



Tersedia Secara Online di
<http://ojs.unik-kediri.ac.id/index.php/jurmateks/index>

JURMATEKS

<http://dx.doi.org/10.30737/jurmateks>

Efektifitas Pembesian pada Proyek Panbill Mall menggunakan *Bar Bending Schedule SNI-2847-2019, BS-8666-2005, dan Linear Programming*

D. Arifin¹, A. J. Saputra², A. Savitri^{3*}

^{1,2,3*} *Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Internasional Batam.*

E-mail:¹derwin.keren@gmail.com, ²ade.jaya@uib.ac.id, ^{3*}amanatullah@uib.ac.id

ARTICLE INFO

Article history :

Artikel masuk : 17 – 04 – 2022
Artikel revisi : 19 – 05 – 2022
Artikel diterima : 21 – 06 – 2022

Keywords :

Bar Bending Schedule, Construction Material, Iron waste, Linear Programming

Style IEEE dalam mensitasi artikel ini:

[10]

J. Atmaja, F. Adibroto, and N. Hidayah, "Optimasi Pemotongan Besi Tulangan Pada Pekerjaan Struktur Menggunakan Metode Linear Programming," *Borneo Eng. J. Tek. Sipil*, vol. 4, no. 2, pp. 192–202, 2020, doi: 10.35334/be.v4i2.1595.

ABSTRACT

The need for the amount of iron in a structural element becomes an important part of attention. Improper planning for iron needs will result in uncontrolled or excessive residual iron material. The effectiveness of iron is needed to minimize the amount of residual iron produced. This study aims to carry out the effectiveness of steel usage on the Panbill Mall Project based on the Bar Bending Schedule. The Bar Bending Schedule is carried out using the SNI-2847-2019, BS-8666-2005, and Linear Programming methods. The review of the reinforcement was carried out on the foundation structural elements (PCI and PC2). Some data were collected such as steel length, quantity, and bending shape based on the structural drawings of the Panbill Mall project. From this data, calculations are made based on the Bar Bending Schedule with different references and methods. So that the minimum amount of iron will be obtained. Based on the results of the calculations and analysis carried out, it can be concluded that the Linear Programming method is the most effective method in calculating the iron based on the Bar Bending Schedule. Based on the results of residual iron calculated using SNI-2847-2019 and BS-8666-2005, the Linear Programming Method is more effective in reducing iron residues by 76% on P1C foundations and 92% on P2C foundations. These results can be used as a reference in calculating the iron based on the bar Bending Schedule effectively.

1. Pendahuluan

Besi pada struktur beton bertulang menjadi salah satu bahan konstruksi yang banyak digunakan. Besi berfungsi untuk meningkatkan kemampuan struktur beton dalam menahan gaya tarik dan gaya tekan[1][2]. Biaya pembesian dalam proyek konstruksi mencakup kurang lebih 20-30 % dari biaya pengadaan material konstruksi secara keseluruhan[3][4][5]. Kegiatan pembesian meliputi kegiatan perencanaan dan pelaksanaan. Kedua kegiatan tersebut perlu dilakukan dengan tepat untuk meminimalkan kesalahan yang terjadi. Proses pemotongan serta pembengkokan pembesian menjadi salah satu hal yang perlu diperhatikan baik dalam perencanaan ataupun pelaksanaan kegiatan pembesian [6][7].

Pemotongan yang tidak tepat dapat menimbulkan permasalahan akan sisa besi. Sisa besi dikategorikan sebagai limbah hasil konstruksi[8][9][10]. Dimana limbah tersebut perlu diminimalisir dan dikelola dengan baik[11]. Selain proses pelaksanaan yang kurang tepat, timbulnya limbah besi juga dapat disebabkan oleh perencanaan proyek yang kurang tepat, sehingga hal tersebut akan berdampak pada biaya yang dikeluarkan[12][13][14]. Pembengkakan biaya berpotensi menyebabkan proyek gagal mencapai sasaran, mengingat anggaran merupakan salah satu tolak ukur dalam menilai keberhasilan suatu proyek disamping mutu dan waktu[15][16][17]. Efektifitas pembesian diperlukan untuk meminimalisir pembengkakan biaya serta timbulnya limbah besi yang berlebihan[10][18][19].

Salah satu metode yang digunakan sebagai dasar dalam pelaksanaan pembesian adalah *Bar Bending Schedule*. *Bar Bending Schedule* merupakan pekerjaan yang berhubungan dengan detail pembesian dalam suatu proyek meliputi perhitungan jumlah besi yang di butuhkan pada tiap pekerjaan, bentuk besi, hingga sisa potongan besi[20]. *Bar Bending Schedule* memuat daftar pola pembengkokan tulangan yang meliputi data diameter, bentuk, panjang dan jumlah tulangan. Beberapa standar yang digunakan dalam pekerjaan *Bar Bending Schedule* yaitu SNI-2847-2019 dan BS-8666-2005[21]. Selain itu Metode *Linear Programming* juga dapat diterapkan melalui teknik optimasi yang berguna untuk mencari nilai terendah dari sebuah fungsi yang menyatakan ketersediaan sumber daya[3][22]. Beberapa penelitian mengenai pekerjaan *Bar Bending Schedule* menunjukkan bahwa penggunaan metode *Linear Programming* merupakan metode yang paling efektif[6][23]. Namun, pada Proyek Panbill Mall belum terdapat perencanaan yang detail mengenai pembesian

