

**ANALISIS OPTIMASI WASTE TULANGAN BALOK DAN KOLOM
MENGUNAKAN SOFTWARE COP PADA PEMBANGUNAN PASAR
SIBOLGA NAULI**

Michael Robin Subaru Naibaho¹, Mizanuddin Sitompul², Palghe Tobing³, Bintarto
Purwo Seputro⁴

^{1,2,3,4}Politeknik Negeri Medan

Email: michaelrobinsubarua@students.polmed.ac.id¹,
mizanuddinsitompul@polmed.ac.id², palghetobing@polmed.ac.id³,
bintartopurwoseputro@polmed.ac.id⁴

Abstrak: Dalam pelaksanaan pembangunan, material merupakan komponen yang memegang peran penting dalam menunjang berhasilnya suatu proyek. Salah satu dari material pada proyek konstruksi adalah besi tulangan. Yang mana besi tulangan dalam suatu proyek mempunyai jenis dan dimensi yang berbeda sesuai item pekerjaannya masing-masing. Penggunaan besi tulangan oleh para pekerja-pekerja proyek konstruksi di lapangan sering menimbulkan pemborosan berupa *waste* besi. Untuk itu pekerjaan pembesian tulangan harus perlu direncanakan dengan maksimal dan teliti supaya kebutuhan tulangan diperoleh optimal dengan *waste* yang minimum. Penelitian ini dilakukan dengan dua metode, yaitu *Bar Bending Schedule* (BBS) dan *software COP* (*Cutting Optimization Pro*). Kedua metode ini dapat mengurangi *waste* tulangan. Kesimpulan dari pembahasan ini adalah berat total tulangan menggunakan BBS untuk pekerjaan struktur balok dan kolom pada Proyek Pembangunan pasar Sibolga Nauli adalah sebesar 393.332 Kg, sedangkan berat total tulangan menggunakan *software COP* adalah 378.228,53 Kg. Persentase *waste* tulangan balok dan kolom dengan menggunakan *Bar Bending Schedule* yaitu D19 (7,69%), D16 (8,62%), D13 (26,81%), Ø10 (2,88%), Ø8 (3,79%). Untuk persentase *waste* tulangan balok dan kolom dengan menggunakan *software COP* yaitu D19 (4,12%), D16 (0,885%), D13 (25,813%), Ø10 (0,005%), Ø8 (1,441%). Untuk persentase *waste* tulangan total menggunakan BBS adalah sebesar (6,71%), sedangkan persentase *waste* tulangan balok dan kolom menggunakan *software COP* adalah sebesar (3,226%). Kebutuhan tulangan dan persentase *waste* tulangan dapat dioptimasi dengan menggunakan *software COP*.

Kata Kunci: Jadwal Pembengkokan Batang, Limbah, Optimasi Pemotongan Pro.

Abstract: In the implementation of construction, materials are components that play an important role in supporting the success of a project. One of the materials in a construction project is reinforcing steel. Where the reinforcing steel in a project has

different types and dimensions according to each work item. The use of reinforcing steel by construction project workers in the field often results in waste in the form of iron waste. For this reason, reinforcing steel work must be planned optimally and carefully so that the reinforcement needs are obtained optimally with minimum waste. This study was conducted using two methods, namely Bar Bending Schedule (BBS) and COP (Cutting Optimization Pro) software. Both of these methods can reduce reinforcement waste. The conclusion of this discussion is the total weight of reinforcement using BBS for beam and column structure work in the Sibolga Nauli market development project is 393,332 kg, while the total weight of reinforcement using COP software is 378,228.53 kg. The percentage of beam and column reinforcement waste using the Bar Bending Schedule was D19 (7.69%), D16 (8.62%), D13 (26.81%), Ø10 (2.88%), Ø8 (3.79%). The percentage of beam and column reinforcement waste using the COP software was D19 (4.12%), D16 (0.885%), D13 (25.813%), Ø10 (0.005%), Ø8 (1.441%). The percentage of total reinforcement waste using BBS was 6.71%, while the percentage of beam and column reinforcement waste using the COP software was 3.226%. Reinforcement requirements and the percentage of reinforcement waste can be optimized using the COP software.

Keywords: Bar Bending Schedule, Waste, Cutting Optimization Pro.

PENDAHULUAN

Secara umum, dalam industri konstruksi terdiri atas pekerjaan struktur, arsitektur, dan MEP. Pekerjaan struktur merupakan pekerjaan yang sangat krusial, hal ini dikarenakan struktur pada bangunan merupakan sistem rangka yang menopang seluruh beban pada bangunan. Struktur pada bangunan dapat menggunakan struktur beton bertulang, struktur rangka baja dan struktur kayu. Komponen material beton bertulang adalah beton dan besi tulangan. Material beton berfungsi untuk menahan gaya tekan, sedangkan besi tulangan berfungsi untuk menahan gaya tarik. Material pada pekerjaan struktur merupakan salah satu unsur yang memerlukan biaya cukup banyak pada pekerjaan konstruksi terutama material besi tulangan, sehingga material besi tulangan perlu direncanakan untuk mencegah pemborosan biaya, serta menghindari banyaknya limbah material konstruksi. Dari indeks kebutuhan tulangan pada pekerjaan beton bertulang, sesuai dengan SNI-7394-2008-HSP-Beton telah menetapkan perkiraan nilai sisa (*waste*) 5%-20% (SNI 2008, Hal:2).

Perencanaan tulangan yang baik dapat memastikan keamanan, efisiensi dan keberlanjutan proyek konstruksi. Namun, dalam praktiknya, proses perencanaan tulangan

sering menghadapi berbagai kendala, seperti kesalahan perhitungan, pemborosan material, perubahan desain awal, dan pemotongan yang tidak optimal. Untuk mencegah agar tidak terjadi kesalahan besar dalam pemotongan tulangan yang ada, maka diperlukan perencanaan yang matang. Semakin besar skala proyek pekerjaan konstruksi, maka semakin diperlukan usaha untuk mengurangi sisa tulangan. Salah satu usaha kontraktor dalam meningkatkan keuntungan adalah dengan melakukan perencanaan manajemen penggunaan tulangan dengan baik. Usaha untuk mengurangi sisa tulangan dengan memanfaatkannya kembali melalui tahapan perencanaan pengoptimalan pemotongan tulangan, akan membantu kontraktor untuk meningkatkan keuntungan dan mengurangi dampak lingkungan.

Beberapa metode perencanaan tulangan yang masih sering digunakan kontraktor adalah dengan metode pendekatan (manual) dan metode *Bar Bending Schedule* (BBS). Metode pendekatan (manual) adalah perhitungan kebutuhan besi tulangan dengan cara memotong bagian komponen besi kemudian mencari kuantitas besi per meter bagian dengan mengalikan panjang dan jumlah tulangan serta berat jenisnya. (Irene, Y. H., 2023). Sedangkan, *Bar Bending Schedule* (BBS) adalah perhitungan kebutuhan tulangan dengan cara menghitung jumlah, panjang, berat, dan bentuk pembengkokan setiap batang baja tulangan yang digunakan dalam konstruksi beton bertulang dengan menggunakan bantuan perangkat lunak *Microsoft Excel*. Namun, metode BBS masih belum optimal dalam meminimalkan sisa tulangan. Maka diperlukan suatu metode baru yang lebih mampu dalam mengoptimalkan sisa tulangan.

Di era digital ini, perkembangan teknologi telah membuka peluang baru untuk meningkatkan efisiensi dalam perencanaan konstruksi. Salah satu perangkat lunak yang mampu meningkatkan efisiensi dalam perencanaan konstruksi adalah *software Cut Optimization Pro* (COP), *software* yang dikembangkan Optimal Program SRL. *Software* COP memiliki kemampuan untuk melakukan perencanaan pemotongan besi tulangan dengan optimal, sehingga dapat meningkatkan efisiensi biaya, dan mengurangi limbah konstruksi.

