

Studi Perhitungan Kebutuhan dan Pemanfaatan Sisa Tulangan Kolom dalam Konstruksi Gedung dengan *Cutting Optimization Pro* (COP)

Needs and Utilization Calculation Study Residual Column Reinforcement in Building Construction with Cutting Optimization Pro (COP)

Sari Utama Dewi^{1*}, Elang Suryamandala²

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sang Bumi Ruwa Jurai, Lampung, Indonesia

*Email: saridewi.dewi1981@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kebutuhan tulangan dan sisa material (*waste*) dalam proyek konstruksi, khususnya pada pembangunan Gedung Pusat Latihan Kampus Labuhan Ratu UIN Raden Intan Lampung. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah perbandingan antara metode konvensional dan Aplikasi *Cutting Optimization Pro* (COP) untuk menghitung *waste* material. Data yang digunakan mencakup gambar kerja, detail penulangan kolom, dan data lapangan yang diperoleh dari supervisor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan metode konvensional menghasilkan *waste level* sebesar 19 persen dengan *waste cost* mencapai Rp. 22.197.928. Sedangkan penggunaan Aplikasi *Cutting Optimization Pro* (COP) berhasil menurunkan *waste* menjadi 7,72 persen, yang berarti penghematan sebesar 11,28 persen dalam penggunaan material. Penelitian ini menekankan pentingnya penggunaan teknologi dalam pengelolaan material untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi biaya dalam proyek konstruksi. Saran untuk penelitian selanjutnya mencakup analisis lebih mendalam pada struktur lain dan penggunaan metode yang lebih detail untuk perhitungan yang lebih optimal.

Kata Kunci: *Cutting Optimization Pro*; Kolom; Tulangan; Waste Material

Abstract

This research aims to analyze the need for reinforcement and waste in construction projects, especially in the construction of the Labuhan Ratu Campus Training Center Building of UIN Raden Intan Lampung. The method used in this research is a comparison between conventional methods and Cutting Optimization Pro (COP) application to calculate material waste. The data used includes working drawings, column reinforcement details, and field data obtained from the supervisor. The results showed that the use of conventional methods resulted in a waste level of 19 percent with a waste cost of Rp. 22,197,928, while the use of Cutting Optimization Pro (COP) Application succeeded in reducing waste to 7.72 percent, which means savings of 11.28 percent in material use. This research emphasizes the importance of using technology in material management to improve efficiency and reduce costs in construction projects. Suggestions for future research include more in-depth analysis on other structures and the use of more detailed methods for more optimized calculations

Keywords: *Cutting Optimization Pro*; Column; Reinforcement; Waste Material

PENDAHULUAN

Menghitung kebutuhan material untuk

setiap pekerjaan pada suatu proyek sangat penting untuk memperkirakan biaya dan waktu yang diperlukan untuk merencanakan

pekerjaan [1–2]. Perhitungan ini memverifikasi jumlah bahan yang dibutuhkan untuk setiap item pekerjaan dan memastikan bahwa permintaan yang direncanakan untuk setiap item pekerjaan yang dilakukan terpenuhi atau diisi ulang sebelum pekerjaan dilakukan atau dimulai di lokasi [3].

Menghitung kebutuhan material merupakan pemeriksaan yang sangat penting untuk menentukan kebutuhan biaya yang diperlukan dalam suatu pekerjaan. Hal ini berdampak signifikan terhadap efisiensi biaya dan waktu dalam melaksanakan pekerjaan proyek. Menghitung kebutuhan material akan memberi tahu jenis material apa yang dibutuhkan dan berapa harga material tersebut [4]. Hal ini memungkinkan kami memperkirakan biaya yang diperlukan untuk setiap proyek hingga menentukan harga kontrak pekerjaan yang ditawarkan kepada pemilik. Material merupakan salah satu komponen kunci yang mempunyai dampak besar terhadap biaya suatu proyek. Oleh karena itu, jika bahan bangunan yang tersisa masih banyak, maka sektor penyaluran kredit dipastikan akan melonjak [5].

