



OPTIMASI PENGGUNAAN TULANGAN PILE CAP MELALUI BAR BENDING SHCHEDULE BERBASIS BUILDING INFORMATION MODELING

Puspita Sari Dwiningrum^{*}, Rezi Berliana Yasinta, Adhi Purnomo

Teknologi Rekayasa Konstruksi Bangunan Gedung, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.

^{*}Corresponding Author, Email : psptsaridwn@gmail.com

ABSTRAK

Waste material merupakan sisa material yang tidak dapat digunakan kembali sesuai fungsi awalnya, baik berasal dari proses konstruksi, pekerjaan perbaikan, maupun kerusakan material. Besi tulangan menjadi salah satu material yang paling berpotensi menimbulkan waste karena membutuhkan biaya dan waktu besar serta sering menghasilkan sisa signifikan. Pada proyek pembangunan Sekolah Noah, perencanaan kebutuhan besi masih dilakukan secara manual tanpa menyusun Bar Bending Schedule (BBS). Kondisi ini menyebabkan penggunaan besi tulangan kurang optimal dan menghasilkan tingkat waste tinggi, terutama pada elemen pile cap. Penelitian ini bertujuan meminimalisir waste besi pile cap dengan memanfaatkan teknologi Building Information Modeling (BIM) untuk menghasilkan BBS serta melakukan optimasi penggunaan tulangan menggunakan perangkat lunak Cutting Optimization Pro (SCOP). Metode penelitian dilakukan melalui observasi dan wawancara guna memperoleh data berupa gambar Detail Engineering Design (DED), spesifikasi penulangan, serta perhitungan kebutuhan besi proyek. Pemodelan struktur pile cap dan tulangan dilakukan dengan Autodesk Revit untuk menghasilkan BBS otomatis, kemudian data BBS dioptimasi menggunakan SCOP guna memperoleh pola pemotongan besi (cutting list) paling efisien sekaligus menghitung nilai waste. Hasil penelitian menunjukkan kebutuhan besi pile cap lantai GWT berdasarkan metode BIM dan SCOP sebesar 884,17 kg dengan waste 11,05 kg atau waste level 1,2%. Sementara data proyek menunjukkan kebutuhan besi 1298,51 kg dengan waste 76,56 kg atau waste level 5,9%. Dengan demikian, penerapan BBS berbasis BIM dan optimasi SCOP mampu mengurangi waste besi sebesar 65,51 kg atau selisih waste level 4,7%, sehingga terbukti lebih efisien dibandingkan metode manual.

Kata Kunci : Waste Besi, Bar Bending Schedule, Building Information Modeling, Optimasi Besi Tulangan

ABSTRACT

Waste material refers to residual material that cannot be reused according to its original function, whether from construction processes, repair work, or material damage. Reinforcing steel is one of the materials most likely to generate waste, as it requires significant cost and time while often producing considerable leftovers. In the Noah School construction project, steel requirement planning was conducted manually without preparing a Bar Bending Schedule (BBS). This led to inefficient use of reinforcement steel and a high level of waste, particularly in pile cap elements. This study aims to reduce pile cap steel waste by applying Building Information Modeling (BIM) to generate BBS and optimize reinforcement usage with Cutting Optimization Pro (SCOP). The research method involved observation and interviews to collect data such as Detail Engineering Design (DED) drawings, reinforcement specifications, and project steel requirement calculations. Structural modeling of pile caps and reinforcement was carried out using Autodesk Revit to automatically produce BBS. The BBS data were then optimized with SCOP to obtain efficient steel cutting patterns and calculate waste values. The results show that the total steel requirement for the GWT pile cap floor using BIM and SCOP was 884.17 kg with steel waste of 11.05 kg or a waste level of 1.2%. Meanwhile, project data indicated a total steel requirement of 1298.51 kg with waste of 76.56 kg or a waste level of 5.9%. Thus, BIM-based BBS and SCOP optimization reduced steel waste by 65.51 kg or a waste level difference of 4.7%, proving more efficient than manual planning.

Keywords : Waste Steel, Bar Bending Schedule, Building Information Modeling, Reinforcing Steel Optimization

PENDAHULUAN

Pada pelaksanaan proyek konstruksi, keberhasilan proyek dipengaruhi oleh pengelolaan sumber daya yang terdiri dari 5M, yaitu pekerja (*man*), metode (*method*), alat (*machine*), biaya (*money*), dan material (*materials*). Material merupakan komponen dengan proporsi biaya terbesar, yaitu sekitar 40-50% dari total biaya proyek (Mahapatni et al., 2024). Oleh karena itu penggunaan material konstruksi harus direncanakan dan diawasi dengan baik, agar pemborosan material pada pembangunan proyek tidak terjadi sehingga dapat meminimalkan limbah material (*material waste*) (Permana Putra et al., 2024).

