

ANALISIS PERBANDINGAN WASTE METODE DISTRIBUSI DENGAN SOFTWARE CUTTING OPTIMIZATION PRO PADA PEKERJAAN PENULANGAN PILECAP (STUDI KASUS :PROYEK XYZ SEMARANG)

Muhammad Sepfian Dwi Riyanto^{1*}, Mochamad Solikin²

^{1,2}Teknik Sipil, Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Pabelan Kartasura Tromol Pos 1, Surakarta, Jawa Tengah
Email : D100190089@student.ums.ac.id , msolikin@ums.ac.id

Abstrak

Bar bending scheduler adalah pekerjaan yang melakukan manajemen pekerjaan pembesian dalam suatu perencanaan proyek. Dalam pekerjaan pembesian material tulangan dapat terjadi pemborosan akibat kurangnya manajemen maupun proses pembesian berjalan. Sehingga makalah ini memiliki tujuan untuk membandingkan pendekatan metode yang terdapat pada bar bending schedule dalam mengoptimisasi pembesian yaitu kebutuhan besi dan waste sisa pemotongan. Makalah ini menganalisis data pembesian struktur pilecap zona 2 pada proyek XYZ Semarang dengan perbandingan metode distribusi dan penggunaan aplikasi software cutting optimization pro. Analisis dilakukan dengan menghitung bar bending schedule untuk mengetahui kebutuhan panjang tulangan yang digunakan. Pada optimisasi pembesian diolah dengan metode distribusi yang dilakukan secara manual dan penggunaan software cutting optimization cut pro yang secara otomatis. Hasil analisis metode distribusi didapat waste besi ulir D13 1.444,637 kg, D16 3.691,535 kg, D19 1.603,330 kg, D22 2.877,479 kg, dan D25 31.128,863 kg dengan besi yang digunakan sebanyak 6215 batang. Pada analisis software cutting optimization pro didapat waste besi ulir D13 649,973 kg, D16 267,620 kg, D19 842,715 kg, D22 2598,444 kg, dan D25 19.590,794 kg dengan besi yang digunakan sebanyak 5650 batang. Hasil analisis penggunaan software cutting optimization pro dapat menghemat sebesar 9,091% untuk kebutuhan jumlah besi.

Kata kunci : bar bending schedule, optimisasi, waste

Abstract

Bar bending scheduler is a job that performs management reinforcement work in project planning. In the work of reinforcing materials, waste can occur due to lack of management and the process runs. So this paper aims comparing the method approaches in the bar bending schedule in optimizing reinforcement, iron requirements and waste from cutting. This paper analyzes the data pilecap structure of zone 2 in XYZ Semarang project by comparing distribution method and using cutting optimization pro software application. The analysis is carried out by calculating bar bending schedule to determine length reinforcement used. The reinforcement optimization is processed by distribution method which is done manually and the use of cutting optimization software cut pro automatically. The results of distribution method analysis obtained steel bar waste D13 1,444.637 kg, D16 3,691.535 kg, D19 1,603.330 kg, D22 2,877.479 kg, and D25 31,128.863 kg with 6215 steel bars used. In analysis of cutting optimization pro software, it was obtained that steel bar waste D13 649.973 kg, D16 267.620 kg, D19 842.715 kg, D22 2598.444 kg, and D25 19,590.794 kg with 5650 steel bars used. The results of analysis using cutting optimization pro software can save 9.091% for required amount of steel bar.

Keyword : bar bending schedule, optimization, waste

1. PENDAHULUAN

Struktur beton bertulang sangat sering digunakan di Indonesia. Dikarenakan bahan-bahan untuk membuat beton, seperti kerikil, pasir, dan semen, mudah didapat (Solikin, 2021). Menurut (Asroni, 2017) beton bertulang memiliki sifat alami sesuai dengan bahan penyusunnya, yaitu sangat kuat menahan beban

tarik ataupun beban tekan. Tulangan baja memiliki sifat yang baik terhadap beban tekan, akan tetapi tulangan baja akan dikhususkan hanya untuk memikul gaya beban tarik pada struktur beton bertulang dikarenakan biaya material tulangan baja yang relatif lebih mahal jika dibandingkan beton. Sehingga pada desain

perencanaan struktur beton bertulang, tulangan baja untuk memikul beban tarik dan beton untuk memikul beban tekan.

