

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)

*I Gusti Ngurah Eka Partama*¹⁾, *I Gusti Made Sudika*²⁾ dan *Ega Louis Bagus Saputra*³⁾
Email : epartama@gmail.com¹⁾, gustisudika@gmail.com²⁾ dan egalouis8@gmail.com³⁾

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil Universitas Ngurah Rai

ABSTRAK

Pembuatan *bar bending schedule* merupakan salah satu upaya pengendalian sisa material besi tulangan, namun dalam menghitung sisa material secara manual masih kurang maksimal. Dalam rangka untuk mengurangi sisa material, maka diupayakan menggunakan perangkat lunak atau *Software Cutting Optimization Pro* (SCOP) yang menghasilkan luaran berupa pola pemotongan besi tulangan yang paling optimal. Objek penelitian Proyek Pembangunan Villa Stilo dipilih karena pada proses pekerjaan struktur beton terdapat sisa material besi tulangan yang cukup banyak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kebutuhan dan biaya total, persentase *waste* dan biaya sisa besi tulangan. Metode yang digunakan adalah deskriptif analitik, dengan data sekunder yang digunakan berupa gambar kerja dan Rencana Anggaran Biaya (RAB). Kebutuhan besi dihitung menggunakan Metode *Bar Bending Schedule* (MBBS), untuk sisa material dianalisis menggunakan perhitungan manual (konvensional) dan dibandingkan dengan menggunakan SCOP. Hasil analisis didapat bahwa kebutuhan besi tulangan pada Proyek Pembangunan Villa Stilo yaitu, besi Ø8 sebanyak 1.205 batang, besi Ø10 sebanyak 103 batang, besi D10 sebanyak 75 batang, besi D13 sebanyak 882 batang, *wiremesh* M7 sebanyak 21 lembar dan *wiremesh* M10 sebanyak 18 lembar. Dengan biaya total kebutuhan besi sebesar Rp. 225.937.460,00. Persentase *waste* dengan menggunakan metode konvensional sebesar 9,43%, dan dengan SCOP sebesar 4,36%. Biaya sisa besi menggunakan metode konvensional sebesar Rp. 19.937.700, dan dengan SCOP sebesar Rp. 9.693.760,00 atau nominal sisa dengan metode konvensional lebih besar 105,68% dibandingkan menggunakan SCOP.

Kata kunci: Sisa Material, *Bar Bending Schedule*, *Cutting Optimization Pro*, *Waste Cost*

ABSTRACT

Making a bar bending schedule is one of the efforts to control the waste material of reinforcing steel, but in calculating the waste material manually it is still not optimal. In order to reduce the waste material, it is attempted to use software namely Cutting Optimization Pro (SCOP) which produces the output in the form of the most optimal pattern of cutting of reinforcing steel. The research object for the Villa Stilo Development Project was chosen because in the concrete structure work process there was quite a lot of steel material left over. The purpose of this study is to determine the needs and total costs, the percentage of waste and the waste cost of steel reinforcement. The method used is descriptive analytic, with the data used in the form of working drawings and budget plans. The need for steel is calculated using Bar Bending Schedule (BBS) method, for the waste of the material is analyzed using manual calculations (conventional) and compared using SCOP. The results of the analysis showed that the need for reinforcing steel in the Villa Stilo Development Project was 1,205 rods of Ø8 steel, 103 rods of Ø10 steel, 75 rods of D10 steel, 882 rods of D13 steel, 21 sheets of M7 wiremesh and 18 sheets of M10 wiremesh. With a total cost of steel needs of Rp. 225,937,460.00. The percentage of waste generated by using the conventional method is 9.43%, while using SCOP is 4.36%. For waste costs using the conventional method of Rp. 19,937,700, while using SCOP of Rp. 9,693,760.00 or the waste cost using the conventional method is 105.68% bigger than using SCOP.

