola potongan ini dapat menghemat biaya sebesar Rp15.426.435,96.

Kata kunci: *BIM, waste, optimasi, besi, gedung, SCOP*

Abstract

Construction waste can have a significant impact on building construction projects, particularly in terms of project budget inefficiency and reduced project performance. The cause of waste is the lack of optimization in the use of reinforcing steel due to improper planning of volume and cutting patterns. This article takes a case study of the Waron *Hospital Women & Children's Specialist* Surabaya construction project. The objective of this article is to optimize steel cutting patterns using the *Software Cutting Optimization Pro* (SCOP) method to achieve the most optimal steel cutting patterns and reduce waste material. The data used includes shop drawings and bills of quantity. Building Information Modeling (BIM)-based modeling was conducted using Revit software for 3D visualization, with the output being a *Quantity Take Off* (QTO). The QTO data was then analyzed using SCOP to generate the most optimal steel cutting patterns. The results of this article show that the lowest waste was found in column work at 0.15%, followed by plate work at 0.22%, while the highest waste was in beam work at 0.34%. This optimization of steel cutting patterns can save costs amounting to Rp15.426.435,96.

Keywords: *BIM, waste, optimization, reinforcement, building, SCOP*

1. Latar Belakang

Waste material konstruksi adalah material konstruksi yang terisisa, tercecer, atau rusak, sehingga tidak dapat digunakan lagi sesuai dengan fungsinya (Mas Pertiwi, Surya Herlambang and Sri Kristinayanti, 2019). Faktor yang menyebabkan timbulnya *waste material* adalah konsumsi material tidak sesuai dengan kriteria yang telah direncanakan, kerusakan material pada saat mobilisasi, perencanaan perhitungan volume yang kurang tepat, dan kesalahan pemotongan pola material (Liman and Sulistio, 2020).

Salah satu *waste material* tertinggi dibandingkan dengan material lainnya adalah tulangan besi. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh (Soetjipto, 2008) (Siswanto, Salim and Prastiawati, 2022); (Mahapatni and Juliana, 2022); dan (Muka, Widyatmika and Antara, 2020) menyebutkan bahwa *waste material* yang dihasilkan dari pekerjaan pembesian bisa mencapai nilai rata-rata sebesar antara 2,99% - 25,67%. Terdapat sejumlah *waste material* yang berasal dari pekerjaan pembesian tersebut yang masih dapat digunakan, dengan perkiraan 0,5% limbah pembesian yang tidak dapat dimanfaatkan untuk pekerjaan selanjutnya (Dharmawansyah, Kurniati and Kasyfil Aziz, 2023).

Kurangnya perencanaan dapat mengakibatkan kesalahan pemotongan, dan akan menyebabkan sisa potongan tulangan yang tidak terkontrol dengan baik. (Umoren, Adewuyi and Otali, 2019) Hal tersebut dapat diminimalisir dengan perencanaan yang tepat, dengan memanfaatkan kemajuan teknologi di bidang konstruksi menjadi salah satu cara yang cukup efisien dalam manajemen pengelolaan material untuk mencegah terjadinya pemborosan. (Khant *et al.*, 2024). Pada operasional konstruksi, produktivitas tinggi diperlukan dalam pekerjaan evaluasi dan perencanaan, sehingga penerapan teknologi sangat penting untuk meningkatkan produktivitas (Prasetyo, Darmawan and Setiamanah, 2023). Penerapan BIM pada bidang perencanaan dan konstruksi memungkinkan untuk merepresentasikan semua data dan informasi dalam bentuk model 3D dengan mudah dalam suatu aplikasi pekerjaan (Laily, Husni and Bayzoni, 2021). *Output* yang dihasilkan berupa *Quantity Take Off* (QTO), berisikan panjang, ukuran, dan jumlah tulangan besi yang akan digunakan dalam konstruksi struktural. (Soebandono, Hergantoro and Priyo, 2022). Berdasarkan dari QTO yang telah didapat, penggunaan *software Cutting Optimization Pro* menganalisis *waste material* dari pola pemotongan yang sesuai (Hidayah *et al.*, 2023). Pola yang telah didapat merupakan hasil pola yang paling optimal, sehingga dapat menekan angka *waste material* dari kesalahan pemotongan (Adewuyi and Umoren, 2020).

Proyek pembangunan Waron *Hospital Women & Children's Specialist* Surabaya memiliki fungsi bangunan sebagai rumah sakit. Berdiri di atas lahan seluas 4742 m², dengan luas bangunan podium lantai 1-5 seluas 1018 m² dan bangunan tower lantai 6-12 seluas 751 m². Memiliki total 12 lantai dengan struktur utama gedung ini menggunakan beton, di mana terdapat komponen pembesian di dalamnya. Terdapat banyak sisa besi tulangan yang tidak dapat digunakan kembali karena sering terjadi kesalahan pemotongan pola besi pada saat proses pembangunan. Monitoring dan pengelolaan *waste material* yang masih menggunakan metode konvensional. Hal tersebut sulit terkontrol, sehingga pengendaliannya akan lebih sulit.