Pada saat proyek pembangunan berlangsung, pengelolaan material sangat berpengaruh terhadap biaya konstruksi, prosentase biaya yang dicakup material dapat mencapai 40% hingga 60% dari keseluruhan biaya untuk proyek, dengan besarnya kontribusi biaya material terhadap berjalannya proyek maka terjadi pengendalian biaya terhadap penyimpangan pekerjaan yang terjadi seperti tenaga kerja, material, alat, subkontraktor, dan *overhead* (Muka dkk., 2020). Meskipun penggunaan tulangan baja telah diminimalisir, namun dalam pembangunan struktur beton bertulang tetap membutuhkan material besi dengan volume yang relatif besar. Untuk material besi sendiri berdasarkan Famoso dkk dalam (Atmaja dkk., 2020) mengklaim bahwa material besi beton memiliki persentase biaya sebesar 20% hingga 30%, menjadikannya sebagai material dengan persentase biaya tertinggi.

Memotong, membengkokkan, dan memproduksi tulangan adalah bagian dari pekerjaan pembesian (Datin, 2020). Dalam proses pembesian, aktivitas pekerjaan yang tidak dikontrol secara menyeluruh, dapat menghasilkan *waste* yang tidak sedikit. *Waste* dihasilkan karena adanya material besi yang dipotong menjadi bentuk yang tidak ekonomis. (Hidayah dkk., 2023). Kondisi seperti ini membutuhkan strategi perencanaan dan pelaksanaan yang sistematis, efisien, dan efektif dalam manajemen pembangunan, khususnya di bidang manajemen proyek, dengan tujuan untuk memastikan pelaksanaan proyek memberikan hasil yang terbaik (Sahid dkk., 2020).

Dengan adanya potensi penghematan biaya pembangunan yang cukup signifikan yang berasal dari *waste* besi maka dibutuhkan *bar bending schedule* dalam manajemen pekerjaan pembesian. Menurut Tanjung tugas *bar bending scheduler* adalah membuat jadwal pembengkokan tulangan berkaitan dengan spesifikasi tulangan dalam suatu proyek, mulai dari menghitung jumlah tulangan yang diperlukan dalam setiap pekerjaan hingga bentuk tulangan dan sisa potongan tulangan baja (Arifin dkk., 2022). Melhem dkk menunjukkan bahwa skema pemotongan batang baja yang dioptimalkan dapat secara

efektif mengurangi tingkat *waste* sebesar 70% (Ren dkk., 2023)

Pekerjaan *bar bending schedule* itu sendiri terdapat banyak ragam metode dalam mengoptimisasi pembesian di lapangan. Salah satu optimisasi pembesian menurut (Permana, 2022) adalah *waste* besi tulangan yang masih sesuai dengan spesifikasi dapat didistribusikan untuk mengurangi kebutuhan tulangan. Metode distribusi dilakukan secara manual untuk mendapatkan hasil optimisasi dari pola pemotongan yang sesuai dengan tipe material yang digunakan.

Selain dengan metode distribusi, terdapat metode lainnya yang dapat digunakan dalam perhitungan *bar bending schedule* yaitu dengan penggunaan aplikasi *software cutting optimization pro*. Pemakaian *software cutting optimization pro* yang dibuat oleh *Optimal Programs SRL*, menawarkan hasil metode terbaik untuk memotong besi tulangan, selain itu juga memberikan data material besi yang sudah tersedia di lapangan, sehingga memudahkan dan mengefektifkan pengendalian material besi (Muka dkk., 2020).

