

## Optimasi Penggunaan Besi Tulangan terhadap *Waste Material* Menggunakan *Software Cutting Optimization Pro* pada Proyek Bangunan Gedung

Anik Ratnaningsih<sup>1)</sup>, Alyssa Fatiha Rahma<sup>2)</sup>, Jajok Widodo Soetjipto<sup>2)</sup>

<sup>1, 2, 3)</sup> Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jember, Jawa Timur

Email: [anik.unej@unej.ac.id](mailto:anik.unej@unej.ac.id)<sup>1)</sup>, [alysaaafr@gmail.com](mailto:alysaaafr@gmail.com)<sup>2)</sup>, [jajok.teknik@unej.ac.id](mailto:jajok.teknik@unej.ac.id)<sup>3)</sup>

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v16i1.1313>

(Received: 28 July 2025 / Revised: 14 November 2025 / Accepted: 04 February 2026)

### Abstrak

Waste material pada proyek konstruksi berdampak pada pemborosan biaya dan penurunan efisiensi pekerjaan. Salah satu sumber utama waste berasal dari penggunaan besi tulangan yang belum dioptimalkan dalam perhitungan kebutuhan dan pola pemotongan. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan penggunaan besi tulangan untuk mengurangi waste material pada pekerjaan pembesian menggunakan *Software Cutting Optimization Pro* (SCOP). Studi kasus dilakukan pada proyek Pembangunan Rusun Dosen Politeknik Pekerjaan Umum Kota Semarang. Data shop drawing dan bill of quantity (BoQ) dimodelkan menggunakan Building Information Modelling (BIM) untuk menghasilkan estimasi kebutuhan besi melalui Quantity Take Off (QTO). Data QTO selanjutnya dianalisis menggunakan SCOP untuk memperoleh pola pemotongan yang optimal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan SCOP mampu menurunkan persentase waste besi hingga di bawah 1% pada seluruh diameter tulangan. Waste terkecil terjadi pada tulangan D13 sebesar 0,053% dan terbesar pada tulangan D25 sebesar 0,76%, dengan penghematan biaya sebesar Rp 8.885.235,60.

Kata kunci: *waste, optimasi, pembesian, gedung*

### Abstract

Waste material in construction projects leads to cost overruns and reduced work efficiency. One of the main sources of waste is the suboptimal use of reinforcing steel in quantity estimation and cutting patterns. This study aims to optimize the use of reinforcing steel to reduce material waste in reinforcement work using *Software Cutting Optimization Pro* (SCOP). A case study was conducted on the construction of the Lecturer Housing Project of Politeknik Pekerjaan Umum Kota Semarang. Shop drawings and bill of quantity (BoQ) data were modeled using Building Information Modelling (BIM) to generate reinforcement quantity estimates through the Quantity Take Off (QTO) process. The QTO data were then analyzed using SCOP to obtain optimal cutting patterns. The results show that the application of SCOP reduced rebar waste to below 1% for all analyzed diameters. The lowest waste occurred in D13 rebars at 0.053%, while the highest waste was found in D25 rebars at 0.76%, resulting in a cost saving of IDR 8,885,235.60.

Keywords: *waste, optimization, reinforcement, building*

## 1. Latar Belakang

Dalam proses konstruksi bangunan gedung, penggunaan material sering dialokasikan secara tidak optimal dan efisien (Sudiro and Musyafa', 2018). Keadaan ini berkontribusi terhadap meningkatnya jumlah material sisa yang terbuang tanpa dimanfaatkan, sehingga menimbulkan selisih antara anggaran material yang direncanakan dengan kondisi aktual di lapangan. Fenomena ini umumnya dikenal sebagai sisa material atau *waste* material (Negara, 2019) Besi tulangan merupakan salah satu jenis material konstruksi yang cenderung menghasilkan limbah dalam jumlah besar. Oleh karena itu, pemahaman yang tepat terhadap bentuk serta Teknik pemotongan besi menjadi krusial untuk meminimalkan potensi kerugian akibat kesalahan dalam manajemen maupun proses pemotongan material tersebut (Sinanbutar and Tambunan, 2019). Studi terdahulu mencatat bahwa rata-rata sisa material besi tulangan mencapai 2,99%, dengan *waste* tertinggi terjadi pada pekerjaan pondasi sebesar 5,88%(Soetjipto, 2008).

Untuk menekan jumlah *waste* dan mendapatkan kebutuhan besi yang lebih efisien, diperlukan penerapan teknologi dalam perencanaan dan pelaksanaan pemotongan material. Salah satu pendekatan yang relevan adalah penggunaan perangkat lunak optimasi potongan berbasis algoritma seperti *Software Cutting Optimization Pro* (SCOP) yang digunakan untuk mengoptimalkan pola pemotongan besi tulangan dari batang standar sehingga dapat meminimalkan limbah material. *Software* ini menghasilkan pola potongan yang optimal sesuai standar, membantu mengurangi sisa material yang tidak terpakai (Pratama, Sudika and Saputra, 2023).

Dalam konteks yang lebih luas, integrasi SCOP dengan teknologi *Building Information Modelling* (BIM) dapat memperkuat proses perencanaan dengan menghubungkan data dari *shop drawing* dan *bill of quantity* ke tahap pelaksanaan pemotongan material (Sugianto and Tung, 2022) BIM memungkinkan pemodelan struktur dan pengeluaran data teknis seperti *Bar Bending Schedule* (BBS) secara otomatis dan terintegrasi (Yuliana *et al.*, 2023) Penggunaan BBS dalam optimasi pemotongan terbukti mampu menurunkan *waste* besi hingga di bawah angka toleransi industry, serta mendukung efisiensi pengadaan material (Muka *et al.*, 2020). Dengan penggabungan BIM, BBS, dan SCOP, diharapkan perencanaan pemotongan besi tidak hanya lebih akurat, tetapi juga lebih adaptif terhadap dinamika di lapangan (Rahmawati *et al.*, 2021).