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan efektifitas pembesian pada proyek panbill Mall. Perhitungan berdasarkan *Bar Bending Schedule* dilakukan untuk mendapatkan perkiraan kebutuhan besi yang paling optimal dengan sisa (*waste*) besi seminimal mungkin untuk mencegah terjadinya pemborosan biaya dan kemuculan limbah hasil konstruksi. Perhitungan dilakukan dengan SNI-2847-2013 dan BS-8666-2005, sedangkan pengolahan data menggunakan metode *Linear Programming* menggunakan fitur *Excel Solver* yang terdapat pada *Microsoft Excel* sebagai alat bantu. Sehingga, hasil yang didapatkan dapat digunakan sebagai referensi dalam melakukan perhitungan pembesian berdasarkan *Bar Bending Schedule* secara efektif.

2. Metodologi Penelitian

Penelitian dilakukan pada proyek proyek Panbill Mall Batam. Dilakukan perhitungan pembesian berdasarkan *Bar Bending Schedule* yang mengacu pada SNI-2847-2019, BS-8666-2005, dan *Linear Programming*. Peninjauan pembesian dilakukan pada elemen struktur pondasi

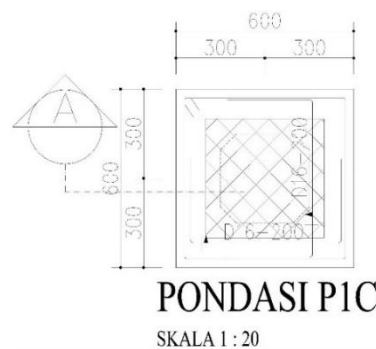
(PC1 dan PC2). Beberapa data dikumpulkan seperti panjang baja, kuantitas, dan bentuk lentur berdasarkan gambar struktur proyek Panbill Mall. Dari data tersebut dilakukan perhitungan berdasarkan *Bar Bending Schedule* dengan acuan dan metode yang berbeda. Sehingga akan didapatkan sisa besi yang paling minimum. Penelitian dilakukan dengan menghitung kuantitas besi pada struktur pondasi di titik A8 dan B8.

2.1 Elemen Struktur Pondasi

Peninjauan pembesian dilakukan pada struktur pondasi, yaitu P1C dan P2C. Detail elemen struktur diuraikan sebagai berikut:

a. Pondasi P1C

Pondasi P1C berbentuk Balok dengan Panjang 600 mm, Lebar 600 mm, Tinggi 750 mm, serta Selimut Beton 75 mm. Gambar 1 merupakan detail struktur pondasi P1C.



Gambar 1. Dimensi dan Penulangan Pondasi Tipe P1C

Sumber: Data Peneliti, 2022

Selain diuraikan dalam bentuk gambar, detail struktur pondasi PC1 diuraikan dalam bentuk tabel (tabel 1) yang memuat mengenai bentuk penulangan, diameter yang digunakan, posisi penulangan, serta jumlah besi yang digunakan dalam Struktur Pondasi P1C.

Tabel 1. Gambaran Perletakan Besi dalam Struktur Pondasi P1C

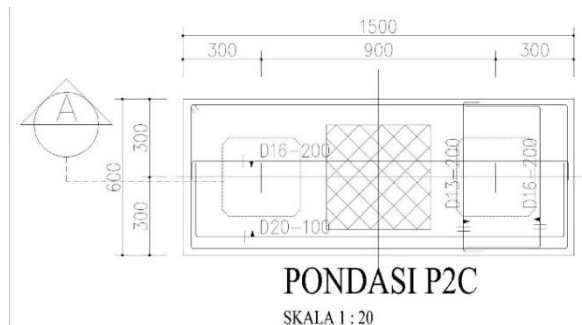
No	Bentuk Penulangan	Diameter (mm)	Posisi atau Perletakan	Jumlah Batang (buah)
1		16	Penghubung Pondasi – Pelat Lantai	3
2		16	Bawah	3
3		16	Tengah Atas	1
4		16	Tengah Bawah	1

Sumber: Olahan Peneliti, 2022

Pondasi P1C memiliki dua jenis penulangan yang berbeda dengan diameter sama yaitu 16 mm. Jumlah besi pada penghubung pondasi dengan pelat lantai dan bagian bawah masing-masing sejumlah 3 batang, sedangkan pada bagian tengah masing-masing sejumlah 1 batang.

b. Pondasi P2C

Pondasi P2C berbentuk Balok dengan Panjang 600 mm, Lebar 600 mm, Tinggi 750 mm, serta Selimut Beton 75 mm. Gambar 1 merupakan detail struktur pondasi P1C.



Gambar 2. Dimensi dan Penulangan Pondasi Tipe P2C

Sumber: Data Peneliti, 2022

Kondisi Penulangan dalam Struktur dalam struktur pondasi P2C berupa bentuk tulangan, diameter, posisi, dan jumlah tulangan seperti yang dipaparkan pada **Tabel 2**. Perbedaannya dengan pondasi P1C adalah bentuk tulangan, panjang tulangan, dan ukuran diameter.