Keywords: *Waste material, Bar Bending Schedule, Cutting Optimization Pro, Waste Cost*

1. PENDAHULUAN

Dalam pelaksanaan proyek konstruksi akan selalu ditemukan berbagai masalah dan yang umum terjadi adalah sisa material yang tidak terkendali. Permasalahan tersebut akan berdampak pada biaya

proyek, karena material menyumbang 40%-60% dari biaya proyek (Dipohusodo, 1996). Beberapa faktor penyebab sisa material antara lain: perubahan desain, miskordinasi antara staf kantor dan pekerja lapangan, manajemen yang kurang baik dan pemotongan material yang tidak tepat saat pabrikasi (Muka et al., 2020).

Salah satu pekerjaan yang berpotensi menyebabkan sisa material adalah pekerjaan struktur beton, yang meliputi pekerjaan bekisting, pembesian serta pengecoran. Pekerjaan pembesian memiliki resiko sisa material yang cukup tinggi karena menggunakan material besi tulangan yang memiliki nilai biaya tinggi. Mahapatni dan Juliana (2022) dalam penelitiannya pada proyek Pembangunan Gedung SMPN 4 Sukawati, mendapatkan *waste cost* dan *waste level* untuk pekerjaan pembesian masing-masing sebesar Rp. 20.403.359,00 dan 9,3%. Hasil penelitian Nasutama dan Sitompul (2022) pada Proyek Pembangunan Pasar Baru Kabupaten Mandailing Natal mendapatkan *waste level* pada pekerjaan pembesian sebesar 10,92%. Penelitian pada Proyek Gedung di Kabupaten Badung oleh Mas Pertiwi et al. (2019) mendapatkan *waste cost* dan *waste level* masing-masing sebesar Rp. 30.288.236,51 dan 4,16%. Berdasarkan beberapa hasil penelitian di atas menunjukkan material besi memiliki potensi besar menghasilkan *waste cost*, sehingga dalam pelaksanaannya diperlukan perencanaan yang baik.

Pembuatan *bar bending schedule* merupakan salah satu upaya pengendalian sisa material besi tulangan, namun dengan metode tersebut dalam membuat pola potongan tulangan besi masih dirasa kurang optimal karena *waste* yang dihasilkan masih tinggi. Dalam rangka untuk mengurangi sisa material, maka diupayakan menggunakan *Software Cutting Optimization Pro* (SCOP). *Software* ini menghasilkan luaran (*output*) berupa pola pemotongan besi tulangan yang paling optimal.

Penelitian dilakukan pada Proyek Pembangunan Villa Stilo karena di lokasi ditemukan sisa material besi tulangan pada proses pengerjaannya, hal tersebut dapat terjadi karena manajemen material yang dilakukan kurang efisien dan pengendalian sisa material yang tidak maksimal. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kebutuhan dan biaya total, persentase *waste* dan biaya sisa besi tulangan menggunakan metode perhitungan konvensional dan menggunakan SCOP dengan acuan SNI 2847:2019 pada Proyek Pembangunan Villa Stilo, Tibubeneng, Kec. Kuta Utara, Kab. Badung.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Manajemen Material

Dobler et al. (1990) menyatakan manajemen material merupakan perpaduan dari berbagai fungsi untuk melaksanakan manajemen terpadu, dimana prosesnya dimulai sejak tahap perolehan material hingga pengolahan menjadi bahan jadi. Umumnya meliputi tahap pengadaan, penyimpanan, penanganan serta penggunaan material.

2.2 Material Besi Tulangan

Umumnya terdapat dua jenis besi tulangan yang beredar di pasar material, yakni besi dengan penampang polos (BJTP) dan penampang ulir (BJTS). Dalam SNI 2052:2017, besi tulangan atau baja tulangan beton merupakan baja karbon yang berfungsi untuk memikul gaya tarik akibat dari beban luar yang bekerja pada struktur beton.