Artikel ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar efisiensi penggunaan material besi yang dapat dicapai dengan metode SCOP. Pengurangan *waste* material memungkinkan kontraktor untuk mengurangi pengeluaran, yang pada gilirannya meningkatkan profitabilitas proyek serta mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan akibat limbah yang dihasilkan (Nurvireza *et al.*, 2023). Selain memberikan kontribusi pada aspek pengoptimalan biaya proyek, artikel ini juga diharapkan dapat memberikan gambaran awal mengenai pentingnya penggabungan antara BIM dan *software* optimasi dalam mendukung konstruksi berkelanjutan (Hidayah *et al.*, 2023). Dengan demikian, hasil dari penelitian ini dapat menjadi masukan bagi praktisi konstruksi dan akademisi dalam upaya peningkatan efisiensi pemanfaatan material konstruksi di lapangan.

## 2. Metode Penelitian

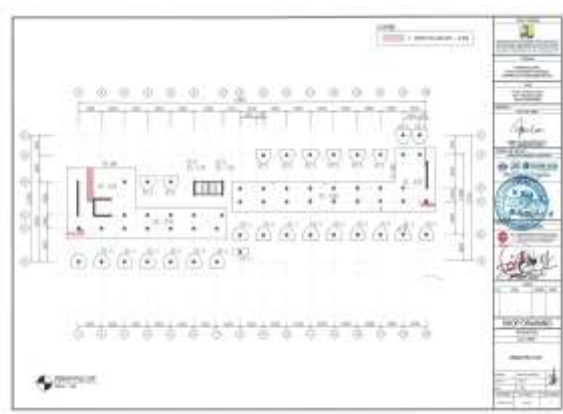
Pendekatan yang digunakan dalam studi ini adalah kuantitatif deskriptif dengan tujuan untuk menganalisis pengoptimalan penggunaan material besi dalam proyek konstruksi melalui optimasi pemotongan menggunakan *Software Cutting Optimization Pro* (SCOP) dan *Building Information Modelling* (BIM). Jenis penelitian ini dipilih karena mampu menggambarkan secara jelas penerapan teknologi untuk meningkatkan efisiensi penggunaan material dan mengurangi *waste* pada proyek konstruksi.

Fokus dari studi ini adalah proyek Pembangunan Rusun Dosen Politeknik Pekerjaan Umum Kota Semarang. Pekerjaan pembesian pada proyek ini menjadi objek kajian, dengan memanfaatkan besi tulangan sebagai material utama yang memerlukan pemotongan sesuai dengan kebutuhan struktur. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Lokasi Penelitian

Sumber data yang digunakan dalam studi ini adalah data sekunder, yang meliputi *shop drawing*, *bill of quantity* (BoQ), dan standart detail penulangan dari proyek yang sedang berlangsung. Data ini digunakan untuk membuat model struktur gedung dan melakukan perhitungan kebutuhan material besi tulangan. Denah proyek dapat dilihat pada Gambar 2, yang menunjukkan bahwa proyek ini adalah Gedung bertipe 9 lantai dengan denah yang sama (*typical*) untuk setiap lantainya.



Gambar 2 Denah Proyek

Adapun tahapan dalam penelitian ini dilakukan melalui serangkaian langkah yang sistematis dan terstruktur. Setiap tahapan memiliki tujuan untuk mengoptimalkan penggunaan material besi tulangan melalui teknologi *Building Information Modelling* (BIM) dan *Software Cutting Optimization Pro* (SCOP), yang diharapkan dapat mengurangi *waste* material serta meningkatkan efisiensi proyek konstruksi. Tahapan penelitian tersebut adalah sebagai berikut:

1) *Pemodelan dengan BIM*

Tahap pertama dimulai dengan pemodelan struktur bangunan menggunakan *Building Information Modelling* (BIM), yang memungkinkan pemodelan elemen-elemen struktur secara rinci dan akurat. Dalam artikel ini, pemodelan dilakukan pada komponen pilecap, kolom, balok, dan pelat lantai sebagaimana pendekatan pemodelan berbasis BIM yang dijelaskan oleh Khant et al., (2024). Teknologi BIM tidak hanya mempercepat proses perencanaan, tetapi juga memastikan bahwa informasi yang digunakan untuk menyusun *Bar Bending Schedule* (BBS) dan *Quantity Take Off* (QTO) lebih terintegrasi dan tepat, sejalan dengan temuan (Khotimah et al., 2024).

Proses pemodelan diawali dengan penentuan grid dan level bangunan sesuai denah proyek, kemudian dilanjutkan dengan pembuatan elemen struktur beserta parameter dimensi dan spesifikasi material. Selanjutnya, detail penulangan dimasukkan pada masing-masing elemen struktur sesuai dengan shop drawing, sehingga informasi panjang, jumlah, dan diameter besi tulangan dapat dihasilkan secara otomatis melalui sistem BIM. Pendekatan ini sejalan dengan penelitian (Andrizal and Adriadi, 2024) dan (Elvina et al., 2024) yang menyatakan bahwa pemodelan berbasis BIM mampu menghasilkan data kuantitas material yang lebih konsisten dibandingkan metode konvensional.

