

Optimalisasi *Waste* Besi menggunakan Aplikasi “*Cutting Optimization Pro*”

Abstrak

Dalam industri konstruksi, penggunaan efisien besi baja tulangan menjadi krusial untuk mengurangi *waste* material dan meminimalkan biaya produksi. Penelitian ini mengkaji aplikasi *Cutting Optimization Pro* sebagai alat untuk mereduksi sisa material besi pada proyek Jalan Tol IKN Segmen Karangjoang - KKT Kariangau. Data dari Bar Bending Schedule (BBS) digunakan sebagai basis untuk menginput dan mengoptimalkan pemotongan besi, dengan fokus pada Pile Cap, Pier, dan Pier Head. Dengan menerapkan metode ini, *waste* level pada besi dapat ditekan sesuai dengan target proyek, yang pada studi ini mencapai 3%. Selain itu, *waste* cost juga dihitung untuk menggambarkan penghematan biaya yang dihasilkan melalui penggunaan aplikasi ini.

Kata kunci: *Cutting Optimization Pro*, besi baja tulangan, *waste* material, efisiensi konstruksi, Bar Bending Schedule (BBS)

1. Pendahuluan

Dalam industri konstruksi, efisiensi penggunaan material menjadi salah satu faktor kunci yang mempengaruhi keberhasilan proyek. Besi baja tulangan, sebagai salah satu bahan utama dalam berbagai struktur dan komponen bangunan, memiliki kontribusi signifikan terhadap biaya keseluruhan proyek. Namun, tantangan yang sering dihadapi adalah tingginya tingkat *waste* atau sisa besi yang dihasilkan selama proses konstruksi.

Proyek Jalan Tol IKN Segmen Karangjoang - KKT Kariangau mencakup total panjang penanganan 9,275 km. Item besi baja tulangan termasuk komponen dominan yang berpengaruh terhadap efisiensi proyek, untuk item Besi baja tulangan saja sebesar 16,407% (Belum termasuk besi untuk precast).

Maka dari itu, diperlukan sebuah metode untuk mengoptimalkan pemotongan besi guna mengurangi *waste* yang akan terjadi. Dalam jurnal ini akan dibahas penggunaan aplikasi *Cutting Optimization Pro* yang berguna untuk mereduksi *waste* pada besi serta memetakan *waste* besi yang dapat dimasukkan ke dalam stok dan digunakan kembali pada pekerjaan berikutnya. Dengan aplikasi ini, proses pemotongan besi dapat direncanakan dengan lebih efisien, mengurangi jumlah sisa material yang tidak terpakai dan membantu dalam memaksimalkan penggunaan kembali sisa besi yang masih bisa dipakai serta dapat menekan biaya produksi sehingga proyek menjadi lebih efisien dari segi biaya. Hal ini tidak hanya meningkatkan efisiensi dan mengurangi biaya produksi, tetapi juga mendukung upaya keberlanjutan dengan mengurangi dampak limbah besi terhadap lingkungan.

2. Landasan Teori ***Waste* Material**

Menurut (Pertiwi, 2019), material sisa atau *waste* material adalah segala sesuatu yang kuantitasnya lebih banyak dari persyaratan, baik hasil pelaksanaan pekerjaan ataupun material yang tersisa atau rusak sehingga tidak dapat dipakai lagi. Menurut Formoso (2003), material besi merupakan salah satu komponen struktur yang memiliki bobot biaya paling tinggi sekitar 20% - 30% dari biaya total proyek dan menurut Abuhasan & nasereddin (2011), *Waste* besi banyak terjadi pada proses pemotongan besi yang terlalu pendek sehingga sisa ini akan di buang. Proyek Jalan Tol IKN Segmen Karangjoang - KKT Kariangau mempunyai rencana untuk *waste* material besi sebesar 3%

