

ANALISIS WASTE MATERIAL PEMBESIAN STRUKTUR BAWAH MENGUNAKAN METODE KONVENSIONAL DAN SOFTWARE CUT OPTIMIZATION PRO PADA PROYEK JEMBATAN UTAMA AKSES TOL BANDARA DHOHO KEDIRI STA 6+567,49 ~ STA 6+655,06

Fajrina Nurul Islami¹, Bambang Suprpto², Aasniari³

¹Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail: 22101051091@unisma.ac.id

² Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail: bambang.suprpto@unisma.ac.id

³ Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail: aasniari@unisma.ac.id

ABSTRACT

Ineffective cutting practices in reinforced concrete construction often result in excessive rebar waste, increasing project costs and reducing resource efficiency. This study aims to assess and compare the amount of material waste and associated costs between conventional cutting methods and the use of Cut Optimization Pro software on a bridge construction project. A descriptive quantitative approach was used to evaluate cutting patterns for rebar diameters ranging from D10 to D32. The analysis showed that the conventional method produced an average waste of 9.82%, while the software-based technique reduced it to 8,67%. Additionally, the software approach led to a total cost saving of Rp 44.223.528,00. These findings demonstrate that digital cutting tools can significantly improve material usage and reduce losses in structural projects.

Keywords: rebar waste, digital optimization, material efficiency, cutting technique, construction cost

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jembatan merupakan elemen penting dalam sistem transportasi yang berfungsi menghubungkan dua wilayah terpisah akibat rintangan alam maupun buatan. Keberadaan jembatan sangat krusial dalam mendukung mobilitas masyarakat dan pertumbuhan ekonomi [1]. Dalam konstruksi jembatan, material pembesian menjadi komponen utama yang harus dikelola secara efisien untuk menghindari pemborosan akibat sisa potongan (*waste material*).

Pada praktiknya, metode konvensional seperti pemotongan manual masih sering digunakan, namun kurang optimal dalam meminimalkan sisa material. Sebagai solusi, penggunaan *software* seperti *Cut Optimization Pro* mulai diterapkan untuk menghitung pola pemotongan yang lebih efisien secara otomatis.

Penelitian oleh [2] menunjukkan bahwa penerapan *software* optimasi mampu mengurangi *waste material* hingga 4% dibandingkan metode manual.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan *waste material* pembesian antara metode konvensional dan *Cut Optimization Pro* pada proyek Jembatan Utama Akses Tol Bandara Dhoho Kediri STA 6+567.49 ~ STA 6+655.06.

1.2 Identifikasi Masalah

1. Kurang optimalnya metode konvensional, sehingga *waste material* pembesian pada proyek konstruksi akibat pemotongan baja tulangan menjadi tinggi.
2. *Waste material* pembesian yang tinggi berpotensi meningkatkan biaya pengadaan material dan memperlambat waktu pelaksanaan proyek konstruksi jembatan.

3. Penggunaan *software Cut Optimization Pro* sebagai alternatif dalam optimasi pemotongan baja tulangan belum banyak diterapkan di proyek konstruksi jembatan, sehingga perlu dilakukan analisis perbandingan efisiensi dengan metode konvensional.

1.3 Rumusan Masalah

1. Berapa perbedaan *presentase waste material* pembesian yang dihasilkan antara metode konvensional dan metode optimasi menggunakan *software Cut Optimization Pro* pada proyek jembatan utama akses Tol Bandara Dhoho Kediri?
2. Berapa nilai *waste cost material* pembesian yang dihasilkan antara metode konvensional dan metode optimasi menggunakan *software Cut Optimization Pro* pada proyek jembatan utama akses Tol Bandara Dhoho Kediri?
3. Metode manakah yang lebih optimal dalam meminimalkan *waste material* pembesian pada proyek konstruksi jembatan utama akses Tol Bandara Dhoho Kediri?

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui perbedaan *presentase waste material* pembesian antara metode konvensional dan metode optimasi menggunakan *software Cut Optimization Pro* pada proyek Jembatan Utama Akses Tol Bandara Dhoho Kediri.
2. Menganalisis nilai *waste cost material* pembesian antara metode konvensional dan metode optimasi menggunakan *software Cut Optimization Pro* pada proyek Jembatan Utama Akses Tol Bandara Dhoho Kediri.
3. Memberikan rekomendasi metode yang lebih optimal dalam mengurangi *waste material* pembesian serta meningkatkan efisiensi biaya pelaksanaan proyek konstruksi jembatan di masa mendatang.

1.5 Lingkup Pembahasan

Penelitian ini berfokus pada perbandingan efisiensi penggunaan material pembesian struktur bawah antara metode konvensional

dan metode optimasi menggunakan *software Cut Optimization Pro* pada proyek Jembatan Utama Akses Tol Bandara Dhoho Kediri. Pembahasan akan mencakup analisis *waste material* yang dihasilkan dari kedua metode tersebut, diikuti dengan penghitungan persentase efisiensi material pembesian. Di akhir penelitian, akan dilakukan perbandingan biaya akibat *waste material* yang dihasilkan. Adapun lingkup struktur jembatan yang menjadi objek analisis dalam penelitian ini meliputi berbagai elemen pembesian, antara lain:

1. Abutment (A1,A2) meliputi: Breastwall, Wingwall, Pelat Injak, Pilecap, Spunpile.
2. Pier (P1A, P1B, P2A, P2B) meliputi: Pierhead, Pier, Pilecap, Spunpile.