2.3 Penyaluran Tulangan

Panjang penyaluran (l_d) adalah panjang penanaman tulangan yang diperlukan agar tulangan dapat mengembangkan kuat rencananya (f_y). Panjang penyaluran tulangan dibagi dalam 2 kondisi yaitu pada kondisi tarik dan kondisi tekan. penyaluran tulangan dalam kondisi tarik diatur dalam SNI 2847:2019 Pasal 25.4.2, harus dihitung menggunakan persamaan:

$$l_d = \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'_c}} d_b \quad (1)$$

dimana: l_d = penyaluran tulangan;

f_y = tegangan leleh besi;
 Ψ_t = faktor lokasi tulangan;
 Ψ_e = faktor lapisan beton;
 λ = faktor beton ringan;
 f'_c = mutu beton; dan
 d_b = diameter nominal batang tulangan.

panjang penyaluran pada kondisi tekan (l_{dc}) diatur dalam Pasal 25.4.9, yang diambil dari nilai terbesar antara:

$$l_{dc} = \frac{0,24 f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} d_b \quad (2)$$

$$l_{dc} = 0,43 \cdot f_y \cdot d_b \quad (3)$$

2.4 Sambungan Lewatan

Sambungan lewatan diatur dalam SNI 2847:2019 Pasal 25.5.2, dimana pada kondisi tarik sambungan lewatan dibagi menjadi dua kelas yaitu sambungan kelas A dan kelas B. Adapun besaran sambungan tersebut adalah: sambungan kelas A = $1,0l_d$ dan sambungan kelas B = $1,3l_d$.

2.5 Material Sisa

Sisa material dapat didefinisikan sebagai sisa bahan konstruksi yang tidak dipakai karena terlalu banyak atau rusak, tidak memenuhi syarat dan tidak dipakai sehingga tidak dapat digunakan kembali (Al-Moghany, 2006).

1. Persentase waste

Persentase *waste* dihitung untuk mengetahui volume *waste* dari masing-masing item yang dianalisis. Persentase *waste* dapat dihitung dengan rumus: (Poon et al., 2001)

$$\text{Persentase Waste} = \frac{\text{vol. waste}}{\text{vol. kebutuhan material}} \times 100\% \quad (4)$$

dimana: $\text{vol. waste} = \text{vol. kebutuhan material} - \text{volume material yang digunakan}$.

2. Waste cost

Biaya sisa atau *waste cost* dihitung untuk mengetahui kerugian dari pembelian material yang tidak terpakai dan dapat dihitung dengan metode pendekatan rumus: (Poon et al., 2001)

$$\text{Waste Cost} = \text{persentase waste} \times \text{harga satuan} \quad (5)$$

dimana: $\text{harga satuan} = \text{harga per satuan batang atau berat material yang ditinjau}$.

2.6 Cutting Optimization Pro

Software ini berfungsi untuk mengoptimalkan material berdasarkan ukuran yang diinginkan dengan ukuran material yang tersedia, untuk pengolahan data masukan (*input*) berupa angka ukuran, jenis material dan label penamaan material dengan hasil luaran (*output*) berupa grafik 2D optimasi pola pemotongan material, data kebutuhan jumlah batang besi yang dibutuhkan dan sisa besi yang tidak bisa digunakan.

3. METODE PENELITIAN

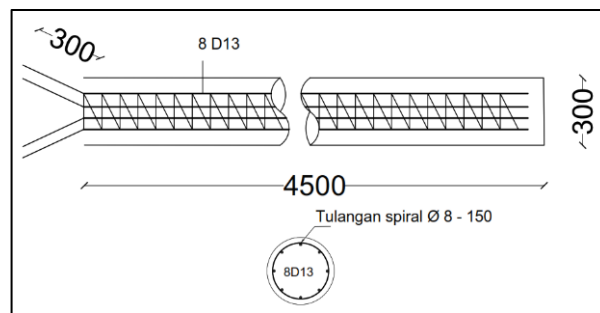
Metode deskriptif analitik dengan perbandingan digunakan sebagai metode penelitian ini, dimana permasalahan yang terjadi pada objek penelitian dianalisis kemudian dibandingkan dengan analisis lainnya. Pengumpulan sumber data berupa data sekunder yakni: gambar kerja dan Rencana