Berdasarkan latar belakang di atas menjelaskan bahwa perlu adanya penelitian mengenai analisis *waste material* pada pekerjaan pembesian kolom,

pelat, dan balok di proyek pembangunan Waron *Hospital Women & Children's Specialist* Surabaya menggunakan metode BIM. Penelitian ini menerapkan metode BIM sebagai acuan untuk menjadi pendukung pekerjaan yang lebih efisien dan efektif, serta akan sangat dibutuhkan karena mengacu pada peraturan Menteri PUPR Nomor 22 Tahun 2018, menjadikan BIM sebagai wadah inovasi dalam perkembangan teknologi sebuah konstruksi (Khalid, Soetjipto and Maliq, 2024). Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui nilai presentase *waste* pembesian dan jumlah *waste cost* yang dihasilkan berdasarkan mengoptimalkan penggunaan tulangan besi dengan dukungan teknologi BIM untuk perencanaan material yang akurat, dan *Software Cutting Optimization Pro* (SCOP) untuk merancang pola potong yang dapat meminimalkan *waste* material.

2. Metode Penelitian

2.1 Lokasi Penelitian

Studi pada penelitian ini dilakukan di proyek pembangunan Waron *Hospital Women & Children's Specialist* Surabaya yang berada di Jl. Kaliwaron No. 106 – 114, RT. 003/RW. 002, Mojo, Kecamatan Gubeng, Surabaya, Jawa Timur. Lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



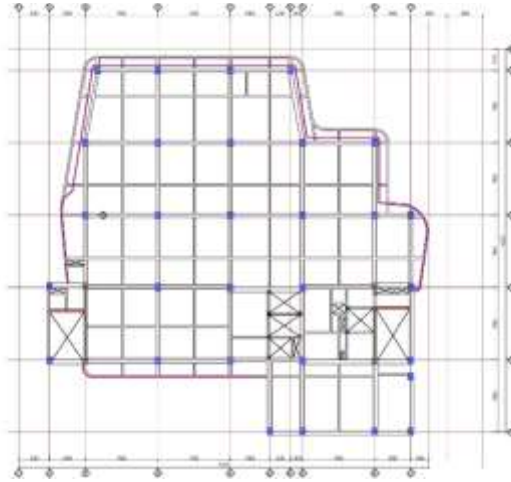
Gambar 1 Lokasi Penelitian

2.2 Prosedur Penelitian

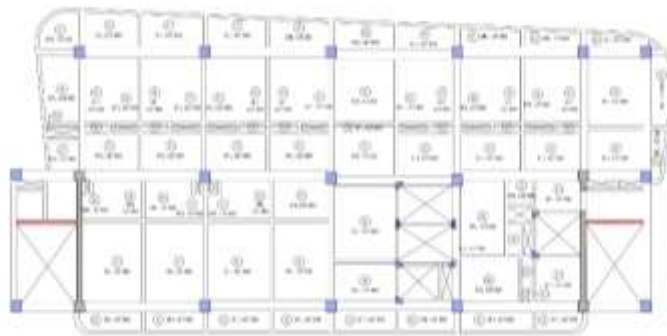
Studi ini dilakukan menggunakan pendekatan kuantitatif yang bersifat deskriptif dengan tujuan untuk optimalisasi pola potongan material besi pada proyek pembangunan struktur atas gedung menggunakan *Software Cutting Optimization Pro* dari data hasil pemodelan menggunakan *Software Revit*. Metode ini dipilih karena mampu memberikan perencanaan kebutuhan besi tulangan berbasis BIM yang akurat dan efisien, serta dapat menekan angka *waste* material (Nelson and Sekarsari, 2019).

Objek kajian pada studi ini berfokus pada pekerjaan pembesian struktur atas proyek pembangunan Waron *Hospital Women & Children's Specialist* Surabaya. Sumber data yang digunakan pada studi ini berupa data sekunder, yang terdiri dari *shop drawing*, standar detail penulangan proyek, dan *bill of quantity* (BoQ). Data tersebut digunakan untuk membuat pemodelan struktur gedung untuk mendapatkan kebutuhan material besi tulangan.