1.6 Batasan Penelitian

1. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder dari kontraktor proyek, sehingga tidak membahas penggunaan *software* selain *Cut Optimization Pro* secara terpisah.
2. Peneliti tidak membahas lebih lanjut terkait dampak lingkungan akibat material sisa pembesian.
3. Peneliti tidak menganalisis penyusunan RAB.
4. Peneliti tidak membahas K3.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Struktur bangunan jembatan umumnya memanfaatkan pembesian sebagai elemen tulangan pada beton. Besi beton merupakan salah satu material yang paling dominan digunakan dalam pekerjaan konstruksi. Beton bertulang sendiri merupakan kombinasi antara beton dan baja tulangan, di mana baja berperan dalam menahan gaya tarik yang tidak mampu ditahan oleh beton secara alami. Di lapangan, terdapat dua jenis besi beton yang umum digunakan dalam berbagai proyek konstruksi yaitu *bbesi ulir* dan *besi polos* [3].

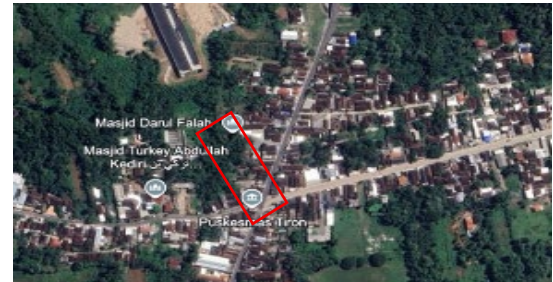
Dalam dunia konstruksi, khususnya pada proyek beton bertulang, salah satu permasalahan utama yang sering dihadapi adalah pengelolaan material, termasuk limbah pembesian. Limbah pembesian merupakan sisa material yang tidak dimanfaatkan atau

terbuang selama tahapan produksi dan pelaksanaan konstruksi, seperti potongan besi yang tidak digunakan, hasil pembengkokan yang tidak sesuai, serta kelebihan potongan akibat perencanaan yang kurang tepat. Pengelolaan material yang kurang optimal dapat mengakibatkan pemborosan yang cukup besar, meningkatkan biaya proyek, dan menurunkan efisiensi pemanfaatan sumber daya yang tersedia.

3. METODOLOGI PENELITIAN

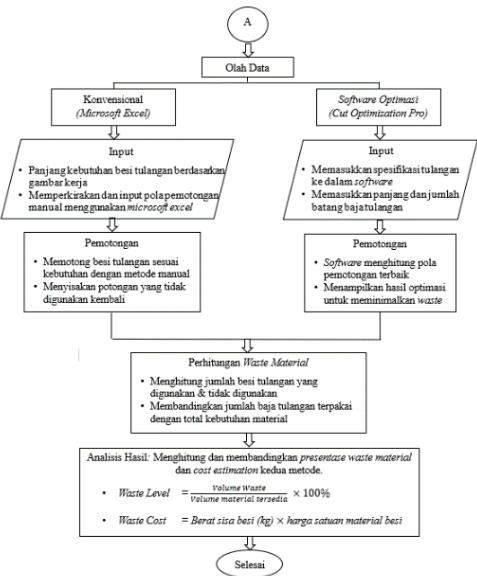
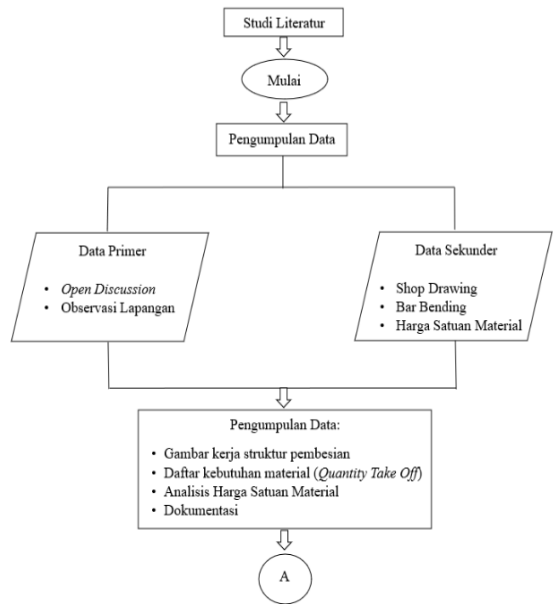
3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian mengambil studi kasus pada proyek konstruksi Jembatan Utama Akses Tol Bandara Dhoho Kediri, khususnya pada segmen STA 6+567.49~6+655.06. Objek penelitian berada di persimpangan Jl. Raya Bulawen, Ploso, Tiron, Kec. Banyakan, Kabupaten Kediri, Jawa Timur 64157.



Gambar 1. Lokasi Penelitian
(Sumber : Google Earth, 2025)

3.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 2 Bagan Alir Penelitian
(Sumber: hasil analisa, 2025)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Teknis Proyek

Berikut adalah data teknis dari proyek yang diteliti:

Table 1 Data Teknis Proyek

1.	Nama Bangunan	:	Pembangunan Jembatan Utama Akses Tol Bandara Dhoho Kediri STA 6+567,49 ~ STA 6+655,06
2.	Jenis Bangunan	:	Jembatan Gelagar Beton Prategang (PCI Girder)
3.	Jenis Material	:	Besi Ulir/Deform (D10, D13, D16, D19, D22, D25, D32)
4.	Panjang Bangunan	:	± 87,57 m
5.	Struktur yang di bahas	:	Abutment (A1,A2): Breastwall, Wingwall, Pelat Injak, Pilecap, Spunpile Pier (P1A, P1B, P2A, P2B): Pierhead, Pier, Pilecap, Spunpile

4.2 Quantity Take Off

Dari pengambilan data sekunder di lapangan diperoleh data kebutuhan material yang mengacu pada gambar kerja (*shop drawing*) dan gambar diagram bending. Data kebutuhan material pada struktur abutment dan pier secara keseluruhan di tunjukkan pada tabel 1.

