

PENERAPAN METODE *LINEAR PROGRAMMING* UNTUK ANALISIS PEMOTONGAN BESI TULANGAN PADA PROYEK BANGUNAN GEDUNG DI JAKARTA

Jennyfer Margaretta¹, Onnyxiforus Gondokusumo²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara
E-mail: jennyfermargaretta@gmail.com

²Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara
E-mail: onnyxiforusg@pps.untar.ac.id

ABSTRAK

Material besi tulangan merupakan komponen yang penting dalam sebuah proyek konstruksi gedung bertingkat. Pada proyek di lapangan tidak dapat dihindari munculnya sisa material besi tulangan yang menyebabkan pengeluaran anggaran biaya yang sia-sia. Pemotongan besi tulangan yang tidak optimal di lapangan merupakan penyebab terjadinya waste besi yang cukup tinggi, sehingga diperlukan solusi untuk mengurangi waste besi. Metode Linear Programming merupakan salah satu solusi untuk mengurangi waste besi dan jumlah besi tulangan. Tujuan dilakukan penelitian ini untuk mengetahui pemotongan besi tulangan yang optimal dengan waste besi dan biaya yang kecil. Selain itu juga mengetahui perbedaan sisa pemotongan besi tulangan di lapangan dengan sisa pemotongan besi tulangan menggunakan Metode Linear Programming. Untuk menghasilkan nilai waste besi dan jumlah besi tulangan dari model Linear Programming diperlukan bantuan program LINDO. Penelitian ini dilakukan pada dua proyek konstruksi gedung bertingkat di Jakarta. Dalam penelitian ini terdapat dua cara yang digunakan dalam menghasilkan persentase penghematan, yaitu cara pertama, mengerjakan berdasarkan diameter pada pekerjaan masing-masing dan cara kedua, mengerjakan berdasarkan diameter yang digabungkan. Untuk cara pertama didapatkan penghematan sebesar 3,6% untuk proyek X dan 3,9% untuk proyek Y, sedangkan untuk cara kedua didapatkan penghematan sebesar 4% untuk proyek X dan 4,51% untuk proyek Y. Berdasarkan hasil tersebut, maka disimpulkan bahwa cara pertama yang lebih layak untuk dilaksanakan di lapangan karena tidak membutuhkan waktu pengerjaan yang lama.

Kata kunci: waste besi, Linear Programming, program LINDO, besi tulangan, Bar Bending Schedule

1. PENDAHULUAN

Material konstruksi merupakan komponen yang sangat penting dalam pelaksanaan proyek dan menentukan besarnya biaya suatu proyek. Pada pelaksanaan proyek di lapangan tidak dapat dihindari munculnya sisa material konstruksi. Pelaku konstruksi sering tidak menyadari bahwa sisa ini telah membuat biaya proyek menjadi tidak terkendali sehingga terjadi pembengkakan biaya/*cost overrun* (Kusuma, 2013).

Jika dilihat dari sisi penyebab terjadinya sisa material, perubahan-perubahan desain merupakan faktor yang paling sering menyebabkan terjadinya sisa atau limbah. Sedangkan jika dilihat dari pengaruh faktor penyebab terjadinya sisa material besi terhadap kegiatan konstruksi, maka pemotongan besi beton bertulang yang tidak optimal merupakan faktor yang paling mempengaruhi terjadinya sisa material besi (Kork, 2013).

Salah satu alternatif untuk mengoptimalkan pemotongan besi adalah dengan metode *Linear Programming*. Penulis membuat *Bar Bending Schedule* dengan menggunakan *Microsoft Excel* dan menyelesaikan persamaan linear dengan program LINDO, kemudian dilakukan perbandingan antara sebelum dan sesudah memakai metode *Linear Programming*.

Penelitian dilakukan pada dua proyek konstruksi gedung bertingkat di Jakarta. Fokus penelitian dititikberatkan pada upaya optimasi pemotongan besi tulangan di lapangan. Analisis dilakukan untuk memperoleh perbandingan waste besi dan jumlah besi tulangan antara sebelum dan sesudah memakai metode *Linear Programming*.