Memiliki total 12 lantai, tipe lantai pada gedung ini dibagi menjadi 2. Untuk lantai 1-5 disebut bangunan podium, dengan denah proyek dapat dilihat pada Gambar 2. Sementara untuk lantai 6-12 disebut bangunan tower, dengan denah proyek dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2 Denah Gedung Lantai 3



Gambar 3 Denah Gedung Lantai 7

Adapun tahapan penelitian yang dilakukan dengan tujuan pengoptimalan pola material besi menggunakan *Software Revit* dan *Software Cutting Optimization Pro* (SCOP), yang mampu memberikan perencanaan kebutuhan besi tulangan berbasis BIM yang akurat dan efisien, serta dapat menekan angka *waste* material (Putri, Handayani and Setiono, 2024). Tahapan penelitian tersebut secara garis besar dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Pemodelan Struktur Gedung menggunakan BIM

Tahap pertama melakukan pemodelan struktur gedung menggunakan *Software Revit*, yang memungkinkan untuk mempresentasikan semua data dan informasi dalam model 3D secara akurat (Laily, Husni and Bayzoni, 2021). Pada artikel ini, pemodelan dilakukan pada komponen struktur kolom, balok, dan plat lantai pada struktur atas gedung.

2. *Quantity Take Off* (QTO)

Setelah dilakukannya pemodelan, selanjutnya melakukan *Quantity Take Off* (QTO). Data QTO berupa data yang mencakup panjang, ukuran, dan jumlah tulangan besi berdasarkan pemodelan struktur yang telah dibuat. Pemanfaatan

pemodelan dalam proses QTO memungkinkan data volume material diambil secara otomatis, sehingga perhitungan menjadi lebih efisien dan akurat dibandingkan dengan metode manual yang rentan terhadap kesalahan input. (Retno Asih, Riakara Husni and Niken, 2022). Data tersebut digunakan untuk membuat pola potongan besi yang paling optimal sehingga dapat menekan angka *waste* material.

3. *Bar Bending Schedule* (BBS)

Analisis *Bar Bending Schedule* (BBS) merupakan proses analisis data untuk memperoleh output berupa jenis, diameter, bentuk, panjang, dan jumlah besi tulangan yang digunakan. *Bar Bending Schedule* (BBS) merupakan *output* dari metode BIM yang dilakukan dengan *software Autodesk Revit*. Dengan menggunakan metode BIM yaitu dengan *software Autodesk Revit*, perhitungan kebutuhan besi tulangan serta *Bar Bending Schedule* (BBS) dapat dilakukan sekaligus dan menghasilkan *output* yang tepat dan akurat, sehingga dapat mempersingkat waktu pekerjaan perencanaan. (Anjani *et al.*, 2022)

4. Analisis menggunakan *Software Cutting Optimization Pro* (SCOP)

Tahap selanjutnya adalah *input* data BBS ke dalam *Software Cutting Optimization Pro* (SCOP). Penggunaan SCOP memungkinkan penyusunan pola pemotongan berdasarkan panjang dan jumlah tulangan yang diperlukan, dengan mengoptimalkan pemanfaatan lonjor besi yang tersedia, sehingga dapat meminimalkan material sisa yang tidak lagi dapat dimanfaatkan. (Partama, Sudika and Saputra, 2023)

5. Menghitung volume *waste* material

Setelah mendapatkan hasil pola potongan besi yang paling optimal, berikutnya adalah melakukan perhitungan volume *waste* material. Jumlah *waste* ditentukan dengan membandingkan keseluruhan panjang tulangan yang dimanfaatkan terhadap total panjang lonjor besi yang tersedia setelah proses pemotongan dilakukan (Gerald and Sulistio, 2020). Rumus yang digunakan untuk menghitung volume *waste* ialah sebagai berikut.

$$\text{Presentase Waste} = \left(\frac{\text{Total Waste (kg)}}{\text{Total Quantity (kg)}} \right) \times 100\% \quad (1)$$

Tujuan dari perhitungan *waste* ini adalah untuk mengevaluasi sejauh mana efisiensi pengurangan sisa material dapat dicapai melalui penerapan metode optimasi dibandingkan dengan metode konvensional yang tidak memanfaatkan perangkat lunak optimasi. (Antara, Herlambang and Purnawirati, 2022)

6. Menghitung *waste cost*

Tahap selanjutnya menghitung kerugian yang dihasilkan oleh *waste* tersebut. *Waste Cost* dihitung untuk mengetahui biaya akibat *waste* yang terjadi. *Waste cost* dihitung berdasarkan jumlah *waste* yang tidak terpakai dikalikan dengan harga material per kg. Rumus yang digunakan untuk menghitung volume *waste* ialah sebagai berikut.

$$\text{Waste Cost} = \text{Berat waste (kg)} \times \text{Harga besi per kg} \quad (2)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pemodelan Struktur Gedung menggunakan BIM

Pemodelan struktur atas gedung dilakukan menggunakan *software* Revit. *Software* ini dapat mempresentasikan gambar menjadi kedalam bentuk 3D. Lalu menghasilkan *Bar Bending Schedule* (BBS) yang mencakup informasi detail tentang panjang, jumlah, dan jenis besi tulangan yang dibutuhkan (Fauziyah and Christian, 2023). Data BBS digunakan guna melakukan *Quantity Take Off* (QTO) yang memberikan estimasi penggunaan material besi yang lebih akurat. Hasil pemodelan gedung Waron *Hospital Women & Children's Specialist* Surabaya dengan menggunakan *software* Revit didapatkan model seperti pada Gambar 4.