Dalam melaksanakan pekerjaan proyek pasti akan dijumpai sisa-sisa bahan bekas yang sering disebut dengan *Waste*. Material sisa ini dapat diartikan sebagai akibat dari penggunaan material yang digunakan dalam pekerjaan suatu proyek konstruksi [6]. Selain itu, bahan bangunan sisa adalah barang-barang, baik hasil pekerjaan maupun bahan bangunan, yang tertinggal, tercecer, atau rusak sehingga tidak dapat digunakan lagi, tergantung fungsinya, dan melebihi nilai yang ditentukan [7]. Dari nilai indeks kebutuhan tulangan pada analisa pekerjaan beton, SNI-7394-2008- HSP-Beton telah menetapkan perkiraan nilai sisa (*waste*) besi tulangan sebesar 5%-20% [7].

Perhitungan persen sisa tulangan pada kolom yang ada di Proyek Optimalisasi

Gedung Pusat Latihan Kampus Labuhan Ratu UIN Raden Intan Lampung merupakan suatu cara ataupun alternatif perhitungan yang digunakan untuk menghitung persen sisa bahan yang telah dipakai dengan cara yang sistematis dan terstruktur melalui aplikasi yang digunakan berupa aplikasi *Cutting Optimization Pro* (COP).

Jika ditinjau dari segi fungsional dan sistem yang ada, perhitungan persen sisa ini sangat berpengaruh ke berbagai aspek dalam kelangsungan proyek, karena dapat dilihat bahwa tingginya nilai sisa (*waste*) besi tulangan dari bar bending schedule. Kemudian jika menggunakan cara konvensional ataupun manual maka akan membutuhkan waktu yang cukup lama dan mempunyai kemungkinan kesalahan yang cukup tinggi pada sistem pengendalian yang dilakukan [8]. Selain itu itu Perhitungan persen sisa tersebut dilakukan karena adanya pola potongan yang tidak optimal maupun tidak tepat sasaran di fabrikasi, kemudian adanya perbedaan antara biaya anggaran dan biaya pelaksanaan sehingga dengan adanya nilai persen sisa yang diperoleh dari *Waste Cutting List* akan memudahkan untuk menghitung kebutuhan biaya bahan awal dengan biaya bahan yang sisa.

Dalam hal pengendalian sisa material kerap kali suatu proyek abai terhadap sisa material oleh karena tidak adanya perhitungan yang pasti terhadap persen sisa bahan yang telah digunakan, sehingga dengan adanya perhitungan persen sisa maka terdapat angka persen yang jelas terhadap persen sisa bahan yang telah digunakan [9]. Selain itu, sisa bahan sangat berpengaruh kepada pembiayaan karena nilai *waste* besi tulangan yang besar menjadi hidden cost dalam suatu proyek.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kebutuhan tulangan dan sisa material (*waste*) dalam proyek konstruksi, khususnya pada pembangunan Gedung Pusat Latihan Kampus Labuhan Ratu UIN Raden Intan

Lampung.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi Penelitian ini dilakukan pada

kegiatan pembangunan Optimalisasi Gedung Pusat Latihan Kampus Labuhan Ratu UIN Raden Intan Lampung Tahun 2023 berlokasi di bagian belakang Gedung Akademik Pascasarjana UIN Raden Intan Lampung Jalan Palapa No. 4 Labuhan Ratu Kota Bandar Lampung.