Waste material adalah sisa material yang sudah tidak dapat digunakan kembali sesuai fungsinya, yang dihasilkan dari proses konstruksi, perbaikan atau perubahan pekerjaan maupun material konstruksi yang tersisa/tercecer/rusak (Sinipat & Beatrix, 2023). Besi tulangan adalah salah satu material yang paling banyak memakan biaya dan waktu, serta berpotensi menimbulkan sisa yang cukup banyak (Kurniawan & Ujjianto, 2023). Salah satu elemen struktur yang membutuhkan penggunaan tulangan dalam jumlah besar adalah *pile cap*, yaitu struktur penghubung antara tiang pancang dengan kolom yang berfungsi untuk mendistribusikan beban bangunan ke pondasi. Kompleksitas penulangan pada *pile cap* berpotensi meningkatkan terjadinya *waste* apabila tidak direncanakan dengan baik. Beberapa faktor penyebab *waste* besi antara lain perubahan desain, manajemen yang buruk, pemotongan material yang tidak tepat selama produksi, serta kurangnya komunikasi antara personel kantor dan pekerja lapangan (Farizi & Sutantiningrum, 2025). *Waste material* tersebut dapat berdampak pada penggunaan material yang tidak optimal dan meningkatkan anggaran biaya proyek (Mahapatni et al., 2024).

Pada proyek pembangunan Sekolah Noah, perencanaan kebutuhan besi tulangan dilakukan berdasarkan gambar 2D Detail Engineering Design (DED) yang belum memperhatikan panjang pemotongan besi tulangan termasuk panjang bengkokan dan sambungan. Selaitu itu di proyek juga belum melakukan optimasi penggunaan besi tulangan dengan memanfaatkan panjang standar batang besi 12 meter. Hal ini berpotensi menyebabkan terjadinya *waste* besi yang berlebih. Oleh karena itu diperlukan perencanaan kebutuhan besi tulangan yang lebih detail melalui pembuatan *Bar Bending Schedule* (BBS) berbasis *Building Information Modeling* (BIM) dan optimasi penggunaan besi tulangan. Perencanaan kebutuhan besi dengan BBS terbukti mampu mengurangi *waste* besi tulangan sebesar 3,69% dari *waste* pelaksanaan konstruksi (Mahapatni et al., 2024).

Bar Bending Schedule (BBS) adalah daftar informasi pola pembengkokan yang memuat data diameter, bentuk, panjang, dan jumlah tulangan (Alimin et al, 2023). Penerapan BIM menggunakan *software* Autodesk Revit dapat menghasilkan BBS secara otomatis dan terintegrasi dengan model 3D, sehingga dapat memungkinkan pembaruan otomatis, mengurangi risiko kesalahan, dan kemampuan *clash detection* (Yohanesio et al., 2025). Berbeda dengan pembuatan BBS pada umumnya yang menggunakan Microsoft Excel/AutoCad, sehingga membutuhkan waktu lama dalam proses pengerjaan dan rentan terhadap *human error* (Prasetia et al., 2023). Dengan menggunakan BBS, efisiensi pemakaian besi jadi lebih terkontrol, terutama saat proses perakitan di lapangan (Akbar, 2025).

BBS berbasis BIM dapat mengelompokkan kebutuhan besi per diameter, serta memuat data panjang, dan jumlah besi yang dapat dijadikan dasar dalam pengoptimalan penggunaan tulangan *pile cap* menggunakan *software* Cutting Optimization Pro. *Software* ini mampu menghasilkan kombinasi pola penyusunan besi (*cutting list*), jumlah batang besi yang digunakan, jumlah sisa potongan besi yang tidak dapat dipakai, dan jumlah sisa potongan besi yang masih dapat digunakan kembali untuk elemen struktur lainnya (Abdullah, 2024). Penggunaan *software* Cutting Optimization Pro mampu meningkatkan efisiensi pemotongan besi secara signifikan dan menekan *waste* material besi tulangan hingga di 3,55% dari total kebutuhan besi tulangan (Gantari & Ratnaningsih, 2026).

Dengan demikian, pembuatan BBS berbasis BIM dan optimasi penggunaan tulangan menjadi solusi dalam mengatasi permasalahan terkait *waste* material besi. Dalam penelitian ini akan menggunakan *software* BIM Autodesk Revit untuk menghasilkan BBS, dan *software* Cutting Optimization Pro untuk menghasilkan pola pemotongan besi (*cutting list*) yang paling efisien dalam meminimalisir *waste* besi tulangan *pile cap*.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada proyek pembangunan Sekolah Noah yang berlokasi di Jl. Persahabatan Timur No. 63 RT 001/RW 017, Cipinang, Pulo Gadung, Jakarta Timur, 13240, Daerah Khusus Ibukota Jakarta. Berikut Gambar 1 merupakan peta lokasi proyek pembangunan Sekolah Noah.