Ada beberapa tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini. Tujuan pertama adalah merumuskan hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pembuatan model *Linear Programming* untuk memperoleh *waste* besi terkecil/jumlah besi yang sesuai kebutuhan. Tujuan kedua adalah menghitung besarnya penghematan dengan metode *Linear Programming*. Tujuan ketiga adalah mempelajari sejauh mana metode *Linear Programming* dapat digunakan untuk merencanakan pemotongan besi tulangan di proyek.

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, Penulis mendatangi proyek dan melakukan *survey* serta pengumpulan data. Data yang dikumpulkan berupa data umum proyek, *Bar Bending Schedule* (BBS), *Shop Drawing* dan observasi. Setelah mendapatkan data yang diperlukan, langkah selanjutnya adalah memeriksa kelengkapan data, lalu melakukan rekapitulasi data *Bar Bending Schedule* (BBS). *Bar bending schedule* adalah daftarpola pembengkokan besi tulangan yang meliputi data diameter, bentuk, panjang dan jumlah tulangan (ACI 116R-00). Data-data ini kemudian disusun dalam bentuk tabel (Wahyu, 2014).

Langkah selanjutnya adalah membuat persamaan *Linear Programming*. *Linear Programming* adalah suatu alat yang digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi suatu model linear dengan keterbatasan- keterbatasan sumber daya yang tersedia. Terdapat dua macam fungsi yaitu fungsi tujuan dan fungsi kendala. Persamaan *Linear Programming* dianalisis lebih lanjut dengan program LINDO. *Output* data yang dihasilkan adalah *waste* besi total, jumlah tulangan besi pada masing-masing alternatif dan total batang besi yang diperlukan. Setelah itu dilakukan perbandingan pada *waste* besi dan jumlah besi tulangan hasil di lapangan dengan perhitungan metode *Linear Programming*. Dari hasil analisis itu ditarik kesimpulan dan saran.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Lapangan

Penelitian dilakukan pada dua proyek di Jakarta yaitu proyek X dan proyek Y. Berikut adalah hasil analisis di lapangan untuk proyek X. Dari panjang dan jumlah potongan yang didapat dari setiap pekerjaan di lapangan seperti pekerjaan pelat, balok, kolom dan shearwall kemudian dibuat *Bar Bending Schedule* (BBS) sesuai dengan diameter tulangan. Tabel 1 merupakan salah satu contoh pekerjaan pelat pada proyek X lantai 5.

Tabel 1. BBS Lantai 5 untuk Pekerjaan Pelat Diameter 10

As Pada Proyek X	Panjang Potongan	Jumlah Potongan	Kebutuhan Besi (12m)	Waste Besi
	M	batang	batang	m/batang
ARAH X				
ATAS				
As 11-15/ A-B+C-D	12	167	167	0
	12	334	334	0
	3,6	167	56	1,2
As 11-13/ B-C	12	64	64	0
	7,1	64	64	4,9
As 14-15/ B-C	12	64	64	0
	1,76	64	11	1,44
BAWAH				
As 11-15/ A-B+C-D	12	120	120	0
	12	240	240	0
	3,6	120	40	1,2
As 11-13/ B-C	12	46	46	0
	7,1	46	46	4,9

As 14-15/ B-C	12	46	46	0
	1,76	46	8	1,44
ARAH Y (ATAS+BAWAH)				
As A-D/11-13+14-15	12	288	288	0
	12	288	288	0
	5,8	288	144	0,4
As A-B, C-D/13-14	8,04	160	160	3,96

Kebutuhan batang didapat dari jumlah potongan dibagi jumlah besi. Jumlah besi didapat dengan membagikan panjang besi (12m) dengan panjang potongan. Sedangkan *waste* besi adalah sisa pemotongan dari besi utuh (12 m) dikurangi jumlah besi hasil pemotongan dikali panjang potongan. Berikut ini adalah contoh pada penulangan pelat lantai arah X atas As 11-15/A-B+C-D baris 3 tabel 1.

Jumlah besi = $12/3,6 = 3,3$ buah = 3 buah

Kebutuhan batang = $167/3 = 56$ batang

Waste besi $3,6 = 12 - 3 \times 3,6 = 1,2$ m

Rekapitulasi BBS

Bar Bending Schedule (BBS) yang didapat di lapangan perlu direkapitulasi untuk mempermudah perhitungan penelitian. Hasil rekapitulasi BBS untuk pekerjaan pelat dapat dilihat pada tabel 2. Tabel 2 merupakan contoh analisis lebih lanjut dari pekerjaan pelat proyek X lantai 5 (tabel 1).