Perhitungan *Waste Level*

Waste level digunakan untuk mengukur volume material sisa. Menurut Poon (2001) Perhitungan *waste level* dapat dihitung menggunakan metode pendekatan rumus berikut:

$$Waste\ Level = \frac{Volume\ Waste}{Volume\ Kebutuhan}$$

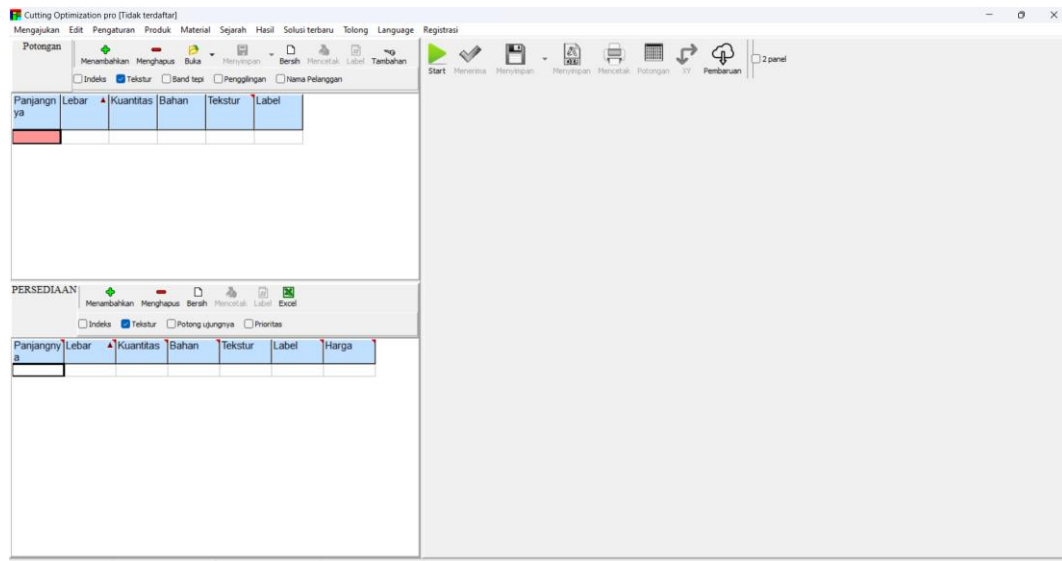
Perhitungan *Waste Cost*

Perhitungan biaya yang akan digunakan akan menggunakan harga satuan dari BOQ. Menurut Poon (2001) Perhitungan *waste cost* dapat dihitung menggunakan metode pendekatan rumus berikut:

$$Waste\ Cost = Waste\ Level \times \%Bobot\ pekerjaan \times Total\ Nilai\ Kontrak$$

Aplikasi *Cutting Optimization Pro*

Aplikasi *Cutting Optimization Pro* merupakan program yang dapat mengoptimalkan penggunaan material tulangan. Output yang dihasilkan dari aplikasi ini antara lain diagram potongan besi, jumlah besi yang digunakan, jumlah potongan sisa material yang tidak dipakai, serta jumlah material yang dapat digunakan kembali. Aplikasi ini dapat disesuaikan dengan kebutuhan seperti jenis material yang digunakan, batasan dimensi material yang akan diklasifikasikan sebagai *waste* serta bisa juga untuk material selain besi semisal bekisting.



Gambar 1. User Interface aplikasi *Cutting Optimization Pro*

3. Metode Penelitian

Data yang digunakan sebagai penelitian menggunakan data BBS Proyek Jalan Tol IKN Segmen Karangjoang - KKT Kariangau pada lokasi Jembatan 01 di item Pile cap, Pier Leg dan Pier Head yang di asumsikan dapat mewakili dari item pembesian yang ada. Alur metode penelitian jurnal adalah sebagai berikut.

- Pengumpulan Data DED:
 - Mengumpulkan data Desain Detail Engineering (DED) sebagai basis informasi untuk proses selanjutnya.
- Konversi ke Shop Drawing:
 - Menggunakan aplikasi BIM seperti Revit, Tekla atau aplikasi sejenisnya untuk memproses data DED menjadi shop drawing.
- Pembuatan Bar Bending Schedule:
 - Berdasarkan shop drawing yang sudah di produksi bisa dilanjutkan membuat Bar Bending Schedule (BBS) yang mencakup detail pemotongan dan penempatan besi.
- Input ke Aplikasi Cutting Optimization Pro:
 - Memasukkan nilai volume dan detail quantity Bar Bending Schedule ke dalam aplikasi *Cutting Optimization Pro* untuk mencari hasil optimalisasi terhadap waste material.
- Analisis Hasil:
 - Hitung hasil dari *Cutting Optimization Pro* untuk mendapatkan *disposed waste* dan *reuse waste* dan di analisa untuk mendapatkan nilai waste level serta waste cost.