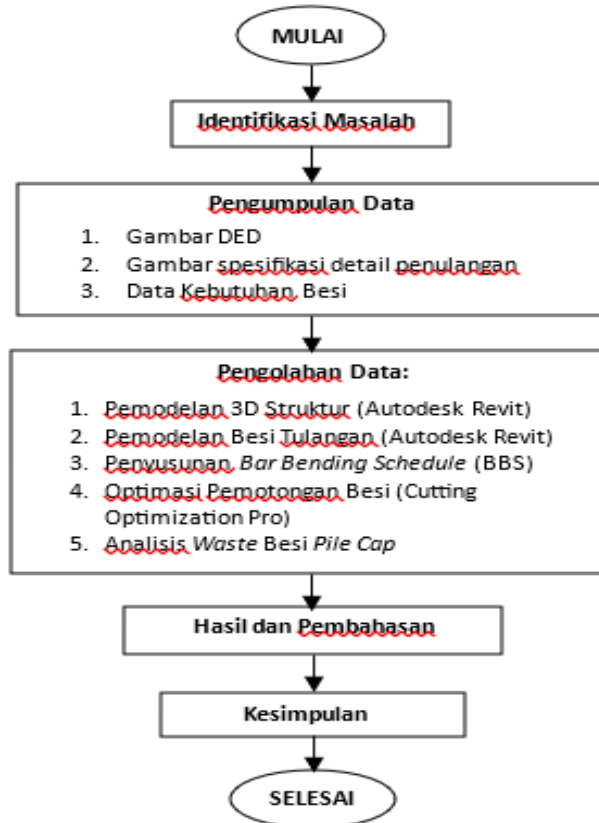
Gambar 1. Peta Lokasi Proyek Pembangunan Sekolah Noah

Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini adalah melalui observasi dan wawancara kepada pihak kontraktor. Observasi dilakukan untuk mengetahui permasalahan yang ada di lapangan. Sedangkan wawancara dilakukan untuk memperoleh informasi dan data terkait permasalahan *waste* besi pada proyek pembangunan Sekolah Noah.

Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini dimulai dengan melakukan identifikasi masalah, kemudian mengumpulkan data yang dibutuhkan seperti, data gambar *Detail Engineering Design* (DED), gambar spesifikasi detail penulangan, dan data kebutuhan besi tulangan proyek. Berikut penjelasan terkait alur pelaksanaan penelitian secara menyeluruh yang disajikan dalam *flowchart* pada Gambar 2.



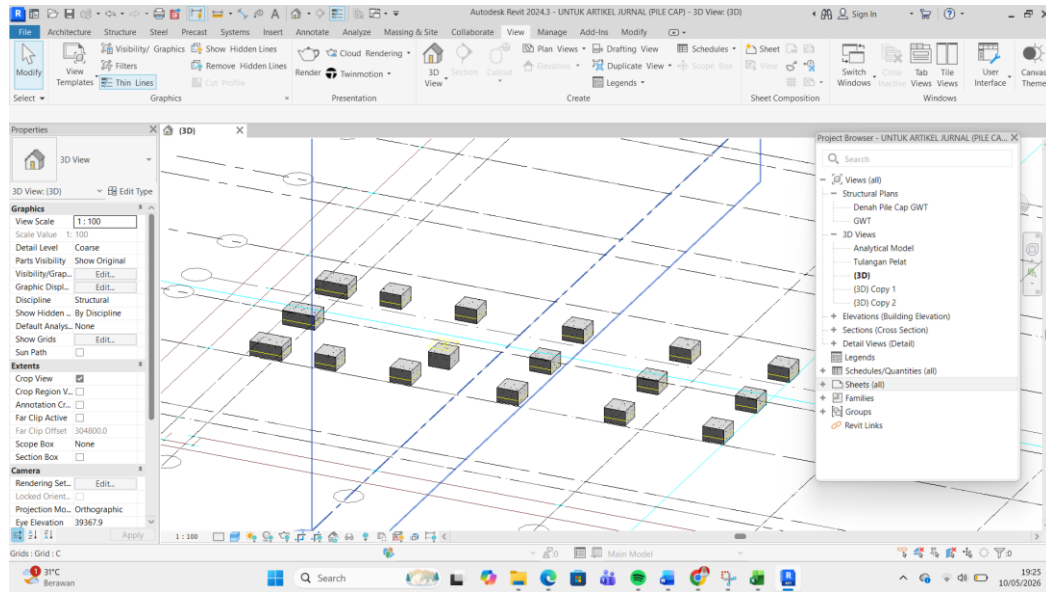
Gambar 2. *Flowchart* Alur Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini menyajikan hasil dari tahapan-tahapan yang telah dilakukan seperti, pemodelan 3D struktur dan pembesian *pile cap*, serta penyusunan *Bar Bending Schedule* (BBS) menggunakan *software* BIM Autodesk Revit, dan optimasi penggunaan besi tulangan menggunakan *software* Cutting Optimization Pro (SCOP). Pembuatan BBS berbasis BIM digunakan sebagai perencanaan kebutuhan besi yang lebih akurat. Kemudian dari data BBS tersebut dilakukan optimasi penggunaan tulangan *pile cap* menggunakan SCOP untuk menghasilkan *cutting list* yang optimal guna meminimalisir *waste* besi. Hasil akhir yang diperoleh adalah untuk mengetahui apakah terdapat penurunan *waste* besi *pile cap* dari kondisi awal berdasarkan data proyek dengan *waste* besi hasil optimasi SCOP.