Pada makalah ini, digunakan data dari proyek pembangunan XYZ di Semarang pada jalan Pemuda. Proyek ini memiliki spesifikasi lahan seluas 7644,457 m². Dengan spesifikasi pembangunan proyek yang dibangun, pengolahan dan pengendalian pekerjaan pembesian dapat berdampak yang signifikan terhadap *time scheduling* pembangunan, pembiayaan material atau profitabilitas dalam pembangunan, bahkan hingga mempengaruhi kualitas mutu struktur gedung tersebut. Mengurangi limbah pada baja tulangan beton (*trim loss*) membantu lingkungan dan juga membuat proyek menjadi lebih menguntungkan (Gozal & Prayogo, 2021).

Makalah ini bertujuan untuk meneliti perbandingan hasil kebutuhan batang dan *waste* besi yang dihasilkan dari perhitungan *bar bending schedule* yang digunakan dengan optimisasi metode distribusi dan dengan penggunaan aplikasi *software cutting optimization pro* dalam kasus objek penilitan yang berasal dari struktur pilecap proyek XYZ zona 2.

2. METODOLOGI

Makalah ini menggunakan metode kuantitatif, yang memiliki rincian metodologi penelitian dengan pendekatan terhadap kajian empiris untuk mengumpulkan, menganalisis

dan menampilkan data dalam bentuk numerik (angka) dan metode. Makalah ini dilaksanakan pada studi kasus proyek XYZ Semarang dalam menganalisis pembesian struktur pilecap.

Data yang digunakan meliputi *shop drawing* dan standar detail pekerjaan. Data yang telah dikumpulkan akan diolah dan menghasilkan *bar bending schedule*. *Bar bending schedule* dan gambar rencana dari konsultan perencana harus digunakan sebagai acuan saat melakukan pekerjaan tulangan (Jayantari dkk., 2022). Standar detail pekerjaan yang digunakan pada proyek XYZ Semarang ini khususnya untuk pekerjaan pembesian adalah SNI 2847-2019.

Berikut rumus yang digunakan dalam menghitung *bar bending schedule* pilecap :

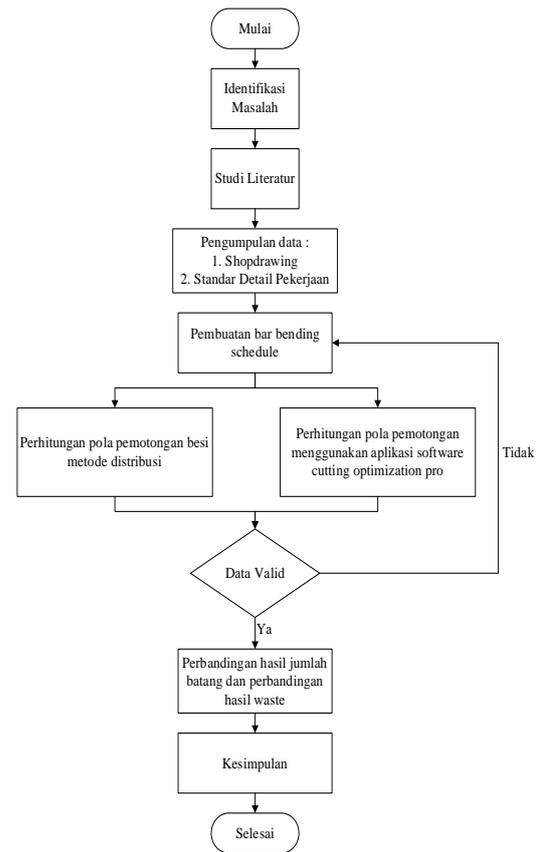
$$\text{Panjang Tul.} = \text{dimensi pilecap} - n \times \text{selimut beton hor.} + n \times (t - \text{selimut ver.}) - n \times \text{diameter tul.} + n \times \text{kait tul.} + n \times \text{panjang sambungan tul.} \quad (1)$$

$$\text{Unit Tul.} = \frac{\text{dimensi pilecap} - n \times \text{selimut beton}}{\text{jarak Tul.}} + n \quad (2)$$

Rumus yang disajikan di atas merupakan bentuk rumus secara umum, dikarenakan bentuk tulangan baja yang digunakan dapat berbeda-beda.