2) *Quantity Take Off* (QTO)

Setelah model BIM selesai, tahap berikutnya adalah melakukan *Quantity Take Off* (QTO), yaitu proses penghitungan jumlah dan ukuran material besi tulangan yang dibutuhkan berdasarkan pemodelan struktur yang telah dibuat. QTO dilakukan dengan mengambil data langsung dari model BIM, yang mempercepat perhitungan volume material dan mengurangi ketidakakuratan yang sering terjadi dalam metode perhitungan manual (Dharmawansyah, Kurniati and Kasyfil Aziz, 2023b). Data yang dihasilkan dari QTO ini akan digunakan untuk merencanakan pola pemotongan besi secara lebih terperinci, sehingga pemborosan material bisa diminimalkan.

3) *Bar Bending Schedule* (BBS)

Setelah proses QTO, langkah selanjutnya adalah menyusun *Bar Bending Schedule* (BBS). BBS ini merupakan daftar detail mengenai jenis, panjang, dan jumlah besi tulangan yang dibutuhkan untuk setiap elemen struktur (Dharmawansyah, Kurniati and Kasyfil Aziz, 2023a). Penyusunan BBS dilakukan secara otomatis dengan memanfaatkan BIM, yang mengintegrasikan data BoQ dan QTO yang telah dihitung sebelumnya. Dengan menggunakan BIM, proses penyusunan BBS menjadi lebih akurat, mengurangi kesalahan manual yang dapat terjadi pada penyusunan BBS secara konvensional (Anjani, Riakara Husni and Niken, 2022). BBS ini sangat penting dalam mempersiapkan data yang akan dimasukkan ke dalam *software* optimasi pemotongan.

4) *Software Cutting Optimization (SCOP)*

Tahap selanjutnya adalah memasukkan data BBS yang telah disusun ke dalam *Software Cutting Optimization Pro (SCOP)*. SCOP adalah perangkat lunak berbasis algoritma optimasi yang digunakan untuk mengoptimalkan pola pemotongan besi tulangan, sehingga sisa material atau waste dapat diminimalkan (Korompot, Tjakra and Mangare, 2024). Dengan SCOP, pola pemotongan dihasilkan berdasarkan panjang dan jumlah batang besi yang dibutuhkan, serta memaksimalkan penggunaan panjang batang besi yang tersedia, sehingga mengurangi pemborosan material yang tidak dapat digunakan lagi. SCOP menghasilkan berbagai alternatif pola pemotongan yang paling efisien, yang kemudian dipilih sesuai dengan kebutuhan proyek (Sepfian Dwi Riyanto *et al.*, no date)

Keunggulan utama dari SCOP adalah kemampuan untuk mengurangi pemborosan material secara signifikan dan mempercepat proses perencanaan pemotongan. Dengan menggunakan SCOP, setiap batang besi dapat dipotong dengan cara yang paling efisien, memaksimalkan pemanfaatan panjang material, dan mengurangi jumlah sisa potongan yang tidak bisa digunakan kembali

5) *Perhitungan Waste Material*

Setelah pola pemotongan yang optimal dihasilkan oleh SCOP, tahap berikutnya adalah perhitungan waste material. Waste dihitung dengan membandingkan total panjang besi tulangan yang digunakan dengan panjang total batang besi yang tersedia setelah dilakukan pemotongan (Antonio Geraldi and Sulistio, 2020).

Penghitungan *waste* ini bertujuan untuk melihat seberapa besar pengurangan sisa material yang dapat dicapai dengan menggunakan metode optimasi dibandingkan dengan pendekatan tradisional yang tidak menggunakan *software* optimasi (Widi Antara *et al.*, no date). Perhitungan ini tidak hanya mencakup pengurangan *waste* pada pemotongan besi, tetapi juga efisiensi penggunaan material secara keseluruhan.

Secara matematis, berat *waste* besi tulangan dihitung sebagai selisih antara berat total besi tulangan berdasarkan hasil *Quantity Take Off (QTO)* dengan berat besi tulangan yang terpakai berdasarkan hasil optimasi menggunakan SCOP, sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (1).

$$Ww = Wt - Wu \quad (1)$$

Dengan:

- $Ww$  = berat *waste* besi tulangan (kg)
- $Wt$  = berat total besi tulangan berdasarkan hasil *Quantity Take Off (QTO)* (kg)
- $Wu$  = berat besi tulangan yang terpakai setelah optimasi menggunakan SCOP (kg)

Selanjutnya, persentase *waste* material dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$Waste (\%) = \left( \frac{Ww}{Wt} \right) \times 100\% \quad (2)$$

Hasil *waste* yang diperoleh kemudian dikonversi ke dalam estimasi biaya menggunakan Persamaan (3).

$$Biaya Waste = Ww \times H \quad (3)$$

Dengan:

- H = harga satuan besi tulangan (Rp/kg) yang tercantum dalam *bill of quantity* (BoQ) yaitu sebesar Rp 13.500

Biaya kerugian dihitung berdasarkan jumlah *waste* yang terbuang dikalikan dengan harga per unit material, yang dalam hal ini adalah harga per kg besi tulangan sesuai dengan *bill of quantity* (BoQ).

#### 6) Strategi Hasil Analisis

Integrasi antara BIM dan *Software Cutting Optimization Pro (SCOP)* bertujuan untuk memberikan alternatif solusi yang praktis namun efektif bagi manajemen proyek di lapangan. Dengan menggabungkan kedua teknologi ini, proses perencanaan dan pemotongan material besi tulangan dapat dilakukan dengan lebih akurat, efisien, dan minim pemborosan. Solusi ini tidak hanya mengurangi *waste* material, tetapi juga meningkatkan efisiensi waktu dan biaya, sehingga dapat diterapkan untuk meningkatkan keberlanjutan dan pengelolaan sumber daya dalam proyek konstruksi.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Dalam studi ini, tujuan utama dalam optimasi penggunaan besi tulangan pada proyek konstruksi adalah dengan memanfaatkan teknologi BIM dan SCOP. Teknologi BIM memungkinkan perencanaan material yang lebih akurat, sementara SCOP berfungsi untuk mengoptimalkan pola pemotongan guna meminimalkan *waste* material.