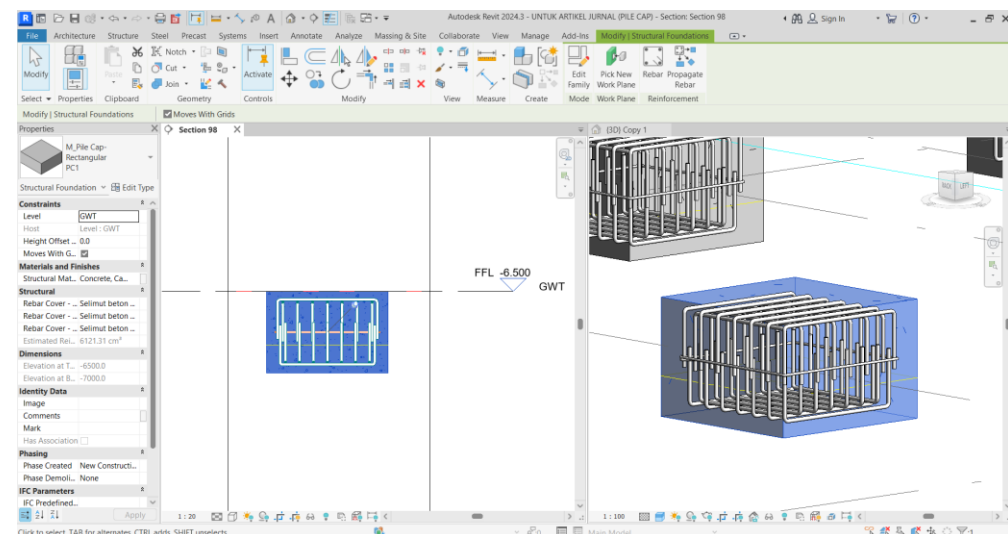
Pemodelan 3D Struktur *Pile Cap*

Pemodelan 3D elemen struktur *pile cap* dilakukan menggunakan *software* BIM Autodesk Revit. Proses pemodelan didasarkan pada gambar DED pada lantai GWT proyek pembangunan Sekolah Noah. Berikut adalah hasil pemodelan 3D struktur *pile cap* yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Gambar 3. Pemodelan 3D Struktur *Pile Cap*

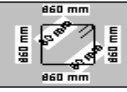
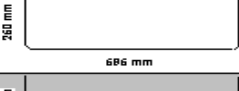
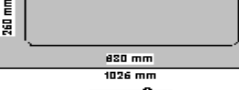
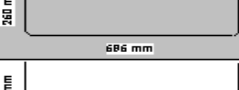
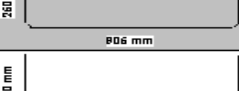
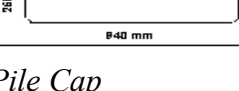
Pemodelan Tulangan (*Rebar*) *Pile Cap*

Setelah melakukan pemodelan elemen struktur *pile cap* pada *software* Autodesk Revit, kemudian dilanjutkan dengan melakukan pemodelan tulangan (*rebar*) *pile cap* yang mengacu pada gambar spesifikasi detail penulangan *pile cap* proyek pembangunan Sekolah Noah. Berikut adalah hasil pemodelan tulangan *pile cap* yang ditunjukkan pada Gambar 4.

Gambar 4. Pemodelan Tulangan *Pile Cap*

Bar Bending Schedule (BBS) Pile Cap

Penyusunan *Bar Bending Schedule (BBS)* dilakukan berdasarkan pemodelan 3D struktur *pile cap* lengkap dengan tulangan yang telah dibuat sebelumnya. Pemodelan yang dihasilkan dari *software* Autodesk Revit memungkinkan estimasi yang lebih tepat dan akurat mengenai kebutuhan besi tulangan. Penyusunan BBS menggunakan fitur *rebar schedule* yang ada pada *software* Autodesk Revit dengan memuat informasi seperti; tipe *pile cap*, diameter, panjang, jumlah, dan bending detail. Berikut adalah hasil *output BBS pile cap* yang ditunjukkan pada Gambar 5.

BAR BENDING SCHEDULE PILE CAP				
Partition	Bar Diameter	Bar Length	Quantity	Bending Detail
PC1	10 mm	2675 mm	14	
PC1	16 mm	1000 mm	98	
PC1	16 mm	1025 mm	98	
PC1	16 mm	1075 mm	98	
PC1	16 mm	1100 mm	98	
PC1A	10 mm	3425 mm	3	
PC1A	16 mm	1075 mm	33	
PC1A	16 mm	1100 mm	33	
PC1A	16 mm	1375 mm	21	
PC1A	16 mm	1400 mm	21	

Gambar 5. Bar Bending Schedule Pile Cap

Berdasarkan dari data BBS *pile cap* di atas, kemudian dilakukan rekapitulasi panjang besi tulangan per diameter untuk mengetahui total kebutuhan besi tulangan *pile cap* lantai GWT secara lebih akurat. Hasil total kebutuhan besi tulangan *pile cap* lantai GWT berdasarkan data BBS berbasis BIM dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 1. Kebutuhan Besi Tulangan *Pile Cap* Berdasarkan BBS Berbasis BIM

