

Optimasi Pemotongan Besi Tulangan Pada Pekerjaan Struktur Menggunakan Metode *Linear Programming*

Jajang Atmaja*¹, Fauna Adibroto², Nurul Hidayah³

^{1,2}Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Padang, Kampus Limau Manis, Padang

³Program Studi Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Padang
E-mail: ¹jajangatmaja@gmail.com

Received 19 September 2020; Reviewed 14 October 2020; Accepted 12 November 2020
Journal Homepage: <http://jurnal.borneo.ac.id/index.php/borneoengineering>

Abstract

In construction projects, (reinforcing steel was very important material especially in the case work. The number of material wasting can not be avoided in the fact so effected the waste of work costs that was incurred by the constructor. The steel bar material was one of the materials with a high price on the market. The one solution for reducing the number of (the) steel bar material wasting and optimize steel bar cutting then find out the number of steel bars that were needed with minimal cutting was Linear Programming. The method had been used in this research was Linear Programming with in help of the Solver Add-In program in Microsoft Excel. The research was conducted on a 3-stories building construction project, namely Puskesmas Kampung Dalam, Kabupaten Padang Pariaman. The activities had been considered in this research covered all steel bars work at foundations, sloof, columns, beams and slabs. Results this research that steel bars using the linear programming method of 5.76%. the percentage before optimization was 13.94%. The demand for bars in the field was 32885.06 kg, by applying the linear programming method was 30019.78 kg, savings in 8.71%. The costs that can be saved after optimization using the Linear Programming method for foundation work, sloof, column, beam and floor plate is Rp 33,094,076.

Keywords: reinforcing bars, reinforcing optimization, steel bar wasting, linear programming

Abstraks

Pada proyek konstruksi, besi tulangan merupakan material yang sangat penting dalam pelaksanaan pekerjaan konstruksi. Sisa material besi tidak dapat dihindari di lapangan, sehingga besarnya angka sisa material tak terpakai berpengaruh pada biaya yang dikeluarkan, karena material besi merupakan salah satu material dengan harga tinggi di pasaran. Salah satu solusi memperkecil angka sisa material besi yaitu dengan melakukan optimasi pemotongan besi untuk mendapatkan jumlah potongan sesuai kebutuhan dengan sisa pemotongan seminimal mungkin. Metode yang digunakan yaitu *Linear Programming* dengan bantuan program *Solver Add-In* pada Microsoft Excel. Penelitian dilakukan pada proyek pembangunan gedung 3 lantai yaitu Puskesmas Kampung Dalam, Kab. Padang Pariaman. Pekerjaan yang ditinjau mencakup pekerjaan pembesian pada pondasi, sloof, kolom, balok dan plat lantai. Hasil penelitian, *waste* besi setelah dilakukan optimasi pemotongan besi tulangan menggunakan metode *linear programming* didapatkan persentase sebesar 5,76%. Sedangkan persentase *waste* besi sebelum dilakukan optimasi yaitu sebesar 13,94%. Kebutuhan besi di lapangan sebesar 32885,06 kg, sedangkan kebutuhan besi dengan menerapkan metode *linear programming* yaitu sebesar 30019,78 kg, terjadi penghematan kebutuhan besi sebesar 8,71%. Besarnya biaya pelaksanaan yang dapat dihemat setelah dilakukan optimasi menggunakan metode *Linear Programming* pada pemotongan besi tulangan pekerjaan pondasi, sloof, kolom, balok dan plat lantai yaitu sebesar Rp 33.094.076.

Keywords: besi tulangan, optimasi tulangan, waste besi, program linear

1. Pendahuluan

Salah satu dampak negatif dari pembangunan sebuah konstruksi adalah terbentuknya sisa material hasil pekerjaan. Sisa material merupakan bahan yang sudah tidak terpakai untuk proyek tersebut. Pada dasarnya sisa material dapat menjadi hal yang merugikan bagi konstruksi karena bila tidak dikelola dengan baik maka banyak biaya konstruksi yang terbuang. Dengan pengoptimalan yang tepat maka sisa material yang terbentuk diharapkan dapat diminimalisir, Waluyo (2017).