Tabel 2. Rekapitulasi *Bar Bending Schedule* Pekerjaan Pelat Lantai Diameter 10

Panjang m	Jumlah Potongan batang	Panjang Total m	Kebutuhan Besi (12 m) batang	<i>Waste</i> Besi m per batang	<i>Waste</i> Besi m
1,76	110	193,6	19	1,44	27,36
3,6	287	1.033,2	96	1,2	115,2
5,8	288	1.670,4	144	0,4	57,6
7,1	110	781	110	4,9	539
8,04	160	1.286,4	160	3,96	633,6
12	1.657	19.884	1.657	0	0
		Σ	2.186	Σ	1.372,76

Linear Programming

Untuk memodelkan permasalahan *Linear Programming* dari tabel 2, maka langkah-langkah yang harus dilakukan adalah menentukan:

a. Variabel Keputusan

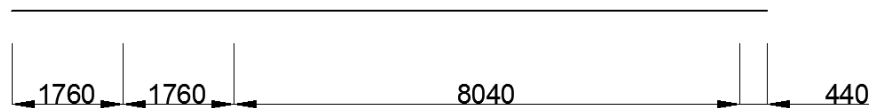
Variabel keputusan dalam analisis pemotongan besi pada penelitian ini adalah jumlah besi tulangan pada diameter tulangan tertentu dengan pola/alternatif pemotongan besi yang berbeda-beda seperti pada tabel 3. X_1 - x_{12} adalah.... dimana contohnya dapat dilihat

Tabel 3. Alternatif Pemotongan Besi Tulangan Pelat Lantai Diameter 10

Jumlah Potongan	110	287	288	110	160	1657	sisa
Alternatif	Panjang (m)						
	1,76	3,6	5,8	7,1	8,04	12	
X1						1	0
X2		1			1		0,36
X3	2				1		0,44
X4		1		1			1,3

X5	2			1			1,38
X6			2				0,4
X7	1	1	1				0,84
X8	3		1				0,92
X9		3					1,2
X10	2	2					1,28
X11	4	1					1,36
X12	6						1,44

Terdapat 12 alternatif untuk panjang potongan pada pelat lantai untuk diameter tulangan 10 mm. Untuk memperjelas maksud dari tabel 3, maka dapat dilihat pada contoh alternatif X3. X3 adalah jumlah besi tulangan ukuran 12 m untuk alternatif pemotongan 2 batang besi ukuran 1,76 m dan 1 batang besi ukuran 8,04 m. Sisa besi pada alternatif X3 adalah $12 - (2 \times 1,76) - 8,04 = 0,44$ m. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Alternatif X3

b. Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui nilai minimum total *waste* besi di lapangan berdasarkan masing-masing pekerjaan dan diameter.

$$\text{MIN } Z = 0X1 + 0,36X2 + 0,44X3 + 1,3X4 + 1,38X5 + 0,4X6 + 0,84X7 + 0,92X8 + 1,2X9 + 1,28X10 + 1,36X11 + 1,44X12$$

Pada alternatif X1 tidak terdapat sisa besi sehingga 0 dikalikan X1 jadi $0X1$, Pada alternatif X2 terdapat sisa besi 0,36 m sehingga 0,36 dikalikan X2 menjadi $0,36X2$ dan seterusnya.

c. Fungsi Kendala

Batasan-batasan dari penelitian ini terdapat pada jumlah potongan dari masing-masing panjang potongan yang dianalisis.

$$X1 \geq 1657$$

$$X2 + X3 \geq 160$$

$$X4 + X5 \geq 110$$

$$2X6 + X7 + X8 \geq 288$$

$$X2 + X4 + X7 + 3X9 + 2X10 + X11 \geq 287$$

$$2X3 + 2X5 + X7 + 3X8 + 2X10 + 4X11 + 6X12 \geq 110$$

Dari tabel 3, jumlah potongan 1675 batang untuk alternatif X1 (lihat per kolom), sedangkan jumlah potongan 160 batang untuk alternatif X2 dan X3.