Tipe Pile Cap	Diameter	Panjang (mm)	Jumlah	Total Panjang (m)	Berat Besi (kg/m)	Total Berat (kg)
PC1	D10	2675	14	37,45	0,617	23,11
PC1	D16	1000	98	98,00	1,578	154,64
PC1	D16	1025	98	100,45	1,578	158,51
PC1	D16	1075	98	105,35	1,578	166,24
PC1	D16	1100	98	107,80	1,578	170,11
PC1A	D10	3425	3	10,28	0,617	6,34
PC1A	D16	1075	33	35,48	1,578	55,98
PC1A	D16	1100	33	36,30	1,578	57,28
PC1A	D16	1375	21	28,88	1,578	45,56
PC1A	D16	1400	21	29,40	1,578	46,39
TOTAL						884,17

Total kebutuhan besi *pile cap* lantai GWT berdasarkan data BBS berbasis BIM adalah sebesar 884,17 kg. BBS menunjukkan kebutuhan besi tulangan yang sangat terperinci dan membantu memastikan bahwa pemotongan besi tulangan dapat dilakukan sesuai dengan

standar yang ditetapkan (Ratnaningsih et al., 2026). Kemudian data BBS berbasis BIM dimasukkan ke dalam *software* Cutting Optimization Pro (SCOP) untuk mengoptimalkan pemotongan besi tulangan guna meminimalisir *waste* besi.

Cutting List Pile Cap

Optimasi penggunaan besi tulangan *pile cap* dilakukan menggunakan *software* Cutting Optimization Pro untuk menentukan kombinasi pola pemotongan tulangan (*cutting list*) dengan memanfaatkan panjang standar batang besi 12 meter. Dalam *software* ini dapat diatur untuk pengaturan izin panjang minimum *waste* yang dihasilkan dengan tujuan untuk menyeragamkan panjang *waste* yang dapat digunakan kembali (Riyanto & Solikin, 2023).

Optimasi dilakukan dengan memasukan data seperti panjang batang (*length*), jumlah batang (*quantity*), dan jenis diameter, serta tipe *pile cap* berdasarkan data BBS yang dihasilkan sebelumnya dari *software* Autodesk Revit. Selain data pemotongan, dimasukan juga data informasi terkait stok material besi seperti panjang standar batang dalam satuan milimeter, jumlah batang, dan jenis diameter. Setelah seluruh data dimasukan, proses optimasi dapat dijalankan dengan menekan tombol *Start* untuk menampilkan daftar pola pemotongan besi (*cutting list*) *pile cap*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.

Length	Material	Quantity	Label	Waste	Graphic: 1D																						
12000	D10	3		550	<table><tr><td>3425</td><td>2675</td><td>2675</td><td>2675</td><td>550</td></tr><tr><td>PC1A</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td></td></tr></table>	3425	2675	2675	2675	550	PC1A	PC1	PC1	PC1													
3425	2675	2675	2675	550																							
PC1A	PC1	PC1	PC1																								
12000	D10	1		1300	<table><tr><td>2675</td><td>2675</td><td>2675</td><td>2675</td><td>1300</td></tr><tr><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td></td></tr></table>	2675	2675	2675	2675	1300	PC1	PC1	PC1	PC1													
2675	2675	2675	2675	1300																							
PC1	PC1	PC1	PC1																								
12000	D10	1		9325	<table><tr><td>2675</td><td>9325</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>PC1</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	2675	9325				PC1																
2675	9325																										
PC1																											
12000	D16	3		0	<table><tr><td>1400</td><td>1400</td><td>1400</td><td>1400</td><td>1400</td><td>1400</td><td>1400</td><td>1100</td><td>1100</td></tr><tr><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1</td><td>PC1</td></tr></table>	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1100	1100	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1	PC1				
1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1100	1100																			
PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1	PC1																			
12000	D16	5		0	<table><tr><td>1375</td><td>1375</td><td>1375</td><td>1375</td><td>1100</td><td>1100</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td></tr><tr><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td></tr></table>	1375	1375	1375	1375	1100	1100	1075	1075	1075	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1				
1375	1375	1375	1375	1100	1100	1075	1075	1075																			
PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1																			
12000	D16	11		0	<table><tr><td>1100</td><td>1100</td><td>1100</td><td>1100</td><td>1100</td><td>1100</td><td>1100</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td></tr><tr><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td></tr></table>	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1075	1075	1075	1075	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1
1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1075	1075	1075	1075																	
PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1																	
12000	D16	1		0	<table><tr><td>1100</td><td>1100</td><td>1100</td><td>1100</td><td>1100</td><td>1100</td><td>1100</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td></tr><tr><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td></tr></table>	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1075	1075	1075	1075	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1A	PC1A	PC1	PC1	PC1	PC1
1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1075	1075	1075	1075																	
PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1A	PC1A	PC1	PC1	PC1	PC1																	
12000	D16	4		0	<table><tr><td>1100</td><td>1100</td><td>1100</td><td>1100</td><td>1100</td><td>1100</td><td>1100</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td></tr><tr><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td></tr></table>	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1075	1075	1075	1075	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1	PC1	PC1	PC1
1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1075	1075	1075	1075																	
PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1	PC1	PC1	PC1																	
12000	D16	1		0	<table><tr><td>1375</td><td>1100</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1025</td><td>1025</td><td>1025</td></tr><tr><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td></tr></table>	1375	1100	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1025	1025	1025	PC1A	PC1A	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1
1375	1100	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1025	1025	1025																	
PC1A	PC1A	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1																	
12000	D16	8		0	<table><tr><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td><td>1000</td></tr><tr><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td></tr></table>	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1
1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000																	
PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1																	
12000	D16	1		125	<table><tr><td>1100</td><td>1100</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td></tr><tr><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1A</td><td>PC1</td></tr></table>	1100	1100	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	PC1A	PC1A	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1A	PC1
1100	1100	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075																	
PC1A	PC1A	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1A	PC1																	
12000	D16	2		175	<table><tr><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td></tr><tr><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1A</td></tr></table>	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A
1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075																	
PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A																	
12000	D16	1		225	<table><tr><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1075</td><td>1025</td></tr><tr><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1A</td><td>PC1</td></tr></table>	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1025	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1
1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1025																	
PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1A	PC1																	
12000	D16	8		725	<table><tr><td>1025</td><td>1025</td><td>1025</td><td>1025</td><td>1025</td><td>1025</td><td>1025</td><td>1025</td><td>1025</td><td>1025</td><td>1025</td></tr><tr><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td></tr></table>	1025	1025	1025	1025	1025	1025	1025	1025	1025	1025	1025	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1
1025	1025	1025	1025	1025	1025	1025	1025	1025	1025	1025																	
PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1																	
12000	D16	1		3850	<table><tr><td>1025</td><td>1025</td><td>1025</td><td>1025</td><td>1025</td><td>1025</td><td>1000</td><td>1000</td><td>3850</td><td></td><td></td></tr><tr><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td>PC1</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	1025	1025	1025	1025	1025	1025	1000	1000	3850			PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1			
1025	1025	1025	1025	1025	1025	1000	1000	3850																			
PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1																				