Gambar 4 Hasil Pemodelan Gedung

Model yang dihasilkan melalui BIM memberikan estimasi kebutuhan material yang lebih akurat dan langsung dimanfaatkan dalam proses *Quantity Take Off* (QTO) untuk merinci jumlah material pada setiap elemen struktur. (Sabil and Erizal, 2023)

3.2 *Quantity Take Off* (QTO)

Proses *Quantity Take Off* (QTO) digunakan untuk menghitung total panjang dan jumlah tulangan yang dibutuhkan, serta mendukung pengelolaan material secara optimal dengan menyediakan informasi yang akurat dan rinci untuk setiap elemen struktur. Hasil *Quantity Take Off* (QTO) dapat dilihat pada Tabel 1 s.d 3.

Tabel 1 Kebutuhan Tulangan Besi Balok

<i>Bar Diameter</i>	<i>Quantity</i> (pcs)	<i>Total Length</i> (m)	<i>Total Weight</i> (kg)
D10	8022	96264	59395
D13	1072	12862	13402
D16	5003	60038	94740
D19	1863	22354	49760
D22	3489	41865	124926

Pada Tabel 1 menunjukkan jumlah batang tulangan, total panjang tulangan, dan berat tulangan untuk masing-masing kategori diameter yang digunakan pada pekerjaan balok. Jumlah tulangan terbanyak digunakan pada diameter D10 sebanyak 8.022 lonjor dengan total panjang 96.264 meter dan berat 59.395 kg.

Tulangan diameter D16 digunakan sebanyak 5.003 lonjor dengan total panjang 60.038 meter dan berat 94.740 kg. Untuk tulangan diameter D22 sebanyak 3489 lonjor dengan total panjang sebesar 41.865 meter dan berat 124.926 kg, sedangkan untuk tulangan D19 dan D13 digunakan sebanyak 1.863 dan 1.072 dengan total panjang masing-masing 22.354 meter dan 12.862 meter dengan berat 49.760 kg dan 13.402 kg.

Tabel 2 Kebutuhan Tulangan Besi Plat

Bar Diameter	Quantity (pcs)	Total Length (m)	Total Weight (kg)
D10	13370	160440	98991
D13	1378	16537	17231

Dapat dilihat pada Tabel 2, didapatkan kebutuhan terbesar pada besi dengan diameter D10 sebanyak 13.370 lonjor dengan total panjang 160.440 meter dan berat 98.991 kg, dan kebutuhan terkecil ada pada besi berdiameter D13 sebanyak 1.378 lonjor dengan total panjang 16.537 meter dan berat 17.231 kg.

Tabel 3 Kebutuhan Tulangan Besi Kolom

Bar Diameter	Quantity (pcs)	Total Length (m)	Total Weight (kg)
D10	5348	64176	39596
D13	612	7350	7658
D16	3335	40026	63160
D25	2390	28684	110518

Berdasarkan Tabel 3, dapat dilihat bahwa tulangan dengan diameter D10 memiliki *quantity* paling banyak yaitu 5.348 lonjor, dengan total panjang lonjor 64.176 meter dan berat total 39.596 kg. Diameter D16 memiliki jumlah lonjor sebanyak 3.335 lonjor dengan total panjang 40.026 meter dan memiliki berat total sebesar 63.160 kg. Diikuti dengan tulangan diameter yang lebih yaitu D25 sebanyak 2.390 lonjor dengan total panjang sekitar 28.684 meter dengan berat total sebesar 110.518 kg. Untuk *quantity* terkecil terlihat pada besi dengan diameter D13 dengan angka yang cukup jauh dari besi diameter lainnya yaitu sebanyak 612 dengan total panjang 7.350 meter dengan berat total 7.658 kg.

3.3 Bar Bending Schedule (BBS)

Setelah proses perhitungan QTO dilakukan, Bar Bending Schedule (BBS) disusun dengan mengacu pada model BIM yang telah dirancang sebelumnya. Bar Bending Schedule (BBS) menyajikan informasi terperinci mengenai panjang, jumlah, serta jenis tulangan yang dibutuhkan pada masing-masing elemen struktur (Lien and Dolgorsuren, 2023). Penyusunan Bar Bending Schedule (BBS) dilakukan secara otomatis melalui pemodelan BIM, sehingga mampu meminimalkan potensi kesalahan yang biasa terjadi dalam proses manual.