Proyek Pembangunan/Revitalisasi Pasar Sibolga Nauli merupakan salah satu pasar yang terletak di Kota Sibolga, Sumatera Utara. Pasar ini menjadi pusat perdagangan utama

bagi masyarakat Sibolga, pengunjung dan masyarakat sekitar. Pasar ini juga menjadi bagian dari layanan wisata karena lokasinya dekat dengan destinasi pariwisata pantai Kota Sibolga, yang menjadikan pasar ini merupakan salah satu pusat ekonomi bagi masyarakat setempat. Proyek pasar ini memiliki jumlah 3 lantai dan memiliki luas 11.421 m². Berdasarkan Peraturan Menteri Keuangan Republik Indonesia No.248/PMK.06/2011 (halaman 14), bangunan tidak sederhana terbagi menjadi 2, yakni bangunan tidak sederhana bertingkat rendah dan bangunan sederhana bertingkat tinggi. Bangunan tidak sederhana bertingkat rendah adalah bangunan yang memiliki jumlah lantai paling tinggi 4 lantai dengan luas lantai keseluruhannya lebih dari 500 m² (lima ratus meter persegi), sedangkan bangunan tidak sederhana bertingkat tinggi adalah bangunan yang memiliki jumlah lantai lebih dari 4 lantai dan prasarana bangunan tersedia dengan lengkap. Sehingga bangunan pasar Sibolga Nauli merupakan bangunan tidak sederhana bertingkat rendah. Bangunan yang tidak sederhana tentu memerlukan material yang sangat banyak khususnya untuk kebutuhan tulangan pada pekerjaan struktur kolom dan balok. Untuk memaksimalkan pengendalian sisa pemotongan tulangan pada Proyek Pembangunan /Revitalisasi Pasar Sibolga Nauli, maka dilakukan penelitian yang diberi judul “Analisis Optimasi *Waste* Tulangan Balok dan Kolom Menggunakan *Software* COP Pada Pembangunan Pasar Sibolga Nauli”.

Rumusan Masalah

1. Berapakah total kebutuhan besi tulangan kolom dan balok pada Proyek Pembangunan/Revitalisasi Pasar Sibolga Nauli ?
2. Berapakah persentase *waste* tulangan kolom dan balok pada Proyek Pembangunan/Revitalisasi Pasar Sibolga Nauli menggunakan *Bar Bending Schedule* (BBS) ?
3. Berapakah persentase *waste* tulangan kolom dan balok pada Proyek Pembangunan/Revitalisasi Pasar Sibolga Nauli setelah dilakukan optimasi menggunakan *Cut Optimization Pro* (COP)?

Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui total kebutuhan besi tulangan kolom dan balok pada Proyek Pembangunan/Revitalisasi Pasar Sibolga Nauli
2. Untuk mengetahui persentase *waste* tulangan kolom dan balok pada Proyek Pembangunan/Revitalisasi Pasar Sibolga Nauli menggunakan *Bar Bending Schedule* (BBS)
3. Untuk mengetahui persentase *waste* tulangan kolom dan balok pada Proyek Pembangunan/Revitalisasi Pasar Sibolga Nauli setelah dilakukan optimasi menggunakan *Cut Optimization Pro* (COP).

TINJAUAN PUSTAKA

1. Material Konstruksi

Pemilihan material konstruksi yang tepat, merupakan hal yang esensial untuk memastikan kualitas, kekuatan, keawetan, dan efisiensi dari sebuah proyek. Pada pelaksanaannya, material struktur sering mengalami *waste* atau sisa, khususnya material besi tulangan. Material sisa dapat mempengaruhi pemborosan anggaran biaya dan dapat berdampak terhadap lingkungan apabila tidak disimpan dengan baik. Penyimpanan material harus memenuhi syarat-syarat penyimpanan yang telah ditetapkan, agar material tidak mudah rusak dan pada saat digunakan masih memenuhi standar mutu yang telah disyaratkan (Dewi Sahbana, 2018. Pada Aprilianti Tambunan, 2024).

2. Teori Pembesian/Penulangan

Perhitungan tulangan pada penelitian ini mengacu pada SNI 2847-2019 yang mengatur tentang detail penulangan balok dan kolom, sambungan antar komponen, diameter bengkokkan tulangan. Berdasarkan SNI 2847-2019 kait dan bengkokkan dibedakan untuk tulangan utama dan tulangan sengkang. Berat baja tulangan polos dan tulangan ulir per meter berdasarkan diameter tulangan yang digunakan untuk penelitian ini mengacu kepada SNI 2052:2017.

3. Kait Standar dan Diameter Bengkokan Pembesian/Penulangan

Pembengkokan tulangan pada peraturan SNI 2847-2019 harus memenuhi peraturan sebagai berikut:

Tabel Geometri Kait Standar Untuk Penyaluran Batang Ulir Pada Kondisi Tarik

Tipe kait standar	Ukuran batang	Diameter sisi dalam bengkokan minimum	Perpanjangan lurus ⁽¹⁾ ℓ_{ext} , mm	Tipe kait standar
Kait 90 derajat	D10 hingga D 25	$6d_b$	$12d_b$	
	D29 hingga D 36	$8d_b$		
	D43 hingga D57	$10d_b$		
Kait 180 derajat	D10 hingga D25	$6d_b$	terbesar dari $4d_b$ dan 65 mm	
	D29 hingga D36	$8d_b$		
	D43 hingga D57	$10d_b$		

Diameter bengkokkan minimum tulangan harus memenuhi ketentuan berikut:

Tabel Diameter Sisi Dalam Bengkokkan Minimum Dan Geometri Kait Standar Untuk Senggang, Ikat Silang Dan Senggang Pengekang

Tipe Kait standar	Ukuran batang	Diameter sisi dalam bengkokan minimum	Perpanjangan lurus ⁽¹⁾ ℓ_{ext} , mm	Tipe kait standar
Kait 90 derajat	D10 hingga D16	$4d_b$	Terbesar dari $6d_b$ dan 75 mm	
	D19 hingga D25	$6d_b$	$12d_b$	
Kait 135 derajat	D10 hingga D16	$4d_b$	Terbesar dari $6d_b$ dan 75 mm	
	D19 hingga D25	$6d_b$		
Kait 180 derajat	D10 hingga D16	$4d_b$	Terbesar dari $4d_b$ dan 65 mm	
	D19 hingga D25	$6d_b$		

4. Teori *Bar Bending Schedule* (BBS)

Bar bending schedule (BBS) adalah sebuah tabel atau dokumen yang merinci informasi lengkap tentang jumlah, panjang, bentuk, ukuran, dan berat besi tulangan (*rebar*) yang diperlukan untuk sebuah proyek konstruksi. BBS adalah bagian penting dari manajemen pembesian/penulangan dalam proyek konstruksi, terutama pada struktur beton bertulang seperti kolom, balok, pelat atau fondasi. Manfaat BBS adalah untuk mengurangi *waste* material dengan menghitung kebutuhan secara detail dan tepat, mempermudah pengawasan di lapangan, memberikan gambaran biaya kebutuhan material, menghindari kesalahan pembengkokan dan pemasangan, mempermudah pengendalian material.

Tujuan utama dari BBS adalah memastikan bahwa material tulangan dihitung dengan akurat, diidentifikasi, dan disiapkan dengan efisien untuk mengurangi *waste* serta memudahkan pelaksanaan di lapangan.

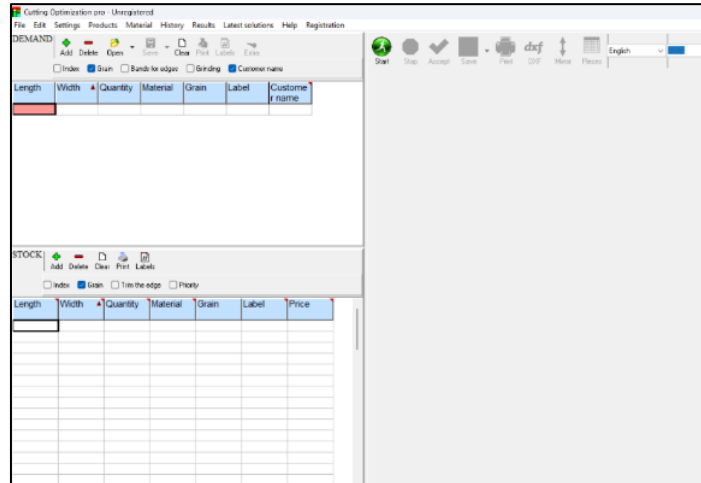
5. *Software Cutting Optimization Pro* (COP)

Software Cutting Optimization Pro (COP) adalah perangkat lunak yang digunakan untuk mengoptimalkan pemotongan material dalam berbagai industri, termasuk konstruksi, manufaktur, dan perabotan. *Software* ini dirancang untuk meminimalkan sisa (*waste*) dan meningkatkan efisiensi dalam penggunaan bahan seperti besi tulangan, kayu, kaca, logam. Pada penelitian ini *software* COP digunakan untuk optimasi pada pemotongan tulangan. Di Indonesia penggunaan *software* COP masih jarang diaplikasikan pada proyek konstruksi. Di Indonesia untuk menghitung *Quantity take off*, *Bar bending schedule*, dan optimasi pemotongan tulangan, masih bergantung pada metode konvensional (Rafif Ansori Atullah, 2023). Pada hasil *output* COP akan diperoleh jumlah stok material yang perlu disediakan, dan juga jumlah *waste* tulangan yang tidak dapat dipergunakan kembali.