Anggaran Biaya (RAB) pada Proyek Pembangunan Villa Stilo, dengan waktu pelaksanaan penelitian dari bulan November 2022 hingga Agustus 2023. Penelitian ini meninjau pekerjaan struktur beton pada objek penelitian dengan membuat BBS, lalu sisa material dianalisis dengan perhitungan manual (konvensional) dan dibandingkan dengan menggunakan SCOP. Persentase *waste* dan *waste cost* dari kedua metode selanjutnya dibandingkan hingga mendapatkan kesimpulan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Contoh Perhitungan Kebutuhan Besi Tulangan

Perhitungan dilakukan untuk mengetahui kebutuhan besi yang akan digunakan, sebagai contoh akan disajikan perhitungan kebutuhan besi tulangan pada pekerjaan *borepile*. Langkah pertama untuk menghitung kebutuhan besi tulangan pada *borepile* adalah dengan mengidentifikasi tulangan berdasarkan gambar kerja, Gambar 1. dan Tabel 1. akan menyajikan detail tulangan *borepile* pada Proyek Pembangunan Villa Stilo.



Gambar 1. Detail tulangan *borepile*

Tabel 1. Detail tulangan *borepile*

Dia (cm)	Tulangan Sengkang	Tulangan Utama
30	Ø8-150	8D13

Sumber: Gambar kerja, 2022

Setelah mengetahui jenis dan dimensi tulangan pada *borepile*, selanjutnya dilakukan analisa ukuran potongan untuk tiap jenis tulangan berdasarkan beberapa syarat ketentuan sebagai berikut:

- Panjang tulangan spiral dihitung dengan rumus:

$$L = \sqrt{\left(\left(\pi \cdot \frac{h}{h_1} \cdot D\right)^2\right) + h^2} \quad (6)$$

dimana: L = panjang tulangan spiral;

π = 3,14 atau 22/7;

D = diameter sengkang;

h1 = jarak antar sengkang;

h = tinggi / panjang *borepile*.

- Panjang sambungan lewatan dapat dihitung menggunakan Rumus (1) dengan panjang minimal 300 mm tanpa menggunakan kait.

Kemudian pola tulangan digambar menggunakan *AutoCAD* 2016 mengikuti as gambar kerja dan dimasukkan ke dalam BBS bersama dengan dimensi dan tipe potongan besi tulangan. Di bawah ini akan disajikan contoh perhitungan kebutuhan besi tulangan sengkang spiral *borepile* 300 mm dengan diameter Ø8 mm, selimut beton 70 mm dan jarak tulangan 150 mm.

$$\text{Sambungan lewatan} = l_d = \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'_c}} d_b = \frac{240 \cdot 1 \cdot 1}{2,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{20,75}} d_b = 25,1 d_b$$

$$= 200 \text{ mm} \sim \text{digunakan } 300 \text{ mm}$$

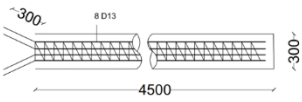
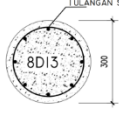
$$\text{Diameter sengkang} = 300 - 70 - 70 = 160 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang tulangan} = \sqrt{\left(\left(\pi \cdot \frac{h}{h_1} \cdot D\right)^2\right) + h^2} = \sqrt{\left(\left(3,14 \cdot \frac{4,43}{0,15} \cdot 0,16\right)^2\right) + 4,43^2}$$

$$= 15,48 \text{ m}$$

Penggunaan material untuk tulangan sengkang spiral adalah 1 lonjor utuh 12 m (termasuk sambungan 0,3 m) dan 1 batang 3,78 m. Untuk kebutuhan 51 titik *borepile* maka diperlukan 51 lonjor tulang utuh dan 17 lonjor tulangan yang dipotong sebanyak 3 batang sepanjang 3,78 m. Pada Tabel 2 akan disajikan *Bar Bending Schedule* untuk pondasi *borepile*.