Dalam pemesanan material tulangan baja pada saat proyek berlangsung, terdapat nilai *safety factor* atau nilai faktor angka aman yang melebihi kuantitas dari jumlah perencanaan tulangan baja semula. Tim logistik akan menambahkan 3% hingga 5% dari total volume tulangan yang dibutuhkan saat melakukan pemesanan material untuk mengurangi kemungkinan kekurangan material (Jayantari dkk., 2022).

Kemudian data diolah kembali untuk mengoptimisasi pembesian dengan metode distribusi maupun menggunakan aplikasi *software cutting optimization pro* untuk mendapatkan jumlah batang yang digunakan dan *waste* besi yang dihasilkan. Sehingga akan didapatkan pekerjaan pembesian yang lebih efisien dan ekonomis. Berikut alur tahapan penelitian makalah yang telah dilakukan yang akan disajikan pada gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir (hasil analisis)

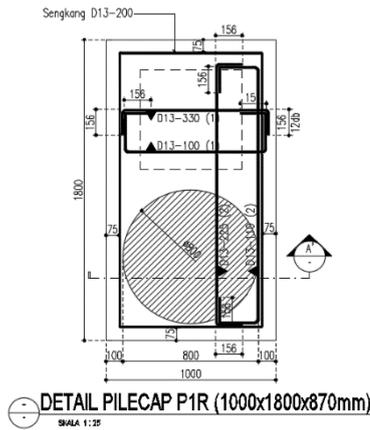
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis data dilakukan pada peninjauan pilecap zona 2 proyek XYZ dengan detail 30 jenis pilecap yang berjumlah sebanyak 86 pilecap. Material besi tulangan yang digunakan yaitu baja ulir yang berspesifikasi D13, D16, D19, D22, dan D25 dengan panjang besi fabrikasi yang tersedia yaitu 12 meter per batang.

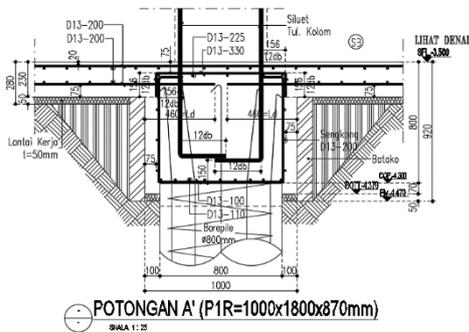
3.1 Bar Bending Schedule

Analisis *bar bending schedule* dilaksanakan berdasarkan data shop drawing dan berdasarkan standar detail pekerjaan. Menurut ACI dalam (Djuniaidi & Prayogo, 2021) daftar pola pembengkokan besi tulangan yang disebut "*bar bending schedule*" berisi informasi mengenai diameter, bentuk, panjang, dan jumlah batang.

Akan tetapi analisis *bar bending schedule* masih belum mencakupi optimisasi pola pemotongan besi terhadap panjang besi fabrikasi yang tersedia. Berikut akan disajikan detail perhitungan *bar bending schedule* pada pilecap P1R:



Gambar 2 Detail Pilecap P1R (Data Proyek, 2022)



Gambar 3 Potongan A' P1R (Data Proyek,2022)

Tabel 1 Bar Bending Schedule Pilecap P1R

ITEM	D (mm)	Unit PC	Unit Tul.	TOTAL
PIR				
TP. bawah X	13	2	18	36
TP. atas X	13	2	6	12
TP. bawah Y	13	2	9	18
TP. atas Y	13	2	5	10
T. sengkang	13	2	3	6

Hasil tabel 1 didapatkan jumlah potongan tulangan yang dibutuhkan dalam pembesian pilecap P1R. Detail perhitungan dari tabel diatas diuraikan berikut :

- Tulang pokok bawah X :

D = 13 mm

Unit PC = 2 buah

$$Unit\ Tul. = (L - sb) / jarak\ tul. + 1 \quad (3)$$

$$= (1,8 - 0,15) / 0,1 + 1$$

$$= 18\text{ buah}$$

$$Total = unit\ PC \times unit\ Tul. \quad (4)$$

$$= 2 \times 18$$

$$= 36\text{ buah}$$

dengan :

sb = selimut beton (m)