Pada bagian ini, hasil dari tahapan-tahapan yang telah dilakukan, seperti pemodelan menggunakan BIM, *Quantity Take Off (QTO)*, *Bar Bending Schedule (BBS)*, dan optimasi menggunakan SCOP, akan dibahas untuk pengoptimalan penggunaan material dan penghematan biaya yang tercapai.

#### 1) Pemodelan dengan BIM

Pemodelan struktur menggunakan BIM menghasilkan *Bar Bending Schedule (BBS)* yang mencakup informasi detail tentang panjang, jumlah, dan jenis besi tulangan yang dibutuhkan untuk setiap elemen struktural. BBS ini digunakan untuk melakukan *Quantity Take Off (QTO)*, yang memberikan perkiraan lebih akurat mengenai material yang diperlukan. Hasil pemodelan menggunakan BIM dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Model Struktur Gedung Rusun Dosen Politeknik Pekerjaan Umum Kota Semarang Menggunakan BIM

Gambar 3 menunjukkan model struktur Gedung yang dimodelkan menggunakan *Building Information Modelling (BIM)*, yang mencakup elemen struktur utama

seperti pilecap, kolom, balok, dan pelat lantai. Model ini digunakan sebagai dasar dalam penyusunan *Bar Bending Schedule* (BBS) dan pelaksanaan *Quantity Take Off* (QTO) untuk memperoleh kebutuhan besi tulangan secara akurat. Dengan adanya pemodelan tiga dimensi ini, setiap elemen struktur dapat dianalisis secara detail sehingga meminimalkan kesalahan perhitungan material pada tahap perencanaan

Model yang dihasilkan oleh BIM memungkinkan estimasi yang lebih tepat mengenai kebutuhan material, yang langsung digunakan untuk proses *Quantity Take Off* (QTO), yang mendetailkan kebutuhan material di setiap elemen struktur.

## 2) *Quantity Take Off* (QTO)

*Quantity Take Off* (QTO) dilakukan untuk menghitung total panjang dan jumlah besi tulangan yang diperlukan. QTO mengoptimalkan pengelolaan material dengan menyediakan data yang akurat dan terperinci untuk tiap elemen struktur. Hasil QTO dapat dilihat pada Tabel 1 s.d 4.

Tabel 1 Kebutuhan Tulangan Pilecap

Bar Diameter	Quantity (Lonjor)	Total Bar Length (m)	(kg)
D 13	64	755	799
D 16	459	5492	8559
D 19	87	1026	2246
D 22	979	11735	34635
D 25	2712	32536	125880

Berdasarkan Tabel 1, tulangan diameter 25 mm memiliki total panjang batang paling besar, yaitu 32.536 meter dengan berat total mencapai 125.880 kg. Diameter tulangan 22 mm juga memiliki panjang dan berat yang signifikan, yaitu 11.735 meter dan 34.635 kg. Diameter yang lebih kecil, seperti 13 mm, 16 mm, dan 19 mm, memiliki total panjang dan berat yang lebih kecil, menyesuaikan kebutuhan struktur pilecap.

Tabel 2 Kebutuhan Tulangan Kolom

Bar Diameter	Quantity (Lonjor)	Total Bar Length (m)	(kg)
D 13	3675	44100	45952,20
D 19	3270	39240	87348,24
D 22	420	5040	15039,36
D 25	77	924	3560,17

Tabel 2 menunjukkan jumlah batang tulangan, total panjang batang, dan berat total besi tulangan untuk masing-masing diameter yang digunakan pada kolom. jumlah tulangan terbanyak digunakan pada diameter D13 sebanyak 3.675 batang dengan total panjang 44.100 meter dan berat 45.952,20 kg. Tulangan D19 digunakan sebanyak 3.270 batang dengan panjang total 39.240 meter dan berat 87.348,24 kg. Untuk diameter D22 digunakan sebanyak 420 batang, sedangkan D25 sebanyak 77 batang, masing-masing dengan berat 15.039,36 kg dan 3.560,17 kg.

Tabel 3 Kebutuhan Tulangan Balok

Bar Diameter	Quantity		Total Bar Length	
	(Lonjor)	(m)	(m)	(kg)
D 10	5846	70152	43284	
D 13	1973	23676	24623	
D 16	1244	14928	23586	
D 19	1129	13548	30212	
D 22	410	4920	14662	
D 25	184	2208	8501	

Berdasarkan Tabel 3, tulangan diameter 10 mm (D10) memiliki *quantity* paling banyak yaitu 5.846 lonjor, dengan total panjang batang 70.152 meter dan berat total 43.284 kg. Diameter 13 mm (D13) dan 19 mm (D19) juga cukup signifikan dengan jumlah lonjor masing-masing 1.973 dan 1.129, serta berat total sekitar 24.623 kg dan 30.212 kg. Diameter yang lebih besar seperti 22 mm dan 25 mm digunakan dalam jumlah yang lebih sedikit, namun berat totalnya masih signifikan yaitu masing-masing 14.662 kg dan 8.501 kg.

Tabel 4 Kebutuhan Tulangan Pelat Lantai

Bar Diameter	Quantity		Total Bar Length	
	(Lonjor)	(m)	(m)	(kg)
D 10	2721	32652	20229	
D 13	580	6960	7250	

Berdasarkan Tabel 4.6, tulangan diameter 10 mm (D10) digunakan sebanyak 2.721 batang dengan total panjang 32.652 meter dan berat total 20.229 kg. Untuk pelat lantai dak, tulangan diameter 13 mm (D13) digunakan sebanyak 580 batang dengan total panjang 6.960 meter dan berat total 7.250 kg.