Table 2 Rekapitulasi Kebutuhan Material yang Digunakan pada Objek Penelitian

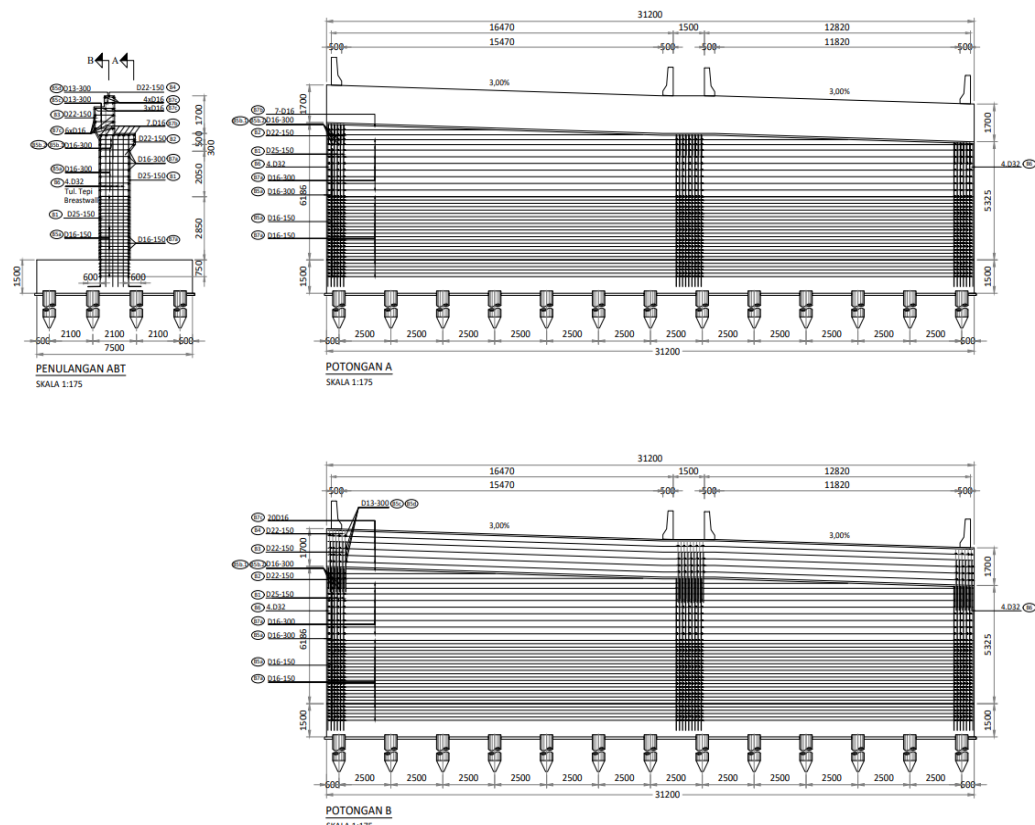
No.	Panjang	Kuantitas	Bahan
1	12	290	D13
2	5,28	68	D13
3	0,56	205	D13
4	1,06	615	D13
5	6,18	68	D13
6	12	512	D16
7	6	16	D16
8	3,41	896	D16
9	3,24	32	D16
10	3,04	10	D16
11	2,31	88	D16
12	6,5	316	D16
13	3,4	282	D16
14	2,1	4340	D16
15	1,8	208	D16
16	1,89	896	D16
17	1,71	896	D16
18	3,13	680	D16
19	2,83	112	D16
20	1,61	680	D16
21	1,6	10043	D16
22	6,25	116	D16
23	1,55	3260	D16
24	7,24	28	D16
25	1,5	3168	D16
26	1,43	680	D16
27	3,54	16	D16
28	0,5	4624	D16
29	11	4	D16
30	9,4	36	D16
31	7,84	16	D16
32	6,23	16	D16
33	8,5	87	D16
34	8	20	D16
35	8,71	208	D16
36	8,7	4	D16
37	10,3	4	D16
38	10,1	36	D16
39	10,06	160	D16
40	11,32	16	D16
41	7,7	60	D16
42	10,78	32	D16
43	7,6	87	D16
44	7,22	20	D16
45	6,05	16	D16
46	12	224	D22
47	2,94	208	D22
48	1,8	202	D22
49	0,28	224	D22
50	3,19	208	D22
51	5,4	208	D22
52	11,59	224	D22

53	10,67	170	D22
54	10,5	170	D22
55	12	475	D25
56	8,8	106	D25
57	1,6	5538	D25
58	5,4	202	D25
59	3,63	48	D25
60	2,94	202	D25
61	8,9	174	D25
62	4,8	208	D25
63	10,15	59	D25
64	6,7	140	D25
65	3,19	202	D25
66	10,9	142	D25
67	6,2	208	D25
68	12	406	D32
69	8,9	106	D32
70	2,44	48	D32
71	0,66	24	D32
72	8,57	48	D32
73	3,04	142	D32
74	0,39	96	D32
75	8	250	D32
76	2,94	106	D32
77	9,4	140	D32
78	11,6	174	D32
79	11,52	24	D32
80	11	142	D32
81	10,25	160	D32
82	10	106	D32
83	9,7	80	D32
84	8,87	24	D32
85	7,3	8	D32
86	6,44	48	D32
87	12	59	D19
88	1,55	59	D19
89	0,89	396	D19
90	6,83	434	D19
91	5,16	792	D19
92	1,54	1890	D19
93	10,15	242	D19
94	10,1	36	D19
95	11,55	59	D19
96	9,4	36	D19
97	7,7	60	D19
98	0,59	1660	D10