Gambar 2. Alur optimasi menggunakan aplikasi *Cutting Optimization Pro*

Nama Paket	:	Jalan Tol IKN Segmen Karangjoang - KKT Kariangau	Backup	:	HK.02.01-PJPB/PPK.3/0X/2022/01
Item Pekerjaan	:	(7.3.(4) Baja Tulangan Strip B)TS 420B	Lembar	:	dari
Satuan	:	Kg			
Lokasi STA	:	Jembatan 1			
Struktur Tulangan	:	Pier Leg			

No.	REINFORCEMENT BAR	Diameter	DIMENSI (m)							Lap (m)	Tot Panjang (m)	Total Buah	Berat Kg/m	Total Berat (Kg)
		(mm)	a	b	c	d	e	f	g					
A	TULANGAN PIER LEG P1													
	Jumlah Pier Leg P1 = 4 Buah													
1	(L1.a) 16D32		32	6.400	0.400					-	6.800	136.000	6.310	5.835.488
2	(L1.b) 14D32		32	6.400	0.400					-	6.800	120.000	6.310	5.148.960
3	(L2.a) D16-100		16	2.00 - 0.1	1.900	1.900	1.900	1.900	0.200	-	7.800	120.000	1.580	1.478.880
4	(L2.b) D16-100		16	2.00 - 0.1	1.900	1.900	1.900	1.900	0.200	-	7.800	80.000	1.580	985.920
5	(L3.a) 8 D16-100		16	1.87	0.100	0.100				-	2.070	1.920.000	1.580	6.279.552
6	(L3.b) 8 D16-100		16	1.87	0.100	0.100				-	2.070	1.280.000	1.580	4.186.368
Sub Total A =												23,915.17		

Gambar 3. *Bar Bending Schedule*

Tabel 1. Data dari BBS yang akan di input ke dalam aplikasi Aplikasi *Cutting Optimization Pro*

Item	Diameter	Panjang	Kuantitas	Total Panjang	Berat	Total Berat
		(m)	(buah)	(m)	(kg/m)	(kg)
PILE CAP	D19	10,600	114,000	1.208,400	2,230	2.694,732
	D32	10,600	114,000	1.208,400	6,310	7.625,004
	D19	12,000	53,000	636,000	2,230	1.418,280
	D19	7,875	53,000	417,375	2,230	930,746
	D32	12,000	53,000	636,000	6,310	4.013,160
	D32	9,030	53,000	478,590	6,310	3.019,903
	D16	12,000	7,000	84,000	1,580	132,720
	D16	2,730	7,000	19,110	1,580	30,194
	D16	12,000	7,000	84,000	1,580	132,720
	D16	12,000	7,000	84,000	1,580	132,720
	D16	2,730	7,000	19,110	1,580	30,194
	D16	12,000	7,000	84,000	1,580	132,720
PIER 1	D16	2,050	364,000	746,200	1,580	1.178,996
	D32	6,800	136,000	924,800	6,310	5.835,488
	D32	6,800	120,000	816,000	6,310	5.148,960
	D16	7,800	120,000	936,000	1,580	1.478,880