Gambar 6. Cutting List Pile Cap

Waste Besi Pile Cap

Waste besi *pile cap* didapatkan dari hasil analisis menggunakan *software* Cutting Optimization Pro dengan memasukan batasan minimum panjang *waste* sebesar 500 mm. Kategori *waste* yang didapatkan dari *software* tersebut dibedakan menjadi 2, yaitu *disposed scrap* dan *reused waste*. Berikut adalah hasil tabel kebutuhan batang besi *pile cap*.

Tabel 2. *Utilized Bars*

Diameter	Length (mm)	Quantity
D10	12000	5
D16	12000	46

Pada tabel 2 di atas merupakan total kebutuhan batang besi panjang standar 12 meter setiap diameter. Untuk diameter D10 membutuhkan jumlah batang sebanyak 5 batang, sedangkan D16 membutuhkan jumlah batang sebanyak 46 batang. Kemudian dari total kebutuhan batang besi tersebut didapatkan jumlah dan panjang sisa batang besi yang tidak bisa digunakan kembali (*disposed scrap*) dan sisa batang besi yang masih dapat digunakan (*reused waste*) untuk elemen struktur lainnya. Berikut adalah hasil tabel *disposed scrap* dan *reused waste*.

Tabel 3. *Disposed Scrap*

Diameter	Length (mm)	Quantity
D16	125	1
D16	175	2
D16	225	1

Tabel 4. *Reused Waste*

Diameter	Length (mm)	Quantity
D10	550	3
D10	1300	1
D10	9325	1
D16	725	8
D16	3850	1

Pada tabel 3. *disposed scrap* didapatkan hasil panjang dan jumlah sisa batang besi yang tidak dapat digunakan kembali dengan batasan panjang minimum $\leq 500\text{mm}$. Sedangkan pada tabel 4. *reused waste* didapatkan hasil panjang dan jumlah sisa batang besi yang masih dapat digunakan untuk elemen struktur lainnya dengan panjang $> 500\text{ mm}$.

Pada penelitian ini nilai *waste* besi *pile cap* yang digunakan adalah berdasarkan dari data sisa batang besi yang sudah tidak dapat digunakan kembali (*disposed scrap*). Data *waste* tersebut kemudian akan dihitung total berat *waste*-nya dengan mengalikan panjang besi dengan berat besi per meter yang mengacu pada SNI 2052:2017. Hasil perhitungan total berat *waste* besi *pile cap* lantai GWT dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 5. Total Berat *Waste* Besi *Pile Cap*

Diameter	Panjang (mm)	Jumlah	Total Panjang (m)	Berat Besi (kg/m)	Total Berat (kg)
D16	125	1	1,25	1,578	1,97
D16	175	2	3,50	1,578	5,52
D16	225	1	2,25	1,578	3,55
TOTAL					11,05

Berdasarkan hasil perhitungan total berat *waste* besi *pile cap* didapatkan berat *waste* sebesar 11,05 kg. Kemudian hasil berat *waste* tersebut dibandingkan dengan berat *waste* besi berdasarkan data proyek Sekolah Noah.