I Gusti Putu Adi (2018) menjelaskan bahwa sisa material konstruksi dapat didefinisikan sebagai sesuatu yang sifatnya berlebih dari yang disyaratkan baik itu berupa pekerjaan maupun material konstruksi yang tersisa, tercecer, rusak sehingga tidak dapat digunakan lagi sesuai fungsinya. Salah satu material konstruksi dengan kebutuhan yang sangat tinggi dalam proyek yaitu besi tulangan. (Farmoso, CT dalam SLES Sabry, 2013) menyatakan bahwa material besi beton merupakan material yang memiliki persentase terhadap biaya tertinggi yaitu berkisar 20%-30%. Dengan demikian tingginya angka sisa material besi tentunya menimbulkan kerugian yang cukup besar terhadap biaya pelaksanaan konstruksi. Salah satu solusi yang dapat dilakukan untuk meminimalisasi sisa material besi yaitu melakukan optimasi pemotongan besi. Penelitian dilakukan pada proyek pembangunan gedung 3 lantai yaitu Puskesmas Kampung Dalam, Kab. Padang Pariaman untuk melihat seberapa besar penghematan material besi yang dapat dihasilkan. Metode yang digunakan yaitu metode *Linear Programming*. Hasil yang didapatkan akan dibandingkan hasil sebelum dan sesudah menggunakan metode ini.

Menurut SLES Sabry (2013) pada proyek gedung Sekretariat Daerah Kota Surakarta, untuk membuat model pemotongan tulangan pada plat lantai untuk menghasilkan *waste* sekecil mungkin digunakan metode program linear. Metode program linear yang diterapkan adalah metode simpleks dengan bantuan *Add-In Solver* pada Microsoft Excel. Hasil optimasi yang dilakukan menunjukkan pengurangan *waste* atau terdapat penghematan sebesar 12,516% pada pemotongan tulangan plat lantai. Margaretta J (2017) telah melakukan penelitian pada dua proyek konstruksi gedung bertingkat di Jakarta. Dalam penelitian ini terdapat dua cara yang digunakan untuk menghasilkan persentase penghematan, cara pertama yaitu berdasarkan diameter pekerjaan masing-masing, dan cara kedua yaitu dengan mengerjakan berdasarkan diameter tulangan yang digabungkan. 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.

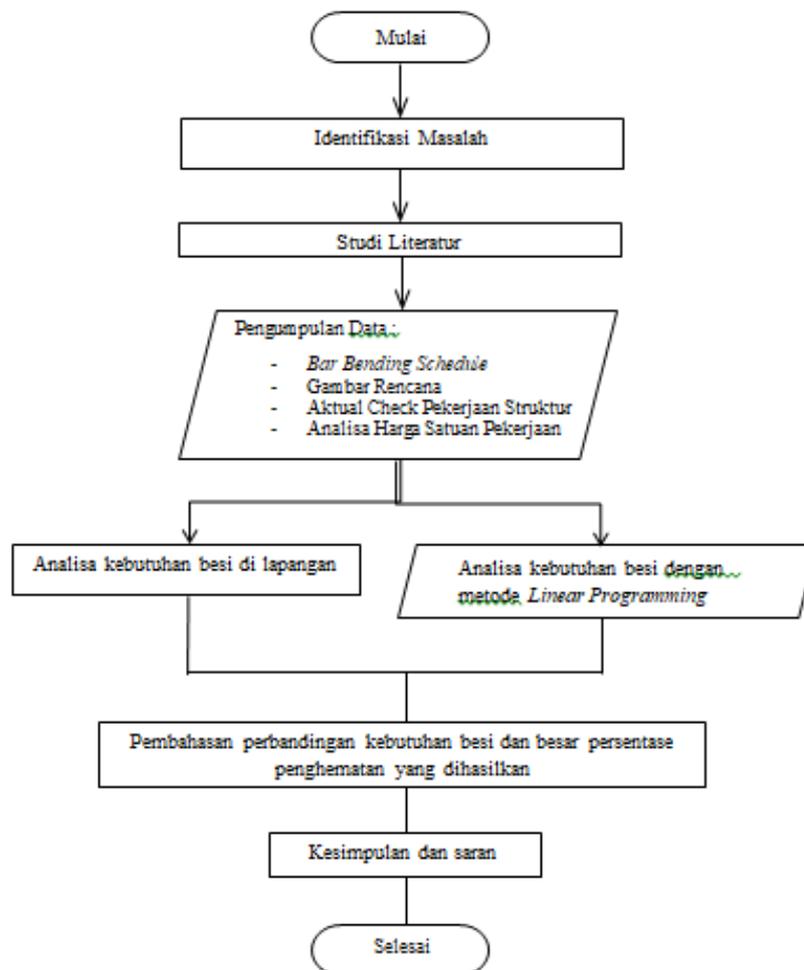
Isaac (2020), pada evaluasi perhitungan material dan biaya besi pada proyek rumah dinas Polres Kota Sukabumi menyatakan akan terjadi penghematan sebesar Rp. 31.313.820,- jika perhitungan BBS dilakukan sejak tahap perencanaan proyek. Menurut Julsen (2018), faktor sisa material yang dominan selama pelaksanaan proyek konstruksi gedung di Provinsi Aceh adalah faktor residual dengan indikatornya kesalahan pada saat memotong material. Menurut Visaretri (2017), penggunaan program bantu *Add-in Solver* mampu mengoptimasi sisa material baja tulangan dengan cukup baik serta menghasilkan *waste* baja tulangan minimum. Presentase rata-rata penghematan baja tulangan pada masing-masing diameter yaitu pada $\varnothing 8$ sebesar 25,99%, D10 sebesar 5,15%, D13 sebesar 19,09%, D16 sebesar 27,268%, D19 sebesar 17,03%. Menurut Kork. M (2013), penggunaan Excel Solver dapat mengoptimasi *waste* pada pemotongan tulangan. Presentase penghematan besi tulangan berdiameter 22 terjadi penghematan 2,07%, besi tulangan berdiameter 16 hemat 3,76%, besi tulangan berdiameter 13 hemat 3,52%, besi tulangan berdiameter 12 hemat 4,76% besi tulangan berdiameter 10 hemat 2,43%. Upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi timbulnya *construction waste* menurut Wahyudi (2016) adalah dengan meminimalkan perubahan desain dan pengendalian material. Kenny (2018)