L = Lebar dimensi pilecap (m)

Tabel 2 Detail Panjang Tulangan P1R

ITEM	length Cut (m)	Total Length(m)
PIR		
TP. bawah X	2.612	94.032
TP. atas X	1.162	13.944
TP. bawah Y	3.412	61.416
TP. atas Y	1.962	19.62
T. sengkang	5.312	31.872

Hasil tabel 2 didapatkan total panjang tulangan tiap potongan yang dibutuhkan oleh tulangan pilecap P1R. Detail perhitungan dari tabel diatas diuraikan berikut :

- Tulang pokok bawah X :

$$Length\ cut = P - sb + 2 \times (t - sb) + 2 \times kait\ tul.\ utama \quad (5)$$

$$= 1 - 0,15 + 2 \times (0,87 - 0,145)$$

$$+ 2 \times 12 \times 13 / 1000$$

$$= 2,612\text{ m}$$

$$Total\ length = total \times potongan \quad (6)$$

$$= 36 \times 2,612$$

$$= 94,032\text{ m}$$

dengan :

t = tinggi pilecap (m)

P = Panjang dimensi pilecap (m)

Tabel 3
Hasil Total Panjang Tulangan

D	Total Panjang Kebutuhan Besi (m)
13	8.375,026
16	10.894,613
19	3.006,101
22	3.412,039
25	34.979,482

Tabel 3 didapatkan dari perhitungan seluruh pilecap Zona 2 dengan perhitungan yang serupa yang dilakukan pada detail perhitungan tabel 1 dan tabel 2.

3.2 Metode Distribusi

Langkah selanjutnya setelah menghitung baja tulangan adalah mendistribusikan potongan-potongan yang tersisa yang masih sesuai dengan spesifikasi, untuk mengoptimalkan baja tulangan (Qatrannada, 2022). Distribusi tulangan dilakukan dengan mengolah material besi fabrikasi lapangan yaitu panjang 12 meter untuk dipotong sesuai dengan spesifikasi panjang tulangan yang telah dihitung pada tahap analisis *bar bending schedule* sebelumnya.

Distribusi dilakukan terhadap *waste* besi suatu potongan untuk memenuhi potongan tulangan yang lain yang akan digunakan, akan tetapi *waste* besi yang dapat dimanfaatkan harus memiliki dimensi panjang yang melebihi dari panjang potongan tulangan yang akan digunakan. Sehingga dengan adanya distribusi tersebut akan menghasilkan pola potongan tulangan yang lebih efisien. Memotong tulangan secara efisien akan mengurangi *waste* (Santoso dkk., 2019). Berikut akan disajikan distribusi tulangan pada tabel berikut.

Tabel 4
Distribusi Tulangan

D	PC	Label	Batang	Distribusi Waste			Jumlah Batang
				Ket.	np	Pakai Sisa	
13	P1	TP. bawah X	23	Sisa	-	-	1 23
	P1R	TP. atas Y	2	Pakai	1	10	- 0
	P5R5	TS. H1	1	Pakai	1	6	- 1
	P5R13	TS. H2	1	Pakai	1	6	- 0

Detail perhitungan dari tabel di atas, akan diuraikan sebagai berikut :

- Tulang pokok bawah X (P1)

Keterangan: Sisa *waste* besi dapat digunakan

kembali untuk memenuhi kebutuhan potongan tulangan lainnya

Panjang tulangan = 2,482 m

Jumlah tulangan yang dibutuhkan = 90 buah

$$np = \frac{12}{\text{panjang tul.}} \quad (7)$$

$$= \frac{12}{2,482}$$

$$= 4 \text{ bagian}$$

$$\text{waste} = 12 - (\text{panjang tul.} \times np) \quad (8)$$

$$= 12 - (2,482 \times 4) = 2,07 \text{ m}$$

$$\mu = \frac{1}{np} \quad (9)$$

$$= \frac{1}{4} = 0,25$$

$$\text{Panjang besi} = 12 \times np \times \mu \quad (10)$$

$$= 12 \times 90 \times 0,25$$

$$= 270 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Batang} = \text{panjang besi} / 12 \quad (11)$$

$$= 270 : 12$$

$$= 23 \text{ batang}$$

$$\text{Sisa tul.} = \text{Batang sisa} - \text{kegunaan pakai} \quad (12)$$

$$= 23 - 10 - 6 - 6 = 1 \text{ batang}$$

- Tulang pokok atas Y (P1R)