### 3) Bar Bending Schedule (BBS)

Setelah perhitungan QTO, *Bar Bending Schedule* (BBS) disusun berdasarkan model BIM yang telah dibuat. BBS ini memberikan rincian terkait panjang, jumlah, dan jenis besi tulangan yang digunakan dalam setiap elemen struktur (Arifin *et al.*, 2020). Penyusunan BBS dilakukan secara otomatis menggunakan BIM yang mengurangi kesalahan manual. Contoh untuk Bar Bending Schedule dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Bar Bending Schedule Kolom Type K-1

BAR BENDING SCHEDULE K1									
Diameter	Panjang (mm)						Panjang	Jumlah	Berat
	A	B	C	D	E	F			
13	110	420	420	420	420	0	1790	1	1,90
13	110	420	420	420	420	0	1790	13	24,65
13	110	420	420	420	420	0	1790	9	17,07
13	110	420	420	420	420	0	1790	12	22,76
13	110	420	420	420	420	0	1790	3	5,69
13	110	420	420	420	420	0	1790	12	22,76
13	110	420	420	420	420	0	1790	5	9,48
13	110	420	420	420	420	0	1790	5	9,48
13	110	420	420	420	420	0	1790	8	15,17
13	110	420	420	420	420	0	1790	3	5,69
13	110	420	420	420	420	0	1790	12	22,76

13	110	420	420	420	420	0	1790	5	9,48
13	110	420	420	420	420	0	1790	5	9,48
13	110	420	420	420	420	0	1790	8	15,17
13	110	420	420	420	420	0	1790	3	5,69
13	110	420	420	420	420	0	1790	12	22,76
13	110	420	420	420	420	0	1790	5	9,48
13	110	420	420	420	420	0	1790	5	9,48
13	110	420	420	420	420	0	1790	8	15,17
13	110	420	420	420	420	0	1790	3	5,69

BBS menunjukkan kebutuhan material yang sangat terperinci dan membantu memastikan bahwa pemotongan besi tulangan dapat dilakukan sesuai dengan standar yang ditetapkan

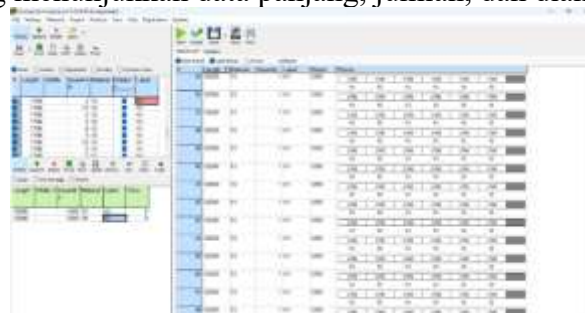
4) *Software Cutting Optimization Pro (SCOP)*

Data *Bar Bending Schedule (BBS)* yang telah dihitung selanjutnya dimasukkan ke dalam *Software Cutting Optimization Pro (SCOP)* untuk mengoptimalkan pola pemotongan besi tulangan. SCOP menghitung pola pemotongan yang paling efisien dengan tujuan meminimalkan *waste material*. Data yang dimasukkan meliputi panjang batang (*length*), jumlah batang (*quantity*), dan jenis material berupa diameter tulangan.

Selain data pemotongan, informasi stok material dimasukkan pada menu *Stock* dalam satuan milimeter (mm). Setelah seluruh data diinput, proses optimasi dijalankan dengan menekan tombol *Start*, sehingga sistem menampilkan daftar input pemotongan besi tulangan (*Input Cutting List*) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Setelah diperoleh model potongan besi dan sisa potongan tulangan, tombol *Accept* digunakan untuk memasukkan sisa potongan ke dalam Gambar 5. stok material. Hasil akhir optimasi pemotongan besi tulangan ditampilkan pada



Gambar 4 Tampilan menu *Input Cutting List* pada *Software Cutting Optimization Pro (SCOP)* yang menunjukkan data panjang, jumlah, dan diameter besi tulangan



Gambar 5 Hasil optimasi pola pemotongan besi tulangan menggunakan *Software Cutting Optimization Pro (SCOP)* yang menampilkan potongan dan sisa besi tulangan

5) Perhitungan *Waste*

Setelah pemotongan optimal dihitung oleh SCOP, perhitungan waste dilakukan dengan membandingkan total panjang material yang digunakan dengan panjang batang besi yang tersedia. Perhitungan waste bertujuan untuk mengukur penghematan material yang dihasilkan setelah pemotongan dioptimalkan. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 6 s.d 9.

Tabel 6 Optimasi *Waste* Tulangan Pilecap

Bar Diameter		Quantity	Waste Level	
		(Lonjor)	(kg)	(%)
D	13	64	3,2	0,41%
D	16	459	21,4	0,27%
D	19	87	5,3	0,23%
D	22	979	86,6	0,43%
D	25	2712	314,7	0,76%

Berdasarkan Tabel 6, hasil optimasi terlihat bahwa *waste* terbesar terjadi pada tulangan diameter 25 mm dengan total limbah sebesar 314,7 kg atau 0,76% dari berat total, sedangkan *waste* terkecil pada diameter 19 mm yaitu 5,3 kg (0,23%).

Tabel 7 Optimasi *Waste* Tulangan Kolom

Bar Diameter		Quantity	Waste Total	
		(Lonjor)	(kg)	(%)
D	13	3675	24,87	0,05%
D	19	3270	19,74	0,02%
D	22	420	34,26	0,23%
D	25	77	9,95	0,28%

Tabel 7 memperlihatkan hasil optimasi pemotongan tulangan kolom menggunakan *Cutting Optimization Pro*. Tulangan D13 menghasilkan waste sebesar 24,87 kg atau 0,05%, sedangkan D19 menghasilkan *waste* sebesar 19,74 kg atau 0,02%. Tulangan D22 dan D25 menghasilkan *waste* masing-masing sebesar 34,26 kg (0,23%) dan 9,95 kg (0,28%).