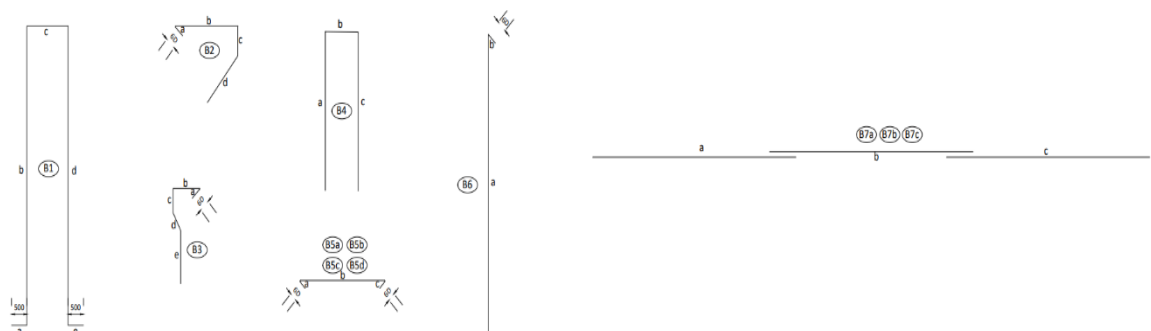
Sumber: Data Sekunder, 2024

4.3 Bar Cutting Schedule Menggunakan Microsoft Excel

Berikut adalah contoh penyusunan bar cutting schedule dengan menggunakan software excel pada struktur Breastwall A1 D16 (B5a).



Gambar 3 Detail Penulangan *Breastwall A1*
(Sumber: Data Sekunder, 2024)



Gambar 4 Diagram Bending Penulangan *Breastwall A1*
(Sumber: Data Sekunder, 2024)

Table 3 *Quantity Take Off Penulangan Breastwall A1*

No	DIA (mm)	Dimensi (mm)							Panjang Total (mm)	Jumlah Item		Berat Total (kg)
		a	b	c	d	e	f	R		Berat (kg/m)	Jumlah	
B1	D25	600	7100	1400	7100	600			16800	3.85	208	13458
B2	D22	140	1400	400	1000				2940	2.98	208	1824
B3	D22	140	900	950	400	800			3190	2.98	208	1979
B4	D22	2500	400	2500					5400	2.98	208	3350
B5a	D16	100	1400	100					1600	1.58	5703	14394
B5b	D16	100	1600	100					1800	1.58	208	591
B5c	D13	80	900	80					1060	1.04	312	344
B5d	D13	80	400	80					560	1.04	104	61
B6	D32	7100	200						7300	6.31	8	369
B7a	D16	12000	12000	8500					32500	1.58	19	974
B7b	D16	12000	12000	8500					32500	1.58	48	2461
B7c	D16	12000	12000	8500					32500	1.58	20	1025
										Total =	40830	kg

Sumber: Data Sekunder, 2024

KODE DI SHOP DRAWING	DIA BESI	PANJANG KEBUTUHAN	JUMLAH KEBUTUHAN	KONTROL POTONGAN	SISA KEBUTUHAN	1 LONJOR BESI	KODE GABUNGAN	KODE SISA TERPAKAI	JUMLAH KEBUTUHAN	POTONGAN/LONJOR	PANJANG SISA	JUMLAH SISA	KODE SISA 1	KODE GABUNGAN	KODE SISA TERPAKAI	JUMLAH KEBUTUHAN	POTONGAN/LONJOR	PANJANG SISA	JUMLAH SISA	KODE SISA 2
	(mm)	(m)	(ptg) (biji)	(ptg)	(ptg)	(m)			(lonjor)	(ptg)	(m)	(ptg)				(lonjor)	(ptg)	(m)	(ptg)	
B5a	16	1,60	5703	5.703,00	12,00	BWA1 16-1			20,00	1,00				BWA1 16-2		48,00	1,00			
B5b	16	1,80	208	208,00	12,00	BWA1 16-3								BWA1 16-2						
B7a	16	8,50	19	19,00	12,00															
B7b	16	8,50	48	48,00	12,00															
B7c	16	8,50	20	20,00	12,00	BWA1 16-1			1,00	0,10	20,00	SBWA1 16-1		BWA1 16-2			1,00	0,10	48,00	SBWA1 16-2

(1)

KODE DI SHOP DRAWING	DIA BESI	PANJANG KEBUTUHAN	JUMLAH KEBUTUHAN	KONTROL POTONGAN	SISA KEBUTUHAN	1 LONJOR BESI	KODE GABUNGAN	KODE SISA TERPAKAI	JUMLAH KEBUTUHAN	POTONGAN/LONJOR	PANJANG SISA	JUMLAH SISA	KODE SISA 3	KODE GABUNGAN	KODE SISA TERPAKAI	JUMLAH KEBUTUHAN	POTONGAN/LONJOR	PANJANG SISA	JUMLAH SISA	KODE SISA 4
	(mm)	(m)	(ptg) (biji)	(ptg)	(ptg)	(m)			(lonjor)	(ptg)	(m)	(ptg)				(lonjor)	(ptg)	(m)	(ptg)	
B5a	16	1,60	5703	5.703,00	12,00	BWA1 16-3			19,00	1,00				BWA1 16-4			30,00	3,00		
B5b	16	1,80	208	208,00	12,00	BWA1 16-3								BWA1 16-4						
B7a	16	8,50	19	19,00	12,00	BWA1 16-3														
B7b	16	8,50	48	48,00	12,00															
B7c	16	8,50	20	20,00	12,00															

(2)