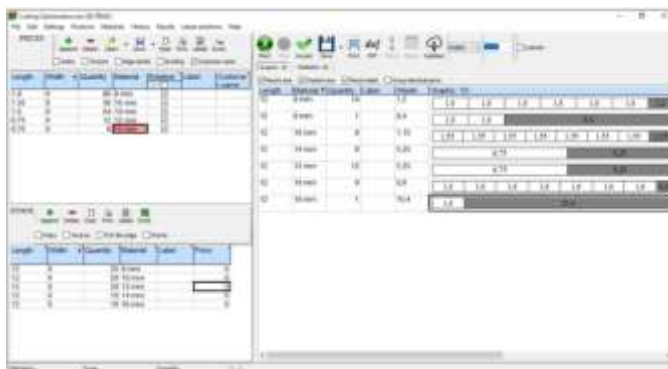
3.4 Analisis menggunakan Software Cutting Optimization Pro (SCOP)

Setelah mendapatkan data BBS, data tersebut dapat dianalisis menggunakan Software Cutting Optimization Pro (SCOP) untuk mendapatkan pola potongan besi yang paling optimal. Selain pola pemotongan, *software* ini juga menawarkan data

material besi yang sudah tersedia di lapangan, sehingga lebih sederhana dan efektif untuk mengatur material besi (Muka et al., 2020) Pada tampilan awal *Cutting Optimization Pro*, diminta untuk memasukkan data yang didapat dari Quantity Take Off, dan data yang dibutuhkan seperti *legth, quantity, material (bar diameter)*. Setelah mengisi data pada bagian *Pieces*, masukkan Stock material dalam satuan mm. Setelah mengisi kedua bagian tersebut klik *Start* untuk memulai melakukan pemotongan seperti yang terlihat pada Gambar 5 dan setelah Setelah mendapatkan model potongan dan sisa besi tulangan, klik *accept* untuk memasukkan sia potongan kedalam *stock* material seperti pada Gambar 6.



Gambar 5 Tampilan Software Cutting Optimization Pro



Gambar 6 Tampilan SCOP setelah dilakukan pemotongan

3.5 Menghitung volume waste material

Setelah proses optimasi pemotongan dilakukan menggunakan SCOP, perhitungan waste dilaksanakan dengan membandingkan total panjang material yang terpakai terhadap panjang batang besi yang tersedia. Tujuan dari perhitungan ini adalah untuk mengukur efisiensi penggunaan material setelah dilakukan optimasi Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4 s.d 7.

Tabel 4 Waste Level Pekerjaan Struktur Pembesian Balok

Diameter Besi	Quantity (pcs)	Total Length (m)	Total Weight (kg)	Total Waste (kg)	Waste (%)
D10	8022	96264	59395	50,27	0,08%
D13	1072	12862	13402	40,32	0,30%
D16	5003	60038	94740	297,44	0,31%
D19	1863	22354	49760	474,35	0,95%
D22	3489	41865	124926	286,60	0,23%
D25	266	3187	12280	19,52	0,16%
		Rata-rata			0,34%

Berdasarkan Tabel 4, dari hasil analisis didapatkan bahwa *waste* terbesar terdapat pada besi berdiameter D19 dengan total *waste* sebanyak 474,35 kg atau 0,95% dari total *weight*, sedangkan *waste* terkecil terdapat pada besi diameter D10 sebesar 50,27 kg (0,08%).

Tabel 5 Waste Level Pekerjaan Struktur Pembesian Plat

Diameter Besi	Quantity	Total Length	Total Weight	Total Waste	Waste
	(pcs)	(m)	(kg)	(kg)	(%)
D10	13370	160440	98991	96,79	0,10%
D13	1378	16537	17231	58,70	0,34%
Rata-rata					0,22%

Tabel 5 menunjukkan hasil perhitungan optimasi pemakaian besi tulangan pekerjaan pembesian plat. Untuk diameter D10, digunakan sebanyak 13.370 batang dengan total panjang mencapai 160.440 meter dan total berat 98.991 kg. Dari total tersebut, jumlah besi yang terbuang (*waste*) sebesar 96,79 kg, atau sekitar 0,10% dari total berat. Sementara itu, untuk diameter D13, digunakan sebanyak 1.378 batang dengan panjang total 16.537 meter dan berat 17.231 kg. Total *waste* yang terjadi sebesar 58,70 kg, dengan persentase *waste* sebesar 0,34%.

Tabel 6 Waste Level Pekerjaan Struktur Pembesian Kolom

Diameter Besi	Quantity	Total Length	Total Weight	Total Waste	Waste
	(pcs)	(m)	(kg)	(kg)	(%)
D10	5348	64176	39596	40,51	0,10%
D13	612	7350	7658	24,75	0,32%
D16	3335	40026	63160	72,23	0,11%
D25	2390	28684	110518	75,64	0,07%
Rata-rata					0,15%

Tabel 6 menunjukkan hasil analisis *waste* material pada pekerjaan pembesian kolom setelah dilakukan proses optimasi pemotongan. Diameter D10 memiliki jumlah batang sebanyak 5.348 lonjor dengan total panjang 64.176 meter dan berat 39.596 kg. *Waste* yang dihasilkan sebesar 40,51 kg (0,10%). Diameter D13 digunakan sebanyak 612 lonjor dengan total panjang 7.350 meter dan berat 7.658 kg, menghasilkan *waste* sebesar 24,75 kg atau 0,32%.