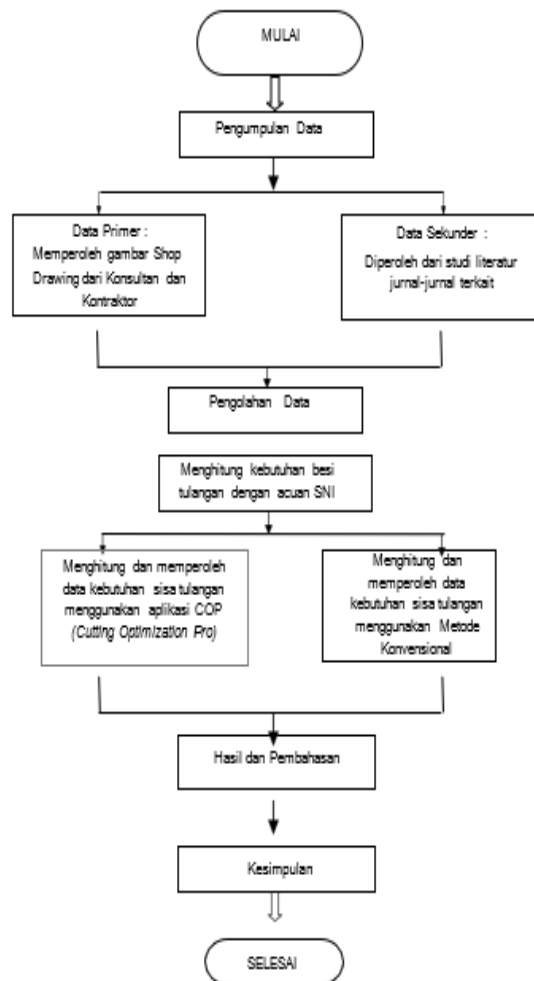
Gambar 1. Lokasi Penelitian

Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Pengumpulan Data Primer memperoleh Gambar kerja (*Shop Drawing*) dari konsultan perencanaan.
- b. Pengumpulan Data Sekunder diperoleh dari studi literature jurnal-jurnal terkait.
- c. Menghitung berat besi tulangan dengan acuan SNI.
- d. Menghitung optimasi Tulangan sisa

- (*Waste*) dengan menggunakan Aplikasi *Cutting Optimization Pro* (COP)
- e. Menghitung sisa menggunakan *microsoft excel* dengan menggunakan data kebutuhan sisa dan data-data kebutuhan tulangan.
- f. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung menurut SNI 2847:2013, Tata Cara Perhitungan Berat Besi berpedoman pada SNI 2052:2017



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang dibutuhkan untuk perhitungan menggunakan aplikasi *Cutting Optimization Pro* (COP) dan Metode Konvensional adalah data- data yang diambil dari Proyek Optimalisasi Gedung Pusat Latihan Kampus Labuhan Ratu UIN

Raden Intan Lampung berupa:

- Shop Drawing* Denah Kolom
- Shop Drawing* struktur detail Kolom
- Data Kebutuhan PO Besi pada tulangan
- Data Lapangan pekerjaan kolom oleh supervisor pembesian

Gambar 3. Denah Kolom

Gambar 4. Detail Kolom

Perhitungan Kebutuhan Tulangan Pokok (TP) Yang Tersedia K 1 (400X600)

Tulangan Pokok yang digunakan Besi D19 mm

P Tulangan = 4,15 meter

Jumlah = 4 buah

Tulangan

$$\begin{aligned} P_{\text{Total}} &= P_{\text{Tulangan}} \times \text{jumlah} \\ &\quad \text{Tulangan} \times \text{jumlah} \\ &\quad \text{kolom} \\ &= 4,15 \times 4 \times 42 \\ &= 697,2 \text{ m} \end{aligned}$$

Sisa Tulangan Pokok Besi D19 mm

P Sisa = 3,7 meter
Tulangan

Jumlah = 2 buah

Tulangan

$$\begin{aligned} P_{\text{Total}} &= P_{\text{Sisa Tulangan}} \times \\ &\quad \text{jumlah Tulangan} \times \\ &\quad \text{jumlah kolom} \\ &= 3,7 \times 2 \times 42 \\ &= 310,8 \text{ m} \end{aligned}$$

*Total Kebutuhan Tulangan Pokok Besi D19
mm*

$$\begin{aligned} \text{P Total} &= \text{P besi digunakan} + \text{P} \\ &\quad \text{sis besi} \\ &= 697,2 + 310,8 \\ &= 1.008 \text{ m} \end{aligned}$$

Tulangan Tengah Besi D16 mm

$$\begin{aligned} \text{P Tulangan} &= 4,15 \text{ meter} \\ \text{Jumlah} &= 10 \text{ buah} \\ \text{Tulangan} & \\ \text{P Total} &= \text{P Tulangan} \times \text{jumlah} \\ &\quad \text{Tulangan} \times \text{jumlah} \\ &\quad \text{kolom} \\ &= 4,15 \times 10 \times 42 \\ &= 11.743 \text{ m} \end{aligned}$$