KODE DI SHOP DRAWING	DIA BESI	PANJANG KEBUTUHAN	JUMLAH KEBUTUHAN	KONTROL POTONGAN	SISA KEBUTUHAN	1 LONJOR BESI	KODE GABUNGAN	KODE SISA TERPAKAI	JUMLAH KEBUTUHAN	POTONGAN/LONJOR	PANJANG SISA	JUMLAH SISA	KODE SISA 5	KODE GABUNGAN	KODE SISA TERPAKAI	JUMLAH KEBUTUHAN	POTONGAN/LONJOR	PANJANG SISA	JUMLAH SISA	KODE SISA 6
	(mm)	(m)	(ptg) (biji)	(ptg)	(ptg)	(m)			(lonjor)	(ptg)	(m)	(ptg)				(lonjor)	(ptg)	(m)	(ptg)	
B5a	16	1,60	5703	5.703,00	12,00	BWA1 16-5			6,00					BWA1 16-6						
B5b	16	1,80	208	208,00	12,00	BWA1 16-5			1,00	0,60	1,00	SBWA1 16-5		BWA1 16-6		788,00	7,00	0,20	788,00	SBWA1 16-6
B7a	16	8,50	19	19,00	12,00															
B7b	16	8,50	48	48,00	12,00															
B7c	16	8,50	20	20,00	12,00															

(3)

KODE DI SHOP DRAWING	DIA BESI	PANJANG KEBUTUHAN	JUMLAH KEBUTUHAN	KONTROL POTONGAN	SISA KEBUTUHAN	1 LONJOR BESI	KODE GABUNGAN	KODE SISA TERPAKAI	JUMLAH KEBUTUHAN	POTONGAN/LONJOR	PANJANG SISA	JUMLAH SISA	KODE SISA 7	KODE GABUNGAN	KODE SISA TERPAKAI	JUMLAH KEBUTUHAN	POTONGAN/LONJOR	PANJANG SISA	JUMLAH SISA	KODE SISA 8
	(mm)	(m)	(ptg) (biji)	(ptg)	(ptg)	(m)			(lonjor)	(ptg)	(m)	(ptg)				(lonjor)	(ptg)	(m)	(ptg)	
B5a	16	1,60	5703	5.703,00	12,00	BWA1 16-7			1,00	4,00	3,60	1,00	SBWA1 16-7							
B5b	16	1,80	208	208,00	12,00															
B7a	16	8,50	19	19,00	12,00															
B7b	16	8,50	48	48,00	12,00															
B7c	16	8,50	20	20,00	12,00															

(4)

Gambar 5 Perhitungan Material Pembesian *Breastwall* A1 D16
(Sumber: hasil analisa, 2025)

Diketahui:

Kode *shop drawing* : B5a

Jumlah kebutuhan : 5703 potong/biji

Panjang kebutuhan : 1,60 m

Diameter besi : 16 mm

- Perhitungan kebutuhan material

- BWA1 16-1 = $20 \times (12 \text{ m} - 1 \times 1,60 \text{ m} - 1 \times 1,80 \text{ m} - 1 \times 8,50 \text{ m}) = 20 \times 0,10 \text{ m}$
- BWA1 16-2 = $48 \times (12 \text{ m} - 1 \times 1,60 \text{ m} - 1 \times 1,80 \text{ m} - 1 \times 8,50 \text{ m}) = 48 \times 0,10 \text{ m}$
- BWA1 16-3 = $19 \times (12 \text{ m} - 1 \times 1,60 \text{ m} - 1 \times 1,80 \text{ m} - 1 \times 8,50 \text{ m}) = 19 \times 0,10 \text{ m}$
- BWA1 16-4 = $30 \times (12 \text{ m} - 3 \times 1,60 - 4 \times 1,80 \text{ m}) = 0$
- BWA1 16-5 = $1 \times (12 \text{ m} - 6 \times 1,60 - 1 \times 1,80 \text{ m}) = 1 \times 0,60 \text{ m}$
- BWA1 16-6 = $788 \times (12 \text{ m} - 7 \times 1,60 \text{ m}) = 788 \times 0,80 \text{ m}$
- BWA1 16-7 = $1 \times (12 \text{ m} - 4 \times 1,60 \text{ m}) = 1 \times 5,60 \text{ m}$

- *Waste Material*

Kode Gabungan	Jumlah (ptg)	Panjang (m)	Kode Sisa
BWA1 16-1	20	0,10	SBWA1 16-1

BWA1 16-2	48	0,10	SBWA1 16-2
BWA1 16-3	19	0,10	SBWA1 16-3
BWA1 16-5	1	0,60	SBWA1 16-4
BWA1 16-6	788	0,80	SBWA1 16-5
BWA1 16-7	1	5,60	SBWA1 16-6
- Kontrol potongan = BWA1 16-1 + BWA1 16-2 + BWA1 16-3 + BWA1 16-4 + BWA1 16-5 + BWA1 16-6 + BWA1 16-7			
= $(20 \times 1) + (48 \times 1) + (19 \times 1) + (30 \times 3) + (1 \times 6) + (788 \times 7) + (1 \times 4)$			
= 20 + 48 + 19 + 90 + 6 + 5.516 + 4			
= 5.703			
- Sisa Kebutuhan = Kontrol Potongan - Jumlah Kebutuhan			
= 5.703 - 5.703 = 0			

(Terpenuhi)

Berikut adalah pola pemotongan material struktur *breastwall* A1, D16 (B5a), yang diinput berdasarkan hasil perhotungan material pada **gambar 5**.

Item Pekerjaan : Breastwall A1
Lokasi : STA 6+567,49 ~ 6+655,06

NO	KODE DRAWING	PANJANG POTONGAN	JUMLAH KEBUTUHAN	KODE GABUNGAN						
		(M')	(Ptg)	BWA1 16-						
				1	2	3	4	5	6	7
KEBUTUHAN BESI (LONJOR)				20	48	19	30	1	788	1
1	B5a	1,60	5703,00	1	1	1	3	6	7	4
2	B5b	1,80	208,00	1	1	1	4	1		
3	B7a	8,50	19,00			1				
4	B7b	8,50	48,00		1					
5	B7c	8,50	20,00	1						
			WASTE (M')	0,10	0,10	0,10	0,00	0,60	0,80	5,60
			WASTE (Kg)	0,16	0,16	0,16	0,00	0,95	1,26	8,85
			WASTE TOTAL (Kg)	3,16	7,58	3,00	0,00	0,95	996,03	8,85
a. BJ Besi D16 = 1,58 Kg/M'										
b. Jumlah Kebutuhan Besi = 907,00 Lonjor										
c. Berat Besi Total (a x b) = 17.196,72 Kg										

