



## Analisis Perbandingan *Waste* Pada Penulangan Balok Dengan Menggunakan Metode Konvensional Dan *Software Cutting Optimization Pro*

Syafiqah F. Korompot<sup>#a</sup>, Jermias Tjakra<sup>#b</sup>, Jantje B. Mangare<sup>#c</sup>

<sup>#</sup>Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia  
<sup>a</sup>safikakorompot19@gmail.com, <sup>b</sup>jermias6201@gmail.com, <sup>c</sup>mangarejantje01@gmail.com

### Abstrak

Material sebagai salah satu sumber daya proyek merupakan faktor penting yang berkontribusi sebesar 40-60% terhadap biaya proyek maka dari itu material berperan penting dalam menunjang keberhasilan sebuah proyek konstruksi. Dalam penelitian ini akan membahas tentang salah satu material yang tidak bisa lepas dari sebuah proyek konstruksi yaitu besi tulangan beton. Pekerjaan pembesian pada tulisan ini hanya berfokus pada penulangan balok. Studi ini merupakan penelitian kuantitatif dengan desain penelitian yang bertujuan untuk membandingkan perhitungan *waste* menggunakan metode konvensional dan *software cutting optimization pro*. Tujuan penelitian ini untuk menghasilkan penulangan balok yang paling optimal dan menekan *waste* ke nilai terkecil pada Proyek Ruko Puri Kelapa Gading Minahasa Utara. Berdasarkan hasil penelitian pemotongan besi ulir D16 mm menggunakan metode konvensional menghasilkan *waste level* sebesar 6,1% dan *waste cost* sebesar Rp1.273.657,07. Hasil *waste* menggunakan bantuan perangkat lunak (*software*) melalui *software cutting optimization pro* sebesar 0,7%. Hasil perbandingan *waste* dengan menggunakan metode konvensional dan *software cutting optimization pro* yaitu *software* tersebut dapat meminimalisir *waste* pada penulangan balok sebesar 5,4%.

*Kata kunci: waste, Software Cutting Optimization Pro, besi tulangan*

### 1. Pendahuluan

Dalam pembangunan sebuah proyek konstruksi membutuhkan sumber daya proyek sebagai komponen dalam prosesnya. Terdapat lima sumber daya proyek, yaitu pekerja (*man*), metode (*method*), alat (*machine*), biaya (*money*), dan material (*materials*). Dari kelima komponen tersebut, material merupakan sumber daya yang memiliki pengaruh cukup besar dalam konstruksi.

Material sebagai salah satu sumber daya fisik merupakan faktor penting dengan tingkat kontribusi sebesar 40-60% terhadap biaya proyek, oleh karena itu secara tidak langsung berperan penting dalam menunjang keberhasilan proyek.

Pada proyek konstruksi, penggunaan material oleh pekerja di lapangan dapat menimbulkan penyimpangan berupa *waste*. *Waste* material konstruksi berkisar antara 15-25% dari sampah perkotaan. Hal ini tidak hanya penting dari segi efisiensi tetapi juga berdampak pada lingkungan. Oleh karena itu, penting bagi pelaku konstruksi untuk melakukan upaya meminimalkan *waste* material konstruksi.

Salah satu material yang terdapat dalam proyek konstruksi adalah besi tulangan. Besi tulangan memiliki nilai yang cukup tinggi sehingga dalam perhitungannya harus teliti agar mendapatkan nilai yang optimal.