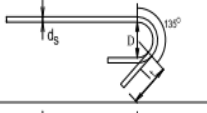
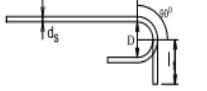
Sisa Tulangan Tengah Besi D16 mm

$$\begin{aligned} \text{P Sisa} &= 3,7 \text{ meter} \\ \text{Tulangan} & \\ \text{Jumlah} &= 2 \text{ buah} \\ \text{Tulangan} & \\ \text{P Total} &= \text{P Sisa Tulangan} \times \\ &\quad \text{jumlah Tulangan} \times \\ &\quad \text{jumlah kolom} \\ &= 3,7 \times 2 \times 42 \\ &= 310,8 \text{ m} \end{aligned}$$

Total Kebutuhan Tulangan Tengah Besi D16 mm

$$\begin{aligned} \text{P Total} &= \text{P besi digunakan} + \text{P} \\ &\quad \text{sisa besi} \\ &= 1.743 + 310,8 \\ &= 2.053,8 \text{ m} \end{aligned}$$

Perhitungan Tulangan Sengkang (TS) (400X600)

KAIT STANDARD UNTUK SENGKANG DAN KAIT PENGIKAT (STANDARD HOOKS FOR LIGATURES AND TIE HOOKS)				
KAIT (HOOK)	ILUSTRASI (SHAPE)	DIAMETER TULANGAN (DIA. OF REINF.) d_b	DIAMETER BENGKOKAN MINIMUM (MIN. BEND DIA.) D	l_t MINIMUM
135°		8 - 16 mm	$4 d_b$	yang terbesar antara (THE LARGER OF) $6 d_b$ atau (OR) 75mm
		19 - 25 mm	$6 d_b$	
90°		8 - 16 mm	$4 d_b$	$8 d_b$ atau (OR) 75mm
		19 - 25 mm	$6 d_b$	$12 d_b$

Gambar 5. Standar Kait Sengkang

$$\begin{aligned} \text{Kolom} & \\ \text{Lebar (l)} &= 0,40 \text{ m} \\ \text{Selimut beton} &= 0,03 \text{ m} \\ \text{Tinggi (t)} &= 0,60 \text{ m} \\ \text{P (Sengkang)} &= [(2 \times l \text{ Kolom}) + (2 \\ &\quad \times t \text{ Kolom}) + (2 \times \\ &\quad 6db/75mm) - (4 \times \\ &\quad t.\text{selimut beton}) \times \\ &\quad (\text{jumlah kolom})] \\ &= [(0,8) + (1,2) + \\ &\quad (0,16) - (0,012) \times \\ &\quad (42)] \\ &= 90,21 \text{ m} \end{aligned}$$

Tulangan Sengkang Tumpuan (TST)

$$\begin{aligned} \text{Jarak} &= 0,150 \text{ m} \\ \text{Sengkang (S)} & \\ \text{Jumlah} &= \frac{1}{4} P \text{ Kolom} + 1 \\ \text{Sengkang} &= \frac{S \text{ Sengkang}}{0,150} \\ &= 5 \text{ buah} \\ \text{P Total} &= \text{P Sengkang} \times \\ &\quad \text{Jumlah Sengkang} \times \\ &\quad 2 \text{ (kanan kiri)} \\ &\quad 1,88 \times 5 \times 2 \\ &\quad 18,8 \text{ m} \end{aligned}$$

Tulangan Sengkang Lapangan (TSL)

$$\begin{aligned} \text{Jarak} &= 0,200 \text{ m} \\ \text{Sengkang (S)} & \\ \text{Jumlah} &= \frac{1}{2} P \text{ Kolom} + 1 \\ \text{Sengkang} &= \frac{S \text{ Sengkang}}{0,200} \\ &= 7 \text{ buah} \\ \text{P Total} &= \text{P Sengkang} \times \\ &\quad \text{Jumlah Sengkang} \\ &\quad 1,88 \times 7 \\ &\quad 13,16 \text{ m} \end{aligned}$$