Gambar 6 Pola Pemotongan/Bar Cutting Schedule Konvensional
(Sumber: hasil perhitungan, 2025)

Table 4 Waste Material Konvensional

Panjang (M')	Jumlah (Ptg)	Berat (Kg)	% terhadap berat keseluruhan	Kode Sisa
0,10	20,00	3,16	0,02%	SBWA1 16-1
0,10	48,00	7,58	0,04%	SBWA1 16-2
0,10	19,00	3,00	0,02%	SBWA1 16-3
0,60	1,00	0,95	0,01%	SBWA1 16-5
0,80	788,00	996,03	5,79%	SBWA1 16-6
5,60	1,00	8,85	0,05%	SBWA1 16-7
Total		1.019,57	5,93%	

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

- Berat waste = Panjang waste × Jumlah waste × Bj Besi = 0,80 × 788 × 1,58 = 996,03 Kg
- Presentase waste terhadap berat keseluruhan = Berat waste / Berat besi total × 100 = 996,03 / 20.495,76 × 100 = 4,86%

4.4 Rekapitulasi Final Bar Cutting Schedule Menggunakan Microsoft Excel

Berikut adalah hasil rekapitulasi bar cutting schedule menggunakan microsoft excel pada struktur abutment dan pier:

Table 5 Rekapitulasi Data Kebutuhan dan Waste Material Penulangan Struktur Bawah Jembatan Utama Akses Tol Bandara Dhoho Kediri STA 6+567,49~STA 6+655,06 Per Elemen Struktur

Catatan: Rasio Per Besi pada Dikawatir Besi pada 30,15 - 31,65, 50 Per Panjang Struktur							
No	Struktur	Diameter Tulangan	Jumlah Lonjor	Berat Jenis	Berat Besi	Berat Waste Besi	Waste
		(mm)	(Lonjor)	(Kg/M')	(Kg)	(Kg)	(%)
1	Pierhead	D16	1428	1,58	27.074,88	499,00	1,84%
		D22	788	2,98	28.178,88	1.520,46	5,40%
		D32	408	6,31	30.893,76	2.196,07	7,11%
2	Pier	D16	1396	1,58	26.468,16	1.103,16	4,17%
		D19	434	2,23	11.613,84	5.003,63	43,08%
		D32	240	6,31	18.172,80	2.927,84	16,11%
3	Breastwall	D13	67	1,04	836,16	38,21	4,57%
		D16	1342	1,58	25.444,32	1.625,98	6,39%
		D22	242	2,98	8.653,92	423,64	4,90%
		D25	1625	3,85	75.075,00	3.966,04	5,28%
		D32	16	6,31	1.211,52	439,18	36,25%
4	Wingwall	D16	672	1,58	12.741,12	204,93	1,61%
		D19	132	2,23	3.532,32	936,60	26,52%
5	Pelat Injak	D10	83	0,62	617,52	10,29	1,67%
		D13	408	1,04	5.091,84	886,83	17,42%
		D19	396	2,23	10.596,96	514,31	4,85%
6	Pilecap	D16	956	1,58	18.125,76	930,49	5,13%
		D19	1020	2,23	27.295,20	2.757,40	10,10%
		D25	680	3,85	31.416,00	7.084,08	22,55%
		D32	1474	6,31	111.611,28	19.129,27	17,14%
7	Spunpile	D13	18	1,04	1.362,96	0,00	0,00%
		D25	18	3,85	224,64	159,74	71,11%
Jumlah					476.238,84	52.357,13	14,24%

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

Diameter

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

Sama halnya dengan metode konvensional, analisis dengan menggunakan *software cut optimization pro* (SCOP) hanya perlu menginput panjang kebutuhan dan jumlah kebutuhan material yang di ambil dari data *quantity take off* sebagai data sekunder. Output dari SCOP meliputi data grafis yang berupa diagram pola pemotongan, dan data statistik yang menampilkan hasil dari pemotongan secara detail berupa total kebutuhan material (lonjor), jumlah material terpakai, serta waste material. Berikut adalah hasil dari pemograman *bar cutting schedule* menggunakan SCOP pada struktur *breastwall* A1:

Panjangnya ▲	Bahan	Kuantitas	Label	Membatalkan	Grafis: 1D																	
12	D13	10		0,04	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
12	D13	1		0,22	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
12	D13	22		0,34	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06
12	D13	1		10,94	1,06																	
12	D16	19		0	12																	
12	D16	19		0	12																	
12	D16	48		0	12																	
12	D16	48		0	12																	
12	D16	20		0	12																	
12	D16	20		0	12																	
12	D16	19		0,3	8,5										1,6		1,6					
12	D16	48		0,3	8,5										1,6		1,6					
12	D16	20		0,3	8,5										1,6		1,6					
12	D16	767		0,8	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
12	D16	1		5,6	1,6	1,6	1,6	1,6														
12	D22	104		0,22	5,4					3,19					3,19							
12	D22	52		0,24	2,94				2,94				2,94				2,94					
12	D22	52		1,2	5,4					5,4												
12	D25	208		0	12																	
12	D25	104		2,4	4,8					4,8												
12	D32	8		4,7	7,3																	

237 | Jurnal Rekayasa Sipil | Vol.15, No.2, Agustus 2025 | ISSN 2337 - 7720

2. Output SCOP Data Statistik

Tabel 7 Material yang Digunakan *Breastwall* A1 D16

No	Panjang yang digunakan	Kuantitas	Bahan
1	12,00	174	D16
2	1,80	208	D16
3	1,60	5703	D16
4	8,50	87	D16