PIER 2	D16	7,800	80,000	624,000	1,580	985,920
	D16	2,070	1.920,000	3.974,400	1,580	6.279,552
	D16	2,070	1.280,000	2.649,600	1,580	4.186,368
	D32	9,700	136,000	1.319,200	6,310	8.324,152
	D32	9,700	120,000	1.164,000	6,310	7.344,840
	D16	7,800	240,000	1.872,000	1,580	2.957,760
	D16	7,800	80,000	624,000	1,580	985,920
	D16	2,100	3.840,000	8.064,000	1,580	12.741,120
PIER 3	D16	2,100	1.280,000	2.688,000	1,580	4.247,040
	D32	9,600	136,000	1.305,600	6,310	8.238,336
	D32	9,600	120,000	1.152,000	6,310	7.269,120
	D16	7,700	232,000	1.786,400	1,580	2.822,512
	D16	7,700	80,000	616,000	1,580	973,280
	D16	2,070	3.712,000	7.683,840	1,580	12.140,467
PIER 4	D16	2,070	1.280,000	2.649,600	1,580	4.186,368
	D32	10,000	136,000	1.360,000	6,310	8.581,600
	D32	10,000	120,000	1.200,000	6,310	7.572,000
	D16	7,800	248,000	1.934,400	1,580	3.056,352
	D16	7,800	80,000	624,000	1,580	985,920
	D16	2,100	3.968,000	8.332,800	1,580	13.165,824
PIER HEAD 1	D16	2,100	1.280,000	2.688,000	1,580	4.247,040
	D32	12,000	76,000	912,000	6,310	5.754,720
	D32	4,925	76,000	374,300	6,310	2.361,833
	D32	4,925	76,000	374,300	6,310	2.361,833
	D32	12,000	32,000	384,000	6,310	2.423,040
	D32	4,925	32,000	157,600	6,310	994,456
	D32	4,925	32,000	157,600	6,310	994,456
	D32	9,761	170,000	1.659,370	6,310	10.470,625
	D32	9,655	170,000	1.641,350	6,310	10.356,919
	D32	5,180	170,000	880,600	6,310	5.556,586
	D32	12,000	28,000	336,000	6,310	2.120,160
	D32	4,925	28,000	137,900	6,310	870,149
	D32	4,925	28,000	137,900	6,310	870,149
	D32	12,000	8,000	96,000	6,310	605,760
	D32	4,925	10,000	49,250	6,310	310,768
	D32	4,925	10,000	49,250	6,310	310,768
	D32	12,000	8,000	96,000	6,310	605,760
	D32	4,345	8,000	34,760	6,310	219,336
	D32	4,345	8,000	34,760	6,310	219,336
	D32	12,000	32,000	384,000	6,310	2.423,040
	D32	4,925	32,000	157,600	6,310	994,456
	D32	4,925	32,000	157,600	6,310	994,456
	D32	12,000	80,000	960,000	6,310	6.057,600
	D32	4,925	80,000	394,000	6,310	2.486,140
	D32	4,925	80,000	394,000	6,310	2.486,140
	D13	2,931	510,000	1.494,555	1,040	1.554,337
	D13	1,966	340,000	668,270	1,040	695,001