Tabel 1. Rekapitulasi Besi Kolom yang Tersedia

Tipe Kolom	Diameter	Besi yang Tersedia (m)	Berat Besi(kg) /m	Besi Total Yang Tersedia (kg)
K-1 Utama	Diameter 19	1008 m	2,230 kg	2247,84 kg
K-2 Utama	Diameter 19	1008 m	2,230 kg	2247,84 kg
K-3 Utama	Diameter 19	72 m	2,230 kg	160,56 kg
K-1 Utama	Diameter 16	2053,8 m	1,583 kg	3251,1654 kg
K-2 Utama	Diameter 16	2053,8 m	1,583 kg	3251,1654 kg
K-3 Utama	Diameter 16	146,7 m	1,583 kg	232,2261 kg
K-1 (Sengkang)	Diameter 10	2101,12 m	0,616 kg	1294,28992 kg
K-2 (Sengkang)	Diameter 10	1880,928 m	0,616 kg	1158,651648 kg
K-3 (Sengkang)	Diameter 10	239,28 m	0,616 kg	147,39648 kg
Total Kebutuhan Berat Besi yang Tersedia				13991,13495 Kg

Tabel 2. Rekapitulasi Besi Kolom yang Digunakan

Tipe Kolom	Diameter	Kebutuhan (BTG)	Berat Besi(kg) /m	Kebutuhan Total Berat Besi (KG)
K-1 Utama	Diameter 19	697,2 m	2,230 kg	1554,756 kg
K-2 Utama	Diameter 19	697,2 m	2,230 kg	1554,756 kg
K-3 Utama	Diameter 19	49,8 m	2,230 kg	111,054 kg
K-1 Utama	Diameter 16	1743 m	1,583 kg	2759,169 kg
K-2 Utama	Diameter 16	1743 m	1,583 kg	2759,169 kg
K-3 Utama	Diameter 16	124,5 m	1,583 kg	197,0835 kg
K-1 (Sengkang)	Diameter 10	2000,32 m	0,616 kg	1232,19712 kg
K-2 (Sengkang)	Diameter 10	1864,128 m	0,616 kg	1148,302848 kg
K-3 (Sengkang)	Diameter 10	104,88 m	0,616 kg	64,60608 kg
Total Kebutuhan Berat Besi yang Digunakan				11381,09355 Kg

Waste Level

Tabel 3. Hasil Perhitungan Waste Level

No.	Tipe Kolom	Jenis Material	Satuan	Vol. Logistik	Vol. Terpasang	Vol. Waste	Waste Level (%)
1.	K-1 Utama	Besi Ulir D19	kg	2247,84	1554,756	693,084	
2.	K-2 Utama	Besi Ulir D19	kg	2247,84	1554,756	693,084	
3.	K-3 Utama	Besi Ulir D19	kg	160,56	111,054	49,506	
4.	K-1 Utama	Besi Ulir D16	kg	3251,1654	2759,169	491,9964	
5.	K-2 Utama	Besi Ulir D16	kg	3251,1654	2759,169	491,9964	
6.	K-3 Utama	Besi Ulir D16	kg	232,2261	197,0835	35,1426	
7.	K-1 (Sengkang)	Besi Polos D10	kg	1294,28992	1232,19712	62,0928	
8.	K-2 (Sengkang)	Besi Polos D10	kg	1158,651648	1148,302848	10,3488	
9.	K-3 (Sengkang)	Besi Polos D10	kg	147,39648	64,60608	82,7904	
Total				13991,13495	11381,09355	2610,0414	19%

Tabel 4. Perbandingan Persentase *Waste Metode*

No	Tipe Besi	Total Material yang Digunakan (Kg)	Konvensional	Software
			Waste (%)	
1	D19 mm	3.220,56		
2	D16 mm	5.715,42		
3	D10 mm	2.442,10		
Total		11.381,09	19%	7,72%