Beberapa tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini yang pertama, menghasilkan optimasi pemotongan besi untuk memperoleh buangan sisa besi terkecil dan jumlah yang sesuai dengan

kebutuhan. Kedua, mengetahui besarnya penghematan yang dapat dilakukan dengan menerapkan metode *Linear Programming* untuk optimasi pemotongan besi. Ketiga, mengetahui biaya yang dapat dihemat setelah melakukan optimasi pemotongan besi dengan metode *Linear Programming*

2. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan berdasarkan studi kasus pembangunan Gedung Puskesmas Kampung Dalam Kabupaten Padang Pariaman mulai dari pengumpulan data proyek berupa data umum proyek, data mengenai jumlah dan ukuran besi tulangan yang digunakan, gambar rencana dan analisa harga satuan pekerjaan. Selanjutnya dilakukan perhitungan rekapitulasi *bar bending schedule* pada pekerjaan pembesian pondasi, kolom, balok, sloof dan pelat lantai yang ada di lapangan. Kemudian dilakukan perhitungan ulang dengan menggunakan metode *linear programming* (Syahputra, 2015) dengan bantuan program *Add-In Solver* pada *Microsoft Excel*, setelah itu dibandingkan hasil dari program tersebut dengan rekapitulasi *bar bending schedule* di lapangan.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Analisis Lapangan

Kebutuhan besi di lapangan beserta *waste* yang dihasilkan pada masing-masing pekerjaan dan diameter didapatkan dari data *bar bending schedule*. Rekapitulasinya dapat dilihat pada tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Rekapitulasi Kebutuhan Besi di Lapangan

Pek	D	Kebutuhan Besi di Lapangan (batang)	Waste besi di Lapangan (m)	Pek	D	Kebutuhan Besi di Lapangan (batang)	Waste besi di Lapangan (m)
Balok	8	55	12,18	Plat lantai	8	38	52,42
	10	294	98,44		10	836	759,58
	12	136	170	Pondasi Sloof	8	28	38,88
	13	28	40,96		12	292	493,17
	16	77	158,6		8	9	10,03
	19	158	367,071		10	80	10,01
Kolom	8	61	6,01	12	44	115,91	
	10	259	244,96	16	81	89,63	
	12	127	404,31				
	16	378	980,97				