Tabel 7 Rekapitulasi Waste Level

Diameter Besi	Quantity	Total Length	Total Weight	Total Waste	Waste
	(pcs)	(m)	(kg)	(kg)	(%)
D10	26740	320879	197982	187,57	0,09%
D13	3062	36749	38292	123,77	0,32%
D16	8339	100064	157901	369,67	0,23%
D19	1863	22354	49760	474,35	0,95%
D22	3489	41865	124926	286,6	0,23%
D25	2656	31871	122798	95,15	0,08%
Rata-rata					0,32%

Untuk diameter D16, jumlah yang digunakan sebanyak 3.335 lonjor, total panjang 40.026 meter, dan berat 63.160 kg, menghasilkan *waste* sebesar 72,23 kg atau 0,11%. Sedangkan diameter terbesar, yaitu D25, digunakan sebanyak 2.390 lonjor, memiliki panjang 28.684 meter dengan berat mencapai 110.518 kg, namun hanya menghasilkan *waste* 75,64 kg atau sekitar 0,07%. Dari keempat jenis tulangan tersebut, dapat dilihat bahwa persentase *waste* berkisar antara 0,07% - 0,32%, dengan rata-rata keseluruhan berada pada angka 0,15%.

Tabel 7 menyajikan data perhitungan penggunaan besi tulangan berdasarkan diameter besi serta hasil evaluasi sisa material (*waste*) yang terjadi setelah dilakukan proses optimasi pemotongan. Setiap jenis diameter menunjukkan hasil yang bervariasi baik dari segi volume penggunaan maupun tingkat efisiensi pemanfaatannya.

Besi berdiameter D10 merupakan yang paling banyak digunakan dengan jumlah 26.740 batang, memiliki total panjang 320.879 meter dan berat keseluruhan mencapai 197.982 kg, namun menghasilkan *waste* yang relatif kecil yaitu 187,57 kg atau hanya 0,09%. Sementara untuk D13, dari 3.062 batang dengan panjang total 36.749 meter, diperoleh *waste* sebanyak 123,77 kg atau 0,32%

Diameter D16 digunakan sebanyak 8.339 batang dengan berat 157.901 kg, menghasilkan sisa material 369,67 kg, setara dengan 0,23%. Adapun D19, meskipun hanya digunakan sebanyak 1.863 batang, memiliki persentase *waste* tertinggi yaitu 0,95%, dengan jumlah sisa material mencapai 474,35 kg. Besi berdiameter D22 menghasilkan 286,6 kg *waste* dari total berat 124.926 kg, atau sebesar 0,23%, dan D25 menjadi yang paling efisien dengan persentase *waste* terkecil yaitu 0,08%.

Secara keseluruhan, nilai rata-rata *waste* dari seluruh diameter besi tulangan adalah 0,32%, yang menunjukkan bahwa metode optimasi yang diterapkan mampu menekan pemborosan material secara signifikan dibandingkan dengan metode konvensional.

3.6 Menghitung *waste cost*

Estimasi biaya limbah tulangan dilakukan untuk menilai efisiensi pemakaian material saat pemotongan, serta mengidentifikasi dampak biaya dari potongan sisa. Hasil analisis ini menjadi dasar dalam merancang strategi pengurangan *waste* guna menekan biaya proyek. Berikut hasil perhitungan *waste cost* yang dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 Analisa *Waste Cost*

Diameter Besi	Total Length (m)	Total Waste (kg)	Waste (%)	Waste Cost (Rp)
D10	320879	187,57	0,09%	Rp1.882.452,52
D13	36749	123,77	0,32%	Rp1.242.155,72
D16	100064	369,67	0,23%	Rp3.710.008,12
D19	22354	474,35	0,95%	Rp4.760.576,60
D22	41865	286,6	0,23%	Rp2.876.317,60
D25	31871	95,15	0,08%	Rp954.925,40
Total				Rp15.426.435,96

Berdasarkan data pada Tabel 8, dapat disimpulkan bahwa total kerugian biaya yang diakibatkan oleh sisa material (*waste*) dari penggunaan besi tulangan pada

proyek ini mencapai Rp 15.426.435,96. Besi dengan diameter D19 menjadi penyumbang kerugian terbesar. Meskipun dari segi total panjang penggunaan (22.354 m) bukan yang tertinggi, D19 memiliki persentase *waste* paling tinggi, yaitu 0,95%. Hal ini mengakibatkan kerugian biaya sebesar Rp 4.760.576,60, atau sekitar 31% dari total kerugian.