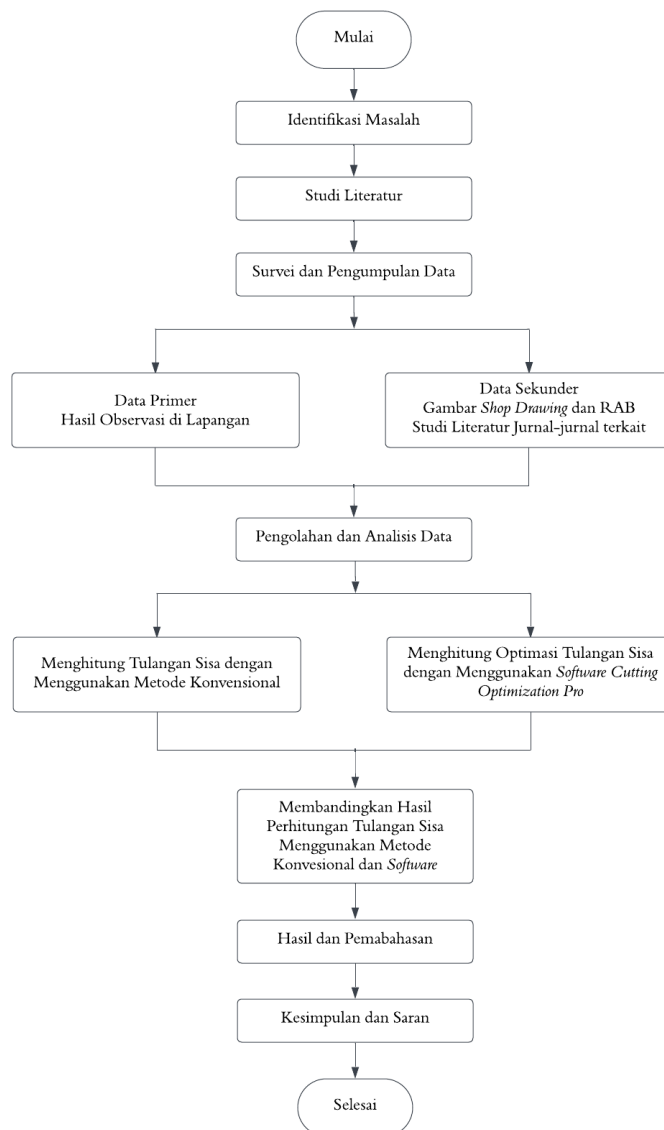
Penyebab terjadinya *waste* dalam konstruksi yang paling sering dijumpai yaitu perubahan desain yang mengakibatkan pola pemotongan pada besi tulangan tidak dapat optimal. Untuk mencegah terjadinya kerugian dari sisa-sisa potongan besi maka dilakukan perhitungan kebutuhan besi tulangan menggunakan metode konvensional dan *software cutting optimization*

*pro. Software* ini dikembangkan oleh Optimal Program SRL, hasil dari *software* ini adalah pola pemotongan besi tulangan yang paling optimal dan menampilkan data material besi yang terdapat di lapangan sehingga menjadi lebih mudah dan efektif.

Dalam penelitian ini, untuk memaksimalkan pengendalian sisa material besi tulangan pada Proyek Ruko Puri Kelapa Gading Minahasa Utara penulis membandingkan *waste* penulangan balok dengan menggunakan metode konvensional dan *software cutting optimization pro* untuk menghasilkan perbandingan potongan penulangan balok yang paling optimal.

## 2. Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam studi ini merupakan penelitian kuantitatif dengan desain penelitian komparasi yang bertujuan untuk membandingkan perhitungan *waste* menggunakan metode konvensional dan *software cutting optimization pro*. Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari data primer yaitu hasil observasi di lapangan data material yang tersedia di lokasi konstruksi dan data sekunder yaitu gambar *shop drawing*, RAB, dan studi literatur sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian ini. Penelitian berlokasi di Kawasan Perumahan Puri Kelapa Gading Kabupaten Minahasa Utara pada Proyek Konstruksi Ruko Puri Kelapa Gading.



**Gambar 1.** Bagan Alir Penelitian

### 3. Kajian Literatur

#### 3.1 Beton

Berdasarkan SNI 03-2847-2002 beton adalah campuran antara semen *portland* atau semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan tambahan membentuk massa padat.

#### 3.2 Baja Tulangan Beton

Menurut SNI-07-2052-2017, baja tulangan beton adalah baja berbentuk batang berpenampang bundar yang digunakan untuk penulangan beton, yang diproduksi dari bahan baku *billet* dengan cara canai panas (*hot rolling*). Berdasarkan bentuknya, baja tulangan beton dibedakan menjadi dua, yaitu sebagai berikut:

- a. Baja tulangan beton polos (BjTP)  
Baja tulangan beton polos adalah baja tulangan beton berpenampang bundar dengan permukaan rata tidak bersirip.
- b. Baja tulangan beton sirip (BjTS)  
Baja tulangan beton sirip (ulir) adalah baja tulangan beton dengan bentuk khusus yang permukaannya memiliki sirip melintang dan rusuk memanjang yang dimaksudkan untuk meningkatkan daya lekat dan guna menahan gerakan membujur dari batang secara relatif terhadap beton.

#### 3.3 Balok

Balok adalah elemen struktural yang menerima gaya-gaya yang bekerja dalam arah transversal terhadap sumbunya yang mengakibatkan terjadinya momen lentur dan gaya geser sepanjang bentangnya (Dipohusodo, 1994). Balok merupakan elemen struktural yang menyalurkan beban-beban dari pelat lantai ke kolom sebagai penyangga vertikal. Pada umumnya balok dicor secara monolit dengan pelat dan secara struktural dipasang tulangan di bagian bawah dan di bagian atas. Dua hal utama yang dialami oleh balok ialah gaya tekan dan gaya tarik, antara lain karena adanya pengaruh lentur ataupun gaya lateral (Wahyudi L dan Rahim, 1999).