Tabel 2. Gambaran Perletakan Besi dalam Struktur Pondasi P2C

No	Bentuk Penulangan	Diameter (mm)	Posisi atau Perletakan	Jumlah Batang (buah)
1		13	Y Atas	7
2		16	Y Bawah	7
3		16	X Atas	3
4		20	X Bawah (Tunggal)	2
5		20	X Bawah (Ganda)	3
6		13	Tengah Atas	1
7		13	Tengah Bawah	1
8		10	Sambungan Kiri	5
9		8	Sambungan Kanan	5

Sumber: Olahan Peneliti, 2022

Dari **Tabel 2** dapat diketahui kondisi penulangan yang berguna untuk memberikan gambaran mengenai diameter, jumlah, dan posisi dari masing-masing besi tulangan. Simbol X mewakili posisi tulangan pada sumbu X atau arah horizontal, sedangkan simbol Y melambangkan posisi tulangan pada sumbu Y atau arah vertikal.

2.3 Analisa Bar Bending Schedule

Analisis mengenai pembesian meliputi perhitungan kebutuhan pembesian yang dilakukan secara manual serta dengan penggunaan program bantu . Perhitungan manual

dilakukan dengan mengacu standar SNI-2847-2019 dan BS-8666-2005[21]. Sedangkan perhitungan dengan penggunaan program bantu dilakukan menggunakan Linear Programming. Detail pelaksanaan perhitungan diuraikan sebagai berikut

a. Analisa Bar Bending Schedule dengan Metode SNI-2847-2019

Perhitungan menggunakan metode BBS dengan standar SNI-2847-2019 akan menghasilkan data berupa kebutuhan besi dan jumlah besi yang tersisa dalam satuan panjang, serta jumlah tulangan besi yang diperlukan [24][23]. Beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu kait tulangan struktur (**Tabel 3.**), Kait Ujung Tulangan Senggang (**Tabel 4.**) dan Tulangan Jangkar (**Tabel 5.**)

Tabel 3. Kait Tulangan Struktur

No	Sudut Bungkakan	Syarat Diameter	Rumus	
			r (mm)	L (mm)
1	90 Derajat	10-25 mm	6 d	12 d
2	90 Derajat	29-36 mm	8 d	12 d
3	90 Derajat	43-57 mm	10 d	12 d
4	180 Derajat	10-25 mm	$\geq 6 d$	$\geq 6 d$ atau 75 mm
5	180 Derajat	29-36 mm	$\geq 8 d$	$\geq 6 d$ atau 75 mm
6	180 Derajat	40-55 mm	$\geq 10 d$	$\geq 6 d$ atau 75 mm

Sumber: SNI-2847-2019

Tabel 3. memuat Rumus untuk menentukan panjang dan jari-jari besi tulangan pada bagian ujung berdasarkan sudut bungkakan dan diameter.

Tabel 4. Kait Ujung Tulangan Senggang

No	Sudut Bungkakan	Syarat Diameter	Rumus	
			r (mm)	L (mm)
1	90 Derajat	10-16 mm	4 d	$\geq 6 d$ atau 75 mm
2	90 Derajat	19-25 mm	6 d	12 d
3	135 Derajat	10-16 mm	4 d	$\geq 6 d$ atau 75 mm
4	135 Derajat	19-25 mm	6 d	$\geq 6 d$ atau 75 mm
5	180 Derajat	10-16 mm	4 d	$\geq 4 d$ atau 65 mm
6	180 Derajat	19-25 mm	6 d	$\geq 4 d$ atau 65 mm

Sumber: SNI-2847-2019

Tabel 4. memuat rumus untuk menentukan panjang dan jari-jari tulangan pada bagian begel atau sengkang berdasarkan sudut bungkakan dan diameter

Tabel 5. Tulangan Jangkar

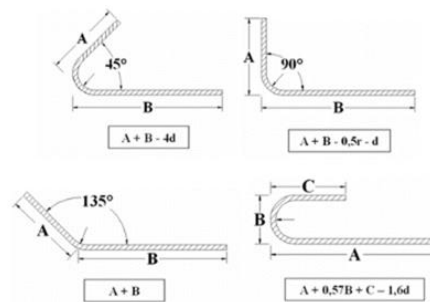
No	Sudut Bungkakan	Syarat Diameter	Rumus	
			r (mm)	L (mm)
1	90 Derajat	< 25 mm	6 d	40 d
2	90 Derajat	25 mm	6 d	50 d
3	90 Derajat	29-36 mm	8 d	50 d
4	90 Derajat	43-57 mm	10 d	50 d

Sumber: SNI-2847-2019 Pasal 25.4.2.5

Tabel 5 memuat rumus dan persyaratan tulangan jangkar atau penyaluran.

b. Analisa Bar Bending Schedule dengan Metode BS-8666-2005

Berdasarkan dengan bentuk sudut bengkokannya, panjang tulangan pada bagian ujung terbagi menjadi 4 macam sesuai dengan gambar di bawah ini[25].