Program LINDO

Input data:

MIN

$$0X1 + 0,36X2 + 0,44X3 + 1,3X4 + 1,38X5 + 0,4X6 + 0,84X7 + 0,92X8 + 1,2X9 + 1,28X10 + 1,36X11 + 1,44X12$$

ST

$$X1 \geq 1657$$

$$X2 + X3 \geq 160$$

$X_4 + X_5 \geq 110$
 $2X_6 + X_7 + X_8 \geq 288$
 $X_2 + X_4 + X_7 + 3X_9 + 2X_{10} + X_{11} \geq 287$
 $2X_3 + 2X_5 + X_7 + 3X_8 + 2X_{10} + 4X_{11} + 6X_{12} \geq 110$
 END

Output data:

Waste besitotal= 288,52 m

Jumlah tulangan besi ukuran 12 m untuk alternatif pemotongan:

$X_1 = 1.657$ batang

$X_2 = 232$ batang

$X_4 = 55$ batang

$X_5 = 55$ batang

$X_6 = 144$ batang

Jumlah batang besi= $1657 + 232 + 55 + 55 + 144 = 2.143$ batang

Analisis Hasil Perhitungan Metode *Linear Programming* (LP)

Hal yang sama juga dilakukan untuk pekerjaan balok, kolom dan *shear wall*, sehingga didapatkan hasil pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Analisis Lapangan dan *Linear Programming* Proyek X

Pekerjaan	Diameter	Kebutuhan Besi (batang)		Waste Besi (m)	
		Lapangan	LP	Lapangan	LP
Pelat	10	2.186	2.143	1.372,76	288,52
Balok	10	563	661	140,18	8,25
	19	181	178	108,04	58,44
	22	297	297	106,44	106,44
Kolom	10	90	84	103,68	31,68
	13	846	1.248	1.009,44	207,36
	32	120	120	144	144
<i>Shear wall</i>	10	30	29	7,65	0,58
	13	27	42	36,6	7,28
	16	221	188	628,16	232,16
	19	14	14	0	0
	22	46	46	0	0
	25	150	150	675	675

Pada tabel 4, *waste* besi hasil perhitungan dengan *integer programming* menjadi kecil namun ada beberapa pekerjaan pada kebutuhan besinya menjadi lebih besar. Untuk membatasi jumlah kebutuhan besi agar tepat seperti yang dibutuhkan di lapangan atau tidak terlalu jauh dari jumlah kebutuhan besi yang dibutuhkan di lapangan maka dilakukan pergantian simbol “ \geq ” menjadi “ $=$ ” pada fungsi kendala (*constraints*). Hasil analisisnya dapat dilihat pada tabel 5 dan 6.

Tabel 5. Hasil Analisis Antara “ \geq ” dengan “ $=$ ”

Pekerjaan	Diameter	Kebutuhan Besi (batang)		Waste Besi (m)	
		Min Waste (\geq)	Min Besi ($=$)	Min Waste (\geq)	Min Besi ($=$)
Pelat	10	2.143	2.095	288,52	291,4
Balok	10	661	555	8,25	36,72
	19	178	178	58,44	58,44
	22	297	297	106,44	106,44
Kolom	10	84	84	31,68	31,68
	13	1.248	765	207,36	253,88
	32	120	120	144	144

<i>Shear wall</i>	10	29	28	0,58	3,36
	13	42	25	7,28	13,1
	16	188	188	232,16	232,16
	19	14	14	0	0
	22	46	46	0	0
	25	150	150	675	675