#### 3.4 Metode Pelaksanaan Pekerjaan Balok

Pekerjaan balok merupakan pekerjaan beton bertulang yang direncanakan untuk menahan tegangan tekan dan tegangan tarik yang diakibatkan oleh beban lentur. Balok merupakan bagian struktur yang kaku dan dirancang untuk menanggung dan menyalurkan beban menuju elemen-elemen kolom penopang.

Berikut adalah metode pelaksanaan pekerjaan balok yang meliputi bekisting, pekerjaan pemasangan tulangan, pekerjaan pengecoran, dan pekerjaan pembongkaran bekisting.

1. Pekerjaan Bekisting  
Pekerjaan bekisting dilaksanakan setelah pekerjaan *marking* selesai. Pekerjaan bekisting berfungsi sebagai wadah atau cetakan beton.
2. Pekerjaan Tulangan  
Pekerjaan tulangan merupakan pekerjaan yang meliputi pekerjaan pemotongan hingga pekerjaan perakitan baik itu pekerjaan tulangan yang dirakit langsung maupun di tempat lain. Tulangan merupakan salah satu bahan beton bertulang yang berfungsi sebagai penahan gaya tarik pada struktur balok maupun plat.
3. Pekerjaan Pengecoran  
Pekerjaan pengecoran merupakan pekerjaan penuangan beton segar ke area bekisting yang telah diberi tulangan.  
Sebelum melakukan pekerjaan beton, Langkah teknis yang harus dipersiapkan yaitu:
  - a. Pengecekan tulangan dan kondisi bekisting yang sudah siap. Hal ini dilakukan oleh seorang QC (*Quality Control*)
  - b. Jika sudah dilakukan pengecekan maka langkah selanjutnya ialah menulis surat izin cor.
  - c. Setelah pengecekan selesai dilakukan, selanjutnya menyerahkan surat izin cor kepada pengawas MK (Manajemen Konstruksi).

- d. Melakukan pengecekan ulang bersama pengawas MK.
  - e. Jika hasil lapangan telah memenuhi menurut pengawas MK, selanjutnya penandatanganan surat izin cor dan area siap dilakukan pengecoran.
4. Pekerjaan Pembongkaran Bekisting  
Pekerjaan pembongkaran bekisting balok dilaksanakan apabila beton telah cukup umur yakni selama 21-28 hari. Beton yang cukup umur ialah beton yang dapat menahan berat sendiri dan beban dari luar. Bekisting yang telah dibongkar dibersihkan dari sisa-sisa beton yang melekat dan disimpan pada tempat yang terlindungi. Pekerjaan pembongkaran bekisting plat dan balok dilakukan dengan tidak mengurangi keamanan dan kemampuan struktur.
5. Pekerjaan Perawatan Beton  
Selesai pekerjaan pembongkaran bekisting, harus diadakan perawatan beton (*curing*) dengan cara disiram air.

### 3.5 Sisa Material Konstruksi

Franklin (1998) beropini bahwa sisa material (*material waste*) dari proyek konstruksi adalah material yang sudah tidak digunakan lagi yang dihasilkan dari proses konstruksi, perbaikan, atau perubahan serta suatu ketidaksengajaan yang tidak dapat langsung dipergunakan pada tempat tersebut tanpa adanya suatu perlakuan lagi. Sisa material merupakan material yang berlebihan atau material yang sudah selesai digunakan, termasuk yang dapat digunakan kembali, dapat didaur ulang, dapat dikembalikan ke *supplier*, dan dapat di buang ke tempat yang dapat digunakan kembali oleh orang lain.

### 3.6 Penyebab Sisa Material Besi Tulangan

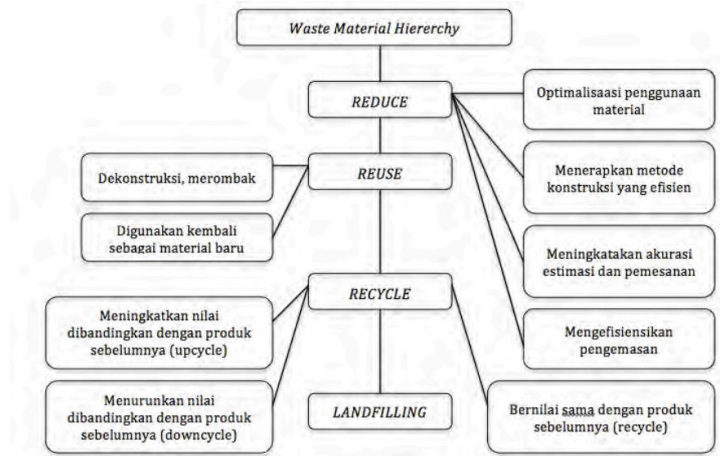
Besaran material yang menjadi *waste* bisa mencapai 3-5% dari besaran materil pada tahap bidding di negara-negara yang belum menggunakan tulangan dalam bentuk kumparan. Persentase *waste* di atas bahkan bisa lebih tinggi dari 10% seiring dengan bertambahnya diameter tulangan. Kim (2004). Kim (1987) menunjukkan bahwa tingkat kehilangan besi tulangan dari suatu proyek konstruksi lebih banyak dibandingkan pada bangunan yang cenderung menggunakan panjang dan ukuran tulangan yang sama berkali-kali.