Tabel 8 Optimasi *Waste* Tulangan Balok

Bar Diameter		Quantity	Waste Total	
		(Lonjor)	(kg)	(kg)
D	10	5846	86,57	0,20%
D	13	1973	86,35	0,35%
D	16	1244	70,67	0,30%
D	19	1129	75,39	0,25%
D	22	410	22,02	0,15%
D	25	184	8,51	0,10%

Berdasarkan Tabel 8, menunjukkan bahwa tulangan diameter 10 mm (D10) memiliki *waste* sebesar 86,57 kg atau 0,20% dari total berat tulangan, sedangkan diameter 13 mm (D13) menghasilkan *waste* 86,35 kg atau 0,35%. Tulangan diameter 16 mm (D16) dan 19 mm (D19) memiliki *waste* masing-masing 70,67 kg (0,30%) dan 75,39 kg (0,25%). Untuk diameter yang lebih besar, yaitu D22

dan D25, waste yang dihasilkan lebih kecil yakni masing-masing 22,02 kg (0,15%) dan 8,51 kg (0,10%).

Tabel 9 Optimasi *Waste* Tulangan Pelat Lantai

Bar Diameter	Quantity (Lonjor)	Waste Total (kg)	Waste Total (%)
D 10	2721	80	0,39%
D 13	580	25	0,35%

Berdasarkan Tabel 9, tulangan diameter 10 mm (D10) menghasilkan *waste* sebesar 80 kg atau 0,39% dari total berat tulangan, sedangkan tulangan diameter 13 mm (D13) menghasilkan *waste* sebesar 25 kg atau 0,35%.

Tabel 10 Rekapitulasi Tulangan Seluruh Elemen Struktur

Bar Diameter	Quantity (Lonjor)	Total Length (m)	Total Weight (kg)	Total Waste (kg)	Waste (%)
D 10	5846	70152	43494	86,57	0.27%
D 13	3675	44100	45952	24,87	0.053%
D 16	1244	14928	23586	70,67	0.31%
D 19	1129	13548	30212	75,39	0.28%
D 22	979	11735	34635	86,60	0.43%
D 25	2712	32536	125880	31470	0.76%

Tabel 10 menyajikan rekapitulasi kebutuhan tulangan untuk seluruh elemen struktur berdasarkan diameter batang tulangan. *Quantity* lonjor menunjukkan jumlah batang tulangan yang dibutuhkan, sedangkan total length dan total weight menunjukkan panjang total batang dalam meter dan berat total dalam kilogram.

Diameter tulangan yang paling banyak digunakan adalah D10 dengan total panjang 70.152 meter dan berat sekitar 43.494 kg. Diikuti oleh D13 yang memiliki total panjang 44.100 meter dan berat 45.952 kg. Diameter tulangan lain seperti D16, D19, D22, dan D25 memiliki kebutuhan yang bervariasi sesuai dengan fungsi dan posisi dalam struktur, dengan total berat tertinggi terdapat pada diameter 25 mm sebesar 125.880 kg.

Bagian akhir tabel menunjukkan total *waste* yang dihasilkan dari pemotongan tulangan. Diameter 25 mm menghasilkan *waste* terbesar sebesar 31.470 kg dengan persentase *waste* sebesar 0,76%. Sementara diameter 13 mm menunjukkan *waste* terkecil sebesar 24,87 kg atau 0,053%.

Berdasarkan hasil optimasi pemotongan menggunakan *Software Cutting Optimization Pro* (SCOP), *waste material* besi tulangan tidak tersebar secara merata pada seluruh elemen struktur. *Waste* terbesar ditemukan pada elemen pilecap dan balok, khususnya pada penggunaan tulangan berdiameter besar, yaitu D25. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan Panjang tulangan yang bervariasi dan tidak selalu sesuai dengan Panjang batang standar besi, sehingga menghasilkan sisa potongan yang relatif lebih besar.

Pada pekerjaan pilecap, penggunaan tulangan D25 memiliki jumlah dan Panjang total yang paling besar dibandingkan elemen lain. Kombinasi antara Panjang penyaluran, detail penulangan yang kompleks, serta keterbatasan Panjang batang

standar menyebabkan sisa potongan yang tidak dapat dimanfaatkan kembali secara optimal, sehingga menghasilkan *waste* material yang lebih tinggi.

Sementara itu, pada pekerjaan balok, *waste* material juga dipengaruhi oleh variasi panjang bentang dan kebutuhan tulangan utama serta tulangan tambahan. Perbedaan panjang antar segmen balok menyebabkan pola pemotongan yang kurang seragam, sehingga meningkatkan potensi *waste*, meskipun telah dilakukan optimasi menggunakan SCOP.

Sebaliknya, elemen kolom dan pelat lantai menghasilkan *waste* material yang relatif lebih kecil. Hal ini dikarenakan penggunaan tulangan dengan diameter lebih kecil seperti D13 dan D10, serta panjang tulangan yang lebih seragam dan berulang pada setiap lantai. Pola pemotongan yang repetitif memungkinkan pemanfaatan sisa potongan secara optimal, sehingga persentase *waste* yang dihasilkan menjadi lebih rendah.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa *waste* material besi tulangan dipengaruhi oleh jenis elemen struktur, diameter tulangan, serta variasi panjang kebutuhan tulangan. Elemen struktur dengan detail penulangan yang kompleks dan diameter besar cenderung menghasilkan *waste* material yang lebih tinggi dibandingkan elemen dengan pola penulangan yang sederhana dan seragam.