Keterangan : Penggunaan *waste* tulang pokok bawah X (P1R) untuk memenuhi kebutuhan potongan tulang pokok atas Y (P1R)

Panjang tulangan = 1,962 meter

Jumlah tulangan yang dibutuhkan = 10 buah

$$np \text{ waste} = \frac{\text{waste sisa}}{\text{panjang tul. pakai}} \quad (13)$$

$$= \frac{2,07}{1,962} = 1 \text{ buah}$$

$$Kegunaan = \frac{nb\ pakai}{np\ waste\ pakai} \tag{14}$$

$$= \frac{10}{1} = 10\ \text{buah}$$

Tabel 5 Waste Distribusi

PC	Label	Waste (m)
P1	TP. bawah X	2,072
P1R	TP. atas Y	1,1
P5R5	TS. H1	0,78
P5R13	TS. H2	0,87

Detail perhitungan dari tabel di atas, akan diuraikan sebagai berikut :

- Tulang pokok bawah X (P1)

Batang yang menghasilkan *waste* = 1 buah

Panjang *waste* = 2,07 m

Total *waste* = 1 x 2,072 = 2,07 m

- Tulang pokok atas Y (P1R)

Batang yang menghasilkan *waste*=10 batang

Panjang *waste* = 2,07 – (1,962 x 1)
= 0,11 m

Total *waste* = 10 x 0.11 = 1,1 m

Tabel 6 Total Waste Distribusi

D	waste (m)
13	1389.074
16	2336.41
19	718.982
22	966
25	8085

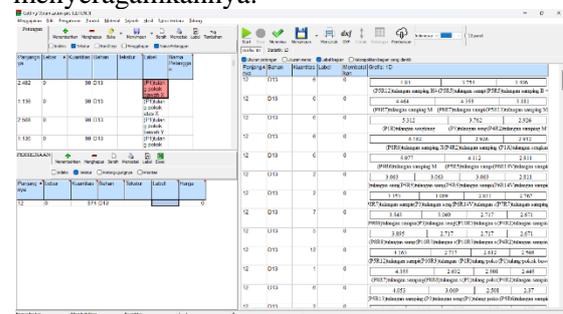
Tabel 6 didapatkan dari perhitungan seluruh pilecap Zona 2 dengan perhitungan yang serupa yang dilakukan pada detail perhitungan tabel 4 dan tabel 5.

3.3 Software Cutting Optimization Pro

Data yang diperlukan untuk penggunaan aplikasi *software cutting optimization pro* (SCOP) adalah panjang potongan, kuantitas batang, dan jumlah batang besi yang tersedia. Sehingga data yang berasal dari *bar bending schedule* dapat di input kedalam aplikasi SCOP

untuk mendapatkan hasil pola pemotongan terhadap material fabrikasi lapangan dengan panjang 12 meter per batang.

Perhitungan aplikasi SCOP yang digunakan adalah linear (1D). Dalam software ini dapat diatur untuk pengaturan izin panjang minimum *waste* yang dihasilkan. Pengaturan ini bertujuan untuk menyeragamkan panjang *waste* untuk dapat digunakan kembali jika suatu penggunaan besi melebihi dari perencanaan. Pengaturan ini dapat mempengaruhi hasil *output waste*, akan tetapi pada penelitian makalah ini seluruh panjang *waste* akan dianggap terbuang dikarenakan dalam metode distribusi, panjang sisa *waste* tidak terkontrol atau sulit untuk menyeragamkannya.