Perbandingan *Waste Besi Proyek* dengan Hasil Optimasi BIM dan SCOP

Dari hasil analisis, dapat diketahui nilai *waste besi pile cap* dari data proyek dengan *waste besi* dari BIM dan SCOP. Untuk mengetahui apakah terjadi penurunan *waste besi* dari kondisi awal di proyek dengan *waste besi* hasil optimasi BIM dan SCOP, dapat dilakukan perbandingan selisih menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Selisih} = \text{Data Proyek} - \text{Optimasi BIM dan SCOP}$$

Hasil perbandingan selisih berat kebutuhan dan *waste besi pile cap* lantai GWT berdasarkan data proyek dengan optimasi BIM dan SCOP dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 6. Perbandingan Berat Kebutuhan dan *Waste Besi Pile Cap*

Diameter	Data Proyek		BIM dan SCOP		Selisih	
	Kebutuhan Besi (kg)	<i>Waste</i> Besi (kg)	Kebutuhan Besi (kg)	<i>Waste</i> Besi (kg)	Kebutuhan Besi (kg)	<i>Waste</i> Besi (kg)
D10	37,03	11,98	29,46	0	7,57	11,98
D16	1261,48	64,58	854,71	11,05	406,77	53,53
TOTAL	1298,51	76,56	884,17	11,05	414,34	65,51

Berdasarkan hasil perbandingan berat kebutuhan besi dan berat *waste besi pile cap* antara data proyek dengan optimasi BBS berbasis BIM, diperoleh selisih berat kebutuhan besi D10 sebesar 7,57 kg, dan D16 sebesar 406,77 kg dengan total selisih berat kebutuhan besi *pile cap* sebesar 414,34 kg. Sedangkan selisih berat *waste besi* D10 sebesar 11,98 kg, dan D16 sebesar 53,53 kg, dengan total selisih berat *waste besi pile cap* sebesar 65,51 kg. Adanya selisih perbedaan antara kebutuhan besi dari data proyek dengan kebutuhan besi dari BBS berbasis BIM disebabkan oleh perbedaan metode perhitungan, kesalahan perhitungan secara manual (*human error*), serta perhitungan pendetailan tulangan yang menggunakan persamaan umum (Aditya et al., 2024). Selain itu pihak proyek juga tidak melakukan optimasi penggunaan besi tulangan dengan memaksimalkan batang besi 12 meter, sehingga menyebabkan terjadinya *waste besi* yang berlebih.

Perhitungan *Waste Level*

Perhitungan *persentase waste level* berdasarkan data proyek dengan optimasi SCOP dapat dihitung menggunakan rumus (Yohanesio et al., 2025).

$$\text{Waste Level} = \frac{\text{Berat Waste}}{\text{Berat Kebutuhan}} \times 100\%$$

Hasil perhitungan *waste level* besi *pile cap* lantai GWT berdasarkan data proyek dengan *waste* optimasi SCOP dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 7. Perbandingan *Waste level* Besi *Pile Cap*

Metode	Kebutuhan Besi (kg)	<i>Waste</i> Besi (kg)	<i>Waste Level</i> (%)
Data Proyek	1298,51	76,56	5,9
BIM dan SCOP	884,17	11,05	1,2
	Selisih		4,7

Berdasarkan hasil perhitungan *waste level* besi *pile cap* antara data proyek dengan optimasi SCOP, diperoleh hasil *waste level* data proyek sebesar 5,9%, dan *waste level* optimasi SCOP sebesar 1,2%. Sehingga persentase selisih *waste level* sebesar 4,7%. Hal ini menunjukkan bahwa pembuatan BBS berbasis BIM dan optimasi besi tulangan menggunakan SCOP terbukti dapat mengurangi nilai *waste* besi *pile cap*. Hal ini sejalan dengan penelitian Fauziyah dan Christian, (2023) yang menyatakan bahwa penerapan BIM dalam perencanaan konstruksi mempunyai peran yang signifikan terhadap dalam mengurangi *waste* material dan meningkatkan efisiensi penggunaan material.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian optimasi penggunaan tulangan *pile cap* melalui *Bar Bending Schedule* (BBS) berbasis *Building Information Modeling* (BIM) pada proyek pembangunan Sekolah Noah, dapat disimpulkan bahwa penggunaan *software* Autodesk Revit mampu menghasilkan BBS secara otomatis dan terintegrasi dengan model 3D struktur *pile cap* sehingga perhitungan kebutuhan besi menjadi lebih detail dan akurat. Total kebutuhan besi *pile cap* lantai GWT yang diperoleh dari data BBS berbasis BIM adalah sebesar 884,17 kg lebih kecil dibandingkan kebutuhan besi dari data proyek, dengan selisih total kebutuhan besi *pile cap* adalah sebesar 414,34 kg. Selanjutnya, optimasi pemotongan besi menggunakan *software* Cutting Optimization Pro (SCOP) menghasilkan *waste* besi sebesar 11,05 kg dengan *waste level* 1,2%. *Waste* besi optimasi SCOP lebih kecil dibandingkan dengan *waste* besi dari proyek dengan selisih total berat *waste* adalah sebesar 65,51 kg dan *waste level* sebesar 4,7%. Hal ini menunjukan bahwa perencanaan kebutuhan besi berdasarkan BBS berbasis BIM dan optimasi SCOP dapat menurunkan nilai *waste* besi tulangan dari kondisi awal.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah. (2024). *Optimalisasi Waste Besi menggunakan Aplikasi "Cutting Optimization Pro."* Retrieved From: https://insight.brantas-abipraya.co.id/blog/artikel-3/optimalisasi-waste-besi-menggunakan-aplikasi-cutting-optimization-pro-134#blog_content
- Aditya, W., Purwandito, M., & Fauzia, A. (2024). *Penerapan Building Information Modeling (BIM) Pada Bangunan Gedung Bertingkat Menggunakan Tekla Structures*. *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology*, 5(2), 86-94..
- Akbar, I. Y. (2025, December). *Analisis Kebutuhan & Sisa (Waste) Pembesian Kolom pada Proyek Gedung A Kampus Esa Unggul Bekasi Menggunakan Metode Bar Bending Schedule*. In *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil dan Lingkungan (Vol. 4, pp. 91-108)*.
- Alimin, M., Imron, I., & Taulani, M. (2023). *Penerapan Bulding Information Modelling (BIM) Autodesk Revit dalam Pembuatan Bar Bending Schedule (BBS) Pondasi Pile Cap Proyek Apartemen Jkt Living Star-Jakarta Timur*. *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Teknik (JURRITEK)*, 2(2), 21-32.