Sumber : Analisa Data Lapangan

3.2. Linear Programming

Memodelkan permasalahan *Linear Programming* dari tabel 1 untuk di analisa menggunakan bantuan *Solver-Add In* sehingga didapatkan pola pemotongan yang sudah dioptimasi maka perlu dilakukan langkah-langkah berikut ini :

- a. Variabel keputusan

Tabel 2 Alternatif Pemotongan Besi Tulangan Pondasi Berdiameter 12

Kode	Alternatif	Panjang Potongan		SISA (M)
		3,4	1,52	
X1	1	3	1	0,28
X2	2	2	3	0,64
X3	4	0	7	1,36
X4	5	5	1	1
KEBUTUHAN		612	479	

Variabel keputusan yang dimaksud adalah jumlah besi tulangan pada diameter tertentu dengan pola/alternatif pemotongan besi yang berbeda-beda sesuai dengan kebutuhan. Pembuatan alternatif pemotongan dengan memperhatikan kombinasi-kombinasi yang menghasilkan sisa pemotongan yang terbuang seminimal mungkin. Pada alternatif pemotongan besi tulangan pondasi berdiameter 12, didapatkan 4 alternatif/pola pemotongan yang berbeda. Dimana terdapat 2 macam potongan pada diameter ini. Masing-masing potongan memiliki kebutuhan yang berbeda-beda. Selanjutnya, tabulasi dari alternatif pemotongan besi tulangan pondasi berdiameter 12 dapat dilihat pada tabel 2 berikut ini.

b. Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui nilai minimum total besi sisa dengan menggunakan metode *Linear Programming* berdasarkan masing-masing pekerjaan dan diameter. Maka persamaan matematis optimasi pemotongan besi dari alternatif tersebut sebagai berikut.

$$Z = 0,28X_1 + 0,64X_2 + 1,36X_3 + 1X_4$$

Tabel 3. Rangkuman Jumlah Variasi Panjang Potongan dengan Variabel Keputusan

Pekerjaan	Diameter	Jumlah	
		Variasi Potongan	Variabel Keputusan
Balok	8	2	1
	10	4	4
	12	21	15
	13	6	5
	16	6	4
	19	4	2
Kolom	8	1	1
	10	3	3
	12	4	4
	16	4	3
Plat lantai	8	6	6
	10	20	21
Pondasi	8	2	1
	12	3	2
Sloof	8	1	1
	10	1	1
	12	6	6
	16	3	3

c. Fungsi Kendala

Fungsi kendala yang dimaksud yaitu jumlah kebutuhan potongan dari masing-masing panjang potongan yang dianalisis. Pada tabel 2 alternatif pemotongan yang dapat dibuat yaitu 4 alternatif, sehingga ada 4 fungsi pembatas yang tercipta yaitu X1, X2, X3, dan X4. Sehingga fungsi kendalanya menjadi :

$$X_1 + X_2 + X_4 \geq 612$$

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 \geq 479$$

Langkah selanjutnya yaitu melakukan optimasi dari persamaan matematis yang dibuat menggunakan bantuan fitur *Solver-Add In*.

3.3. Analisa Hasil Optimasi Pemotongan Besi

Optimasi pemotongan besi yang telah dilakukan pada setiap pekerjaan menghasilkan jumlah variabel keputusan yang berbeda untuk setiap pekerjaan dengan diameter masing-masing. Variabel keputusan ini menunjukkan jumlah alternatif/pola pemotongan yang akan dilaksanakan di lapangan nantinya. Rangkuman jumlah variasi panjang potongan dengan variabel keputusan yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel 3 berikut ini.

Langkah pengolahan data yang sama dilakukan pada masing-masing diameter pada pekerjaan pondasi, sloof, kolom, balok dan plat lantai sehingga didapatkan hasil kebutuhan besi beserta sisa buangan besi yang dihasilkan menggunakan metode *Linear Programming* yang dapat dilihat pada tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Hasil Analisis Lapangan dan *Linear Programming*