Sumber: Hasil Pemograman, 2025

Tabel 8 Bar yang Digunakan *Breastwall* A1 D16

No	Panjang	Kuantitas	Bahan
1	12,00	1081	D16

Sumber: Hasil Pemograman, 2025

Tabel 9 *Waste Material Breastwall* A1 D16

No	Panjang	Bahan	Kuantitas
1	0,30	D16	19
2	0,30	D16	48
3	0,30	D16	20
4	0,80	D16	767
5	5,60	D16	1

Sumber: Hasil Pemograman, 2025

4.6 Rekapitulasi Final *Bar Cutting Schedule* Menggunakan *Software Cut Optimization Pro* (SCOP)

Berikut adalah hasil rekapitulasi *bar cutting schedule* menggunakan *software cut optimization pro* (SCOP) pada struktur abutment dan pier:

Tabel 10 Rekapitulasi Data Kebutuhan dan *Waste Material* Penulangan Struktur Bawah Jembatan Utama Akses Tol Bandara Dhoho Kediri STA 6+567,49~STA 6+655,06

No	Diameter Tulangan	Jumlah Lonjor	Berat Jenis	Berat Besi	Berat Waste Besi	Waste
	(mm)	(Lonjor)	(Kg/M')	(Kg)	(Kg)	(%)
1	D10	83	0,62	617,52	10,29	1,67%
2	D13	424	1,04	5.291,52	521,36	8,29%
3	D16	5705	1,58	108.166,80	3.411,82	3,15%
4	D19	1972	2,23	52.770,72	9.127,66	17,30%
5	D22	918	2,98	32.827,68	1.944,09	4,90%
6	D25	2318	3,85	107.091,60	10.156,72	9,48%
7	D32	2128	6,31	161.132,16	23.933,45	14,85%
Jumlah				467.898,00	48.648,53	8,67%

Sumber: Hasil Pemograman, 2025

4.7 Analisis *Waste Material*, *Waste Level*, dan *Waste Cost*

1. *Waste Material*

Tabel 11 Metode Konvensional

No	Diameter Tulangan	Jumlah Lonjor	Berat Jenis	Berat Besi	Berat Waste Besi	Waste Level
	(mm)	(Lonjor)	(Kg/M')	(Kg)	(Kg)	(%)
1	D10	83	0,62	617,52	10,29	1,67%
2	D13	493	1,04	7.290,96	1.084,77	14,88%
3	D16	5794	1,58	109.854,24	4.363,55	3,97%
4	D19	1982	2,23	53.038,32	9.211,94	17,37%
5	D22	1030	2,98	36.832,80	1.944,09	5,28%
6	D25	2323	3,85	106.715,64	11.050,12	10,35%
7	D32	2138	6,31	161.889,36	24.692,36	15,25%
Jumlah				476.238,84	52.357,13	9,82%

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

Tabel 12 *Software Cut Optimization Pro*

No	Diameter Tulangan	Jumlah Lonjor	Berat Jenis	Berat Besi	Berat Waste Besi	Waste Level
	(mm)	(Lonjor)	(Kg/M')	(Kg)	(Kg)	(%)
1	D10	83	0,62	617,52	10,29	1,67%
2	D13	424	1,04	5.291,52	64,50	1,22%
3	D16	5705	1,58	108.166,80	3.411,82	3,15%
4	D19	1972	2,23	52.770,72	9.127,66	17,30%
5	D22	918	2,98	32.827,68	1.944,09	4,90%
6	D25	2318	3,85	107.091,60	10.156,72	9,48%
7	D32	2128	6,31	161.132,16	23.933,45	14,85%
Jumlah				467.898,00	48.648,53	8,67%

Sumber: Hasil Pemograman, 2025

2. *Waste Level*

Berdasarkan seluruh tahapan perhitungan *bar cutting schedule* pekerjaan struktur penulangan, berikut merupakan presentase *waste* yang dihasilkan menggunakan metode konvensional dan *software cut optimization pro*. Dibawah ini adalah contoh perhitungan *Waste Level* menggunakan volume *waste* dibagi dengan volume material yang tersedia. Persentase sisa material berdasarkan diameter tulangan dapat dilihat pada **Tabel 11**.

- $$\text{Waste Level D10} = \frac{\text{Volume Waste}}{\text{Volume Material Tersedia}} \times 100\%$$

$$= \frac{10,29}{617,52} \times 100\%$$

$$= 1,67\%$$

Tabel 13 Presentase Sisa Material

No	Material	Konvensional		Software	
	mm	Besi digunakan%	Waste %	Besi digunakan%	Waste %
1	D10	98,33%	1,67%	98,33%	1,67%
2	D13	85,12%	14,88%	91,71%	8,29%
3	D16	96,03%	3,97%	96,85%	3,15%
4	D19	82,63%	17,37%	82,70%	17,30%
5	D22	94,72%	5,28%	95,10%	4,90%
6	D25	89,65%	10,35%	90,52%	9,48%
7	D32	84,75%	15,25%	85,15%	14,85%
Rata – Rata Waste Material		90,18%	9,82%	91,48	8,67%

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

Dari hasil perhitungan yang ditampilkan dalam **Tabel 13**, diketahui bahwa rata-rata besi yang digunakan dengan metode konvensional adalah sebesar 90,18%, sedangkan rata-rata sisa material (*waste*) mencapai 9,82%. Sementara itu, pada metode pemotongan menggunakan bantuan *software* optimasi, rata-rata besi yang berhasil digunakan meningkat menjadi 91,48%, dengan rata-rata sisa material sebesar 8,67%.