Adapun contoh langkah-langkah penggunaan *software Cutting Optimization Pro* (COP) pada optimasi penulangan adalah sebagai berikut:

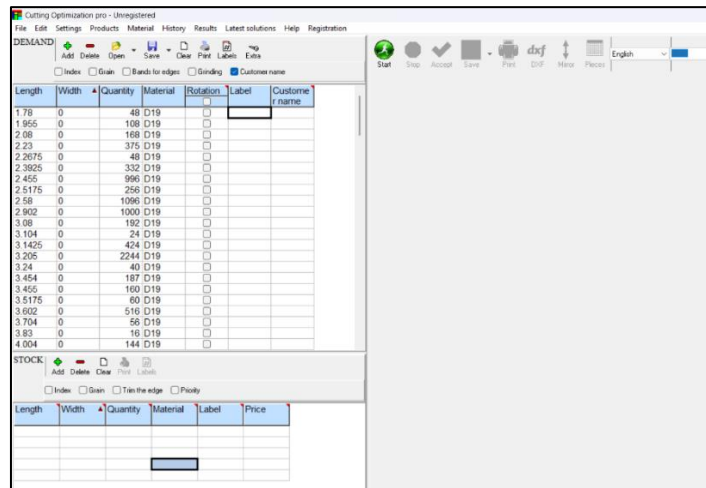
1. Langkah awal yang harus dilakukan adalah mengklasifikasikan jumlah tulangan berdasarkan diameter serta panjang potongan tulangan di *Microsoft Excel*

- Selanjutnya buka *software Cutting Optimization Pro* (COP), tampilan awal *software* COP adalah seperti gambar berikut ini:



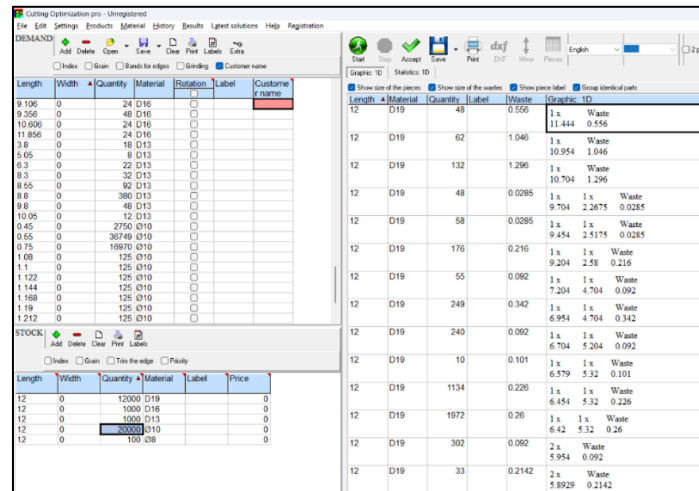
Gambar Tampilan Awal Cutting Optimization Pro

- Untuk memulai penggunaan *software*, tabel yang tersedia diisi sesuai dengan pengelompokan tulangan yang telah disusun di *Microsoft Excel*.



Gambar Mengisi Tabel Permintaan

- Setelah semua data selesai diinput pada tabel potongan atau permintaan, langkah berikutnya adalah mengisi tabel persediaan dengan stok material yang akan disediakan dan klik start untuk memulai proses optimalisasi. Pastikan stok material lebih besar dari jumlah yang dibutuhkan agar persediaan mencukupi permintaan pada tabel permintaan seperti gambar berikut:



The screenshot shows the 'Cutting Optimisation' software interface. It has a menu bar (File, Edit, Settings, Products, Material, Library, Results, Lightest solutions, Help, Registration) and a toolbar. The main window is divided into several sections:

- DEMAND:** A table with columns: Length, Width, Quantity, Material, Rotation, Label, Customer name. It lists various material requirements.
- STOCK:** A table with columns: Length, Width, Quantity, Material, Label, Price. It lists available stock materials.
- Graphic: 1D:** A table showing the results of the optimization, including Length, Material, Quantity, Label, Waste, and Graphic: 1D. It lists the waste generated for each material.

Gambar Peringatan Kuantitas Stok Tidak Mencukupi

- Setelah mengklik start maka akan muncul hasil potongan tulangan yang akan digunakan dan sisa tulangan. Kemudian klik *save* untuk menyimpan hasil potongan tulangan yang dihasilkan COP. Selanjutnya akan muncul pilihan lokasi untuk menyimpan hasil gambar seperti gambar di bawah ini:

Length	Material	Quantity	Label	Waste	Graphic: 1D
12	D19	48		0.556	1 x Waste 11.444 0.556
12	D19	62		1.046	1 x Waste 10.954 1.046
12	D19	132		1.296	1 x Waste 10.704 1.296
12	D19	48		0.0285	1 x 1 x Waste 9.704 2.2675 0.0285
12	D19	58		0.0285	1 x 1 x Waste 9.454 2.5175 0.0285
12	D19	176		0.216	1 x 1 x Waste 9.204 2.58 0.216
12	D19	55		0.092	1 x 1 x Waste 7.204 4.704 0.092
12	D19	249		0.342	1 x 1 x Waste 6.954 4.704 0.342
12	D19	240		0.092	1 x 1 x Waste 6.704 5.204 0.092
12	D19	10		0.101	1 x 1 x Waste 6.579 5.32 0.101
12	D19	1134		0.226	1 x 1 x Waste 6.454 5.32 0.226
12	D19	1972		0.26	1 x 1 x Waste 6.42 5.32 0.26
12	D19	302		0.092	2 x Waste 5.954 0.092
12	D19	33		0.2142	2 x Waste 5.829 0.2142
12	D19	28		0.342	2 x Waste 5.829 0.342
12	D19	24		0.592	2 x Waste 5.704 0.592
12	D19	6		0.012	2 x 1 x Waste 4.079 3.83 0.012
12	D19	3		0.51	3 x Waste 3.83 0.51
12	D19	18		0.888	3 x Waste 3.704 0.888
12	D19	172		1.194	3 x Waste 3.602 1.194
12	D19	20		1.4475	3 x Waste 3.5175 1.4475
12	D19	2		1.635	3 x Waste 3.455 1.635
12	D19	144		1.292	1 x 1 x Waste 6.704 4.604 1.292

Gambar Hasil Potongan COP

- Setelah data-data potongan tulangan hasil COP diperoleh, kemudian menghitung persen *waste* tulangan di *Microsoft Excel*. Data tersebut dimasukkan dalam *excel* kemudian diberi keterangan berupa diameter, jumlah serta panjang sisa diperoleh dari data yang ditampilkan seperti gambar di bawah ini:

Panjang (m)	Material	Quantity	Waste (m)	Cuts
12	D19	48.0.556	11.444	
12	D19	62.1.046	10.954	
12	D19	132.1.296	10.704	
12	D19	48.0.0285	9.704+2.2675	
12	D19	58.0.0285	9.454+2.5175	
12	D19	176.0.216	9.204+2.58	
12	D19	55.0.092	7.204+4.704	
12	D19	240.0.342	6.954+4.704	
12	D19	240.0.092	6.704+5.204	
12	D19	10.0.101	6.579+5.32	
12	D19	1134.0.226	6.451+5.32	
12	D19	1972.0.26	6.42+5.32	
12	D19	302.0.092	5.954+5.954	
12	D19	33.0.2142	5.829+5.829	
12	D19	28.0.342	5.829+5.829	
12	D19	24.0.592	5.704+5.704	
12	D19	6.0.012	4.079+4.079+3.83	
12	D19	3.0.51	3.83+3.83+3.83	
12	D19	18.0.888	3.704+3.704+3.704	
12	D19	172.1.184	3.602+3.602+3.602	
12	D19	20.1.4475	3.5175+3.5175+3.5175	
12	D10	2.1.635	3.455+3.455+3.455	
12	D19	444.1.292	6.704+4.004	