Tabel 5. Analisis Harga

No.	Berat Waste (Kg)	Diameter	Harga / Kg	Hasil (Rp.)
1.	693,084	19	Rp.8.280	Rp 5.738.736
2.	693,084	19	Rp 8.280	Rp 5.738.736
3.	49,506	19	Rp 8.280	Rp 409.910
4.	491,9964	16	Rp 8.779	Rp 4.319.236
5.	491,9964	16	Rp 8.779	Rp 4.319.236
6.	35,1426	16	Rp 8.779	Rp 308.517
7.	62,0928	10	Rp 8.784	Rp 545.423
8.	10,3488	10	Rp 8.784	Rp 90.904
9.	82,79	10	Rp 8.784	Rp 727.231
Total	2.610,04			Rp 22.197.928

Jumlah Kebutuhan Besi Tulangan Pada Kolom

Jumlah kebutuhan besi dalam suatu konstruksi bangunan gedung dapat dipengaruhi oleh jenis pekerjaan yang akan dilakukan, untuk pekerjaan kolom K1, K2 dan K3 pada proyek Optimalisasi Gedung Pusat Latihan Kampus Labuhan Ratu UIN Raden Intan Lampung kebutuhan besi yang diperlukan yakni 2.088 m tulangan besi ulir diameter 19 dengan berat 4656,24 kg, 4.254,3 m besi ulir diameter 16 dengan berat 6734,5569 kg, dan 4.221,32 m besi polos diameter 10 dengan berat 2600,338048 kg.

Jumlah Berat Waste Besi Tulangan Pada Pekerjaan Kolom K1, K2 dan K3

Jumlah berat *waste* atau berat sisa yang diperoleh dari hasil optimasi kolom K1, K2 dan K3 yaitu sebesar 2.610,0414 kg, berat *waste* ini hasil optimasi tulangan yang telah digunakan, sisa-sisa potongan tersebut menjadi suatu berat *waste* (kg), berat *waste* ini dipengaruhi oleh jumlah potongan-potongan tulangan, penggunaan tulangan

pada struktur kolom K1, K2 dan K3 memiliki ukuran panjang yang berbeda-beda, hal tersebut menjadi *factor* besaran ukuran sisa tulangan, potongan tulangan bergantung kepada sambungan-sambungan yang terdapat pada kolom, ukuran panjang dari suatu tulangan utuh yaitu sebesar 12000 mm, namun panjang ukuran tersebut tak selamanya akan dipakai utuh, dan 65. Hal tersebutlah yang akan menghasilkan potongan-potongan tulangan yang menjadi sisa material tulangan yang kelak akan dijadikan berat *waste* dari kebutuhan tulangan.

Jumlah Persen Sisa yang Dihasilkan Pada Kolom K1, K2 dan K3

Persen sisa yang dihasilkan dari tulangan Kolom K1, K2, dan K3 ialah sebesar 19% dengan menggunakan metode konvensional dan sebesar 7,72% dengan menggunakan aplikasi *Cutting Optimization Pro* (COP), persen sisa ini merupakan hasil perhitungan yang dilakukan antara Kebutuhan PO besi tulangan awal dengan berat *waste* yang dihasilkan, sehingga nilai

persen sisa yang dihasilkan sangat berpengaruh erat terhadap kebutuhan PO besi tulangan awal, hal tersebut dikarenakan kebutuhan PO tulanganlah yang akan menghasilkan berat waste tersebut. untuk menekan angka persen sisa 66 ini dapat dilakukan dengan cara mengoptimalkan penggunaan tulangan sesuai dengan perencanaannya yang telah dilakukan, pada perencanaan diharapkan dilakukan pengoptimalan penggunaan dari satu tulangan utuh sehingga dapat digunakan secara optimal apabila potonganpotongan yang dibutuhkan jelas tertera pada gambar rencana.