Pekerjaan	D	Kebutuhan Besi (batang)		Volume Terpasang (kg)	Waste Besi (m)	
		Lapangan	<i>Linear Programming</i>		Lapangan	<i>Linear Programming</i>
Balok	8	55	55	255,89	12,17	12,17
	10	294	289	2116,04	98,44	35,75
	12	136	131	1287,25	170	10,96
	13	28	28	307,43	40,96	40,96
	16	77	68	1207,8	158,6	66,6
	19	158	140	3403,56	367,07	151
Kolom	8	61	61	286,77	6,01	6,01
	10	259	241	1766,62	244,96	114,61
	12	127	105	994,38	404,31	16,56
	16	378	354	5609,6	980,97	516,26
Plat lantai	8	38	36	159,44	52,42	37,09
	10	836	787	5721,46	759,58	66,69
Pondasi	8	28	28	117,38	38,88	38,88
	12	292	243	2673,73	493,17	137,97
Sloof	8	9	9	38,7	10,03	10,03
	10	80	80	586,15	10,01	10,01
	12	44	36	365,96	115,91	5,28
	16	81	64	1392,37	89,63	46,56

Pada tabel 4 dapat terlihat jumlah kebutuhan besi dalam satuan batang pada masing-masing diameter pekerjaan pondasi, sloof, kolom, balok dan plat lantai dengan analisa di lapangan dan dengan menggunakan metode *Linear Programming*. Hal ini disertai dengan besaran *waste* besi

yang dihasilkan dalam satuan meter. Selanjutnya, kebutuhan besi ini akan dikonversikan kedalam satuan kilogram (kg) yang dapat dilihat pada tabel 5 berikut ini.

Tabel 5. Hasil Analisa dalam Satuan Kilogram

Diameter	Kebutuhan Besi (kg)		Volume Terpasang (kg)	Waste Besi (kg)	
	Lapangan	Linear Programming		Lapangan	Linear Programming
8	905,34	895,86	858,179	47,207	41,152
10	10876,476	10343,388	10190,269	686,715	149,9
12	6382,944	5487,84	5321,322	1050,85	166,425
13	350,112	350,112	307,433	42,68	42,68
16	10149,696	9202,896	8209,765	1939,672	993,225
19	4220,496	3739,68	3403,556	817,098	336,126
TOTAL	32885,064	30019,776	28290,524	4584,222	1729,508

Berdasarkan tabel 5 dapat diketahui kebutuhan besi di lapangan sebesar 32.885,064 kg dengan waste besi sebesar 4584,222. Sehingga persentase waste besi tulangan dapat dihitung sebagai berikut.

$$\% \text{ waste di lapangan} = \frac{\text{jumlah waste besi}}{\text{total kebutuhan besi}}$$

$$\% \text{ waste di lapangan} = \frac{4584,222 \text{ kg}}{32885,064 \text{ kg}} \times 100\%$$

$$\% \text{ waste di lapangan} = 13,94\%$$

Persentase sisa buangan besi di lapangan sebesar 13,94%. Selanjutnya, persentase sisa buangan dengan menggunakan metode *Linear Programming* dengan bantuan *Solver-Add In* dihitung untuk dibandingkan dengan persentase sisa buangan yang terjadi di lapangan.

$$\% \text{ waste besi dengan metode LP} = \frac{\text{jumlah waste besi}}{\text{total kebutuhan besi}}$$

$$\% \text{ waste di lapangan} = \frac{1729,508 \text{ kg}}{30019,776 \text{ kg}} \times 100\%$$

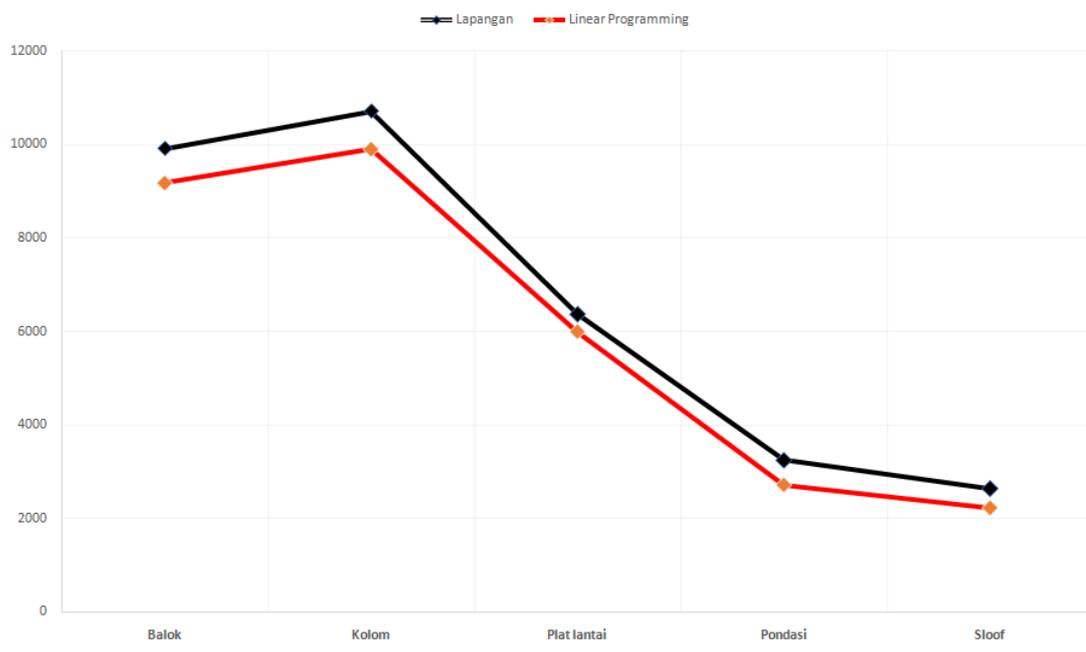
$$\% \text{ waste di lapangan} = 5,761\%$$