Gambar Menyusun Data Sisa Pada *Microsoft Excel*

- Langkah selanjutnya adalah menghitung berat *waste* dari masing-masing ukuran panjang tulangan, adapun berat *waste* dari tulangan dapat dicari dengan rumus $(DB^2 \times 0,006165 : 2) \times (PS \times JT/1000)$ seperti gambar di bawah ini

DB = Diameter Besi

PS = Panjang Sisa tulangan (yang telah dioptimasi)

JT = Jumlah Tulangan

Panjang (m)	Diameter	Kuantitas	Panjang Waste	Total Panjang Waste (m)	Berat (kg)	Berat Waste (kg)
12	D19	121	0	0	0.617	0
12	D19	86	0.002	0.172	0.617	0.106124
12	D19	56	0	0	0.617	0
12	D19	41	0.004	0.164	0.617	0.101188
12	D19	82	0	0	0.617	0
12	D19	124	0.004	0.996	0.617	0.309932
12	D19	125	0	0	0.617	0
12	D19	1	0	0	0.617	0
12	D19	1	0.1	0.1	0.617	0.0617
12	D19	1	0.07	0.07	0.617	0.04319
12	D19	1	0.36	0.36	0.617	0.24061
12	D19	1	0.254	0.254	0.617	0.157118
12	D19	1	0.34	0.34	0.617	0.20978
12	D19	1	0.198	0.198	0.617	0.122166
12	D19	1	3.376	3.376	0.617	2.082992
12	D8	26	0.07	1.82	0.395	0.7189
12	D8	55	0.07	2.75	0.395	1.08625
12	D8	1	0.63	9.63	0.395	3.75595
Berat Total Waste					16.119	9.9495

Gambar Data Hasil Perhitungan *Waste* Ms. Excel

- Berat *waste* yang telah dihitung menggunakan rumus berat *waste* diperoleh dengan menghitung satu per satu berdasarkan panjang (m) dari *waste* tulangan yang

dihasilkan melalui *cutting optimization pro* (COP). Setelah berat dari setiap ukuran panjang tulangan *waste* diketahui, langkah selanjutnya adalah menjumlahkan seluruh total berat *waste* tersebut menggunakan *Microsoft Excel*.

Untuk mendapatkan persen sisa dari total berat *waste* ialah dengan menggunakan rumus persen sisa yaitu:

$$\text{Persen sisa} = \frac{\text{Total berat waste}}{(\text{Total kebutuhan tulangan (Kg)})} \times 100$$

METODE PENELITIAN

Proses pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data yang telah tersedia yang kemudian digunakan oleh peneliti untuk meneliti suatu masalah baru. Data penelitian ini diperoleh dari data-data proyek berupa gambar *shop drawing*, peraturan SNI, teori-teori dari buku literatur, penelitian terdahulu yang didapat dari jurnal dan skripsi. Metode pengolahan data pada penelitian ini dilakukan dengan tahapan pekerjaan sebagai berikut:



Gambar Bagan Alir Penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Tulangan Balok

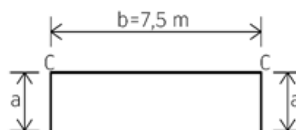
Gambar berikut ini adalah gambar detail penampang balok B1 yang akan digunakan sebagai dasar perhitungan kebutuhan tulangan balok:

TIPE	TUMPUAN	LAPANGAN
BALOK B1		
DIMENSI	40X70 CM	
TUL. UTAMA	17 D-19	14 D 19
SENGKANG	Ø10-100	Ø10-100
TUL. BAGI	2 D 13	2 D 13
MUTU BETON	f'c 25 Mpa	

Gambar Detail Balok B1

1. Tulangan Utama Bagian Atas

Berikut ini merupakan gambar tulangan utama atas dan contoh perhitungan tulangan utama atas balok B1 yang digunakan dalam *Bar Bending Schedule*:



Gambar Tulangan Utama Atas

- Diameter tulangan = D19
- Jumlah tulangan = 5 buah
- Jumlah balok = 134 buah
- Jumlah total tulangan = 5 x 134 buah
= 670 buah
- Jumlah bengkokkan (C) = 2 bengkokkan
- Jumlah kait (a) = 2 buah
- Panjang bengkokkan + kait = 2 x (a + C)
= 2 x (12db + 6db)

$$= 2 \times (12 \times 19 \text{ mm} + 6 \times 19 \text{ mm})$$

$$= 0,684 \text{ m}$$

h. Panjang tulangan lurus (b) = 7,5 m

i. Total panjang tulangan = 0,684 m + 7,5 m

$$= 8,184 \text{ m}$$

j. Total panjang seluruh batang = 5x134x 8,184 m

$$= 5.483 \text{ m}$$

k. Berat total tulangan = 2,226 Kg/m x 5.483 m

$$= 12.205 \text{ Kg}$$

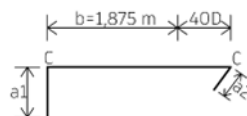
1. Pemakaian bahan dalam 1 batang utuh (12 m)

Total panjang tulangan adalah sepanjang 8,184 m. Dalam 1 batang utuh tulangan D19(12 m) dapat dipotong 1 batang tulangan dengan panjang 8,184 m. Maka diperlukan 670 batang utuh untuk mendapatkan 670 buah tulangan.

$$\text{Sisa potongan tulangan} = 12 \text{ m} - 8,184 \text{ m} = 3,816 \text{ m} \text{ sebanyak } 670 \text{ btg}$$

2. Tulangan Tumpuan Bagian Atas 1

Berikut ini merupakan gambar tulangan tumpuan 1 dan contoh perhitungan tulangan tumpuan 1 pada balok B1 yang digunakan dalam *Bar Bending Schedule*:



Gambar Tulangan Tumpuan 1

Diameter tulangan = D19

a. Jumlah tulangan = 6 buah

b. Jumlah balok = 134 buah

c. Jumlah total tulangan = 6 x 134 buah

$$= 804 \text{ buah}$$

d. Jumlah bengkokkan (C) = 2 bengkokkan

e. Panjang kait a1 = 12db

- f. Panjang kait a2 = 6db
- g. Panjang bengkokkan + kait = $a_1 + a_2 + (2 \times C)$
 $= 12db + 6db + (2 \times 6db)$
 $= (12 \times 19 \text{ mm}) + (6 \times 19 \text{ mm}) + (2 \times (6 \times 19 \text{ mm}))$
 $= 0,57 \text{ m}$
- h. Panjang *overlap* = 40D
 $= 40 \times 19 \text{ mm}$
 $= 0,76 \text{ m}$
- i. Panjang tulangan lurus (b) = $\frac{1}{4} \times 7,5 \text{ m}$
 $= 1,875 \text{ m}$
- j. Total panjang tulangan = $1,875 \text{ m} + 0,76 \text{ m} + 0,57 \text{ m}$
 $= 3,205 \text{ m}$
- k. Total panjang seluruh batang = $6 \times 134 \times 3,205 \text{ m}$
 $= 2.576,82 \text{ m}$
- l. Berat total tulangan = $2,226 \text{ Kg/m} \times 2.576,82 \text{ m}$
 $= 5.736 \text{ Kg}$
- m. Pemakaian bahan berasal dari sisa potongan tulangan utama bagian atas sepanjang 3,816 m sebanyak 670 buah dan kekurangannya menggunakan batang utuh
- n. Pemakaian bahan dalam 1 batang utuh (12 m)

Total panjang tulangan adalah sepanjang 3,205 m. Dalam 1 batang utuh tulangan D19(12 m) dapat dipotong 3 buah batang tulangan dengan panjang 9,615 m, sehingga:

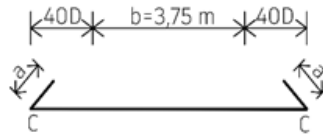
- 1) Jumlah keperluan batang utuh = $(804 - 670) : 3 = 44,67 \approx 45$ batang utuh