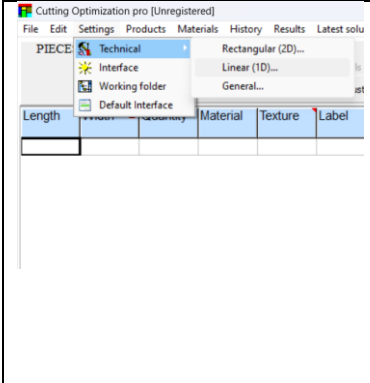
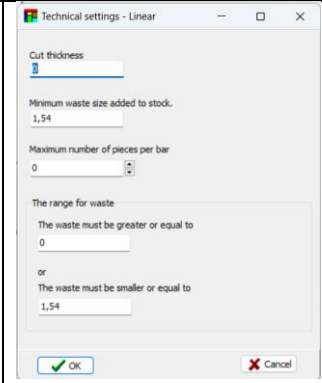
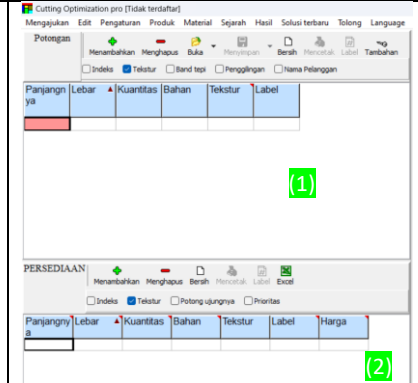
	D16	3,112	680,000	2.116,160	1,580	3.343,533
PIER HEAD 2	D32	12,000	228,000	2.736,000	6,310	17.264,160
	D32	4,925	228,000	1.122,900	6,310	7.085,499
	D32	4,925	228,000	1.122,900	6,310	7.085,499
	D32	12,000	96,000	1.152,000	6,310	7.269,120
	D32	4,925	96,000	472,800	6,310	2.983,368
	D32	4,925	96,000	472,800	6,310	2.983,368
	D32	10,857	510,000	5.537,070	6,310	34.938,912
	D32	11,837	510,000	6.036,870	6,310	38.092,650
	D32	12,000	84,000	1.008,000	6,310	6.360,480
	D32	4,925	84,000	413,700	6,310	2.610,447
	D32	4,925	84,000	413,700	6,310	2.610,447
	D32	12,000	84,000	1.008,000	6,310	6.360,480
	D32	4,925	84,000	413,700	6,310	2.610,447
	D32	4,925	84,000	413,700	6,310	2.610,447
	D32	12,000	84,000	1.008,000	6,310	6.360,480
	D32	4,345	84,000	364,980	6,310	2.303,024
	D32	4,345	84,000	364,980	6,310	2.303,024
	D13	4,450	1.530,000	6.808,500	1,040	7.080,840
	D13	2,945	1.530,000	4.505,850	1,040	4.686,084
	D16	1,540	1.530,000	2.356,200	1,580	3.722,796
PIER HEAD 3	D32	12,000	228,000	2.736,000	6,310	17.264,160
	D32	4,925	228,000	1.122,900	6,310	7.085,499
	D32	4,925	228,000	1.122,900	6,310	7.085,499
	D32	12,000	96,000	1.152,000	6,310	7.269,120
	D32	4,925	96,000	472,800	6,310	2.983,368
	D32	4,925	96,000	472,800	6,310	2.983,368
	D32	10,857	510,000	5.537,070	6,310	34.938,912
	D32	11,837	510,000	6.036,870	6,310	38.092,650
	D32	12,000	84,000	1.008,000	6,310	6.360,480
	D32	4,925	84,000	413,700	6,310	2.610,447
	D32	4,925	84,000	413,700	6,310	2.610,447
	D32	12,000	84,000	1.008,000	6,310	6.360,480
	D32	4,925	84,000	413,700	6,310	2.610,447
	D32	4,925	84,000	413,700	6,310	2.610,447
	D32	12,000	84,000	1.008,000	6,310	6.360,480
	D32	4,345	84,000	364,980	6,310	2.303,024
	D32	4,345	84,000	364,980	6,310	2.303,024
	D13	4,450	1.530,000	6.808,500	1,040	7.080,840
	D13	2,945	1.530,000	4.505,850	1,040	4.686,084
	D16	1,540	1.530,000	2.356,200	1,580	3.722,796
PIER HEAD 4	D32	12,000	228,000	2.736,000	6,310	17.264,160
	D32	4,925	228,000	1.122,900	6,310	7.085,499
	D32	4,925	228,000	1.122,900	6,310	7.085,499
	D32	12,000	96,000	1.152,000	6,310	7.269,120
	D32	4,925	96,000	472,800	6,310	2.983,368
	D32	4,925	96,000	472,800	6,310	2.983,368