Gambar 4 Tampilan SCOP (hasil analisis)

Dalam *output* aplikasi SCOP terdapat pula kombinasi pola pemotongan dalam bentuk gambar detail, sehingga akan memudahkan *bar bending scheduler*.

Tabel 7 Rekap Hasil Software Cutting Optimization Pro

D	Total Panjang (m)	Jumlah Batang	waste (m)
13	9.000	750	624.974
16	11.064	922	169.38
19	3.384	282	377.899
22	4.284	357	871.961
25	40.068	3339	5088.518

Tabel 7 adalah hasil *output* data SCOP yang telah direkap dalam aplikasi *microsoft excel*, dikarenakan hasil *output* SCOP asli masih berbentuk acak .

3.4 Perbandingan Waste

Dari hasil analisis, dapat diketahui hasil *waste* yang dihasilkan melalui metode

distribusi dan penggunaan aplikasi SCOP. Rekap dari hasil *waste* dapat dilihat dari tabel 4 berikut :

Tabel 8 Perbandingan Hasil Waste

D	Distribusi		SCOP	
	Jumlah Batang	<i>waste</i> besi (Kg)	Jumlah Batang	<i>Waste</i> besi (Kg)
13	821	1.444,637	750	649,973
16	1.104	3.691,535	922	267,620
19	311	1.603,330	282	842,715
22	365	2.877,479	357	2.598,444
25	3.614	31.128,863	3.339	19.590,749
Total :	6.215	40.745,844	5.650	23.949,546

Hasil jumlah batang yang digunakan dan *waste* besi memiliki nilai yang berbeda, disebabkan pada metode distribusi perhitungan dilakukan oleh asumsi *bar bending scheduler* itu sendiri, sehingga menurunkan tingkat ketelitian dalam pencarian optimisasi jumlah batang dan *waste* terkecil, sedangkan penggunaan aplikasi SCOP menggunakan rumus algoritma linier 1D yang memiliki tingkat keakuratan lebih tinggi dalam pencarian optimisasi jumlah batang dan *waste* yang terkecil.

4. KESIMPULAN

Berlandaskan hasil analisis makalah ini, diperoleh kesimpulan :

1. Metode distribusi menghasilkan kebutuhan batang besi total sebanyak 6.215 batang dengan total *waste* yang dihasilkan sebesar 40.745,844 kg.
2. Metode penggunaan aplikasi SCOP menghasilkan kebutuhan batang besi total sebanyak 5.650 batang dengan total *waste* yang dihasilkan sebesar 23.949,546 kg.
3. Optimisasi pembesian menggunakan aplikasi SCOP yang dibandingkan dengan metode distribusi dapat meminimalkan penggunaan batang besi sebesar 9,091% dan *waste* yang dihasilkan sebesar 41,222%.
4. Penggunaan aplikasi SCOP memudahkan *bar bending scheduler* dalam manajemen pembesian proyek secara efisien.