- Farizi, D. M. Al, & Sutantiningrum, K. H. (2025). *Evaluasi Metode Perhitungan Qto Tulangan Kolom Dengan Tekla Structures Dan Autodesk Revit*. Construction and Material Journal, 7(1).
- Fauziyah, S., & Christian, F. N. (2023). *Implementasi BIM terhadap Upaya Pengurangan Waste Material Konstruksi pada PT. Wijaya Karya Jabodetabek*. Jurnal Proyek Teknik Sipil, 6(1).
- Gantari, F. B., & Ratnaningsih, A. (2026). *Minimalisasi Waste Material Pembesian Pada Pekerjaan Struktur Bawah Jembatan Menggunakan Building Information Modeling (BIM)*. Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil, 16(1), 255-268.
- Kurniawan, D., & Ujianto, M. (2023, May). *Optimasi Perhitungan Kebutuhan Tulangan dan Tulangan Sisa (Waste) Shear Wall menggunakan Software Cutting Optimization Pro pada Proyek Pembangunan Gedung MRT Jakarta*. In *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil UMS* (pp. 610-617)..
- Mahapatni, I. A. P. S., Artana, I. W., Indriani, M. N., & Praptaningsih, N. M. Y. (2024). *Perbandingan waste besi tulangan pelaksanaan proyek konstruksi dengan perhitungan bar bending schedule (studi kasus: proyek pembangunan M&G Villa, Jalan Pantai Berawa, Canggu, Kecamatan Kuta Utara, Kabupaten Badung–Bali)*. PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa, 13(2), 199-203..
- Permana Putra, D., Dwiantoro, E., & Hariza, E. R. (2024). *Evaluasi Waste Material Pada Proyek Konstruksi Menggunakan Metode Pareto Dan Fishbone Diagram (Studi Kasus: Rusun Ponpes Al-Muslimun Bengkulu Tengah)*. Jurnal Penelitian Ipteks, 9(2), 258–267.
- Prasetya, M. A., Rochmah, N., & Triana, M. I. (2023). *Studi Perbandingan Penggunaan Software Tekla dan Konvensional dalam Perhitungan Bar Bending Schedule pada Proyek Kantor Inkasa Kertajaya*. Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri, 3(2), 1058-1078..
- Ratnaningsih, A., Rahma, A. F., & Soetjipto, J. W. (2026). *The Optimasi Penggunaan Besi Tulangan Menggunakan Cutting Optimization Pro pada Proyek Bangunan Gedung*. Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil, 16(1), 36-50.
- Riyanto, M. S. D., & Solikin, M. (2023, May). *Analisis Perbandingan Waste Metode Distribusi dengan Software Cutting Optimization Pro pada Pekerjaan Penulangan Pilecap (Studi Kasus: Proyek XYZ Semarang)*. In *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil UMS* (pp. 74-81).
- Sinipat, L., & Beatrix, M. (2023). *Analisis kebutuhan material besi tulangan pada struktur beton bertulang dengan metode bar bending schedule pada Proyek Pembangunan Sekolah Cita Hati Surabaya*. Jurnal Ilmiah Teknik Dan Manajemen Industri, 3(1), 668-701.

Yohanesio, Uda, S. A. K. A., Meilawaty, O., Waluyo, R., & Dewantoro. (2025). *Optimasi Penggunaan Material Besi Tulangan pada Konstruksi Bangunan Bertingkat dengan Metode Building Information Modeling*. Jurnal Serambi Engineering, 10(3)



Jurnal Deformasi is licensed under
a Creative Commons Attribution-Sharealike 4.0 International License