#### 6) Analisa *Waste Cost*

Analisa estimasi biaya *waste* tulangan dilakukan untuk mengukur efisiensi penggunaan material pada proses pemotongan tulangan. Estimasi biaya limbah ini membantu dalam memahami dampak finansial dari sisa potongan yang tidak terpakai, sehingga dapat direncanakan strategi optimalisasi untuk mengurangi pemborosan dan menekan biaya konstruksi.

Tabel 11 Analisa *Waste Cost*

Bar Diameter	Total Length (m)	Total Waste (kg)	Waste (%)	Waste Cost (Rp)
D 10	70152	86,57	0.27%	1.167.569,59
D 13	44100	24,87	0.053%	335.421,69
D 16	14928	70,67	0.31%	953.126,29
D 19	13548	75,39	0.28%	1.016.784,93
D 22	11735	86,60	0.43%	1.167.974,20
D 25	32536	31470	0.76%	4.244.358,90
Total				Rp 8.885.235,60

Tabel 11 menunjukkan estimasi biaya *waste* tulangan berdasarkan diameter dan persentase *waste* setelah optimasi. Tulangan diameter 25 mm memiliki biaya *waste* tertinggi sebesar Rp 4.244.358,90 akibat berat limbah yang paling besar. Sedangkan diameter 13 mm menghasilkan biaya *waste* paling kecil, yaitu Rp 335.421,69.

Total biaya *waste* seluruh tulangan mencapai Rp 8.885.235,60.

#### 7) Strategi Hasil Analisis

Hasil optimasi menunjukkan bahwa penerapan SCOP dalam pemotongan besi tulangan berhasil mengurangi *waste* material secara signifikan, dengan pengurangan *waste* mencapai di bawah 1% pada sebagian besar diameter besi yang diuji. Analisis ini menunjukkan bahwa SCOP efektif dalam mengurangi pemborosan material dan meningkatkan efisiensi pengadaan material. Sebagai

tambahan, BIM juga terbukti mempercepat dan meningkatkan akurasi dalam perencanaan material.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan *Software Cutting Optimization Pro (SCOP)* mampu menekan *waste* material besi tulangan hingga berada di bawah 1% dari total kebutuhan material. Temuan ini sejalan dengan penelitian Fauziyah et al., (2023) yang menyatakan bahwa pemanfaatan *Building Information Modelling (BIM)* dalam perencanaan konstruksi berperan signifikan dalam mengurangi *waste* material dan meningkatkan efisiensi penggunaan material. Selain itu, penelitian Widjaja et al., (2024) juga menunjukkan bahwa optimasi pola pemotongan besi tulangan menggunakan pendekatan algoritmik mampu menurunkan tingkat *waste* secara signifikan hingga mendekati nol, sehingga memperkuat hasil penelitian ini.

Pengurangan *waste* material besi tulangan berdampak langsung pada efisiensi biaya proyek, karena semakin kecil sisa material yang terbuang maka semakin rendah pula kebutuhan pembelian material tambahan. Hal ini sejalan dengan temuan (Fauziyah et al., 2023) yang menyatakan bahwa pengendalian *waste* material melalui perencanaan berbasis BIM dapat meningkatkan efisiensi biaya serta mendukung pengelolaan proyek konstruksi yang lebih berkelanjutan.

#### 4. Kesimpulan dan Saran

##### 4.1 Kesimpulan

Berdasarkan tujuan penelitian untuk mengetahui tingkat efisiensi penggunaan material besi tulangan dengan metode *Software Cutting Optimization Pro (SCOP)*, dapat disimpulkan bahwa penerapan SCOP mampu meningkatkan efisiensi pemotongan besi secara signifikan. Penggunaan SCOP terbukti efektif dalam menekan *waste* material besi tulangan hingga berada di bawah 1% dari total kebutuhan material, sehingga menunjukkan kinerja optimasi yang baik dibandingkan pendekatan pemotongan konvensional.

Pengurangan *waste* material yang dihasilkan melalui metode SCOP berdampak langsung pada efisiensi biaya proyek, ditunjukkan dengan adanya penghematan biaya material sebesar Rp 8.885.235,60. Selain meningkatkan profitabilitas proyek, penurunan jumlah sisa material juga berkontribusi terhadap pengurangan limbah konstruksi, sehingga mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan dan ramah lingkungan.

##### 4.2 Saran

Berdasarkan hasil yang diperoleh, disarankan untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk memperluas penerapan SCOP pada proyek-proyek konstruksi yang lebih kompleks, seperti gedung bertingkat lebih tinggi atau proyek infrastruktur, guna mengkaji dampaknya terhadap waktu dan produktivitas kerja. Penelitian juga dapat membandingkan hasil optimasi SCOP dengan implementasi di lapangan untuk mengevaluasi deviasi dan potensi penyesuaian algoritma. Selain itu, pengembangan integrasi antara SCOP dan BIM dengan menggunakan data real-time dapat meningkatkan efisiensi manajemen material dan mengurangi pemborosan, yang relevan untuk proyek-proyek berskala besar.