Sisa Potongan Tulangan

- 1). $3,816 \text{ m} - 3,205 \text{ m} = 0,611 \text{ m}$ sebanyak 670 btg
- 2). $12 \text{ m} - 9,615 \text{ m} = 2,385 \text{ m}$ sebanyak 44 batang
- 3). $12 \text{ m} - 3,205 \text{ m} = 8,795 \text{ m}$ sebanyak 1 batang

3. Tulangan Lapangan

Berikut ini merupakan gambar tulangan lapangan dan contoh perhitungan tulangan lapangan pada balok B1 yang digunakan dalam *Bar Bending Schedule*:



Gambar Tulangan Lapangan

- a. Diameter tulangan = D19
- b. Jumlah tulangan = 3 buah
- c. Jumlah balok = 134 buah
- d. Jumlah total tulangan = 3 x 134 buah
= 402 buah
- e. Jumlah bengkokkan (C) = 2 bengkokkan
- f. Jumlah kait (a) = 2 buah
- g. Panjang bengkokkan + kait = $2x(a + C)$
= $2x(12db + 6db)$
= $2x((12 \times 19\text{mm}) + (6 \times 19 \text{ mm}))$
= 0,684 m
- h. Panjang *overlap* = 2 x 40D
= 2 x 40 x 19 mm
= 1,52 m
- i. Panjang tulangan lurus (b) = $\frac{1}{2} \times 7,5 \text{ m}$
= 3,75m
- j. Total panjang tulangan = 0,684 + 1,52 + 3,75 m
= 5,954 m
- k. Total panjang seluruh batang = 3 x 5,954 m
= 17,862 m
- l. Berat total tulangan = 2,226 Kg/m x 17,862 m
= 38,76 Kg

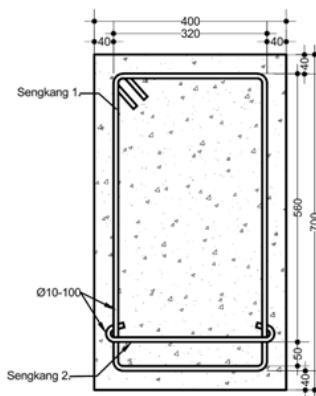
m. Pemakaian bahan dalam 1 batang utuh (12 m)

Total panjang tulangan adalah sepanjang 5,954 m. Dalam 1 batang utuh tulangan D19(12 m) dapat dipotong 2 batang tulangan dengan panjang 11,908 m. Maka diperlukan 201 batang utuh untuk mendapatkan 402 buah tulangan.

$$\text{Sisa potongan tulangan} = 12 \text{ m} - 11,908 \text{ m} = 0,092 \text{ sebanyak 201 batang}$$

4. Tulangan Sengkang 1

Berikut ini merupakan gambar tulangan sengkang 1 dan contoh perhitungan tulangan sengkang 1 pada balok B1 yang digunakan dalam *Bar Bending Schedule*:



Gambar Tulangan Sengkang

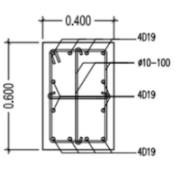
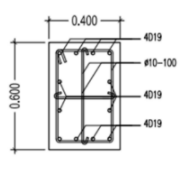
- a. Diameter tulangan = Ø10
- b. Panjang balok = 7,5 m
- c. Jarak antar sengkang tumpuan = 0,1 m
- d. Jarak antar sengkang lapangan = 0,1 m
- e. Jumlah sengkang tiap 1 balok = $(7,5/0,1) + 1$
= 76 buah
- f. Jumlah balok = 134 buah
- g. Total jumlah sengkang = 76 x 134 buah
= 10.184 buah
- h. Tebal selimut beton = 40 mm $\approx$ 0,04 m
- i. Jumlah bengkokkan = 5 bengkokkan
- j. Jumlah kait = 2 buah

- k. Panjang bengkokkan $= 4db \times 5$
 $= 4(10) \times 5$
 $= 200 \text{ mm} \approx 0,2 \text{ m}$
- l. Panjang kait $= 2 \times 0,075 \text{ m}$
 $= 0,15 \text{ m}$
- m. Panjang bentang sengkang $= 2 \times (0,7 - 0,04 \times 2) + 2 \times (0,4 - 0,04 \times 2) + 0,2 \text{ m}$
 $+ 0,15 \text{ m}$
 $= 2,23 \text{ m}$
- n. Total panjang seluruh batang $= 10.184 \times 2,23 \text{ m}$
 $= 22.710,32 \text{ m}$
- o. Berat total tulangan $= 22.710,32 \text{ m} \times 0,617 \text{ Kg/m}$
 $= 14.012 \text{ Kg}$
- p. Jumlah tulangan yang dibutuhkan dengan panjang sengkang 2,23 m adalah 10.184 batang. Dalam 1 batang utuh tulangan Ø10 (12 m) dapat dipotong 5 batang sengkang dengan panjang 2,23 m. Maka diperlukan 2037 batang utuh untuk mendapatkan 10.184 batang tulangan sengkang.
 $5 \times 2,23 \text{ m} = 11,15 \text{ m}$
 $4 \times 2,23 \text{ m} = 8,92 \text{ m}$
- q. Sisa potongan tulangan
 $12 \text{ m} - 11,15 \text{ m} = 0,85 \text{ m}$ sebanyak 2036 batang
 $12 \text{ m} - 8,92 \text{ m} = 3,08 \text{ m}$ sebanyak 1 batang

Perhitungan kebutuhan tulangan balok lainnya dapat dihitung menggunakan contoh perhitungan di atas.

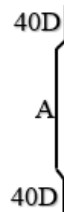
Perhitungan Tulangan Kolom

Gambar berikut ini adalah contoh gambar detail kolom K1 yang akan digunakan sebagai dasar perhitungan kebutuhan tulangan kolom:

TIPE	TUMPUAN	LAPANGAN
KOLOM K1		
DIMENSI	40X60 CM	
TUL. UTAMA	12 D-19	12 D 19
SENGKANG	Ø10-100	Ø10-100
TUL. BAGI	—	—
TUL. TORSI	Ø10-100	Ø10-100
MUTU BETON	f'_c 25 MPa	

Gambar 4. 1 Detail Balok K1

Berikut ini adalah gambar tulangan utama kolom dan contoh perhitungan tulangan utama pada kolom yang digunakan dalam *Bar Bending Schedule*:



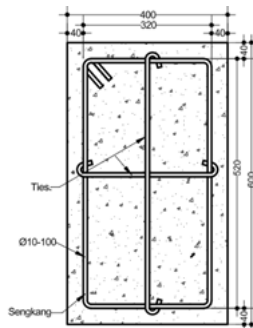
Gambar Tulangan Utama Kolom

- a. Diameter tulangan = D19
- b. Jumlah tulangan = 12 buah
- c. Jumlah Kolom = 146 buah
- d. Jumlah total tulangan = 12 x 146 buah
= 1.752 buah
- e. Tinggi kolom (A) = 4,9 m
- f. *Overlap* (B) = 2 x 40D
= 1,52 m
- g. Panjang 1 batang (A+B) = 4,9 m + 1,52 m
= 6,42 m
- h. Panjang total tulangan = 12 x 146x6,42m
= 11.247,84 m

- i. Berat D19 = 2,226 Kg/m
- j. Berat total tulangan = $11.247,84 \text{ m} \times 2,226 \text{ Kg/m} = 25.037,7 \text{ Kg}$
- k. Pemakaian bahan dalam 1 batang utuh (12m)
 - 1) Jumlah keperluan batang utuh = 1752 buah
 - 2) Dalam 1 batang utuh (12 m) dipotong sepanjang 6,42 m
- l. Sisa potongan tulangan
 - $12 \text{ m} - 6,42 \text{ m} = 5,58 \text{ m}$ sebanyak 1752 batang

1) Sengkang

Berikut ini adalah gambar sengkang kolom dan contoh perhitungan tulangan sengkang pada kolom yang digunakan dalam *Bar Bending Schedule*:



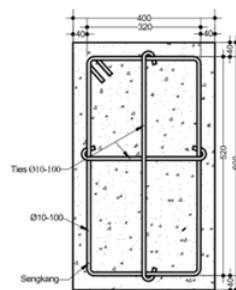
Gambar Sengkang Kolom

- a. Diameter tulangan = Ø10
- b. Jumlah balok = 146 buah
- c. Tinggi kolom = 4,9 m
- d. Jarak antar sengkang tumpuan = 0,1 m
- e. Jarak antar sengkang lapangan = 0,1 m
- f. Jumlah sengkang = $(4,9/0,1)+1$
= 50 buah
- g. Total Jumlah sengkang = 50×146 buah
= 7.300 buah
- h. Jumlah bengkokkan = 5 bengkokkan
- i. Jumlah kait = 2 buah

- j. Panjang bengkokkan $= 4db \times 5$
 $= 4(10) \times 5$
 $= 200 \text{ mm} \approx 0,2 \text{ m}$
- k. Panjang kait $= 2 \times 0,075 \text{ m}$
 $= 0,15 \text{ m}$
- l. Panjang bentang sengkang $= 2 \times (0,4 \text{ m} - 0,04 \times 2) + 2 \times (0,6 \text{ m} - 0,04 \times 2) + 0,2 \text{ m}$
 $+ 0,15 \text{ m}$
 $= 2,03 \text{ m}$
- m. Total panjang batang $= 2,03 \times 7.300$
 $= 14.809 \text{ m}$
- n. Berat total tulangan $= 14.809 \text{ m} \times 0,617 \text{ Kg/m}$
 $= 9.143,32 \text{ Kg}$
- o. Jumlah tulangan yang dibutuhkan dengan panjang sengkang 2,03 m adalah 7.300 batang. Dalam 1 batang utuh tulangan Ø10 (12 m) dapat dipotong 5 batang sengkang dengan panjang 2,03 m. Maka diperlukan 1460 batang utuh untuk mendapatkan 7.300 batang tulangan sengkang.
 $5 \times 2,03 \text{ m} = 10,15 \text{ m}$
- p. Sisa potongan tulangan
 $12 \text{ m} - 10,15 \text{ m} = 1,85 \text{ m}$ sebanyak 7.300 btg

2) Ties

Berikut ini adalah contoh perhitungan tulangan ties pada kolom yang digunakan dalam *Bar Bending Schedule*:



Gambar Sengkang Ties

- a. Diameter tulangan = $\varnothing 10$
 - b. Tinggi kolom = 4,9 m
 - c. Jumlah balok = 146 buah
 - d. Jarak antar ties pada tumpuan = 0,1 m
 - e. Jarak antar ties pada lapangan = 0,1 m
 - f. Jumlah bengkokan = 4 bengkokan
 - g. Jumlah kait = 4 buah
 - h. Jumlah tulangan ties
- 1) Ties vertikal
- a) Panjang Batang = $0,6 - 0,04 \times 2$
= 0,52 m
 - b) Panjang kait = $2 \times 0,075 \text{ m}$
= 0,15 m
 - c) Panjang bengkokan = $2 \times 4\text{db}$
= $2 \times 4 \times 10 \text{ mm}$
= 0,08 m
 - d) Total Panjang = $0,52 \text{ m} + 0,15 \text{ m} + 0,08 \text{ m}$
= 0,75 m
 - e) Jumlah ties tiap 1 kolom = $(4,9/0,1)+1$
= 50 batang
 - f) Total jumlah ties = 146×50
= 7.300 batang
- 2) Ties horizontal
- a) Panjang batang = 0,32 m
 - b) Panjang kait = $2 \times 0,075 \text{ m}$
= 0,15 m
 - c) Panjang bengkokan = $2 \times 4\text{db}$
= $2 \times 4 \times 10 \text{ mm}$
= 0,08 m

- d) Total Panjang $= 0,32 \text{ m} + 0,15 \text{ m} + 0,08 \text{ m} = 0,55 \text{ m}$
 - e) Jumlah ties tiap 1 kolom $= (4,9/0,1)+1$
 $= 50 \text{ batang}$
 - f) Total jumlah ties $= 146 \times 50$
 $= 7.300 \text{ batang}$
 - g) Berat Ø10 $= 0,617 \text{ Kg/m}$
 - h) Total berat tulangan ties $= ((7.300 \times 0,75 \text{ m}) + (7.300 \times 0,55 \text{ m})) \times 0,617$
 $\text{Kg/m} = 5.855,33 \text{ Kg}$
 - i) Pemakaian bahan dalam 1 batang utuh (12 m)
1. Ties vertikal
- a) Jumlah keperluan batang utuh $= 457 \text{ batang}$
 - b) Dalam 1 batang utuh (12 m) dipotong sepanjang
 $= 16 \times 0,75 \text{ m dan } 4 \times 0,75 \text{ m}$
 $= 12 \text{ m dan } 3 \text{ m}$
 - c) Sisa potongan tulangan
 $12 \text{ m} - 12 \text{ m} = 0 \text{ m}$
 $12 \text{ m} - 3 \text{ m} = 9 \text{ m sebanyak 1 batang}$
2. Ties horizontal
- a) Jumlah keperluan batang utuh $= 348 \text{ batang}$
 - b) Dalam 1 batang utuh (12 m) dipotong sepanjang
 $= 21 \times 0,55 \text{ m dan } 13 \times 0,55 \text{ m}$
 $= 11,55 \text{ m dan } 7,15 \text{ m}$
 - c) Sisa potongan tulangan
 $12 \text{ m} - 11,55 \text{ m} = 0,45 \text{ m sebanyak 347 batang}$
 $12 \text{ m} - 7,15 \text{ m} = 4,85 \text{ m sebanyak 1 batang}$

Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Pada Balok

Berikut ini adalah tabel rekapitulasi kebutuhan batang utuh seluruh balok:

Tabel Rekapitulasi Kebutuhan Batang Utuh Balok

Keterangan	Diameter Tulangan (mm)					Total
	D19	D16	D13	Ø10	Ø8	
Jumlah (Btg)	7.205	624	596	9.719	61	19.753
Total Panjang (m)	86.460	7.488	7.152	116.628	732	237.036
Total Berat (Kg)	192.459,96	11.816,064	7452.384	71.959,476	289,14	319.677

Rekapitulasi Kebutuhan Batang Utuh Kolom

Berikut ini adalah tabel rekapitulasi kebutuhan batang utuh seluruh kolom:

Tabel Rekapitulasi Kebutuhan Batang Utuh Kolom

Keterangan	Diameter Tulangan (mm)				Total
	D19	D16	Ø10	Ø8	
Jumlah (Btg)	2.570	58	5.334	23	7.985
Total Panjang (m)	30.840	696	64.008	276	95.820
Total Berat (Kg)	68.649.84	1.098,28	39.492.93	109,02	109.350,07

Rekapitulasi Kebutuhan Batang Utuh Kolom dan Balok Dengan BBS

Berikut ini adalah kebutuhan batang utuh tulangan kolom dan balok dengan metode BBS:

Tabel Rekapitulasi Kebutuhan Total Batang Utuh

Keterangan	Jumlah Batang Utuh (BU)					Total
	D19	D16	D13	Ø10	Ø8	
Balok	7.205	624	596	9.720	61	
Kolom	2.570	58	-	5.334	23	
Jumlah (Btg)	9.775	682	596	15.054	84	26.191
Total Panjang (m)	117.300	8.184	7.152	180.648	1.008	314.292
Total Berat (Kg)	261.109	12.914	7.452	111.459	398	393.332

Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Kolom dan Balok dengan BBS

Berikut ini adalah rekapitulasi kebutuhan tulangan kolom dan balok dengan metode BBS:

Tabel Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Kolom dan Balok

Keterangan	Panjang Kebutuhan Tulangan (m)					Total
	D19	D16	D13	Ø10	Ø8	
Balok	78.590	6.841	5.234	113.144	721	
Kolom	29.521	637	-	62.305	248	
Total Panjang (m)	108.111	7.478	5.234	175.450	969	297.244
Total Berat (Kg)	240.655	11.800	5.454	108.252	383	366.546

Perhitungan Panjang *Waste* Tulangan Dengan Metode BBS

Berikut ini adalah *waste* tulangan metode BBS:

Tabel Nilai *Waste* Tulangan Metode BBS

Keterangan	Panjang <i>Waste</i> Tulangan (m)					Panjang (m)
	Waste D19	Waste D16	Waste D13	Waste Ø10	Waste Ø8	
Balok	7.869,712	646,856	1.917,400	3.495,070	10.220	13.939,258
Kolom	1.150,960	58,880	-	1.702,690	27.960	2.940,490
Panjang Total (m)	9.020,672	705,736	1.917,400	5.197,760	38.180	16.879,748
Total Berat (Kg)	20.080,016	1.113,651	1.997,931	3.207,018	15.081	26.413,697

Perhitungan Persentase *Waste* Tulangan Metode BBS

Berikut ini adalah perhitungan persentase *waste* tulangan menggunakan metode BBS:

1) Perhitungan Persentase *Waste* D19

1. *Waste* tulangan diameter D19 pada balok dan kolom dalam satuan Kg yaitu 20.080,016 Kg
2. Jumlah batang utuh yang dibutuhkan adalah 9.775 batang atau 261.109 Kg

Maka:

$$\begin{aligned} \text{Waste (\%)} &= \frac{\text{Waste material (Kg)}}{\text{Batang dibutuhkan (Kg)}} \times 100\% \\ \text{Waste (\%)} &= \frac{20.080,016 \text{ Kg}}{261.109 \text{ Kg}} \times 100\% \\ \text{Waste (\%)} &= 7,69 \% \end{aligned}$$

2) Perhitungan Persentase *Waste* D16

Berikut adalah perhitungan persentase *waste* tulangan D16 dari data yang diperoleh:

1. *Waste* tulangan diameter D16 pada balok dan kolom dalam satuan Kg yaitu 1.113,651 Kg
2. Jumlah batang utuh yang dibutuhkan adalah 682 batang atau 12.914,352 Kg

Maka:

$$\begin{aligned} \text{Waste (\%)} &= \frac{\text{Waste material (Kg)}}{\text{Batang dibutuhkan (Kg)}} \times 100\% \\ \text{Waste (\%)} &= \frac{1.113,651 \text{ Kg}}{12.914,352 \text{ Kg}} \times 100\% \\ \text{Waste (\%)} &= 8,62 \% \end{aligned}$$

3) Perhitungan Persentase *Waste* D13

Berikut adalah perhitungan persentase *waste* tulangan D13 dari data yang diperoleh:

1. *Waste* tulangan diameter D13 pada balok dan kolom dalam satuan Kg yaitu 1.997,931 Kg
2. Jumlah batang utuh yang dibutuhkan adalah 596 batang atau 7.452,384 Kg

Maka:

$$\begin{aligned} \text{Waste (\%)} &= \frac{\text{Waste material (Kg)}}{\text{Batang dibutuhkan (Kg)}} \times 100\% \\ \text{Waste (\%)} &= \frac{1.997,931 \text{ Kg}}{7.452,384 \text{ Kg}} \times 100\% \\ \text{Waste (\%)} &= 26,81 \% \end{aligned}$$

4) Perhitungan Persentase *Waste* Ø10

Berikut adalah perhitungan persentase *waste* tulangan Ø10 dari data yang diperoleh:

1. *Waste* tulangan diameter Ø10 pada balok dan kolom dalam satuan Kg yaitu 3.207,018 Kg
2. Jumlah batang utuh yang dibutuhkan adalah 15.054 batang atau 111.459,816 Kg

Maka:

$$\begin{aligned} \text{Waste (\%)} &= \frac{\text{Waste material (Kg)}}{\text{Batang dibutuhkan (Kg)}} \times 100\% \\ \text{Waste (\%)} &= \frac{3.207,018 \text{ Kg}}{111.459,816 \text{ Kg}} \times 100\% \\ \text{Waste (\%)} &= 2,88 \% \end{aligned}$$

5) Perhitungan Persentase *Waste* Ø8

Berikut adalah perhitungan persentase *waste* tulangan Ø8 dari data yang diperoleh:

1. *Waste* tulangan diameter Ø8 pada balok dan kolom dalam satuan Kg yaitu 15,081 Kg
2. Jumlah batang utuh yang dibutuhkan adalah 84 batang atau 398,160 Kg

Maka:

$$\begin{aligned} \text{Waste (\%)} &= \frac{\text{Waste material (Kg)}}{\text{Batang dibutuhkan (Kg)}} \times 100\% \\ \text{Waste (\%)} &= \frac{15,081 \text{ Kg}}{398,160 \text{ Kg}} \times 100\% \\ \text{Waste (\%)} &= 3,79 \% \end{aligned}$$

Perhitungan Total Persentase *Waste*

Berikut adalah perhitungan total persentase *waste* seluruh tulangan dari data yang diperoleh:

1. Total *Waste* tulangan pada balok dan kolom yaitu 26.413,697 Kg
2. Total berat batang utuh yang dibutuhkan adalah 393.332 Kg

Maka:

$$\begin{aligned} \text{Waste (\%)} &= \frac{\text{Waste material (Kg)}}{\text{Batang dibutuhkan (Kg)}} \times 100\% \\ \text{Waste (\%)} &= \frac{26.413,697 \text{ Kg}}{393.332 \text{ Kg}} \times 100\% \\ \text{Waste (\%)} &= 6,71 \% \end{aligned}$$

Data Kuantitas Potongan Tulangan dan Batang Utuh

Untuk mengoptimalkan pemotongan tulangan pada pekerjaan kolom dan balok pada proyek pembangunan pasar Sibolga Nauli, maka digunakan sebuah *software Cutting Optimization Pro* (COP). Optimasi pemotongan tulangan bertujuan untuk menekan biaya anggaran besi tulangan dan juga dapat mengurangi limbah konstruksi. Untuk memperoleh data optimasi potongan tulangan dengan menggunakan metode COP, maka diperlukan data kuantitas potongan tulangan dan juga jumlah batang utuh tulangan. Data potongan tulangan diperoleh dari panjang batang tulangan yang dibutuhkan. Nilai panjang batang yang dibutuhkan diperoleh dari Panjang bengkokkan + panjang kait + panjang tulangan lurus + panjang sambungan.

Rekapitulasi Data Potongan Tulangan

Berikut ini adalah rekapitulasi tabel data potongan tulangan yang akan dioptimasi berdasarkan urutan panjang potongan potongan dari perhitungan metode *Bar Bending Schedule*:

Tabel 4.1 Rekapitulasi Potongan Tulangan

Rekapitulasi potongan tulangan		
Diameter	Panjang Potongan (m)	Jumlah tulangan
D19	10.0684	48
D19	9.434	62
D19	9.184	132
D19	8.184	1957
D19	7.934	374
D19	7.684	176
D19	7.204	8
D19	6.579	18
D19	6.454	44
D19	6.42	1996
D19	5.954	561
D19	5.829	122
D19	5.704	48
D19	5.684	321
D19	5.648	66
D19	5.434	348
D19	5.32	3116
D19	5.184	1332
D19	4.934	1692
D19	4.704	211
D19	4.579	86
D19	4.454	340
D19	4.434	44
D19	4.329	440

Rekapitulasi potongan tulangan		
Diameter	Panjang Potongan (m)	Jumlah tulangan
D19	4.079	12
D19	3.83	16
D19	3.704	56
D19	3.684	240
D19	3.5175	60
D19	3.455	160
D19	3.454	27
D19	3.24	40
D19	3.205	2244
D19	3.184	93
D19	3.1425	424
D19	3.104	24
D19	3.08	192
D19	2.902	1000
D19	2.842	516
D19	2.58	1096
D19	2.5175	256
D19	2.484	144
D19	2.455	996
D19	2.3925	1280
D19	2.2675	48
D19	2.23	375
D19	2.08	168
D19	1.955	108
D19	1.78	48

Rekapitulasi potongan tulangan		
Diameter	Panjang Potongan (m)	Jumlah tulangan
D16	10.576	24
D16	9.326	24
D16	8.076	48
D16	7.826	24
D16	7.576	16
D16	6.856	4
D16	6.231	6
D16	5.606	12
D16	5.576	40
D16	5.481	6
D16	5.356	4
D16	5.326	72
D16	5.08	64
D16	5.076	166
D16	4.826	240
D16	4.356	18
D16	4.231	14
D16	4.106	33
D16	3.981	56
D16	3.62	16
D16	3.576	72
D16	3.356	14
D16	3.3075	24
D16	3	104
D16	2.995	48