Tabel 2. *Bar bending schedule borepile*

Kode Tulangan	Dimensi	Qty (unit)	Pemotongan			Berat Besi	Pemakaian Bahan					
			Jumlah panjang (m)	Jumlah potongan	Diameter (mm)		Sumber Bahan	Panjang Bahan (m)	Potongan Bahan (m)	Jumlah Bahan	Berat Total (kg)	
1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
	Tulangan Utama											
BP-1		51	4,73	4,73	408	13	1,04	Potongan Baru	12	2	204	2.007,03
	Tulangan Spiral											
		51	12	12	51	8	0,39	Potongan Baru	12	1	51	238,68
		51	3,78	3,78	51	8	0,39	Potongan Baru	12	3	17	75,28
BP-2												
			Panjang Tulangan 15,48 m									
			$L = \sqrt{\left(\left(\pi \cdot \frac{h}{h_1} \cdot D\right)^2\right) + h^2}$									
			panjang sambungan nilai minimal l_d 0,30 m									

Sumber: Hasil analisa, 2023

4.2 Optimalisasi Kebutuhan Besi Menggunakan SCOP

Untuk mendapatkan kebutuhan besi yang lebih efisien, dilakukan optimasi menggunakan perangkat lunak cutting optimization pro berdasarkan panjang dan jumlah potongan besi yang akan digunakan. Berikut akan disajikan contoh hasil optimalisasi kebutuhan besi Ø8 mm pada Gambar 2 dan Tabel 3.

Length	Material	Quantity	Label	Waste	Graphic: 1D
12	Ø8	4		0	2,486 SL3-31, 2,396 SL3-24, 2,396 SL3-24, 2,396 SL3-24, 2,326 SL2-34
12	Ø8	1		0	3,936 SL3-B1, 2,396 SL3-24, 1,901 SL2-C3, 1,901 SL2-C3, 1,866 SL2-11
12	Ø8	3		0	3,936 SL3-B1, 2,486 SL3-31, 1,901 SL2-C3, 1,901 SL2-C3, 1,776 SL2-C2
12	Ø8	3		0	4,716 SL2-42, 1,866 SL2-11, 1,866 SL2-11, 1,776 SL2-C2, 1,776 SL2-C2
12	Ø8	10		0	4,716 SL2-42, 2,346 SL2-32, 1,711 SL3-32, 1,711 SL3-32, 1,516 SL2-E4
12	Ø8	2		0	3,936 SL3-B1, 2,346 SL2-32, 2,326 SL2-34, 1,886 SL3-B2, 1,506 SL3-C1
12	Ø8	8		0	5,231 SL2-41, 1,776 SL2-C2, 1,776 SL2-C2, 1,711 SL3-32, 1,506 SL3-C1
12	Ø8	10		0	5,106 SL3-52, 1,886 SL3-B2, 1,776 SL2-C2, 1,776 SL2-C2, 1,456 SL3-C2
12	Ø8	10		0	5,081 SL2-51, 1,886 SL3-B2, 1,886 SL3-B2, 1,711 SL3-32, 1,436 SL2-E2

Gambar 2. Hasil optimalisasi kebutuhan besi Ø8 mm pada SCOP

Tabel 3. Statistik penggunaan dan sisa material besi Ø8 pada SCOP

Parameter	Value
Total used length	13730,1 m / 5354,73 kg
All reused waste	7,436 m / 2,90004 kg
All discarded scrap	122,497 m / 47,7738 kg
Size of used bars	13860 m / 1155 pcs
Total used length (%)	99,06 %

Sumber: Analisa menggunakan SCOP, 2023

4.3 Rekapitulasi Kebutuhan dan Persentase Waste Besi

Berdasarkan seluruh tahapan perhitungan BBS pekerjaan struktur penulangan, berikut merupakan rekapitulasi kebutuhan besi pada Proyek Pembangunan Villa Stilo yang disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi kebutuhan tiap jenis besi