### Daftar Kepustakaan

- Andrizal and Adriadi, R. (2024) *Implementasi Building Information Modelling (Bim) Dalam Estimasi Quantity Take Off Material Pekerjaan Struktural*.
- Anjani, A., Riakara Husni, H. and Niken, C. (2022) *Penerapan Building Information Modeling (BIM) Menggunakan Software Autodesk Revit Pada Gedung 4 Rumah Sakit Pendidikan Peguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Lampung*.
- Antonio Geraldi, L. and Sulistio, H. (2020) *Studi Analisis Persentase Waste Besi Beton Dan Faktor Penyebabnya Pada Bangunan Bertingkat Rendah Di Jakarta, JMETS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*.
- Arifin, D. et al. (2020) 'Efektifitas Pembesian pada Proyek Panbill Mall menggunakan Bar Bending Schedule SNI-2847-2019, BS-8666-2005, dan Linear Programming Linear Programming', *Borneo Eng. J. Tek. Sipil*, 4(2), pp. 192–202. Available at: <https://doi.org/10.30737/jurmateks>.
- Dharmawansyah, D., Kurniati, E. and Kasyfil Aziz, A. (2023a) 'Penggunaan Metode Bar Bending Schedule Untuk Menganalisis Kebutuhan Dan Sisa (Waste) Pembesian Balok Pada Proyek Rumah Sakit Islam Aysha', *Tambora*, 7(2). Available at: <http://jurnal.uts.ac.id>.
- Dharmawansyah, D., Kurniati, E. and Kasyfil Aziz, A. (2023b) *Penggunaan Metode Bar Bending Schedule Untuk Menganalisis Kebutuhan Dan Sisa (Waste) Pembesian Balok Pada Proyek Rumah Sakit Islam Aysha*. Available at: <http://jurnal.uts.ac.id>.
- Elvina, A.R. et al. (2024) 'Penerapan Buiding Information Modeling (BIM) Dalam Perbandingan Quantity Take Off Material Pada Proyek Pembangunan BSI Tower Jakarta', 9(2).
- Fauziyah, S. et al. (2023) *Implementasi BIM Terhadap Upaya Pengurangan Waste Material Konstruksi Pada PT. Wijaya Karya Jabodetabek, Journal of Civil Engineering Project*. Available at: <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/potensi>.
- 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>.
- Khant, L.P. et al. (2024) 'A BIM-Based Bar Bending Schedule Generation Algorithm with Enhanced Accuracy', *Buildings*, 14(5), p. 1207. Available at: <https://doi.org/10.3390/buildings14051207>.
- Khotimah, S.U. et al. (2024) *Implementasi Building Information Modeling (BIM) dalam Analisis Waste Material Tulangan Balok pada Gedung Rumah Sakit Bhayangkara Polda Lampung*.
- Korompot, S.F., Tjakra, J. and Mangare, J.B. (2024) *Analisis Perbandingan Waste Pada Penulangan Balok Dengan Menggunakan Metode Konvensional Dan Software Cutting Optimization Pro, Tahun*.
- Muka, W. et al. (2020) 'Analisis Perbandingan Waste Besi Tulangan Metode Konvensional Dengan Software Cutting Optimazation Pro', *Teknika*, 15.

- Negara, J.B. (2019) *Analisis Sisa Material Besi Tulangan Pada Proyek Konstruksi Bangunan Gedung*.
- Nurvireza, D. et al. (2023) *Implementasi Building Information Modeling (BIM) Dalam Analisis Waste Material Tulangan Balok Pada Gedung Kuliah Umum 2 Institut Teknologi Sumatera*.
- Pratama, 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 (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Villa Stilo, Tibubeneng, Kec. Kuta Utara, Kab. Badung-Bali)*, *Jurnal Teknik Gradien*. Available at: <http://www.ojs.unr.ac.id/index.php/teknikgradien>.
- Rahmawati, D. et al. (2021) *Analisis dan Evaluasi Sisa Material Kontruksi Menggunakan FTA (Fault Tree Analysis) Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung ICU RSUD Limpung Kabupaten Batang*. Available at: <http://journals.usm.ac.id/index.php/jprt/index>.
- Sepfian Dwi Riyanto, M. et al. (no date) 'Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2023 Analisis Perbandingan Waste Metode Distribusi Dengan Software Cutting Optimization Pro Pada Pekerjaan Penulangan Pilecap (Studi Kasus :Proyek Xyz Semarang)'
- Sinanbutar, D. and Tambunan, A.R. (2019) 'Analisis Perhitungan Sisa Material (Waste) Tulangan Pada Ballroom Proyek Kantor Inalum Dengan Menggunakan Aplikasi Software Optimalisasi Waste Besi (SOWB)', *Jurnal Ilmiah Dunia Ilmu*, Vol. 5 No.1.
- 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.
- Sudiro, R. and Musyafa', A. (2018) 'Analisis Sisa Material Pekerjaan Struktur Pada Proyek Konstruksi'
- Sugianto, A. and Tung, Y.I. (2022) 'Bi-objective Optimization for Rebar Cutting Plan Using Symbiotic Organisms Search', *Dimensi Utama Teknik Sipil*, 9(1), pp. 1–17. Available at: <https://doi.org/10.9744/duts.9.1.1-17>.
- Widi Antara, K. et al. (no date) *Pehitungan Kebutuhan dan Waste Material Besi Menggunakan Bar Bending Schedule pada Proyek Pembangunan Asrama Polisi T.36 Sanglah*.
- Widjaja, D.D. et al. (2024) 'An Algorithm to Minimize Near-Zero Rebar-Cutting Waste and Rebar Usage of Columns', *Sustainability (Switzerland)*, 16(1). Available at: <https://doi.org/10.3390/su16010308>.
- Yuliana, C. et al. (2023) 'Analysis of Minimizing Iron Material Waste for Construction Work in Wetlands with Bar Bending Schedule Method', *SSRG International Journal of Civil Engineering*, 10(8), pp. 1–9. Available at: <https://doi.org/10.14445/23488352/IJCE-V10I8P101>.

Copyright (c) Anik Ratnaningsih, Alyssa Fatiha Rahma, Jojok Widodo Soetjipto