Persentase waste besi dengan menggunakan metode *Linear Programming* mendapatkan hasil sebesar 5,761%. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa metode *Linear Programming* telah berhasil meminimalisasi sisa potongan-potongan material besi tulangan. Tabel 5 juga dapat menunjukkan bahwa penggunaan metode *Linear Programming* juga menghasilkan jumlah kebutuhan besi yang lebih kecil dibanding kebutuhan besi di lapangan. Sehingga, terjadi penghematan kebutuhan besi terhadap lapangan pada masing-masing pekerjaan yang disajikan dalam tabel 6 berikut ini.

Tabel 6. Hasil Analisa Penghematan Kebutuhan Besi Terhadap Lapangan

Pekerjaan	Lapangan (Kg)	Linear Programming (kg)	Penghematan Besi Terhadap Lapangan (kg)
Balok	9915	9173,83	741,54
Kolom	10718	9895,73	822,17
Plat lantai	6370	5997,59	372,28
Pondasi	3244	2722,13	522,14
Sloof	2638	2230,5	407,16
Jumlah	32885,06	30019,78	2865,288

Optimasi pemotongan besi yang dilakukan menimbulkan adanya penghematan kebutuhan besi, dimana hal ini akan berdampak terhadap biaya pelaksanaan. Besarnya biaya yang dapat dihemat dengan menerapkan optimasi pemotongan besi menggunakan metode *Linear Programming* mengacu pada Analisa Harga Satuan Pekerjaan Tahun 2019 Kab. Padang Pariaman, sehingga didapat hasil pada tabel 7 berikut ini.

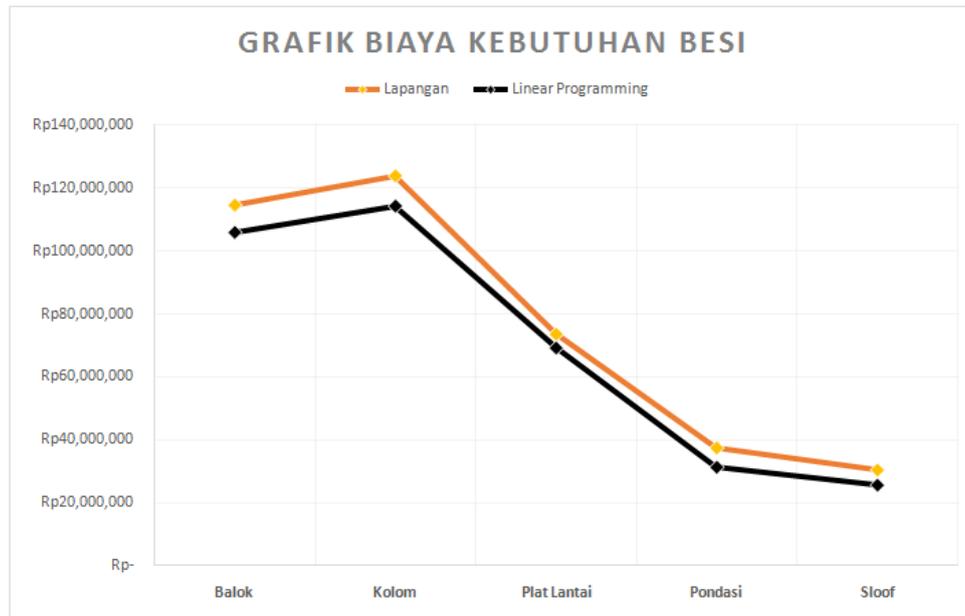
GRAFIK KEBUTUHAN BESI PADA MASING-MASING PEKERJAAN**Gambar 2. Grafik Kebutuhan Besi Analisa Linear Program terhadap Lapangan**