Rekapitulasi potongan tulangan		
Diameter	Panjang Potongan (m)	Jumlah tulangan
D16	2.9325	24
D16	2.87	16
D16	2.856	8
D16	2.788	48
D16	2.756	2
D16	2.576	32
D16	2.456	4
D16	2.413	36
D16	2.376	12
D16	2.37	72
D16	2.3075	56
D16	2.245	128
D16	2.1825	224
D16	1.87	56
D16	1.776	16
D16	1.62	32
D16	1.57	8
D16	1.42	16
D13	10.05	12
D13	9.8	48
D13	8.8	380
D13	8.55	92
D13	8.3	32
D13	6.3	22
D13	5.05	8

Rekapitulasi potongan tulangan		
Diameter	Panjang Potongan (m)	Jumlah tulangan
D13	3.8	18
Ø10	2.43	1941
Ø10	2.23	17536
Ø10	2.03	16970
Ø10	1.83	7863
Ø10	1.63	13112
Ø10	1.48	125
Ø10	1.458	125
Ø10	1.436	125
Ø10	1.43	7562
Ø10	1.412	125
Ø10	1.39	125
Ø10	1.368	125
Ø10	1.346	125
Ø10	1.324	125
Ø10	1.302	125
Ø10	1.278	31
Ø10	1.256	125
Ø10	1.234	125
Ø10	1.23	10129
Ø10	1.212	125
Ø10	1.19	125
Ø10	1.168	125
Ø10	1.144	125
Ø10	1.122	125

Rekapitulasi potongan tulangan		
Diameter	Panjang Potongan (m)	Jumlah tulangan
Ø10	1.1	125
Ø10	1.08	125
Ø10	0.75	16970
Ø10	0.55	36749
Ø10	0.45	2750
Ø8	2.39	302
Ø8	1.59	156

Optimasi *Waste* Tulangan Dengan Metode COP

Setelah rekapitulasi data kuantitas potongan tulangan dan rekapitulasi batang utuh diperoleh, selanjutnya memasukkan data-data tersebut ke dalam *software* COP. Kemudian setelah mengklik simbol start pada *software* COP, maka akan diperoleh data optimasi pemotongan tulangan. Berikut ini adalah gambar hasil optimasi potongan tulangan menggunakan *software* COP.

Gambar Hasil Optimasi COP

Setelah data optimasi potongan tulangan dengan *software* COP telah diperoleh, maka langkah selanjutnya adalah hasil optimasi potongan menggunakan COP dimasukkan ke dalam *software* Microsoft Excel.

Rekapitulasi Batang Utuh

Berikut adalah tabel rekapitulasi batang utuh hasil COP:

Rekapitulasi batang utuh			
Diameter	Jumlah Total BU	Panjang BU (m)	Berat BU (Kg)
D19	9.396	112.752	250.986
D16	628	7.536	11.891
D13	588	7.056	7.352
Ø10	14.534	174.408	107.609
Ø8	82	984	388
Total berat =			378.228

Rekapitulasi Waste Tulangan

Berdasarkan data tabel yang diperoleh dari output *software* COP, maka diperoleh rekapitulasi *waste* tulangan sebagai berikut:

Rekapitulasi waste tulangan			
Diameter	Panjang waste(m)	Berat waste (Kg)	Persentase waste
D19	4.644,85	10.339,46	4.120%
D16	66,71	105,27	0.885%
D13	1.821,42	1897,89	25.813%
Ø10	8,49	5,23	0.005%
Ø8	14,18	5,60	1.441%
Total berat =		12.353,47	3.266%

KESIMPULAN DAN SARAN**Kesimpulan**

Dari hasil dan pembahasan, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Total kebutuhan besi tulangan kolom dan balok pada Proyek Pembangunan/Revitalisasi Pasar Sibolga Nauli adalah seberat 378.228 Kg, dengan kebutuhan tulangan D19 seberat 250.986 Kg, kebutuhan tulangan D16 seberat 11.891 Kg, kebutuhan tulangan D13 seberat 7.352,352 Kg, kebutuhan tulangan Ø10 seberat 107.609,736 Kg, kebutuhan tulangan Ø8 seberat 388,680 Kg.
2. Nilai total persentase *waste* tulangan kolom dan balok pada Proyek Pembangunan/Revitalisasi Pasar Sibolga Nauli menggunakan metode *Bar Bending Schedule* (BBS) adalah sebesar 6,71 %, nilai persentase *waste* tulangan D19 sebesar 7,69 %, nilai persentase *waste* tulangan D16 sebesar 8,62 %, nilai persentase *waste* tulangan D13 sebesar 26,81%, nilai persentase *waste* tulangan Ø10 sebesar 2,88%, nilai persentase *waste* tulangan Ø8 sebesar 3,79%.

3. Nilai total persentase *waste* tulangan kolom dan balok pada Proyek Pembangunan/Revitalisasi Pasar Sibolga Nauli setelah dilakukan optimasi menggunakan *Cutting Optimization Pro* (COP) adalah sebesar 3,266 %, nilai persentase *waste* tulangan D19 sebesar 4,12 %, nilai persentase *waste* tulangan D16 sebesar 0,885 %, nilai persentase *waste* tulangan D13 sebesar 25,813%, nilai persentase *waste* tulangan Ø10 sebesar 0,005%, nilai persentase *waste* tulangan Ø8 sebesar 1,441%.

Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan penelitian ini adalah:

1. Untuk mengurangi anggaran biaya besi tulangan dan juga mengurangi limbah konstruksi, sebaiknya perhitungan besi tulangan disarankan menggunakan *software Cutting Optimization Pro* karena dapat mengoptimalkan pemotongan besi tulangan
2. Untuk mendapatkan nilai *waste* besi tulangan yang lebih kecil, perlu dilakukan perhitungan ukuran pemotongan besi tulangan yang lebih teliti.

DAFTAR PUSTAKA

- Veronika, P. (2024). Analisis Kebutuhan Dan *Waste* Tulangan Pada Pembangunan Gedung Merdeka Pematangsiantar. Skripsi Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Medan.
- Irene, Y. H. (2023). Analisis Biaya Serta Perhitungan Kebutuhan Tulangan Dan Tulangan Dan Tulangan Sisa Pada Pekerjaan Struktur Proyek Pembangunan Brastagi Supermarket Medan. Skripsi Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Medan.
- Samuel, S. N. (2022). Analisis Kebutuhan Tulangan Dan Tulangan Sisa (*waste*) Pekerjaan Struktur Kolom, Balok, dan Plat Lantai Proyek Pembangunan Pasar Baru Kabupaten Mandailing Natal. Skripsi Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Medan.
- Aprilianti, T. (2024). Analisis Perhitungan Kebutuhan Tulangan Dan *Waste* Menggunakan *Software* COP Pada Gedung RSUD Haji Medan. Skripsi Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Medan.

- Standard Nasional Indonesia. (2008). SNI-7394-2008. Tata cara perhitungan harga satuan pekerjaan beton untuk konstruksi bangunan gedung dan perumahan. Badan Standarisasi Nasional.
- Standard Nasional Indonesia. (2019). SNI-2847-2019. Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan. Badan Standarisasi Nasional.
- Standard Nasional Indonesia. (2017). SNI-2052-2017. Baja tulangan beton. Badan Standarisasi Nasional.
- Andrew, J. G., dan Arianti S. (2023). Peringkat dan Faktor Penyebab *Waste Material* Pada Proyek X di Serpong. *Journal Jurusan Teknik Sipil, Universitas Tarumanegara*.
- Rafif, A. A. (2023). Analisis *Waste Material* Tulangan Pelat Menggunakan *Building Information Modeling* (BIM) Pada Proyek Pembangunan Gedung Kantor Baru Pengadilan Agama Gedong Tataan. Skripsi Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung.
- Mohammad, A. R., dkk (2024). Perhitungan *Waste Material* Pekerjaan Penulangan, Pengecoran Serta Pemasangan Bekisting Pada Proyek Pembangunan Menara 17 PWNU Jawa Timur. *Journal Jurusan Teknik Sipil, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya*.
- Website, <https://sengkalingjaya.blogspot.com/2018/11/sambungan-tulangan-balok-pelat.html>