Gambar 3. Syarat Penulangan Berdasarkan Derajat Bengkokan Besi

Sumber: BS-8666-2005

Gambar 3 menjelaskan tentang rumus dalam menentukan panjang tulangan sesuai dengan 4 jenis sudut bengkokan pada bagian ujung tulangan, dimana syarat penulangan tersebut hanya berlaku untuk metode BBS BS-8666-2005.

c. Analisa Bar Bending Schedule dengan Metode Linear Programming

Metode *Linear Programming* berguna untuk memecahkan suatu masalah dengan melibatkan persamaan maupun pertidaksamaan linear yang mempunyai banyak penyelesaian, sehingga didapatkan penyelesaian optimum berupa nilai minimum atau maksimum[6]. Dalam metode *Linear Programming*, terdapat 3 jenis rumus yang digunakan, yaitu:

- Fungsi Tujuan (*Objective Function*)

Berguna untuk menentukan nilai tujuan dengan mencari nilai terendah ataupun tertinggi untuk memecahkan suatu masalah. Pada penelitian yang dilaksanakan, fungsi tujuan berupa pengoptimalan pemotongan tulangan dengan sisa (*waste*) besi seminimal mungkin yang mempunyai persamaan sebagai berikut:

$$\max/\min Z = c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + \dots + c_nx_n.$$

- Fungsi Batasan (*Constraint Function*)

Fungsi ini merupakan pengalokasian kapasitas yang tersedia dalam jumlah terbatas untuk dimanfaatkan secara optimal. Fungsi Batasan memiliki persamaan untuk syarat non-negatif dengan $x_i \geq 0$ sebagai berikut:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1n}x_n \leq \text{atau} \geq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \dots + a_{2n}x_n \leq \text{atau} \geq b_2$$

$$a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + \dots + a_{3n}x_n \leq \text{atau} \geq b_3$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + a_{m3}x_3 + \dots + a_{mn}x_n \leq \text{atau} \geq b_m$$

Dimana:

X_j = variabel keputusan yang ditentukan berdasarkan banyaknya kegiatan.

C_n = koefisien fungsi tujuan yang berasal dari masing-masing variabel keputusan untuk menyatakan sisa potongan dari masing-masing alternatif.

a_{mn} = pemanfaatan dari setiap unit variabel keputusan yang terbatas.

b_m = banyaknya sumber daya yang tersedia pada alternatif yang terdapat dalam fungsi batasan.

- Variabel Keputusan

Variabel untuk menentukan optimasi sisa (*waste*) besi sesuai dengan pola pemotongan tulangan (*cutting pattern*).

Pola Pemotongan 1				
I_{11}	I_{21}	I_{31}	I_{31}	I_{31}
Pola Pemotongan 2				
I_{12}	I_{42}	I_{52}	I_{32}	I_{32}
Pola Pemotongan i				
I_{4i}	I_{4i}	I_{5i}	I_{3i}	I_{3i}

Gambar 4. Ilustrasi Pola Pemotongan Tulangan

Sumber: Metode Linear Programming

Pada **Gambar 4**, terdapat notasi I_{ij} , dimana j merupakan variasi panjang potongan tulangan sedangkan i mengindikasikan nomor pola pemotongan tulangan pada masing-masing pola pemotongan atau kombinasi potongan tulangan dengan panjang yang berbeda.

3. Hasil dan Diskusi

Hasil penelitian yang diuraikan meliputi hasil analisa *Bar Bending Schedule* dengan metode perhitungan yang berbeda yaitu Metode SNI-2847-2019, Metode BS-8666-2005, dan Metode *Linear Programming*

3.1 Analisa *Bar Bending Schedule* dengan Metode SNI-2847-2019

Pada Analisa *bar bending schedule* pondasi P1C dan P2C akan dilakukan perhitungan sisa besi yang dihasilkan berdasarkan panjang besi sesuai dengan metode SNI-2847-2019. Hasil perhitungan disajikan dalam **Tabel 6.** dan **Tabel 7.** berikut:

Tabel 6. Analisa *bar bending schedule* Pondasi PIC Metode SNI-2847-2019

No.	d (mm)	Panjang Besi (mm)		Bending (mm)			Jumlah (batang)	Gambar Penulangan
		SNI	A	B	C			
1	16	2064	450	615	192	3		
2	16	1730	450	640	0	3		
3	16	1698	418	640	0	1		
4	16	1666	386	640	0	1		

Sumber : *Olahan Peneliti, 2022*

Detail perhitungan dari tabel diatas diuraikan sebagai berikut:

- Panjang Tulangan 3A = $450 - (2 \times 16) = 418$ mm
- Panjang Tulangan 4A = $418 - (2 \times 16) = 386$ mm
- Sisa Besi = (Panjang batang standar (12 m) – panjang batang) (jumlah batang)
 $= (12 - 2,064) (3) + (12 - 1,73) (3) + (12 - 1,698) (1) + (12 - 1,666) (1)$
 $= 29,808 + 30,81 + 10,302 + 10,334 = 81,254$ m
- Jumlah Batang = jumlah dari seluruh batang yang digunakan pada pondasi
 $= 3 + 3 + 1 + 1 = 8$ batang

Dari perhitungan diatas didapatkan, sisa besi yang dihasilkan pada pondasi PIC berdasarkan Analisa *Bar Bending Schedule* dengan Metode SNI-2847-2019 sepanjang 81,254 m dengan jumlah batang sebanyak 8 batang.