Penyebab utama yang mempengaruhi *waste* besi tulangan sebagai berikut:

- a. Pemesanan tulangan pada pabrik besi yang tidak akurat dan sesuai dengan konstruksi dan "*bar schedule*" serta tidak memperhatikan tulangan surplus dari proses konstruksi.
- b. Material yang terbuang percuma ketika tulangan dengan panjang 2-3 meter tidak digunakan lagi setelah dipotong. Yang paling efektif adalah jika panjang pemotongan minimal 1 meter, karena biaya pemotongan untuk tulangan ukuran dibawah 1 meter akan lebih mahal. Penghematan sampai sebesar 1% dapat dicapai jika dilakukan perencanaan tulangan dengan mempertimbangkan gambar struktur, dan pemilihan pengkombinasian ukuran tulangan yang tepat dapat dilakukan sehingga tidak menghasilkan sisa lebih dari 1 meter. (Kim 1997).
- c. Penelitian juga menunjukkan bahwa kemungkinan terjadinya 1% *loss rate* jika dilakukan pemotongan tulangan tanpa mempertimbangkan *bending margin*.
- d. Salah satu yang paling sering terjadi adalah kegagalan dari manajemen inventaris dari pemotongan dan pembengkokan tulangan.
- e. Kualitas pekerjaan tulangan yang tidak terkontrol.
- f. Kesalahan manajemen pada fabrikasi besi tulangan dan *layout* dari mesin pemotong dan mesin pembengkok/bending tulangan.
- g. Kualitas pekerja yang dipekerjakan oleh sub kontraktor.

### 3.7 Penanganan Sisa Material Konstruksi

Penggunaan material sebagai bahan baku dalam suatu pekerjaan konstruksi pasti menyisakan sisa material yang dapat merugikan berbagai pihak. Oleh karena itu dibutuhkan penanganan yang tepat untuk meminimalkan sisa material yang tidak terpakai yang akan menjadi limbah konstruksi, dengan mempertimbangkan tidak semua sisa material digolongkan sebagai limbah. Menurut Wulfram, I (2012) cara yang dapat digunakan dalam pengolahan sisa material yaitu dengan konsep hirarki yang digambarkan di bawah ini.



Gambar 2. Hirarki Tahapan Penanganan Limbah Konstruksi (Giusti Aji Waluyo, 2017)

### 3.8 Perhitungan Waste

Dalam penelitian ini analisis yang dilakukan untuk menghitung waste yaitu melalui persamaan waste level untuk mengukur berapa persen volume waste material yang terjadi selama kegiatan konstruksi.

#### 3.8.1 Waste Level

Waste level dihitung untuk mengetahui volume waste dari masing-masing item yang diteliti. Waste level dihitung menggunakan metode pendekatan dengan rumus (Poon, 2001):

$$Waste\ level = \frac{vol.\ waste}{vol.\ kebutuhan\ material}$$

Keterangan:

Vol. waste = vol. material terpakai – vol. material terpasang

Vol. kebutuhan material = vol. kebutuhan material yang ditinjau

### 3.9 Metode Konvensional

Metode konvensional dalam perhitungan waste penulangan balok adalah metode perhitungan secara manual tanpa bantuan perangkat lunak (software) dan menggunakan persamaan waste level untuk mencari persentase waste material proyek konstruksi.

### 3.10 Software Cutting Optimization Pro (SCOP)

Software cutting optimization pro adalah perangkat lunak pemotongan yang digunakan untuk mendapatkan tata letak pemotongan yang optimal untuk potongan satu dimensi (1D) dan dua dimensi (2D). Software ini dapat digunakan sebagai perangkat lunak pemotongan untuk potongan linear seperti batangan, pipa, tabung, batang besi, profil logam, ekstrusi, papan kayu linier, dan material lainnya.