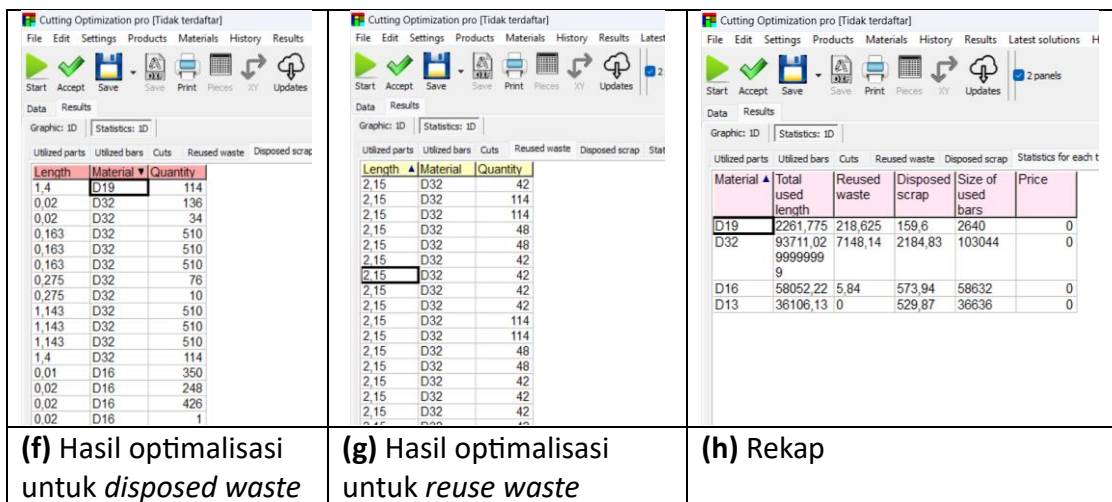
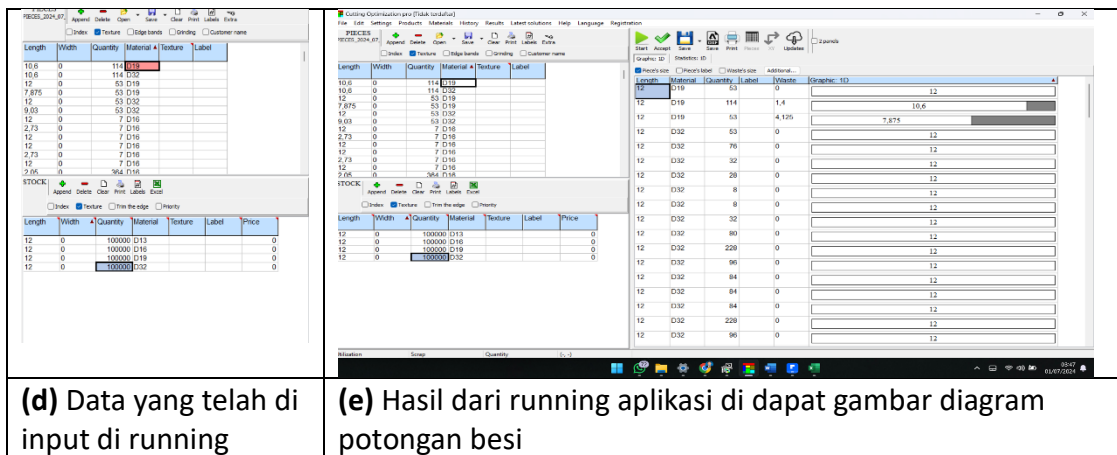
	D32	10,857	510,000	5.537,070	6,310	34.938,912
	D32	11,837	510,000	6.036,870	6,310	38.092,650
	D32	12,000	84,000	1.008,000	6,310	6.360,480
	D32	4,925	84,000	413,700	6,310	2.610,447
	D32	4,925	84,000	413,700	6,310	2.610,447
	D32	12,000	84,000	1.008,000	6,310	6.360,480
	D32	4,925	84,000	413,700	6,310	2.610,447
	D32	4,925	84,000	413,700	6,310	2.610,447
	D32	12,000	84,000	1.008,000	6,310	6.360,480
	D32	4,345	84,000	364,980	6,310	2.303,024
	D32	4,345	84,000	364,980	6,310	2.303,024
	D13	4,450	1.530,000	6.808,500	1,040	7.080,840
	D13	2,945	1.530,000	4.505,850	1,040	4.686,084
	D16	1,540	1.530,000	2.356,200	1,580	3.722,796
TOTAL						725.632,975

4. Pembahasan

Input data ke aplikasi *Cutting Optimization Pro*

Input data dilakukan sesuai dengan jenis besi tulangan untuk memudahkan proses input dan kontrol di lapangan. Sebelum menginput data, terlebih dahulu diatur minimum sisa material yang dapat digunakan kembali untuk potongan berikutnya.

		
(a) Setting batasan waste material	(b) Setting batasan waste material	(c) Input data BBS pada tabel (1) dan input stok material pada tabel (2)



Pengolahan data dari *Cutting Optimization Pro* dengan bantuan MS Excel

Hasil output dari aplikasi *Cutting Optimization Pro* diolah kembali dengan bantuan Microsoft Excel. Berikut adalah data hasil optimasi besi *waste* :

Tabel 2. Output *Disposed Waste* dari Aplikasi *Cutting Optimization Pro*

Diameter	Panjang	Kuantitas	Total Panjang	Berat	Total Berat
	(m)	(buah)	(m)	(kg/m)	(kg)
D32	0,020	136,000	2,720	6,310	17,163
D32	0,020	34,000	0,680	6,310	4,291
D32	0,163	510,000	83,130	6,310	524,550
D32	0,163	510,000	83,130	6,310	524,550
D32	0,163	510,000	83,130	6,310	524,550
D32	0,275	76,000	20,900	6,310	131,879
D32	0,275	10,000	2,750	6,310	17,353
D32	1,143	510,000	582,930	6,310	3.678,288
D32	1,143	510,000	582,930	6,310	3.678,288
D32	1,143	510,000	582,930	6,310	3.678,288
D32	1,400	114,000	159,600	6,310	1.007,076