Tabel 7. Analisa *bar bending schedule* Pondasi P2C Metode SNI-2847-2019

No.	d (mm)	Panjang Besi (mm)		Bending (mm)			Jumlah (batang)	Gambar Penulangan
		SNI	A	B	C			
1	13	1490	450	520	0	7		
2	16	1704	424	640	0	7		
3	16	2630	1350	640	0	3		
4	20	2950	1350	800	0	2		
5	20	2918	1318	800	0	3		
6	13	1432	392	520	0	1		
7	13	1406	366	520	0	1		
8	10	2280	2060	120	0	5		
9	8	2076	1980	96	0	5		

Sumber : *Olahan Peneliti, 2022*

Detail perhitungan dari tabel diatas diuraikan sebagai berikut:

Detail Perhitungan Panjang Bengkokan (*Bending*) Bagian A untuk Metode SNI-2847-2019:

- Panjang Tulangan 2A = $450 - (2 \times 13) = 424$ mm
- Panjang Tulangan 5A = $1350 - (2 \times 16) = 1318$ mm
- Panjang Tulangan 6A = $424 - (2 \times 16) = 392$ mm
- Panjang Tulangan 7A = $392 - (2 \times 13) = 366$ mm

- Sisa Besi = (panjang batang standar (12 m) – panjang batang) (jumlah batang)
- $$= (12-1,49) (7) + (12-1,704) (7) + (12-2,63) (3) + (12-2,95) (2) + (12-2,918) (3) + (12-1,432) (1) + (12-1,406) (1) + (12-2,28) (5) + (12-2,076) (5)$$
- $$= 73,57 + 72,072 + 28,11 + 18,1 + 27,246 + 10,568 + 10,594 + 48,6 + 49,62$$
- $$= 338,48 \text{ m}$$
- Jumlah Batang = jumlah dari seluruh batang yang digunakan pada pondasi
- $$= 7 + 7 + 3 + 2 + 3 + 1 + 1 + 5 + 5 = 34 \text{ batang}$$

3.2 Analisa Bar Bending Schedule dengan Metode BS-8666-2005

Pada Analisa *bar bending schedule* pondasi P1C dan P2C akan dilakukan perhitungan sisa besi yang dihasilkan berdasarkan panjang besi sesuai dengan metode BS-8666-2005, Hasil perhitungan disajikan dalam tabel 8 dan tabel 9 berikut:

Tabel 8. Analisa *bar bending schedule* Pondasi P1C Metode BS-8666-2005

No.	d (mm)	Panjang Besi (mm)		Bending (mm)		Jumlah (batang)	Gambar Penulangan
		BS	A	B	C		
1	16	1808	450	615	192	3	
2	16	1602	450	640	0	3	
3	16	1570	418	640	0	1	
4	16	1538	386	640	0	1	

Sumber : Olahan Peneliti, 2022

Detail perhitungan dari tabel diatas diuraikan sebagai berikut:

- Perhitungan Panjang Tulangan Penghubung Pondasi dengan Pelat Lantai (Nomor 1)
- Jari-jari bengkokan (r) = $6d = 6 \times 16 = 96 \text{ mm}$
- Bagian C (L_C) = $12d = 12 \times 16 = 192 \text{ mm}$
- Bagian B-C (L_{BC}) = $(A+B) - 0,5r - d$
- $$= (615+192) - (0,5 \times 96) - 16$$
- $$= 743 \text{ mm}$$
- Bagian A-B-C (L_{ABC}) = $(A+B+C) - r - 2d$
- $$= (450+743+743) - 96 - (2 \times 16)$$
- $$= 1808 \text{ mm}$$

- Perhitungan Panjang Tulangan Bagian Dalam Pondasi (Nomor 2)

$$\text{Jari-jari bengkokan (r)} = 6d = 6 \times 16 = 96 \text{ mm}$$

$$\text{Bagian B (L}_B) = 40d = 40 \times 16 = 640 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Bagian A-B-C (L}_{ABC}) &= (A+2B) - r - 2d \\ &= (450+(2 \times 640)) - 96 - (2 \times 16) \\ &= 1602 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Sisa Besi = (panjang batang standar (12 m) – panjang batang) (jumlah batang)
- $$\begin{aligned} &= (12-1,808)(3) + (12-1,602)(3) + (12-1,57)(1) + (12-1,538)(1) \\ &= 30,576 + 31,194 + 10,43 + 10,462 \\ &= 82,662 \text{ m} \end{aligned}$$
- Jumlah Batang = jumlah dari seluruh batang yang digunakan pada pondasi
- $$\begin{aligned} &= 3 + 3 + 1 + 1 \\ &= 8 \text{ batang} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan , sisa besi yang dihasilkan pada pondasi P1C berdasarkan Analisa *Bar Bending Schedule* dengan Metode BS-8666-2005 sepanjang 82,662 m dengan jumlah batang sebanyak 8 batang.