Tabel 6. Hasil Analisis Dalam Satuan Kg Proyek X

Pekerjaan	Dia	Kebutuhan Besi (kg)			Waste Besi (kg)		
		Lap	Min Waste (\geq)	Min Besi ($=$)	Lap	Min Waste (\geq)	Min Besi ($=$)
Pelat	10	16.176,4	15.858,2	15.503,0	846,5	177,9	179,7
Balok	10	4.166,2	4.891,4	4.107,0	86,4	5,1	22,6
	19	4.843,6	4.763,3	4.763,3	240,9	130,3	130,3
	22	10.620,7	10.620,7	10.620,7	317,2	317,2	317,2
Kolom	10	666,0	621,6	621,6	63,9	19,5	19,5
	13	10.558,1	15.575,0	9.547,2	1.049,8	215,7	264,0
	32	9.086,4	9.086,4	9.086,4	908,6	908,6	908,6
<i>Shear wall</i>	10	222,0	214,6	207,2	4,7	0,4	2,1
	13	337,0	524,2	312,0	38,1	7,6	13,6
	16	4.174,7	3.551,3	3.551,3	988,8	365,5	365,5
	19	374,6	374,6	374,6	0,0	0,0	0,0
	22	1.645,0	1.645,0	1.645,0	0,0	0,0	0,0
	25	6.930,0	6.930,0	6.930,0	2.598,8	2.598,8	2.598,8
Jumlah		69.800,6	74.656,3	67.269,3	7.143,9	4.746,5	4.822,0

Tabel 7. Hasil Analisis Perbandingan Minimum Besi Terhadap Minimum WasteProyek X

Pekerjaan	Diameter	Min Waste	Selisih Antara Min Waste dengan Min Besi			
		Kg	Batang	Kg	Persentase (%)	
Pelat	10	15.858,20	48	355,2	355,2	2,24
Balok	10	20.275,40	106	784,4	784,4	16,04
	19		0	0		0
	22		0	0		0
Kolom	10	25.283,00	0	0	6.027,80	0
	13		483	6.027,80		38,7
	32		0	0		0
<i>Shear wall</i>	10	13.239,70	1	7,4	219,6	3,45
	13		17	212,2		40,48
	16		0	0		0
	19		0	0		0
	22		0	0		0
	25		0	0		0
Jumlah		74.656,30	655	7.387,00	7.387	9,89

Berikut adalah contoh perhitungan untuk pekerjaan balok pada tabel 7:

Min Waste(lihat tabel 6)= $D_{10}+D_{19}+D_{22}= 4.891,4+4.763,3+10.620,7= 20.275,4$ kg

Batang Diameter 10 (lihat tabel 5)= min waste-min besi= $661-555= 106$ batang

Kg Diameter 10 (lihat tabel 6)= min waste-min besi= $4.891,4-4.107= 784,4$ kg

Total kg diameter 10 (lihat tabel 6 dan 7) = $D_{10}+D_{19}+D_{22}= 784,4+0+0= 784,4$ kg

Persentase Diameter 10 (lihat tabel 6)= $Kg/min\ wastex100\%= 784,4/4.891,4x100\%= 16,04\%$

Total persentase pekerjaan balok (tabel 6 dan 7)= $784,4/20.275,4x100\%= 3,87\%$

Tabel 8. Hasil Analisis Penghematan Minimum Besi Terhadap Lapangan pada Masing-Masing Diameter Pekerjaan Proyek X

Pekerjaan	Diameter	Penghematan Min Besi Terhadap Lapangan			
		Batang	Kg	Persentase (%)	Rupiah (Rp)
Pelat	10	91	673,4	4,2	4.713.800
Balok	10	8	59,2	1,4	414.400
	19	3	80,3	1,7	561.960
	22	0	0,0	0,0	0
Kolom	10	6	44,4	6,7	310.800
	13	81	1.010,9	9,6	7.076.160
	32	0	0,0	0,0	0
Shear wall	10	2	14,8	6,7	103.600
	13	2	25,0	7,4	174.720
	16	33	623,4	14,9	4.363.590
	19	0	0,0	0,0	0
	22	0	0,0	0,0	0
	25	0	0,0	0,0	0
Jumlah			2.531,3	3,6	17.719.030

Berikut adalah contoh perhitungan untuk hasil analisis pekerjaan pelat pada tabel 8:

Batang (lihat tabel 4 dan 5)= lapangan-min besi= $2.186 - 2.095 = 91$ batang

Kg (lihat tabel 5)= lapangan-min besi= $16.176,4 - 15.858,2 = 673,4$ kg

Persentase= kg penghematan/kg lapangan $\times 100\% = 673,4 / 16.176,4 \times 100\% = 4,16\%$

Rupiah (1 kg= Rp7.000,-)= kg penghematan x biaya per kg= $673,4 \times \text{Rp}7.000,- = \text{Rp}4.713.800,-$

Tabel 9. Hasil Analisis Penghematan Minimum Besi Terhadap Lapangan pada Masing-Masing Pekerjaan Proyek X