D19	1,400	114,000	159,600	2,230	355,908
D16	0,010	350,000	3,500	1,580	5,530
D16	0,020	248,000	4,960	1,580	7,837
D16	0,020	426,000	8,520	1,580	13,462
D16	0,020	1,000	0,020	1,580	0,032
D16	0,020	271,000	5,420	1,580	8,564
D16	0,020	206,000	4,120	1,580	6,510
D16	0,020	434,000	8,680	1,580	13,714
D16	0,020	411,000	8,220	1,580	12,988
D16	0,020	1,000	0,020	1,580	0,032
D16	0,020	426,000	8,520	1,580	13,462
D16	0,096	258,000	24,768	1,580	39,133
D16	0,096	82,000	7,872	1,580	12,438
D16	0,110	271,000	29,810	1,580	47,100
D16	0,110	1,000	0,110	1,580	0,174
D16	0,110	255,000	28,050	1,580	44,319
D16	0,690	1,000	0,690	1,580	1,090
D16	1,220	231,000	281,820	1,580	445,276
D16	1,220	80,000	97,600	1,580	154,208
D16	1,220	42,000	51,240	1,580	80,959
D13	0,155	765,000	118,575	1,040	123,318
D13	0,155	765,000	118,575	1,040	123,318
D13	0,155	765,000	118,575	1,040	123,318
D13	0,207	56,000	11,592	1,040	12,056
D13	0,214	1,000	0,214	1,040	0,222
D13	0,220	190,000	41,800	1,040	43,472
D13	0,220	1,000	0,220	1,040	0,229
D13	0,220	382,000	84,040	1,040	87,402
D13	0,262	1,000	0,262	1,040	0,272
D13	0,276	126,000	34,776	1,040	36,167
D13	1,242	1,000	1,242	1,040	1,291
TOTAL					15.600,075

Tabel 3. Output *Reuse Waste* dari Aplikasi *Cutting Optimization Pro*

Diameter	Panjang	Kuantitas	Total Panjang	Berat	Total Berat
	(m)	(buah)	(m)	(kg/m)	(kg)
D32	2,000	136,000	272,000	6,310	1.716,320
D32	2,000	120,000	240,000	6,310	1.514,400
D32	2,150	33,000	70,950	6,310	447,695
D32	2,150	16,000	34,400	6,310	217,064
D32	2,150	16,000	34,400	6,310	217,064
D32	2,150	14,000	30,100	6,310	189,931
D32	2,150	14,000	30,100	6,310	189,931

D32	2,150	5,000	10,750	6,310	67,833
D32	2,150	5,000	10,750	6,310	67,833
D32	2,150	16,000	34,400	6,310	217,064
D32	2,150	16,000	34,400	6,310	217,064
D32	2,150	40,000	86,000	6,310	542,660
D32	2,150	40,000	86,000	6,310	542,660
D32	2,150	114,000	245,100	6,310	1.546,581
D32	2,150	114,000	245,100	6,310	1.546,581
D32	2,150	48,000	103,200	6,310	651,192
D32	2,150	48,000	103,200	6,310	651,192
D32	2,150	42,000	90,300	6,310	569,793
D32	2,150	42,000	90,300	6,310	569,793
D32	2,150	42,000	90,300	6,310	569,793
D32	2,150	42,000	90,300	6,310	569,793
D32	2,150	114,000	245,100	6,310	1.546,581
D32	2,150	114,000	245,100	6,310	1.546,581
D32	2,150	48,000	103,200	6,310	651,192
D32	2,150	48,000	103,200	6,310	651,192
D32	2,150	42,000	90,300	6,310	569,793
D32	2,150	42,000	90,300	6,310	569,793
D32	2,150	42,000	90,300	6,310	569,793
D32	2,150	42,000	90,300	6,310	569,793
D32	2,150	114,000	245,100	6,310	1.546,581
D32	2,150	114,000	245,100	6,310	1.546,581
D32	2,150	48,000	103,200	6,310	651,192
D32	2,150	48,000	103,200	6,310	651,192
D32	2,150	42,000	90,300	6,310	569,793
D32	2,150	42,000	90,300	6,310	569,793
D32	2,150	42,000	90,300	6,310	569,793
D32	2,150	42,000	90,300	6,310	569,793
D32	2,239	170,000	380,630	6,310	2.401,775
D32	2,300	136,000	312,800	6,310	1.973,768
D32	2,300	120,000	276,000	6,310	1.741,560
D32	2,345	170,000	398,650	6,310	2.515,482
D32	2,400	136,000	326,400	6,310	2.059,584
D32	2,400	120,000	288,000	6,310	1.817,280
D32	2,970	53,000	157,410	6,310	993,257
D32	3,310	4,000	13,240	6,310	83,544
D32	3,310	4,000	13,240	6,310	83,544
D32	3,310	42,000	139,020	6,310	877,216
D32	3,310	42,000	139,020	6,310	877,216
D32	3,310	42,000	139,020	6,310	877,216
D32	3,310	42,000	139,020	6,310	877,216
D32	3,310	42,000	139,020	6,310	877,216