Tabel 9. Analisa *bar bending schedule* Pondasi P2C Metode BS-8666-2005

No.	d (mm)	Panjang Besi (mm)	Bending (mm)			Jumlah (batang)	Gambar Penulangan
		BS	A	B	C		
1	13	1386	450	520	0	7	
2	16	1576	424	640	0	7	
3	16	2502	1350	640	0	3	
4	20	2790	1350	800	0	2	
5	20	2758	1318	800	0	3	
6	13	1328	392	520	0	1	
7	13	1302	366	520	0	1	
8	10	2240	2060	120	0	5	
9	8	2044	1980	96	0	5	

Sumber : Olahan Peneliti, 2022

Proses perhitungan menggunakan metode BS-8666-2005:

1) Perhitungan Panjang Tulangan (Nomor 1)

a. Jari-jari bengkokan (r) = 6d = 6x13 = 78 mm

b. Bagian B (L_C) = 40d = 40x13 = 520 mm

c. Bagian A-B-C (L_{ABC}) = (A+B+C) – r – 2d = (450+520+520) – 78 – (2x13) = 1386 mm

2) Perhitungan Panjang Tulangan (Nomor 8)

a. Jari-jari bengkokan (r) = $6d = 6 \times 10 = 60$ mm

b. Bagian B (L_B) = $12d = 12 \times 10 = 120$ mm

c. Bagian A-B-C (L_{ABC}) = $(A+B) - 0,5r - d = (2060+120) - (0,5 \times 60) - (2 \times 10) = 2240$ mm

$$3) \text{ Sisa Besi} = (\text{panjang batang standar (12 m)} - \text{panjang batang}) \quad (\text{jumlah batang})$$

$$= (12-1,386) (7) + (12-1,576) (7) + (12-2,502) (3) + (12-2,79) (2) + (12-2,758) (3) + (12-1,328) (1) + (12-1,302) (1) + (12-2,24) (5) + (12-2,044) (5)$$

$$= 74,298 + 72,968 + 28,494 + 18,42 + 27,726 + 10,672 + 10,698 + 48,8 + 49,78$$

$$= 341,856$$

$$4) \text{ Jumlah Batang} = \text{jumlah dari seluruh batang yang digunakan pada pondasi}$$

$$= 7 + 7 + 3 + 2 + 3 + 1 + 1 + 5 + 5 = 34 \text{ batang}$$

3.3 Analisa Bar Bending Schedule dengan Metode Linear Programming

Pada Analisa *bar bending schedule* pondasi P1C dan P2C akan dilakukan perhitungan sisa besi yang dihasilkan berdasarkan panjang besi sesuai dengan *Linear Programming*. Hasil perhitungan disajikan dalam **Tabel 10.** dan **Tabel 11.** berikut:

Tabel 10. Proses Perhitungan pada Pondasi P1C menggunakan Metode *Linear Programming*

Alternatif	Panjang Potongan (m)				Sisa (m)	Panjang (m)	Jumlah Batang
	2,064	1,73	1,698	1,666			
X1	3	0	0	0	5,808	6,192	1
X2	0	3	0	0	6,81	5,19	1
X3	1	0	0	0	9,936	2,064	0
X4	0	1	0	0	10,27	1,73	0
X5	1	1	0	0	8,206	3,794	0
X6	2	2	0	0	10,302	1,698	0
X7	2	1	0	0	10,334	1,666	0
X8	1	2	0	0	6,636	3,364	0
X9	3	3	0	0	8,27	3,73	0
X10	0	0	1	0	8,572	3,428	0
X11	0	0	0	1	6,508	5,492	0
X12	0	0	1	1	6,906	5,094	1
Kebutuhan	3	3	1	1	19,524	16,476	3
Diameter (mm)	16						

Sumber : *Olahan Peneliti, 2022*

Dari perhitungan diatas didapatkan, sisa besi yang dihasilkan pada pondasi P1C berdasarkan Analisa *Bar Bending Schedule* dengan *Linear Programming* sepanjang 19,524 m dengan jumlah batang sebanyak 3 batang.

Tabel 11. Proses Perhitungan pada Pondasi P2C Menggunakan Metode *Linear Programming*

Alternatif	Panjang Potongan (m)									Sisa (m)	Panjang (m)	Jumlah Batang
	1,49	1,704	2,63	2,95	2,918	1,432	1,406	2,28	2,076			
X1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	1,57	10,43	1
X2	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0,072	11,928	1
X3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	4,11	7,89	1
X4	0	0	0	2	0	0	0	0	0	6,1	5,9	0
Alternatif	Panjang Potongan (m)									Sisa (m)	Panjang (m)	Jumlah Batang
	1,49	1,704	2,63	2,95	2,918	1,432	1,406	2,28	2,076			
X5	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3,246	8,754	1
X6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	10,568	1,432	0
X7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	10,594	1,406	0
X8	0	0	0	0	0	0	0	4	0	2,88	9,12	2
X9	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1,62	10,38	1
X10	0	1	1	0	0	0	0	0	0	7,666	4,334	0
X11	0	2	1	0	0	0	0	0	0	5,962	6,038	0
X12	0	1	2	0	0	0	0	0	0	5,036	6,964	0
X13	0	2	2	0	0	0	0	0	0	3,332	8,668	0
X14	0	0	0	1	1	0	0	0	0	6,132	5,868	0
X15	0	0	0	2	1	0	0	0	0	3,182	8,818	1
X16	0	0	0	1	2	0	0	0	0	3,214	8,786	0
X17	0	0	0	0	0	1	1	0	0	9,162	2,838	0
X18	1	0	0	0	0	1	1	0	0	7,672	4,328	0
X19	2	0	0	0	0	1	1	0	0	6,182	5,818	0
X20	3	0	0	0	0	1	1	0	0	4,692	7,308	1
Kebutuhan	7	7	3	2	3	1	1	5	5	24,252	83,748	9
Diameter (mm)	13	16		20		13		10	8			

Sumber : Olahan Peneliti, 2022

Dari perhitungan diatas didapatkan , sisa besi yang dihasilkan pada pondasi P1C berdasarkan Analisa *Bar Bending Schedule* dengan *Linear Programming* sepanjang 24,306 m dengan jumlah batang sebanyak 3 batang.