Pekerjaan	Lapangan (Kg)	Min Besi (Kg)	Penghematan Min Besi Terhadap Lapangan		
			Kg	%	Rp
Pelat	16.176,4	15.503,0	673,4	4,2	4.713.800
Balok	19.630,5	19.491,0	139,5	0,7	976.360
Kolom	20.310,5	19.255,2	1.055,3	5,2	7.386.960
Shear wall	13.683,3	13.020,1	663,1	4,8	4.641.910
Jumlah	69.800,6	67.269,3	2.531,3	3,6	17.719.030

Berikut adalah contoh perhitungan dibawah ini untuk pekerjaan balok pada tabel 9:

Lapangan (lihat tabel 6)= $D10+D19+D22=4.166,2+4.843,6+10.620,7= 19.630,5$ kg

Minimum besi (lihat tabel 6)= $D10+D19+D22= 4.107+4.763,3+10.620,7= 19.491$ kg

Penghematan= lapangan – minimum besi= $19.630,5 - 19.491 = 139,5$ kg

Persentase = Penghematan / Lapangan $\times 100\% = 139,5 / 19.630,5 \times 100 = 0,71\%$

Rupiah (1 kg= Rp7000,-)= Penghematan x biaya per kg= $139,5 \times \text{Rp}7.000,- = \text{Rp}976.360,-$

Penghematan jika menggunakan metode *Linear Programming* dapat mencapai Rp17.719.030,- dengan persentase 3,6 % untuk lantai 5 pada *Tower Office* proyek X. Solusi lain yang dapat dilakukan yaitu dengan menggabungkan tulangan dengan diameter yang sama. Diameter tulangan yang dapat digabungkan adalah diameter 10 mm, 13 mm, 19 mm, dan 22 mm. Sehingga disusun menjadi sebuah tabel yang lebih singkat yang dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10. Susunan Hasil Analisis Berdasarkan Diameter Besi Tulangan Proyek X

Diameter	Kebutuhan Besi (batang)		Waste Besi (m)	
	Lapangan	Minimum Besi	Lapangan	Minimum Besi
10	2.869	2.762	1.624,27	363,16
13	873	790	1.046,04	266,98
16	221	188	628,16	232,16
19	195	192	108,04	58,44
22	343	343	106,44	106,44
25	150	150	675	675
32	120	120	144	144

Untuk diameter 10 mm, 13 mm, 19 mm, dan 22 mm dilakukan analisis ulang dengan penambahan tipe-tipe panjang dan jumlah potongan dari tipe-tipe panjang tersebut dengan metode yang sama seperti sebelumnya. Hasil dari analisis dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 11. Hasil Analisis Ulang untuk Diameter yang Digabungkan Proyek X

Diameter	Kebutuhan Besi (batang)		Waste Besi (m)	
	Lapangan	Min Besi	Lapangan	Min Besi
10	2.869	2.736	1.624,27	65,89
13	873	787	1.046,04	247,06
16	221	188	628,16	232,16
19	195	192	108,04	58,44
22	343	343	106,44	106,44
25	150	150	675	675
32	120	120	144	144

Dengan menggabungkan pemotongan tulangan berdasarkan diameternya, dapat menurunkan atau memperkecil *waste* besi dan jumlah tulangan. Penghematan dengan menggabungkan diameter pada semua pekerjaan pada lantai 5 proyek X dapat dilihat pada tabel 12.

Tabel 12. Hasil Analisis Penghematan Minimum Besi Terhadap Lapangan pada Masing-Masing Diameter Proyek X

Diameter	Lapangan (Kg)	Min Besi (Kg)	Penghematan Min Besi Terhadap Lapangan		
			Kg	%	Rp
10	21.230,6	20.246,4	984,2	4,6	6.889.400
13	10.895,0	9.821,8	1.073,3	9,9	7.512.960
16	4.174,7	3.551,3	623,4	14,9	4.363.590
19	5.218,2	5.137,9	80,3	1,5	561.960
22	12.265,7	12.265,7	0,0	0	0
25	6.930,0	6.930,0	0,0	0	0
32	9.086,4	9.086,4	0,0	0	0
Jumlah	69.800,6	67.039,5	2.761,1	4	19.327.910

Cara perhitungan untuk tabel 12 sama dengan tabel 9. Penghematan jika menggabungkan diameter dari semua pekerjaan di lantai 5 dapat mencapai Rp 19.327.910,- dengan persentase 4%. Selisih antara sebelum dan sesudah digabungkan yaitu Rp 19.327.910 - Rp 17.719.030= Rp 1.608.880,-.