Tabel 7 Hasil Analisa Penghematan Terhadap Biaya Pelaksanaan

Pekerjaan	D	Kebutuhan Besi (kg)		Harga Satuan Bahan Per Kg	Biaya (Rp)		Penghematan Biaya
		Lapangan	Linear Programming		Lapangan	Linear Programming	
Balok	8	260,7	260,7	Rp11.550	Rp3.011.085	Rp3.011.085	Rp -
	10	2176,78	2139,76	Rp11.550	Rp25.141.763	Rp24.714.182	Rp427.581
	12	1449,22	1395,94	Rp11.550	Rp16.738.445	Rp16.123.061	Rp615.384
	13	350,11	350,11	Rp11.550	Rp4.043.794	Rp4.043.794	Rp -
	16	1458,07	1287,65	Rp11.550	Rp16.840.732	Rp14.872.334	Rp1.968.397
	19	4220,5	3739,68	Rp11.550	Rp48.746.729	Rp43.193.304	Rp5.553.425
Kolom	8	289,14	289,14	Rp11.550	Rp3.339.567	Rp3.339.567	Rp -
	10	1917,64	1784,36	Rp11.550	Rp22.148.696	Rp20.609.404	Rp1.539.292
	12	1353,31	1118,88	Rp11.550	Rp15.630.754	Rp12.923.064	Rp2.707.690
Plat lantai	16	7157,81	6703,34	Rp11.550	Rp82.672.682	Rp77.423.623	Rp5.249.059
	8	180,12	170,64	Rp11.550	Rp2.080.386	Rp1.970.892	Rp109.494
Pond-asi	10	6189,74	5826,95	Rp11.550	Rp71.491.543	Rp67.301.249	Rp4.190.294
	8	132,72	132,72	Rp11.550	Rp1.532.916	Rp1.532.916	Rp -
Sloof	12	3111,552	2589,41	Rp11.550	Rp35.938.426	Rp29.907.662	Rp6.030.763
	8	42,66	42,66	Rp11.550	Rp492.723	Rp492.723	Rp -
	10	592,32	592,32	Rp11.550	Rp6.841.296	Rp6.841.296	Rp -
	12	468,86	383,62	Rp11.550	Rp5.415.379	Rp4.430.765	Rp984.614
	16	1533,82	1211,9	Rp11.550	Rp17.715.575	Rp13.997.491	Rp3.718.084
Jumlah		32885,06	30019,78		Rp379.822.489	Rp346.728.413	Rp33.094.076

4. Kesimpulan

Optimasi pemotongan besi tulangan menggunakan metode *linear programming* didapatkan persentase sebesar 5,76%. Sedangkan persentase *waste* besi sebelum dilakukan optimasi yaitu sebesar 13,94%. Optimasi pemotongan besi tulangan menggunakan metode *linear programming* menghasilkan jumlah kebutuhan besi yang lebih kecil dibanding kebutuhan besi di lapangan. Kebutuhan besi di lapangan sebesar 32885,06 kg, sedangkan kebutuhan besi dengan menerapkan metode *linear programming* yaitu sebesar 30019,78 kg. Dimana terjadi selisih kebutuhan besi terhadap lapangan sebesar 2865,288 kg. Sehingga persentase penghematan kebutuhan besi terhadap lapangan yang terjadi yaitu sebesar 8,71%. Besarnya biaya pelaksanaan yang dapat dihemat setelah dilakukan optimasi menggunakan metode *Linear Programming* pada pemotongan besi tulangan pekerjaan pondasi, sloof, kolom, balok dan plat lantai yaitu sebesar Rp 33.094.076 (tiga puluh tiga juta sembilan puluh empat ribu tujuh puluh enam rupiah).