### 3.11 Manajemen Proyek Konstruksi

Manajemen adalah suatu ilmu pengetahuan tentang seni memimpin organisasi yang terdiri atas kegiatan perencanaan, pelaksanaan, dan pengendalian terhadap sumber-sumber daya yang terbatas dalam usaha mencapai tujuan dan sasaran yang efektif dan efisien. Tujuannya untuk mendapatkan metode atau cara teknis yang paling baik agar dengan sumber daya yang terbatas diperoleh hasil maksimal dalam hal ketetapan, kecepatan, penghematan, dan keselamatan kerja secara komprehensif. Di dalam manajemen terdapat manajemen proses yaitu perencanaan (planning), pengorganisasian (organizing), pelaksanaan (actuating), dan pengendalian (controlling).

#### 4. Hasil dan Pembahasan

Dalam bagian hasil dan pembahasan ini akan meliputi analisis perhitungan penulangan balok 25/45 pada tulangan longitudinal arah horizontal dan vertikal, tulangan tumpuan/lapangan arah horizontal dan vertikal baik menggunakan metode konvensional maupun *software cutting optimization pro* yang selanjutnya hasil dari kedua metode tersebut akan dibandingkan. Dari pengambilan data primer di lapangan diperoleh ukuran besi yang digunakan dalam penulangan balok 25/45 pada proyek Ruko Puri Kelapa Gading Minahasa Utara.

**Tabel 1.** Ukuran Besi yang Digunakan pada Objek Penelitian (*Data Primer, 2024*)

No.	Material	Material di Lapangan (batang/lonjor)
1	Besi D16 mm	87

##### 4.1 Perhitungan Pembesian Tulangan Longitudinal Balok 25/45

Perhitungan pembesian pada tulangan longitudinal balok 25/45 diperoleh dari data sekunder yaitu gambar *shop drawing* objek penelitian. Hasil perhitungan yaitu berupa ukuran dan kebutuhan tulangan yang disajikan dalam tabel di bawah ini.

**Tabel 2.** Ukuran dan Kebutuhan Tulangan Longitudinal Balok 25/45 (*Hasil Analisis, 2024*)

No	Balok	Tipe Besi	Panjang (m)	Jumlah Kebutuhan (Potongan)
1	Horizontal (10 m)	D16 mm	10,4	32
2	Vertikal (12 m)		12	24
3	Vertikal (4,8 m)		5,6	24

##### 4.2 Perhitungan Pembesian Tulangan Tumpuan/Lapangan Horizontal Balok 25/45

Perhitungan pembesian pada tulangan tumpuan/lapangan horizontal balok 25/45 diperoleh dari data sekunder yaitu gambar *shop drawing* objek penelitian. Hasil perhitungan yaitu berupa ukuran dan kebutuhan tulangan yang disajikan dalam tabel di bawah ini.

**Tabel 3.** Ukuran dan Kebutuhan Tulangan Tumpuan/Lapangan Horizontal Balok 25/45 (*Hasil Analisis, 2024*)

No	Balok	Tipe Besi	Panjang (m)	Jumlah Kebutuhan (Potongan)
1	Tul. Tumpuan A	D16 mm	2	8
2	Tul. Tumpuan A dan B		3,14	8
3	Tul. Tumpuan B		2	8
4	Tul. Lapangan A		3,14	8
5	Tul. Lapangan B		3,14	8

4.3 Perhitungan Pembesian Tulangan Tumpuan/Lapangan Vertikal Balok 25/45

**Tabel 4.** Ukuran dan Kebutuhan Tulangan Tumpuan/Lapangan Vertikal Balok 25/45 (Hasil Analisis, 2024)

No	Balok	Tipe Besi	Panjang (m)	Jumlah Kebutuhan (Potongan)
1	Tul. Tumpuan C	D16 mm	1,85	6
2	Tul. Tumpuan C dan D		2,95	6
3	Tul. Tumpuan D dan E		3,27	6
4	Tul. Tumpuan E		2,16	6
5	Tul. Lapangan C		2,89	6
6	Tul. Lapangan D		3,01	6
7	Tul. Lapangan E		3,52	6

4.4 Kebutuhan Pembesian Balok 25/45

**Tabel 5.** Rekapitulasi Besi Balok 25/45 yang Dibutuhkan (Hasil Analisis, 2024)

No	Tipe Besi	Panjang (m)	Kebutuhan	Panjang Total (m)	Berat Total (kg)
1	D16 mm	10,4	32	332,8	525,824
2		12	24	288	455,04
3		5,6	24	134,4	212,352
4		2	8	16	25,28
5		3,14	8	25,12	39,6896
6		2	8	16	25,28
7		3,14	8	25,12	39,6896
8		3,14	8	25,12	39,6896
9		1,85	6	11,1	17,538
10		2,95	6	17,7	27,966
11		3,27	6	19,62	30,9996
12		2,16	6	12,96	20,4768
13		2,89	6	17,34	27,3972
14		3,01	6	18,06	28,5348
15		3,52	6	21,12	33,3696
<b>Total</b>				980,46	1.549,1268