Rangkuman Hasil Analisis Perhitungan

Berikut adalah hasil analisis proyek X dan proyek Y. Perhitungan analisis dengan metode *linear programming* untuk proyek Y sama dengan cara perhitungan pada proyek X.

a. Variasi Panjang Potongan dengan Variabel Keputusan

Pada awal analisis perhitungan, dalam pembuatan model *Linear Programming* terlebih dahulu harus dibuat alternatif-alternatif pemotongan yang merupakan variabel keputusan dalam model *Linear Programming*.

Tabel 13. Rangkuman Jumlah Variasi Panjang Potongan dengan Variabel Keputusan yang Dihasilkan Pada Proyek X dan Proyek Y untuk Pekerjaan Masing-masing

Proyek	Pekerjaan	Diameter	Jumlah	
			Panjang Potongan	Variabel Keputusan
X	Pelat	10	6	12
		10	10	105
	Balok	19	9	17
		22	7	13
		10	2	4
	Kolom	13	3	11
		32	1	1
		10	2	27
	Shear wall	13	3	16
		16	5	12
		19	1	1
		22	1	1
		25	1	1
Y	Kolom	16	5	56
		19	6	123
		25	2	2
		29	1	1
		32	1	1
	Core wall	10	11	300
		13	4	8
		16	9	224
		19	5	108
		22	9	81

Tabel 14. Rangkuman Jumlah Variasi Panjang Potongan dengan Variabel Keputusan yang Dihasilkan Pada Proyek X dan Proyek Y untuk Diameter yang Digabung

Proyek	Diameter	Jumlah	
		Panjang Potongan	Variabel Keputusan
X	10	17	300
	13	6	129
	19	10	22
	22	8	18
Y	16	14	300
	19	6	123

- b. Perbandingan Analisis Lapangan, Minimum Besi dan Minimum Waste
Hasil perbandingan analisis lapangan, min besi dan min waste dapat dilihat pada tabel 15.

Tabel 15. Rangkuman Analisis Kebutuhan Tulangan dan Waste Besi dalam Satuan Kg untuk Proyek X dan Proyek Y

Proyek	Kebutuhan Besi (kg)			Waste Besi (kg)		
	Lap	Min Waste (\geq)	Min Besi ($=$)	Lap	Min Waste (\geq)	Min Besi ($=$)
X	69.800,6	74.656,3	67.269,3	7.143,9	4.746,5	4.822,00
Y	132.624,5	151.497,1	127.454,6	7.534,8	2.258,8	2.785,20

c. Penghematan

Rangkuman hasil analisis untuk penghematan minimum besi terhadap lapangan berdasarkan pekerjaan dengan diameter masing-masing dan diameter yang digabung untuk proyek X pada lantai 5 dan proyek Y pada lantai 22 dapat dilihat pada tabel 16.

Tabel 16. Rangkuman Hasil Analisis Penghematan Minimum Besi Terhadap Lapangan Berdasarkan Pekerjaan dan Diameter Proyek X dan Proyek Y

Keterangan	Proyek X		Proyek Y	
	%	Biaya (Rp)	%	Biaya (Rp)
Pekerjaan	3,6	17.719.030	3,9	36.189.090
Diameter	4	19.327.910	4,51	38.183.530

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisis dari penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- a. Dalam membuat model *Linear Programming*, ada 3 hal yang harus diperhatikan, yaitu variabel keputusan, fungsi tujuan dan fungsi kendala. Pada persamaan fungsi kendala dapat digunakan tanda " \geq " atau " $=$ ".

- Jika menggunakan tanda " \geq ", maka dapat menghasilkan kebutuhan besi yang lebih besar dari lapangan. Namun, menghasilkan *waste* besi yang terkecil.
- Jika menggunakan tanda " $=$ ", maka menghasilkan kebutuhan besi yang terkecil. Namun, menghasilkan *waste* besi yang lebih besar dari hasil tanda " \geq " dan lebih kecil dari *waste* besi di lapangan.