Gambar 2. Grafik Biaya Kebutuhan Besi Analisa Linear Program terhadap Lapangan

Saran

Pada penelitian selanjutnya, lokasi penelitian yang dipilih dapat dilakukan pada proyek dengan skala lebih besar dan item pekerjaan yang lebih kompleks. Untuk mendapatkan hasil yang optimal dibutuhkan pembuatan kombinasi yang lebih teliti dan bervariasi lagi serta akan lebih efektif jika ada kombinasi penggunaan program tambahan lain menghasilkan alternatif-alternatif pemotongan besi tulangan sehingga tidak perlu berulang-ulang pembuatannya.

Ucapan Terima Kasih

Kepada semua pihak yang telah membantu selama penelitian, penulis mengucapkan terima kasih kepada: Segenap Pimpinan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Padang, Ibu Monika Natalia, ST., MT, selaku ketua program Studi DIV Manajemen Rekayasa Konstruksi Politeknik Negeri Padang. Bapak Jajang Atmaja, ST., MSi dan Bapak Fauna Adibroto, ST., MT selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan dan arahan, serta masukan yang sangat berarti bagi penulis. Rekan-rekan mahasiswa teknik sipil angkatan 2016 atas kerja sama dan bantuannya.

Daftar Pustaka

- I Gusti Putu Adi, dkk, 2018, Penanganan Waste Material pada proyek Konstruksi Gedung Bertingkat, Jurnal Spektran, Vol 6 No 2, Juli 2018, hal 176-185, e-ISSN : 2302-2590, <https://ojs.unud.ac.id/index.php/jsn/article/view/42308/25723>
- Isaac DI, 2020, Evaluasi Perhitungan Material dan Biaya Besi pada Proyek Rumah Dinas Polres Kota Sukabumi, Jurnal Student Teknik Sipil Volume 1 No.2, e-ISSN: 2686-5033, hal 82-86, <https://jurnal.ummi.ac.id/index.php/JSTS/article/view/676>

- Julsena dkk, 2018, Faktor Sisa Material yang mempengaruhi biaya pada Pelaksanaan Proyek Konstruksi Gedung di Provinsi Aceh, Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan 1(4): 148-155, E-ISSN: 2615-1340, <http://jurnal.unsyiah.ac.id/JARSP/article/view/12465>
- Kork, M., 2013, Perhitungan Kebutuhan Tulangan Besi dengan Memperhitungkan Optimasi Waste Besi pada Pekerjaan Balok dengan Program Microsoft Excel, e-Jurnal Matriks Teknik Sipil, hal 290-295, <https://jurnal.uns.ac.id/matriks/article/view/37533/24761>
- Margaretta J dkk, 2017, Penerapan Metode Linear Programming untuk Analisis Pemotongan Besi Tulangan pada Proyek Bangunan Gedung di Jakarta, Jurnal Muara Sains Volume 1, No. 2 Oktober 2017, halaman 51-61, ISSN-I-2579-6410, <https://journal.untar.ac.id/index.php/jmistki/article/view/1029/0>
- Sabry, S, 2013, Model Optimasi Pemotongan Besi Tulangan Pelat Lantai dengan Program Linear., e-Jurnal Matriks Teknik Sipil, hal 283-289, <https://jurnal.uns.ac.id/matriks/article/view/37532/24760>
- Syahputra, E, 2015, Program Linier, Medan, Unimed Press
- Visaretri dkk, 2017, Penghitungan Optimasi Baja Tulangan pada Pekerjaan Pelat dan Balok dengan menggunakan Microsoft Excel dan Autocad (Studi Kasus Pembangunan Apartemen Gunawangsa Tidar Surabaya), e-Jurnal Matriks Teknik Sipil, hal 1102-1111, e-ISSN: 2723-4223 <https://jurnal.uns.ac.id/matriks/article/view/36744>
- Wahyudi, N. .2016, Kajian Pengelolaan Construction Waste Dalam Konstruksi Bangunan Gedung, Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2016, hal 210-217, ISSN:2459-9727, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta, https://publikasiilmiah.ums.ac.id/bitstream/handle/11617/7500/Paper_%28MK-10%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Waluyo, 2017, Analisa Sisa Material Proyek Pembangunan Hotel Kawasan Marvell City, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh November, <http://repository.its.ac.id/1971/>