Item Pekerjaan	Material Tulangan											
	Ø8		Ø10		D10		D13		M7		M10	
	Jumlah Lonjor (pcs)	Jumlah Berat (Kg)	Jumlah Lonjor (pcs)	Jumlah Berat (Kg)	Jumlah Lonjor (pcs)	Jumlah Berat (Kg)	Jumlah Lonjor (pcs)	Jumlah Berat (Kg)	Jumlah Lembar (pcs)	Jumlah Berat (Kg)	Jumlah Lembar (pcs)	Jumlah Berat (Kg)
Borepile	68	318,24	-	-	-	-	204	2.545,92	-	-	-	-
Pilecap	-	-	-	-	55	409,20	35	436,80	-	-	-	-
Sloof	188	879,84	-	-	-	-	89	1.110,72	-	-	-	-
Plat Lt 1	-	-	-	-	-	-	-	-	21	1.051,34	-	-
Kolom Lt 1	61	285,48	-	-	-	-	151	1.884,48	-	-	-	-
Balok Lt 2	172	804,96	74	550,56	-	-	158	1.971,84	-	-	-	-
Plat Lt 2	373	1.745,64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kolom Lt 2	46	215,28	-	-	-	-	38	474,24	-	-	-	-
Ring Balok	127	594,36	-	-	-	-	123	1.535,04	-	-	-	-
Plat Atap	142	664,56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Struktur Tangga	-	-	29	215,76	-	-	37	461,76	-	-	-	-
Pilecap Kolam	-	-	-	-	20	148,80	20	249,60	-	-	-	-
Sloof Kolam	28	131,04	-	-	-	-	27	336,96	-	-	-	-
Lantai & Dinding Kol	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	1.839,02
Total	1.205	5.639,40	103	766,32	75	558,00	882	11.007,36	21	1.051,34	18	1.839,02

Sumber: Hasil analisa, 2023

Berdasarkan hasil analisa yang tertera pada Tabel 4, didapat kebutuhan besi Ø8 sebanyak 1.205 batang, besi Ø10 sebanyak 103 batang, besi D10 sebanyak 75 batang, besi D13 sebanyak 882 batang, *wiremesh* M7 sebanyak 21 lembar dan *wiremesh* M10 sebanyak 18 lembar. Selanjutnya rekapitulasi persentase *waste* besi disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Rekapitulasi persentase waste

Material Tulangan	Jumlah Bahan (pcs)	Jumlah Berat (Kg)	Berat Digunakan (Kg)	Berat Sisa (Kg)	Persentase Waste (%)
Metode Konvensional					
Ø8	1.205	5.639,40	5.354,72	284,68	5,32%
Ø10	103	766,32	713,06	53,26	7,47%
D10	75	558,00	535,16	37,72	7,05%
D13	882	11.007,36	9.998,57	1.008,79	10,09%
M7	21	1.051,34	877,48	173,87	19,81%
M10	18	1.839,02	1.598,08	240,95	15,08%
Total		20.861,45	19.077,07	1.799,26	9,43%
Cutting Optimization Pro					
Ø8	1.155	5.405,40	5.354,72	50,68	0,95%
Ø10	98	729,12	713,06	16,06	2,25%
D10	74	550,56	535,16	15,40	2,88%
D13	832	10.383,36	9.998,57	384,79	3,85%
M7	20	1.001,28	877,48	123,80	14,11%
M10	18	1.839,02	1.598,08	240,95	15,08%
Total		19.908,74	19.077,07	831,68	4,36%

Sumber: Hasil analisa, 2023

Persentase waste total yang dihasilkan dengan menggunakan metode konvensional yakni sebesar 9,43%, sedangkan menggunakan SCOP mengalami penurunan persentase waste dari 9,43% menjadi 4,36%. Penurunan yang terjadi menandakan bahwa penggunaan SCOP lebih efisien dalam mengurangi sisa material dibandingkan menggunakan perhitungan konvensional.