**Tabel 6.** Total Besi Balok 25/45 yang Digunakan (Hasil Analisis, 2024)

No	Tipe Besi	Panjang (m)	Kebutuhan	Panjang Total (m)	Berat Total (kg)
1	D16 mm	12	32	384	606,72
2		12	24	288	455,04
3		12	24	288	455,04
4		12	7	84	132,72
<b>Total</b>				1.044	1.649,52

4.5 Waste Level

Perhitungan *waste level* merupakan hal penting dalam mengevaluasi permasalahan *waste* di lapangan. Tujuan perhitungan *waste level* untuk menentukan estimasi jumlah sisa material yang terbuang dalam sebuah proyek konstruksi. Dari hasil perhitungan *waste level* tersebut, dapat menentukan estimasi besarnya kerugian biaya terhadap nilai kontrak konstruksi (*waste cost*) yang dapat dijadikan sebagai kontrol biaya.

$$\text{Waste level} = \frac{\text{vol. waste}}{\text{vol. kebutuhan material}}$$

Keterangan:

Vol. waste = vol. material terpakai – vol. material terpasang

Vol. kebutuhan material = vol. kebutuhan material yang ditinjau

Persentase waste pembesian balok 25/45 disajikan dalam tabel di bawah ini.

**Tabel 7.** Hasil Perhitungan *Waste Level* (Hasil Analisis, 2024)

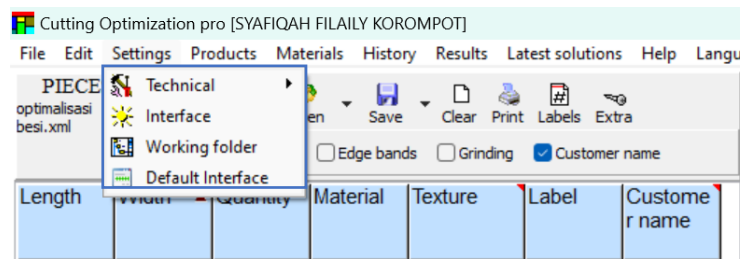
No	Jenis Material	Satuan	Vol. Logistik	Vol. Terpasang	Vol. Waste	Waste Level (%)
1	Besi Ulir D16 mm	kg	1.649,52	1.549,1268	100,3932	6,1

#### 4.6 Software Cutting Optimization Pro

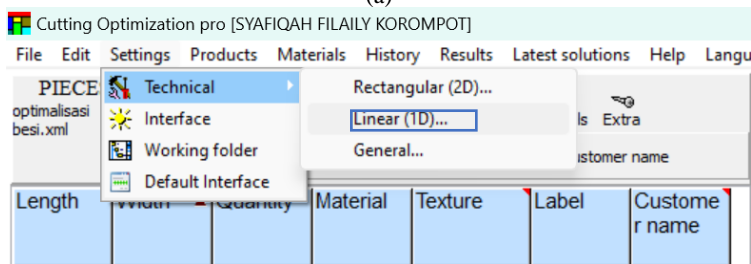
Hal-hal yang perlu diperhatikan untuk menjalankan software ini yaitu:

1. Data bestat besi penulangan balok 25/45
2. Luas area struktur yang akan dihitung sudah mempertimbangkan ketersediaan lahan untuk stok material besi.
3. Pelaksana pembesian harus memahami *output* data dari *software* dan melaksanakan pekerjaan pemotongan besi sesuai dengan *output* dari *software*.

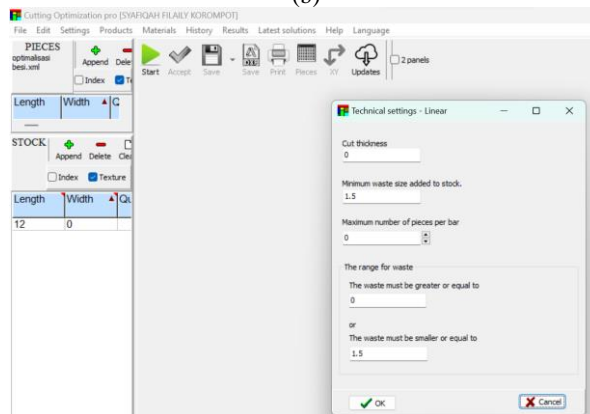
*Input* data dilakukan sesuai dengan tipe besi tulangan agar memudahkan *input* serta kontrol di lapangan, sebelum *input* data terlebih dahulu diatur minimum sisa material yang dapat digunakan kembali untuk potongan berikutnya, disajikan dalam Gambar 3, 4, dan 5.