Besi diameter D16 dan D22 juga menyumbang kerugian yang signifikan, masing-masing sebesar Rp 3.710.008,12 dan Rp 2.876.317,60. Adapun besi diameter D10 dan D13 memberikan kerugian yang signifikan, masing-masing sebesar Rp1.882.452,52 dan Rp1.242.155,72. Sebaliknya, besi diameter D25 menunjukkan tingkat efisiensi paling tinggi dengan persentase *waste* terendah, yaitu hanya 0,08%, yang setara dengan kerugian biaya terendah (Rp 954.925,40)

Secara keseluruhan, meskipun persentase limbah untuk setiap jenis besi tampak kecil (semuanya di bawah 1%), akumulasi biayanya menjadi sangat substansial. Data ini menyoroti pentingnya optimalisasi dalam perencanaan dan metode pemotongan besi, terutama pada besi diameter D19, untuk menekan biaya proyek yang tidak perlu.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis optimasi *waste* material besi terhadap biaya pada proyek pembangunan struktur atas gedung melalui penerapan BIM, dapat disimpulkan bahwa perencanaan material menggunakan BIM yang dipadukan dengan optimasi pemotongan melalui SCOP menghasilkan tingkat *waste* tulangan besi kurang dari 1% pada semua diameter yang dianalisis. Hasil ini menegaskan bahwa pendekatan tersebut berpotensi meningkatkan efisiensi material dan menekan kerugian biaya secara signifikan dalam proses perencanaan konstruksi.

4.2 Saran

Guna melanjutkan penelitian ini, maka perlu dilakukan pengembangan lebih lanjut untuk penelitian selanjutnya dengan memberikan beberapa saran. Disarankan untuk sebaiknya lebih dapat melakukan optimalisasi pada seluruh aspek pekerjaan seperti beton, bekisting, dan lain-lain. Penelitian selanjutnya juga perlu melakukan validasi hasil analisis optimasi menggunakan *Software Cutting Optimization Pro* dengan metode analisis lainnya. Dan diharapkan dapat mengembangkan analisis terhadap material yang tidak bisa digunakan kembali dengan mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan.

Daftar Kepustakaan

Adewuyi, T.O. and Umoren, E.K. (2020) 'Managing Construction Material Waste on Building Sites with Building Information Modelling', *International Research Journal of Engineering and Technology*, 07(07), pp. 1453–1466. Available at: www.irjet.net.

- Anjani, A. *et al.* (2022) *Penerapan Building Information Modeling (BIM) Menggunakan Software Autodesk Revit Pada Gedung 4 Rumah Sakit Pendidikan Peguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Lampung.*
- Antara, K.W., Herlambang, F.S. and Purnawirati, I.G.N. (2022) *Pehitungan Kebutuhan dan Waste Material Besi Menggunakan Bar Bending Schedule pada Proyek Pembangunan Asrama Polisi T.36 Sanglah.* Available at: <https://repository.pnb.ac.id/id/eprint/1114> (Accessed: 28 July 2025).
- Dharmawansyah, D., Kurniati, E. and Kasyfil Aziz, A. (2023) 'Penggunaan Metode Bar Bending Schedule Untuk Menganalisis Kebutuhan Dan Sisa (Waste) Pembesian Balok Pada Proyek Rumah Sakit Islam Aysha', *Jurnal Tambora*, 7(2), pp. 67–71. Available at: <http://jurnal.uts.ac.id>.
- Fauziyah, S. and Christian, N.F. (2023) 'implementasi bim terhadap upaya pengurangan waste material konstruksi pada pt. Wijaya karya jabodetabek', *Journal of Civil Engineering Project*, 6(1), pp. 45–50. Available at: <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/potensi>.
- Geraldi, L.A. and Sulistio, H. (2020) *Studi Analisis Persentase Waste Besi Beton Dan Faktor Penyebabnya Pada Bangunan Bertingkat Rendah Di Jakarta, JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil.*
- Hidayah, F.N. *et al.* (2023) 'Comparative Analysis of Direct Waste Using Software Cutting Optimization Pro and The Cost of Using Conventional Reinforcement And Wiremesh In Floor Slab Work. (Case Study: Office and Depot Construction Project of PT. Gudang Garam)', *Jurnal Teknik Sipil*, 23(1), p. 103. Available at: <https://doi.org/10.26418/jtst.v23i1.61193>.
- Khalid, R., Soetjipto, J.W. and Maliq, T.M. (2024) *Penerapan BIM pada Perencanaan Gedung Perkantoran untuk Mendeteksi Clash Detection dan QTO Pekerjaan Struktur, Journal of Ikatan Ahli Manajemen Proyek Indonesia.* Available at: <https://journal.unej.ac.id/JIAMPI/issue/archive>.
- Khant, L.P. *et al.* (2024) 'A BIM-Based Bar Bending Schedule Generation Algorithm with Enhanced Accuracy', *Buildings*, 14(5), pp. 1–20. Available at: <https://doi.org/10.3390/buildings14051207>.
- Laily, F.N., Husni, H.R. and Bayzoni (2021) 'Perbandingan Perhitungan BoQ dengan Menggunakan Revit 2019 Terhadap Perhitungan BoQ dengan Menggunakan Metode Konvensional pada Pekerjaan Struktur (Studi Kasus: Gedung G Fakultas Pertanian Universitas Lampung)', *REKAYASA: Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Lampung*, 25(2), pp. 27–31. Available at: <https://doi.org/10.23960/rekrjits.v25i2.30>.
- Lien, L.C. and Dolgorsuren, U. (2023) 'BIM-based steel reinforcing bar detail construction design and picking optimization', *Structures*, 49, pp. 520–536. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.ISTRUC.2023.01.004>.
- Liman, K. and Sulistio, H. (2020) *Waste Material Beton Pada Proyek Konstruksi di Jakarta, JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil.*
- Mahapatni, I.A.P.S. and Juliana, I.K.I. (2022) 'Analisis Waste Material Dan Waste Cost Bekisting Dan Pembesian Pada Pekerjaan Struktur Proyek Konstruksi (Studi kasus: Pembangunan Gedung SMPN 4 Sukawati)', *Widya Teknik*, Vol. 17(01), pp. 74–82. Available at: <https://doi.org/10.32795/widyateknik.v17i01.2977>.