3. Waste Cost

Total biaya = Total kebutuhan besi (kg) × harga material besi

Waste cost = Berat sisa besi (kg) × harga material besi

Tabel 14 Waste Cost Metode Konvensional

Diameter Besi	Berat Besi	Berat Sisa	Harga satuan (Standar Satuan Harga Barang Pemprov Jatim, 2023)	Waste Cost
(mm)	(kg)	(kg)	(Rp)/kg	(Rp)
D10	617,52	10,29	13.600,00	139.944,00
D13	7.290,96	1.084,77	13.600,00	14.752.872,00
D16	109.854,24	4.363,55	13.600,00	59.344.280,00
D19	53.038,32	9.211,94	13.600,00	125.282.384,00
D22	36.832,80	1.944,09	13.600,00	26.439.624,00
D25	106.715,64	11.050,12	13.600,00	150.281.632,00
D32	161.889,36	24.692,36	13.600,00	335.816.096,00
Total				712.056.832,00

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

Tabel 15 Waste Cost Software Cut Optimization Pro

Diameter Besi	Berat Besi	Berat Sisa	Harga satuan (Standar Satuan Harga Barang Pemprov Jatim, 2023)	Waste Cost
(mm)	(kg)	(kg)	(Rp)/kg	(Rp)
D10	617,52	10,29	13.600,00	139.944,00
D13	5.291,52	64,50	13.600,00	877.200,00
D16	108.166,80	3.411,82	13.600,00	46.400.752,00
D19	52.770,72	9.127,66	13.600,00	124.136.176,00
D22	32.827,68	1.944,09	13.600,00	26.439.624,00
D25	107.091,60	10.156,72	13.600,00	138.131.392,00
D32	161.132,16	23.933,45	13.600,00	325.494.920,00
Total				667.833.304,00

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

- Dari analisis *waste material* dengan metode konvensional, besi ulir D10 didapat *waste* sebesar 1,67%, besi ulir D13 14,88%, besi ulir D16 3,97%, besi ulir D19 17,37%, besi ulir D22 5,28%, besi ulir D25 10,35%, dan besi ulir D32 15,25%. Rata-rata *waste* yang ditimbulkan dari tujuh jenis besi tersebut sebesar **9,82%**. Sedangkan dari analisis *software cutting optimization pro* besi ulir D10 didapat *waste* sebesar 1,67%, besi ulir D13 8,29%, besi ulir D16 3,15%, besi ulir D19 17,30%, besi ulir D22 4,90%, besi ulir D25 9,48%, dan besi ulir D32 14,85%. Rata-rata *waste* yang ditimbulkan dari ketujuh jenis besi tersebut sebesar **8,67%**.
- Analisis *waste cost* menggunakan metode konvensional, didapat *cost* besi ulir D10 sebesar Rp. 139.944,00; besi ulir D13 Rp. 14.752.872,00; besi ulir D16 Rp. 59.344.280,00; besi ulir D19 Rp. 125.282.384,00; besi ulir D22 Rp. 26.439.624,00; besi ulir D25 Rp. 150.281.632,00; besi ulir D32 Rp. 335.816.096,00. Total *waste cost* yang ditimbulkan dari ketujuh jenis besi

tersebut sebesar **Rp. 712.056.832,00**. Sedangkan dari analisis *software cutting optimization pro* besi ulir D10 didapat *cost* sebesar 139.944,00; besi ulir D13 7.090.496,00; besi ulir D16 46.400.752,00; besi ulir D19 124.136.176,00; besi ulir D22 26.439.624,00; besi ulir D25 138.131.392,00; dan besi ulir D32 325.494.920,00. Total *waste cost* yang ditimbulkan dari ketujuh jenis besi tersebut sebesar **Rp. 667.833.304,00**. Nilai *waste cost* dengan menggunakan *software* optimasi lebih kecil **Rp 44.223.528,00** daripada menggunakan metode konvensional.

3. Dari hasil perbandingan didapat *software cutting optimization pro* dapat meminimalkan *waste* secara optimal sebesar **1,15%**.

5.2 Saran

1. Untuk menghitung kebutuhan besi tulangan proyek konstruksi khususnya pola pemotongan, lebih baik menggunakan *software cut optimization pro* karena lebih efisien dan efektif dalam kontrol manajemen material untuk menekan sisa yang dihasilkan dari kesalahan pola pemotongan.
2. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk melakukan kajian dengan membandingkan *Cut Optimization Pro* dengan *software* lain yang memiliki fungsi serupa, seperti 1D Nesting, Bar Nesting Software, atau *CutLogic 1D*, agar dapat diketahui sejauh mana efektivitas dan efisiensi masing-masing *software* dalam konteks optimasi pemotongan material.
3. Penelitian lanjutan juga dapat memperluas lingkup material yang dianalisis, tidak hanya besi tulangan, tetapi juga material lain seperti pipa, baja profil, atau kayu, agar hasil penelitian dapat diterapkan lebih luas dalam berbagai jenis proyek konstruksi.
4. Dalam penelitian ini, peneliti hanya menghitung persentase sisa kebutuhan material besi pada struktur bawah, sehingga diharapkan pada penelitian selanjutnya dilakukan analisis *waste*

dengan penyebab terjadinya sisa material besi pada komponen struktur atas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Burhanuddin, Warsito, & Suprpto, B. (n.d.). *Studi alternatif perencanaan struktur bangunan bawah jembatan sei alalak banjarmasin*. 13(1), 384–393.
- [2] Muka, I. W., Widyatmika, M. A., & Antara, I. M. N. (2020). *Analisis Perbandingan Waste Besi Tulangan Metode Konvensional Dengan Software Cutting Optimazation Pro*. *Teknika*, 15(2), 41.
- [3] Badan Standardisasi Nasional. (2017). *Baja Tulangan Beton*. *Sni 2052-2017*, 13.
- [4] Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. *Sni 2847-2019*, 8, 720.
- [5] Peraturan Gubernur Jawa Timur No.66 Tahun 2022. (2023). 1–14.