(a)



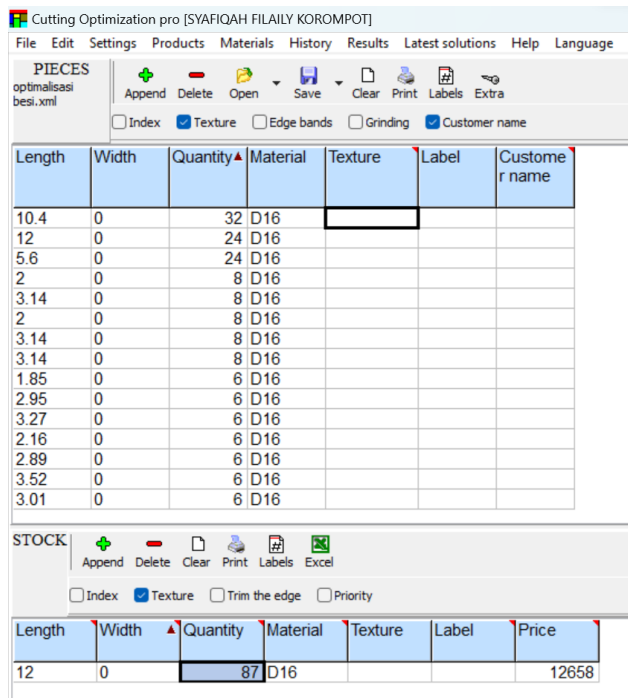
(b)



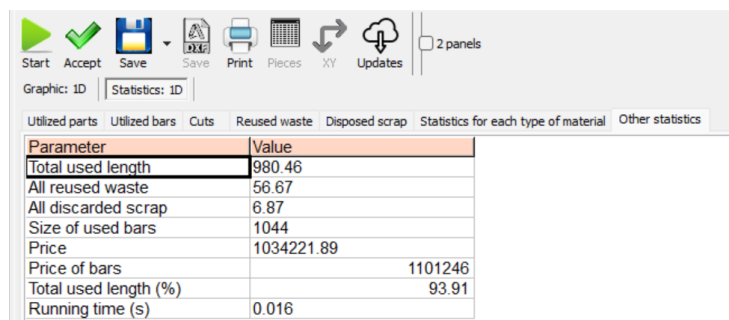
(c)

**Gambar 3.** (a, b, c) Pengaturan *Waste Minimum* Persediaan berdasarkan urutannya (Hasil Pemrograman, 2024)





Gambar 4. Input Kebutuhan dan Stok Material Besi Ulir D16 mm (Hasil Pemrograman, 2024)



Gambar 5. Rekapitan Output Statistik Software Cutting Optimization Pro (Hasil Pemrograman, 2024)

Rekapitan sisa tulangan menggunakan software baik dalam satuan kilogram (kg) maupun dalam persentase (%) disajikan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 8. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Sisa Tulangan Menggunakan Software Cutting Optimization Pro (Hasil Analisis, 2024)

No	Tipe Besi	Total Material yang Digunakan (kg)	Sisa Tulangan (kg)	Sisa Tulangan (%)
1	D16 mm	1.549,1268	10,8546	0,7%

Berat sisa tulangan dapat dicari dengan menjumlahkan semua sisa potongan panjang tulangan yang dibuang dikalikan dengan berat besi D16 mm. Sesuai dengan SNI 2025-2017 untuk besi ulir diameter 16 mm dikali dengan berat nominal 1,58 kg/m.

#### 4.7 Perbandingan Perhitungan Waste dengan Metode Konvensional dan Software Cutting Optimization Pro

Tabel 9. Perbandingan Persentase Waste Metode Konvensional dan Software Cutting Optimization Pro (Hasil Analisis, 2024)

No	Tipe Besi	Total Material yang Digunakan (kg)	Konvensional	Software
			Waste (%)	
1	D16 mm	1.549,1268	6,1	0,7

Dari hasil perbandingan diperoleh *software cutting optimization pro* dapat meminimalkan waste secara optimal sebesar 5,4%.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian tentang analisis perbandingan waste pada penulangan balok dengan menggunakan metode konvensional dan *software cutting optimization pro* menghasilkan waste level pada material besi ulir D16 mm sebesar 6,1%. Sedangkan pada *software*, waste yang dihasilkan pada material yang sama yaitu sebesar 0,7%. Dari hasil perbandingan diperoleh *software cutting optimization pro* dapat meminimalkan waste secara optimal sebesar 5,4%. *Software cutting optimization pro* bisa digunakan untuk mengoptimalkan pemotongan besi tulangan beton dan menghasilkan sisa material yang minimum.