Dari hasil perhitungan yang telah diuraikan , dilakukan rekapitulasi hasil mengenai kebutuhan besi, sisa besi serta jumlah batang pada pondasi P1C dan P2C berdasarkan masing-masing metode yang disajikan pada tabel 12 dan tabel 13 berikut:

Tabel 12. Rekapitulasi Kebutuhan dan Sisa Besi pada Pondasi P1C

	SNI-2847-2019			BS-8666-2006			<i>Linear Programming</i>		
	Kebutuhan Besi	Sisa Besi	Jumlah Batang	Kebutuhan Besi	Sisa Besi	Jumlah Batang	Kebutuhan Besi	Sisa Besi	Jumlah Batang
D-16	14,746	81,254	8	13,338	82,662	3	16,476	19,524	3

Sumber : Olahan Peneliti, 2022

Dari Tabel 12 diketahui bahwa pada pondasi P1C, metode *Linear Programming* merupakan metode yang paling efektif dalam mengurangi sisa (*waste*) besi dengan sisa besi sebanyak 19,524 m.

Tabel 13. Rekapitulasi Kebutuhan dan Sisa Besi pada Pondasi P2C

	SNI-2847-2019			BS-8666-2006			Linear Programming		
	Kebutuhan Besi	Sisa Besi	Jumlah Batang	Kebutuhan Besi	Sisa Besi	Jumlah Batang	Kebutuhan Besi	Sisa Besi	Jumlah Batang
D-8	10,38	49,62	5	10,22	49,78	5	10,38	1,62	1
D-10	11,4	48,6	5	11,2	48,8	5	18,4	5,76	2
D-13	13,268	94,732	9	12,332	95,668	7	17,726	6,274	2
D-16	19,818	100,182	10	18,538	101,462	10	19,776	4,224	2
D-20	14,654	45,346	5	13,854	46,146	5	17,572	6,428	2
Total	69,52	338,48	34	66,144	341,856	32	83,854	24,306	9

Sumber : Olahan Peneliti, 2022

Dari **Tabel 13** diketahui bahwa pada pondasi P2C, metode Linear Programming merupakan metode yang paling efektif dalam mengurangi sisa (*waste*) besi dengan sisa besi sebanyak 24,306 m.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa metode Linear Programming merupakan metode yang paling efektif dalam melakukan perhitungan pembesian berdasarkan Bar Bending Schedule. Berdasarkan hasil sisa besi yang dihitung menggunakan SNI-2847-2019 dan BS-8666-2005, Metode Linear Programming lebih efektif dalam mereduksi sisa besi sebanyak 76 % pada pondasi P1C dan 92 % pada pondasi P2C. Hasil tersebut dapat digunakan sebagai referensi dalam melakukan perhitungan pembesian berdasarkan bar Bending Schedule secara efektif.

5. Ucapan Terima Kasih

Setelah berhasil menyelesaikan jurnal ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing dan pihak lain yang telah membantu dalam proses pengerjaan jurnal.

Daftar Pustaka

- [1] T. D. Kurniawan, “Penerapan sni 2847:2019 dalam perhitungan kuantitas pekerjaan kait tulangan,” *SENASTER*, vol. 2, no. 1, pp. 1–5, 2021.
- [2] A. Enshassi, A. Ayash, and S. Mohamed, “Energy management application in construction projects in the Gaza Strip, Palestine,” *J. Constr. Dev. Ctries.*, vol. 24, no. 1, pp. 1–21, 2019, doi: 10.21315/jcdc2019.24.1.1.
- [3] J. Atmaja, F. Adibroto, and N. Hidayah, “Optimasi Pemotongan Besi Tulangan Pada Pekerjaan Struktur Menggunakan Metode Linear Programming,” *Borneo Eng. J. Tek. Sipil*, vol. 4, no. 2, pp. 192–202, 2020, doi: 10.35334/be.v4i2.1595.
- [4] S. Simushi and J. Wium, “Time and cost overruns on large projects: Understanding the root cause,” *J. Constr. Dev. Ctries.*, vol. 25, no. 1, pp. 129–146, 2020, doi: 10.21315/jcdc2020.25.1.7.
- [5] Z. Kahvandi, E. Saghatforoush, A. Z. Ravasan, and M. L. Viana, “A Review and Classification of Integrated Project Delivery Implementation Enablers,” *J. Constr. Dev. Ctries.*, vol. 25, no. 2, pp. 219–236, 2020, doi: 10.21315/jcdc2020.25.2.9.
- [6] J. Margaretta and O. Gondokusumo, “Penerapan Metode Linear Programming Untuk Analisis Pemotongan Besi Tulangan Pada Proyek Bangunan Gedung Di Jakarta,” *J. Muara Sains, Teknol. Kedokt. dan Ilmu Kesehat.*, vol. 1, no. 2, pp. 51–61, 2018, doi: 10.24912/jmstkik.v1i2.1029.
- [7] B. Santoso, S. M. Prasetyo, and A. Wijoyo, “Meminimalkan Sisa Pemotongan Besi Beton dalam Proyek Konstruksi,” *J. Inform. Univ. Pamulang*, vol. 4, no. 2, p. 73, 2019, doi: 10.32493/informatika.v4i2.3204.
- [8] W. A. Novita, Y. Ulfiyati, and S. A. Hardiyanti, “Optimasi Waste Besi Pada Pier Median Jalan Tol Jakarta –,” vol. 4, no. September 2019, pp. 58–66, 2021.
- [9] E. U. R. Khawaja and A. Mustapha, “Mitigating Disputes and Managing Legal Issues in the Era of Building Information Modelling,” *J. Constr. Dev. Ctries.*, vol. 26, no. 1, pp. 111–130, 2021, doi: 10.21315/jcdc2021.26.1.6.
- [10] B. Y. Renault, J. N. Agumba, and N. Ansary, “Establishing Core Factors of Risk Management Influencing Performance Outcome of Small and Medium Firm’s Construction Projects in Gauteng,” *J. Constr. Dev. Ctries.*, vol. 25, no. 2, pp. 93–127, 2020, doi: 10.21315/jcdc2020.25.2.4.
- [11] Y. Schoeman, P. Oberholster, and V. Somerset, “A decision-support framework for industrial waste management in the iron and steel industry: A case study in Southern Africa,” *Case Stud. Chem. Environ. Eng.*, vol. 3, no. January, p. 100097, 2021, doi: 10.1016/j.csee.2021.100097.
- [12] P. Marzuki, A. Oktavianus, A. Regina, B. Hasiholan, and Meifrinaldi, “Interface problems in change order-challenged projects,” *J. Constr. Dev. Ctries.*, vol. 24, no. 2, pp. 1–22, 2019, doi: 10.21315/jcdc2019.24.2.1.