Dalam penelitian ini digunakan fungsi kendala dengan tanda " $=$ " untuk memperoleh kebutuhan besi minimum sehingga didapatkan penghematan besi tulangan antara metode *linear programming* dengan praktik di lapangan.

- b. Terdapat dua cara pengerjaan dengan metode *linear programming* untuk menghasilkan penghematan yaitu:

- Mengerjakan berdasarkan diameter pada pekerjaan masing-masing (misal: pekerjaan kolom, pekerjaan balok, dll.).
 - Proyek X = 3,6%
 - Proyek Y = 3,9%
- Mengerjakan berdasarkan diameter yang digabungkan
 - Proyek X = 4%
 - Proyek Y = 4,51%

Berdasarkan hasil tersebut, dapat dilihat tidak terdapat peningkatan yang signifikan antara diameter yang digabungkan terhadap diameter pada pekerjaan masing-masing. Namun, pengerjaan *linear programming* dengan menggabungkan diameter besi tulangan membutuhkan waktu pengerjaan yang cukup lama karena banyaknya variasi panjang potongan dan membutuhkan area stok material yang lebih besar sehingga cara pertama yang lebih layak dilaksanakan di lapangan.

- c. Metode *Linear Programming* tidak cocok atau kurang efektif digunakan jika variasi panjang potongan lebih dari 10 macam ukuran untuk setiap diameter tulangan. Hal ini dikarenakan semakin banyak variasi panjang potongan maka semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk membuat variabel keputusan dan model *Linear Programming*, mengingat alternatif dan model dibuat dengan cara manual. Pekerjaan yang mudah untuk dianalisis adalah pekerjaan kolom dan *shear wall/core wall*. Namun, jika ada program yang dapat mengeluarkan

alternatif pemotongan dan model *Linear Programming* maka metode ini sangat efektif untuk diterapkan di proyek kontruksi gedung bertingkat.

Saran

Untuk penelitian selanjutnya perlu dibuat sebuah program yang menghasilkan alternatif-alternatif pemotongan besi tulangan sehingga tidak perlu berulang-ulang membuat alternatif-alternatif dan menuliskan model *Linear Programming*nya secara manual.

REFERENSI

- Anonim. (2000). "Cement and Concrete Terminology (ACI 116R-00). American Concrete Institute.
- Kork, M., Hartono, W. dan Sugiyarto. (2013). "Perhitungan Kebutuhan Tulangan Besi Dengan Memperhitungkan Optimasi *Waste* Besi Pada Pekerjaan Balok Dengan Program *Microsoft Excel*." *e-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL Surakarta*.
- Kusuma, V. A. (2013). "Analisis dan Evaluasi Sisa Material Konstruksi." Edisi Revisi. Surakarta: Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.
- LINDO Systems, Inc. (2003). "LINDO User's Manual." *LINDO*. (<http://www.LINDO.com/downloads/PDF/LINDOUsersManual.pdf>) [27 Oktober 2016].
- Mulyono, S.(2007). "Riset Operasi." Edisi Revisi. Jakarta: Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia.
- Siringoringo, H. (2008). "Seri Teknik Riset Operasional Pemrograman Linear." Graha Ilmu, Jakarta.
- Sutanto, Lenny Mayasari, dan Mita Dwi Purwanti. (2006). "Penyiapan Bar Bending Schedule untuk Proyek Konstruksi." Skripsi: Jurusan Teknik Sipi Fakultas Teknik Universitas Kristen Petra Surabaya.
- The Constructor-Civil Engineering Home. (2015). "Preparation Of Bar Bending Schedule." *The Constructor.org*. (<http://theconstructor.org/practical-guide/preparation-of-bar-bending-schedule/7629/>) [23 Oktober 2016].
- Wahyu, P. A. (2014). "Rancangan Program Pengerjaan Bar Bending Schedule Penulanan Core Lift dan Pit Lift dengan Visual Basic 6.0." Skripsi: Program Studi Fakultas Teknik Universitas Kristen Petra Surabaya.
- Winston, W. L. (2004). "Operations Research Application and Algorithms." Fourth Edition, Brooks/Cole, California.