4.4 Biaya Kebutuhan dan Waste Cost Besi

Biaya yang akan dihitung adalah biaya kebutuhan besi tulangan dalam satuan kg dengan harga satuan material, berdasarkan Analisa Harga Satuan (AHS) pada RAB Proyek Pembangunan Villa Stilo. Berikut akan disajikan biaya kebutuhan besi dalam Tabel 6.

Tabel 6. Biaya kebutuhan besi

Material Tulangan	Jumlah Berat (Kg)	Harga Satuan	Jumlah Harga
Metode Konvensional			
Ø8	5.639,40	Rp 10.450,00	Rp 58.931.730,00
Ø10	766,32	Rp 10.450,00	Rp 8.008.044,00
D10	558,00	Rp 10.450,00	Rp 5.831.100,00
D13	11.007,36	Rp 10.450,00	Rp 115.026.912,00
M7	1.051,34	Rp 13.100,00	Rp 13.772.606,40
M10	1.839,02	Rp 13.250,00	Rp 24.367.068,00
Total		Rp	225.937.460,40
Total (dibulatkan)		Rp	225.937.460,00
Cutting Optimization Pro			
Ø8	5.405,40	Rp 10.450,00	Rp 56.486.430,00
Ø10	729,12	Rp 10.450,00	Rp 7.619.304,00
D10	550,56	Rp 10.450,00	Rp 5.753.352,00
D13	10.383,36	Rp 10.450,00	Rp 108.506.112,00
M7	1.001,28	Rp 13.100,00	Rp 13.116.768,00
M10	1.839,02	Rp 13.250,00	Rp 24.367.068,00
Total		Rp	215.849.034,00
Total (dibulatkan)		Rp	215.849.030,00

Sumber: Hasil analisa, 2023

Hasil analisa dalam Tabel 6, untuk biaya kebutuhan besi berdasarkan perhitungan BBS dengan menggunakan metode konvensional didapat biaya total sebesar Rp. 225.937.460,00 (Dua Ratus Dua Puluh Lima Juta Sembilan Ratus Tiga Puluh Tujuh Ribu Empat Ratus Enam Puluh rupiah), sedangkan biaya total yang didapat menggunakan SCOP sebesar Rp. 215.849.030,00 (Dua Ratus Lima Belas Juta Delapan Ratus Empat Puluh Sembilan Ribu Tiga Puluh Rupiah). Selanjutnya biaya sisa atau waste cost besi akan disajikan dalam Tabel 7.

Tabel 7. Waste cost besi

Material Tulangan	Jumlah Berat (Kg)	Harga Satuan	Jumlah Harga	
Metode Konvensional				
Ø8	284,68	Rp 10.450,00	Rp	2.974.895,55
Ø10	53,26	Rp 10.450,00	Rp	556.608,80
D10	37,72	Rp 10.450,00	Rp	394.153,10
D13	1.008,79	Rp 10.450,00	Rp	10.541.836,69
M7	173,87	Rp 13.100,00	Rp	2.277.672,11
M10	240,95	Rp 13.250,00	Rp	3.192.537,15
Total			Rp	19.937.703,40
Total (dibulatkan)			Rp	19.937.700,00
Cutting Optimization Pro				
Ø8	50,68	Rp 10.450,00	Rp	529.592,50
Ø10	16,06	Rp 10.450,00	Rp	167.870,89
D10	15,40	Rp 10.450,00	Rp	160.905,97
D13	384,79	Rp 10.450,00	Rp	4.021.029,58
M7	123,80	Rp 13.100,00	Rp	1.621.833,71
M10	240,95	Rp 13.250,00	Rp	3.192.537,15
Total			Rp	9.693.769,80
Total (dibulatkan)			Rp	9.693.760,00

Sumber: Hasil analisa, 2023

Hasil analisa dalam Tabel 7, untuk *waste cost* besi berdasarkan perhitungan BBS dengan menggunakan metode konvensional didapat biaya sisa total sebesar Rp. 19.937.700 (Sembilan Belas Juta Sembilan Ratus Tiga Puluh Tujuh Ribu Tujuh Ratus Rupiah), sedangkan biaya total yang didapat menggunakan SCOP sebesar Rp. 9.693.760,00 (Sembilan Juta Enam Ratus Sembilan Puluh Tiga Ribu Tujuh Ratus Enam Puluh Rupiah).