D32	3,310	42,000	139,020	6,310	877,216
D19	3,310	42,000	139,020	2,230	310,015
D16	5,840	1,000	5,840	1,580	9,227
TOTAL					45.424,005

Perhitungan Waste Level

Perhitungan waste level dapat dihitung menggunakan metode pendekatan rumus berikut:

$$\text{Waste Level} = \frac{\text{Volume Waste}}{\text{Volume Kebutuhan}}$$

$$\text{Waste Level} = \frac{15.600,075 \text{ Kg}}{725632,975 \text{ Kg}}$$

$$\text{Waste Level} = 2.15\%$$

Perhitungan Waste Cost

Perhitungan waste cost berdasarkan waste level hasil optimasi dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Waste Cost} = \text{Waste Level} \times \% \text{Bobot pekerjaan} \times \text{Total Nilai Kontrak}$$

$$\text{Waste Cost} = 2.15\% \times 16,407\% \times \text{Rp. } 3,133,678,019,819.82$$

$$\text{Waste Cost} = \text{Rp. } 11,053,332,486.14$$

Perhitungan waste cost rencana (3%) dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Waste Cost} = \text{Waste Level} \times \% \text{Bobot pekerjaan} \times \text{Total Nilai Kontrak}$$

$$\text{Waste Cost} = 3\% \times 16,407\% \times \text{Rp. } 3,133,678,019,819.82$$

$$\text{Waste Cost} = \text{Rp. } 15,424,276,581.36$$

Selisih Biaya

Terdapat selisih biaya antara waste rencana dengan waste hasil optimasi yaitu senilai Rp. 4,370,944,095.22.

5. Kesimpulan

Dengan penggunaan aplikasi *Cutting Optimization Pro*, waste material besi dalam proyek berhasil dikurangi dari rencana semula 3% menjadi hanya 2.15%, sementara efisiensi biaya juga meningkat sebesar 0.85% dari total biaya proyek. Ini menunjukkan bahwa penggunaan teknologi ini tidak hanya mengoptimalkan penggunaan material tetapi juga memberikan dampak positif pada pengendalian biaya dalam pelaksanaan proyek.

Referensi

- (1) Pertiwi, I.G.A.I.M. (2019). Analisis Waste Material Konstruksi pada Proyek Gedung (Studi Kasus Proyek Gedung di Kabupaten Badung). Jurnal SIMETRIK, Vol. 9, No. 1.
- (2) Formoso, C.T., et al. (2002). Material Waste in Building Industry: Main Causes and Prevention. Journal of Construction Engineering and Management, pp. 316–325.
- (3) Abuhassan, I.A.O., & Nasereddin, H.H.O. (2011). Cutting Stock Problem : Solution Behaviors. Journal of Industrial Engineering and Management, 6(4), 429–433. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/281120697_CUTTING_STOCK_PROBLEM_SOLUTION_BEHAVIORS.
- (4) Poon, C.S., Yu, A.T.W., & Ng, L.H. (2001). On-Site Sorting of Construction and Demolition Waste in Hong Kong. Resource Conservation and Recycling, 32, pp. 157-172.