## 6. Saran

1. *Output software cutting optimization pro* untuk sisa material besi ulir D16 mm yang bisa digunakan kembali dapat diperuntukkan untuk pembesian pada pekerjaan lain yang menggunakan material yang sama.
2. Untuk proyek konstruksi yang lebih kompleks sebaiknya menggunakan *software cutting optimization pro* untuk pekerjaan pemotongan besi tulangan karena sangat efektif dan efisien dalam kontrol di lapangan dan dalam manajemen material bisa menekan waste yang dihasilkan ke nilai yang terkecil.
3. Sebelum memulai sebuah proyek membutuhkan perencanaan lebih baik agar saat pelaksanaan terhindar dari kesalahan desain atau desain tidak sesuai dengan keadaan di lapangan sehingga menghambat pekerjaan pembesian menggunakan *software cutting optimization pro*.
4. Bagi peneliti selanjutnya agar dapat meneliti tentang material lain untuk metode pemotongan material baik menggunakan *software cutting optimization pro* maupun *software* lainnya.

## Referensi

- Anon. 2017. "SNI 2052:2017 Baja Tulangan Beton."
- Anon. n.d. "Cutting Optimization Pro." Diambil (<https://www.optimalprograms.com/cutting-optimization/>).
- Brooks, Kevin A., Cassandra Adamst, dan Laura A. Demsetz. 1994. "Germany'S Construction & Demolition Debris Recycling Infrastructure: What Lessons Does It Have for the U.S.?" *CIB TG 16, Sustainable Construction* 38(4):647–56.
- Dipohusodo, Istimawan. 1994. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Gramedia pustaka utama.
- Firdaus, Muhammad Iqbal, dan Daffa Restu Mahadika. 2021. *METODE PELAKSANAAN BALOK DAN PLAT LANTAI PADA LANTAI 6 SAMPAI LANTAI ATAP RSUD DR. M. SOEWANDHIE SURABAYA*.
- H.S, Mas Suryanto. 2019. "Analisis Sisa Material Besi Tulangan Pada Proyek Konstruksi Bangunan Gedung." *Rekayasa Teknik Sipil*.
- Intan, Suryanto, Ratna S. Alifen, dan Lie Ariyanto. 2005. "Analisa Dan Evaluasi Sisa Material Konstruksi : " *Civil Engineering Dimension* 7(1):36–45.
- Kementerian PUPR. 2022. *Buku Saku Petunjuk Umum Konstruksi 2022*.
- Kim, Sun Kuk, Won Kee Hong, dan Jin Kyu Joo. 2004. "Algorithms for Reducing the Waste Rate of Reinforcement Bars." *Journal of Asian Architecture and Building Engineering* 3(1):17–23. doi: 10.3130/jaabe.3.17.
- Kurniawan, Dedy, dan Muhammad Ujianto. 2023. "Dedy Kurniawan1\*, Muhammad Ujianto2\*." *Optimasi Perhitungan Kebutuhan Tulangan Dan Tulangan Sisa (Waste) Shear Wall Menggunakan Software Cutting Optimization Pro Pada Proyek Pembangunan Gedung Mrt Jakarta* 0–7.
- Mahapatni, Ida Ayu Putu Sri, dan I. Kadek Iwan Juliana. 2022. "Analisis Waste Level Dan Waste Cost Bekisting Dan Pembesian Pada Pekerjaan Struktur Proyek Konstruksi." *Widya Teknik* 17(01):74–82. doi: 10.32795/widyateknik.v17i01.2977.
- Muka, I. Wayan, Made Adi Widyatmika, dan I. Made Nova Antara. 2020. "Analisis Perbandingan Waste Besi Tulangan Metode Konvensional Dengan Software Cutting Optimazation Pro." *Teknika* 15(2):41. doi: 10.26623/teknika.v15i2.2852.
- PBI 1971. 1971. "Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971." *Jakarta: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan* 7:130.
- Ritz, George J. 1994. *Total Construction Project Management*. Vol. 2013.
- Siswanto, Agus Bambang, dan Afif Salim Mukhamad. 2019. *Manajemen Proyek*. Vol. 1. diedit oleh H.

Ibda. CV. Pilar Nusantara.

Tunas, Fransisko. 2020. "METODE PELAKSANAAN PEKERJAAN BALOK DAN PLAT LANTAI DUA PADA PEMBANGUNAN MALL PELAYANAN PUBLIK (MPP) MANADO." 8(6).

Wahyudi, L dan Rahim, SA. 1999. *Struktur Beton Bertulang Standar Baru SNI T-15-1992-03*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.

Waluyo, Giusti Aji. 2017. "Analisis Sisa Material Proyek Pembangunan Hotel Kawasan Marvell City."