- Mas Pertiwi, I., Surya Herlambang, F. and Sri Kristinayanti, W. (2019) ‘Analisis Waste Material Konstruksi Pada Proyek Gedung (Studi Kasus Pada Proyek Gedung Di Kabupaten Badung)’, *Jurnal Simetrik*, 9(1), pp. 185–190.
- Muka, W.I., Widyatmika, M.A. and Antara, I.M.N. (2020) ‘Analisis Perbandingan Waste Besi Tulangan Metode Konvensional Dengan Dengan Software Cutting Optimazation Pro’, *TEKNIKA*, pp. 41–49.
- Nelson and Sekarsari, J. (2019) ‘Faktor Yang Memengaruhi Penerapan Building Information Modeling (BIM) Dalam Tahapan Pra Konstruksi Gedung Bertingkat’, *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(4), pp. 241–248. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.24912/jmts.v2i4.6305>.
- Partama, I.G.N.E., Sudika, I.G.M. and Saputra, E.L.B. (2023) *Analisis Sisa Besi Tulangan Menggunakan Software Cutting Optimization Pro Pada Konstruksi Gedung*, *Jurnal Teknik Gradien*. Available at: <http://www.ojs.unr.ac.id/index.php/teknikgradien>.
- Prasetyo, R.F., Darmawan, R.A. and Setiamanah, D.T. (2023) ‘Evaluation of Rebar Waste Rate Calculation Model Utilizing Building Information Modelling Function: High Rise Building Case Study’, *APTISI Transactions on Technopreneurship*, 5(2), pp. 128–135. Available at: <https://doi.org/10.34306/att.v5i2.298>.
- Putri, A.Q., Handayani, F.S. and Setiono (2024) ‘Volume and Cutting Optimization of Reinforcing Steel in Construction of a Satpol PP Building Project’, *Sustainable Civil Building Management and Engineering Journal*, 1(3), pp. 1–8. Available at: <https://doi.org/10.47134/scbmej.v1i3.2697>.
- Retno Asih, W., Riakara Husni, H. and Niken, C. (2022) *Perbandingan Quantity Take Off (QTO) Material Berbasis Building Information Modeling (BIM) Terhadap Metode Konvensional pada Struktur Pelat*.
- Sabil, D. and Erizal (2023) ‘Penerapan Building Information Modeling (BIM) 5D pada Proyek Gedung Simpang Temu Dukuh Atas, Jakarta Pusat’, 08, pp. 95–104. Available at: <https://doi.org/10.29244/jsil.8.2.95-104>.
- Siswanto, A.B., Salim, M.A. and Prastiawati, A. (2022) ‘Evaluasi Sisa Material Pekerjaan Konstruksi Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung Fakultas Syariah IAIN Pekalongan’, pp. 68–77.
- Soebandono, B., Hergantoro, G.S. and Priyo, M. (2022) ‘Implementasi Building Information Modelling (BIM) Menggunakan Tekla Structures Pada Konstruksi Gedung’, *Bulletin of Civil Engineering*, 2(1), pp. 1–6. Available at: <https://doi.org/10.18196/bce.v2i1.12492>.
- Soetjipto, J.W. (2008) ‘Manajemen Pengelolaan Pekerjaan Penulangan Ditinjau dari Perhitungan Sisa Penulangan dan Analisis Sumber Penyebabnya’, *PROKONS (Jurnal Teknik Sipil)*, 2(1), pp. 61–71.
- Umoren, E.K., Adewuyi, T.O. and Otali, M. (2019) ‘Application Of Bim To Construction Material Waste Management: Stakeholders’ Perceptions In Selected States Of South-South, Nigeria’, *Journal of Contemporary Research in the Built Environment*, 3(2), pp. 1–16.