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa dan pembahasan yang telah dilakukan maka penelitian ini dapat menyimpulkan:

1. Kebutuhan besi tulangan untuk pekerjaan struktur pada Proyek Pembangunan Villa Stilo yaitu, besi Ø8 sebanyak 1.205 batang, besi Ø10 sebanyak 103 batang, besi D10 sebanyak 75 batang, besi D13 sebanyak 882 batang, *wiremesh* M7 sebanyak 21 lembar dan *wiremesh* M10 sebanyak 18 lembar. Dengan biaya total kebutuhan besi sebesar Rp. 225.937.460,00 (Dua Ratus Dua Puluh Lima Juta Sembilan Ratus Tiga Puluh Tujuh Ribu Empat Ratus Enam Puluh rupiah).
2. Persentase sisa (*waste*) besi tulangan pekerjaan struktur pada Proyek Pembangunan Villa Stilo dengan menggunakan metode konvensional sebesar 9,43%, sedangkan dengan menggunakan SCOP sebesar 4,36%.
3. Biaya sisa (*waste cost*) besi tulangan pekerjaan struktur pada Proyek Pembangunan Villa Stilo dengan menggunakan metode konvensional sebesar Rp. 19.937.700,00 (Sembilan Belas Juta Sembilan Ratus Tiga Puluh Tujuh Ribu Tujuh Ratus Rupiah), sedangkan biaya sisa yang didapat menggunakan SCOP sebesar Rp. 9.693.760,00 (Sembilan Juta Enam Ratus Sembilan Puluh Tiga Ribu Tujuh Ratus Enam Puluh Rupiah).

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Moghany, S. S. (2006). *Managing and Minimizing Construction Waste In Gaza Strip* (Vol. 3, Issue 2). The Islamic University of Gaza.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung* (SNI 2847:2019). www.bsn.go.id
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *Baja Tulangan Beton* (SNI 2052:2017). www.bsn.go.id
- Dipohusodo, I. (1996). *Manajemen Proyek dan Konstruksi* Jilid 2. Kanisius.
- Dobler, D. W., Burt, D. N., & Lee, L. Jr. (1990). *Purchasing and Materials Management*. Mc.Graw Hill-Book Company.

- Mahapatni I. A. Putu Sri, & Juliana I Kadek Iwan. (2022). Analisis Waste Level dan Waste Cost Bekisting dan Pembesian pada Pekerjaan Struktur Proyek Konstruksi (Studi Kasus: Pembangunan Gedung SMPN 4 Sukawati). *WIDYA TEKNIK*, 17(1), 74–82.
- Mas Pertiwi, I., Surya Herlambang, F., & Sri Kristinayanti, W. (2019). Analisis Waste Material Konstruksi Pada Proyek Gedung (Studi Kasus Pada Proyek Gedung di Kabupaten Badung). *JURNAL SIMETRIK*, 9(1), 185–190.
- Muka, W., Widyatmika, A., Made, I., & Antara, N. (2020). Analisis Perbandingan Waste Besi Tulangan Metode Konvensional dengan Software Cutting Optimazation Pro. *JURNAL TEKNIKA*, 15(2), 41–49.
- Nasautama, S. S., & Sitompul, M. (2022). Analisis Kebutuhan Tulangan dan Tulangan Sisa (Waste) Pekerjaan Struktur Kolom, Balok dan Pelat Lantai Proyek Pembangunan Pasar Baru Mandailing Natal. *PORTAL : Jurnal Teknik Sipil*, 14(2), 75–82.
- Poon, C. S., Yu, A. T. W., & Ng, L. H. (2001). On-site sorting of construction and demolition waste in Hong Kong. *Resources, Conservation and Recycling*, 32(2), 157–172. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(01\)00052-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0921-3449(01)00052-0)