Jumlah Biaya Sisa yang Dihasilkan Pada Kolom K1, K2 dan K3

Jumlah biaya sisa yang diperoleh dari hasil berat waste yang diperoleh sebesar Rp. 22.197.928 , jumlah biaya ini diperoleh dari berat waste yang dihasilkan melalui proses optimisasi menggunakan *Cutting Optimization Pro* (COP) dikalikan dengan harga survey lapangan yang dilakukan, harga lapangan pada tiap-tiap lokasi akan dipastikan berbeda, jumlah biaya ini dipengaruhi oleh berat waste yang dihasilkan dari pekerjaan kolom, dimana semakin besar nilai berat waste yang dihasilkan dari suatu pekerjaan kolom, maka akan semakin besar pula nilai harga berat sisa yang akan dihasilkan, untuk dapat mengatasi besaran biaya yang dihasilkan disini ialah dengan mengoptimalkan sekecil mungkin nilai berat waste dari tulangan kolom.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa kebutuhan PO Besi Tulangan pada kolom K1, K2 dan K3 yaitu sebesar 13991,13495 kg dengan jumlah biaya senilai Rp. 120.517.712. Jumlah berat waste yang dihasilkan yaitu sebesar 2610,0414 kg.

Jumlah Persen sisa dari tulangan kolom K1, K2 dan K3 yaitu sebesar 19% dengan menggunakan metode konvensional dan 7,72 % menggunakan aplikasi *Cutting Optimization Pro* (COP) telah memenuhi standar SNI-7394-2008-HSP-Beton dengan perkiraan toleransi sebesar 5%-20%. Hasil perhitungan menggunakan Microsoft Excel diperoleh biaya sisa dari tulangan kolom yang telah dioptimisasi senilai. Rp. 22.197.928.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada segenap Dosen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sang Bumi Ruwa Jurai atas dukungannya hingga terbitnya jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Kurniawan and M. Ujianto, "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*, 2023, pp. 610–617.
- [2] C. T. Formoso, L. Soibelman, C. De Cesare, and E. L. Isatto, "Material waste in building industry: main causes and prevention," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 128, no. 4, pp. 316–325, 2002.
- [3] I. G. N. E. Partama, I. G. M. Sudika, and E. L. B. Saputra, "Analisis Sisa Besi Tulangan Menggunakan Software Cutting Optimization Pro Pada Kontruksi Gedung Studi Kasus: Proyek Pembangunan Villa Stilo, Tibubeneng, Kec. Kuta Utara, Kab. Badung-Bali," *J. Tek. Gradien*, vol. 15, no. 2, pp. 30–38, Oct. 2023, doi: 10.47329/teknik_gradien.v15i02.1075

- [4] L. M. P. Kuswinardi, R. T. A. Sinurat, and P. Tobing, “Analisa Struktur dan Metode Pelaksanaan Kolom dan Balok pada Pembangunan Gedung APD PLN Medan,” *J. Ilm. Tek. Sipil Agreg.*, vol. 1, no. 1, pp. 6–14, 2021.
- [5] S. S. Nasautama and M. Sitompul, “Analisis Kebutuhan Tulangan Dan Tulangan Sisa (Waste) Pada Pekerjaan Struktur Kolom, Balok Dan Pelat Lantai Pada Proyek Pembangunan Pasar Baru Kabupaten Mandailing Natal,” *Portal J. Tek. Sipil*, vol. 14, no. 2, pp. 75–82, 2022.
- [6] S. U. Dewi, D. N. Afni, C. Cahyadi, and M. A. Silova, “Kajian Pelaksanaan Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (K3) Terhadap Keberhasilan Proyek Konstruksi (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung UIN Raden Intan Lampung),” *Tek. Sains J. Ilmu Tek.*, vol. 7, no. 2, pp. 142–157, 2022.
- [7] S. F. Korompot, J. Tjakra, and J. B. Mangare, “Analisis Perbandingan Waste Pada Penulangan Balok Dengan Menggunakan Metode Konvensional Dan Software Cutting Optimization Pro,” *TEKNO*, vol. 22, no. 87, pp. 515–525, 2024.
- [8] A. R. Tambunan, “Analisis Perhitungan Sisa Material (Waste) Tulangan pada Ballroom Proyek Kantor INALUM dengan Menggunakan Aplikasi Software Optimalisasi Waste Besi (SOWB),” Politeknik Negeri Medan, 2019.
- [9] Y. Yusuf and F. Rohman, “Analisis Perencanaan Gedung Aula Dan Rektorat Universitas Swadaya Gunung Jati Cirebon Menggunakan Struktur Beton SNI 2013,” *J. Konstr. dan Infrastruktur*, vol. 5, no. 3, 2016.