UCAPAN TERIMA KASIH

Diberikan kepada seluruh pihak yang telah memberikan fasilitas, bantuan, dan dukungan dalam pengerjaan makalah ini yaitu kepada: Bapak Anto Budi Listyawan, S.T., M. Sc. selaku Kaprodi Teknik Sipil UMS, Bapak Mochamad Solikin, Ph.D selaku dosen pembimbing internal, seluruh pihak perusahaan kontraktor proyek XYZ, orang tua, dan teman-teman teknik sipil UMS.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, D., Saputra, A. j., & Savitri, A. (2022). Efektifitas Pembesian pada Proyek Panbill Mall menggunakan Bar Bending Schedule SNI-2847-2019, BS-8666-2005, dan Linear Programming. *JURMATEKS : Jurnal Manajemen Teknologi dan Teknik Sipil*, 5(1), 1–15.
- Asroni, A. (2017). *Teori Dan Desain Balok Plat Beton Bertulang Berdasarkan Sni 2847-2013*. Muhammadiyah University Press.
- Atmaja, J., Adibroto, F., & Hidayah, N. (2020). Optimasi Pemotongan Besi Tulangan Pada Pekerjaan Struktur Menggunakan Metode Linear Programming. *Borneo Engineering : Jurnal Teknik Sipil*, 4(2), 192–202.
<https://doi.org/10.35334/Be.V4i2.1595>
- Datin, I. I. (2020). Evaluasi Perhitungan Material Dan Biaya Besi Pada Proyek Rumah Dinas Polres Kota Sukabumi. *Jurnal Student Teknik Sipil*, 1(2), 82–86.
- Djuniaidi, S. E., & Prayogo, D. (2021). Optimasi Pemotongan Besi Tulangan Pada Proyek Kompleks Pergudang Menggunakan Integer Linear Programming. *Dimensi Utama Teknik Sipil*, 8(2), 84–94.
<https://doi.org/10.9744/Duts.8.2.84-94>
- Gozal, R., & Prayogo, D. (2021). Optimasi Trim Loss Pembesian Beton Bertulang Dengan Metode Metaheuristik Particle Swarm Optimization Dan Symbiotic Organisms Search. *Dimensi Utama Teknik Sipil*, 8(2), 20–30.
- Hidayah, F. N., Rafie, & Nuh, S. M. (2023). Comparative Analysis Of Direct Waste Using Cutting Optimization Pro Software And The Cost Of The Using Conventional Reinforcement And Wire-Mesh In Task Of Floor Plate (Case Study: Project Of Kantor And Depo Pt. Gudang Garam). *Jurnal Teknik Sipil*, 23(1), 103–111.

- Jyantari, M. W., Dewi, P. S. T., & Yoga, P. G. A. (2022). Analisa Perbandingan Volume Dan Biaya Bar Bending Schedule Dengan Metode Sni-2847:2013 Dan Bs 8666:2005 (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Kantor Pacto, Denpasar-Bali). *Reinforcement Review In Civil Engineering Studies And Management*, 1(2), 50–58. <https://doi.org/10.38043/Reinforcement.V1i2.4102>
- Muka, I. W., Widyatmika, M. A., & Antara, I. M. N. (2020). Analisis Perbandingan Waste Besi Tulangan Metode Konvensional Dengan Software Cutting Optimazation Pro. *Teknika*, 15(2), 41. <https://doi.org/10.26623/Teknika.V15i2.2852>
- Permana, I. (2022). Optimasi Kebutuhan Tulangan Pada Balok Menggunakan Program Linier Metode Simplex Dan Building Information Modeling (Bim). Universitas Islam Indonesia.
- Qatrannada, A. (2022). Manajemen Baja Tulangan Dengan Metode Just In Time (Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung X). *Fropil (Forum Profesional Teknik Sipil)*, 10(2). <https://doi.org/10.33019/Fropil.V10i2.3306>
- Ren, K., Jia, L., Huang, J., & Wu, M. (2023). Research On Cutting Stock Optimization Of Rebar Engineering Based On Building Information Modeling And An Improved Particle Swarm Optimization Algorithm. *Developments In The Built Environment*, 13, 100121. <https://doi.org/10.1016/J.Dibe.2023.100121>
- Sahid, M. N., Mulyono, G. S., Nuryanto, A. S. J., & Abdurrosyid, J. (2020). Evaluasi Pengendalian Waktu Dan Produktivitas Tenaga Kerja Pelaksanaan Proyek Pembangunan Gedung Parkir Menggunakan Metode Jaringan Kerja Critical Path Method (Cpm) (Studi Kasus : Gedung Parkir Balai Kota Semarang). *Dinamika Teknik Sipil*, 13(20), 71–79.
- Santoso, B., Prasetyo, S. M., & Wijoyo, A. (2019). Meminimalkan Sisa Pematangan Besi Beton Dalam Proyek Konstruksi. *Jurnal Informatika Universitas Pamulang*, 4(2), 73–78.
- Solikin, M. (2021). Analisis Pemakaian Kombinasi Fly Ash Tipe F Dan Slag 1:1 Pada Beton Geopolymer Dengan Na₂sio₃ Dan Naoh Sebagai Alkali Aktivator: Sebuah Kajian Literatur. *Dinamika Teknik Sipil*, 14(1), 13–20.