- [13] S. A. Sanga, "Compliance with Building Material Specifications among Informal Skilled Construction Workers in Dar es Salaam, Tanzania," *J. Constr. Dev. Ctries.*, vol. 25, no. 2, pp. 63–91, 2020, doi: 10.21315/jcdc2020.25.2.3.
- [14] A. J. Saputra and M. Tandedi, "Tingkat Pengetahuan dan Kesadaran Berperilaku K3 Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Internasional Batam," *J. Ilm. Rekayasa Sipil*, vol. 18, no. 1, pp. 1–9, 2021, doi: 10.30630/jirs.v18i1.515.
- [15] a . D. S. A. Wijaya, "Kebutuhan, Analisis Pada, Tulangan Balok, Pekerjaan Kolom, D A N Metode, Menggunakan METODE LINEAR PROGRAMING (STUDI KASUS PEMBANGUNAN GIS 150 KV JATAKE II)," 2020.
- [16] A. F. Van Roy and A. Firdaus, "Building Information Modelling in Indonesia: Knowledge, Implementation and Barriers," *J. Constr. Dev. Ctries.*, vol. 25, no. 2, pp. 199–217, 2020, doi: 10.21315/jcdc2020.25.2.8.
- [17] I. C. F. Qwensi, Y. A. Yanuar, and R. S. Alifen, "DIRECT WASTE DAN INDIRECT WASTE MATERIAL PADA PEKERJAAN STRUKTUR BETON DAN DINDING BATA (Studi Kasus : Proyek Gedung Apartemen di Surabaya)," *J. Dimens. Pratama Tek. Sipil*, vol. 10, no. 1, pp. 98–105, 2021.
- [18] F. Ariane and D. Dinariana, "Earned Value Analysis Pada Pengendalian Waktu Proyek Venue Layar Di Dki Jakarta," *J. IKRA-ITH Teknol.*, vol. 2, no. 3, pp. 51–54, 2018.
- [19] T. K. Chan, "Building and construction research in Malaysia: A bibliometric analysis," *J. Constr. Dev. Ctries.*, vol. 24, no. 1, pp. 65–84, 2019, doi: 10.21315/jcdc2019.24.1.4.
- [20] I. Tanjung, R. Aristotelin, B. Proboyo, and I. Santoso, "Cara Pendekatan Perhitungan Kuantitas Pembesian Pada Kolom Struktur Beton Bertulang," *J. Dimens. Pratama Tek. Sipil*, pp. 165–172, 2017.
- [21] M. Rizky, "Analisis Perbandingan Volume dan Biaya Bar Bending Schedule dengan Metode SNI 2847:2013 dan BS 8666:2005," 2018.
- [22] S. E. Djuniardi and D. Prayogo, "Optimasi Pemotongan Besi Tulangan Pada Proyek Kompleks Pergudang Menggunakan Integer Linear Programming," *Dimens. Utama Tek. Sipil*, vol. 8, no. 2, pp. 84–94, 2021, doi: 10.9744/duts.8.2.84-94.
- [23] M. Rizky *et al.*, "ANALISIS PERBANDINGAN VOLUME DAN BIAYA BAR BENDING SCHEDULE DENGAN METODE SNI 2847:2013 DAN BS 8666:2005 (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Showroom Wahana Medan Sunggal)," vol. D, 2013.
- [24] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung," *Standar Nas. Indones.*, no. 8, p. 720, 2019.
- [25] C. S. Team, "BS 8666:2005 Scheduling, dimensioning, bending and cutting of steel reinforcement for concrete," pp. 1–8, 2006.