

MODEL OPTIMASI PEMOTONGAN BESI TULANGAN PELAT LANTAI DENGAN PROGRAM LINEAR

SLES Sabry¹⁾, Widi Hartono²⁾, Sugiyarto³⁾

¹⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

^{2), 3)} Pengajar Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutamai 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524.

Email: sles.sabry@yahoo.com

Abstract

“The Floor Slap Reinforcement Iron Cutting Optimization Model using Linear Program” Thesis, Civil Engineering Department of Engineering Faculty of Surakarta Sebelas Maret University.

Nowadays the construction project grows very rapidly in many cities. In a project, the reinforcement iron material is an important component in determining the cost of a project. The use of reinforcement iron material in the field frequently results in substantial residue so that the attempt of minimizing the iron material residue (waste) will help increase the profit for the contractor. Therefore, a reinforcement cutting model on floor slab should be developed to provide as low as possible waste.

To address this problem, a linear program method was used. The linear program model applied was Simplex method with Add In Solver and Ms Excel help. To get the result directly in the field, secondary data were used in the form of the data of cutting taken by the contractor in Local Secretariat building project in Surakarta City.

The result of optimization conducted showed that waste reduction or saving of 12,516% in floor slab reinforcement cutting. The saving is due to linear programming use for planning reinforcement cutting. Meanwhile, in the field, cutting is given up to the iron artisan.

Keywords: waste, linear program, bar bending schedule, Add-In Solver.

Abstrak

“Model Optimasi Pemotongan Besi Tulangan Pelat Lantai Dengan Program Linear” Skripsi, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta. Sekarang pertumbuhan proyek konstruksi di Indonesia semakin berkembang di berbagai kota. Dalam sebuah proyek, material besi tulangan merupakan komponen yang penting dalam menentukan besarnya biaya suatu proyek. Penggunaan material besi tulangan di lapangan seringkali menimbulkan sisa yang cukup besar sehingga usaha meminimalkan sisa material besi akan membantu meningkatkan keuntungan kontraktor. Sehingga perlu untuk membuat model pemotongan tulangan pada pelat lantai untuk menghasilkan waste yang sekecil mungkin. Untuk menyelesaikan masalah ini digunakan metode program linear. Model program linear yang diterapkan adalah metode Simplex dengan bantuan Add In Solver pada Ms Excel. Untuk menghasilkan langsung di lapangan digunakan data sekunder berupa data-data pemotongan yang dilakukan kontraktor pada proyek gedung Sekretariat Daerah Kota Surakarta.

Hasil optimasi yang dilakukan menunjukkan pengurangan waste atau terdapat penghematan sebesar 12,516% pada pemotongan tulangan pelat lantai. Penghematan ini disebabkan karena penggunaan program linear untuk perencanaan pemotongan tulangan, Sedangkan di lapangan pemotongan hanya diserahkan pada tukang besi.

Kata Kunci : waste ,program linear , bar bending schedule, Add-in Solver

PENDAHULUAN

Later belakang masalah

Dalam pelaksanaan pembangunan baik rumah tinggal, gedung maupun bangunan struktur lainnya, material konstruksi merupakan komponen yang sangat penting untuk pelaksanaan proyek dan menentukan besarnya biaya suatu proyek, lebih dari separuh biaya proyek diserap oleh material yang digunakan (Nugraha, 1985). Pada saat pelaksanaan proyek di lapangan tidak akan dapat dihindari munculnya sisa material konstruksi. Sisa material merupakan salah satu masalah yang harus dihadapi pada konstruksi bangunan. Pelaku konstruksi sering tidak menyadari betapa sisa ini telah membuat biaya proyek menjadi tidak terkendali sehingga terjadi pembengkakan biaya / cost overrun. Material besi beton merupakan material yang memiliki prosentase terhadap biaya tertinggi yaitu berkisar 20% - 30% (Farmoso, C.T.). Besi tulangan diproduksi dalam bentuk batangan dengan panjang standart 12 m. Pemotongan besi untuk pekerjaan struktur beton bertulang sangatlah penting dalam proyek karena proses pemotongan material besi tersebut merupakan kegiatan yang paling sering menimbulkan sisa material besi berupa potongan-potongan besi. 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 meterial besi, sehingga persentase sisa besi dalam suatu proyek yang terbuang percuma akibat kesalahan pemotongan besi sekitar 11% -

15% (Basid,2006). Tentu ini bukan pekerjaan mudah untuk melakukan trial simulasi pola / cara potong sehingga didapatkan simulasi yang terbaik untuk mendapatkan sisa tulangan yang optimal apalagi oleh pelaksana di lapangan dimana terdapat ribuan potong tulangan yang harus ditrial. Dibutuhkan waktu yang sangat lama untuk mendapatkan pola / cara potong yang terbaik

Untuk mengatasi masalah tersebut, penulis akan membuat *Bar Bending Schedule* dengan menggunakan *Microsoft Excel*. Dalam hal ini kemudian dilakukan perbandingan antara sebelum dan sesudah memakai metode *Bar bending Schedule* ini.

Dasar Teori

Bar bending schedule adalah daftar pola pembengkokan tulangan yang meliputi data diameter, bentuk, panjang dan jumlah tulangan (ACI 116R-00).

Ketentuan-ketentuan Umum

Untuk dapat membuat *Bar Bending Schedule* maka dibutuhkan data-data sebagai berikut :

Gambar Teknis dari pihak konsultan, data-data mengenai jumlah dan ukuran baja tulangan yang digunakan, data-data mengenai jumlah dan dimensi bagian yang dikerjakan dan Tabel-tabel yang dibutuhkan.

Material Konstruksi

Material merupakan komponen yang penting dalam menentukan besarnya biaya suatu proyek, lebih dari separuh biaya proyek diserap oleh material yang digunakan (Nugraha, 1985). Pada tahap pelaksanaan konstruksi penggunaan material di lapangan sering terjadi sisa material yang cukup besar, sehingga upaya untuk meminimalisasi sisa material penting untuk diterapkan.

Material yang digunakan dalam konstruksi dapat digolongkan dalam dua bagian besar (Gavilan, 1994), yaitu :

1. *Consumable* material, merupakan material konstruksi yang pada akhirnya akan menjadi bagian dari struktur fisik bangunan, misalnya: semen, pasir, batu pecah, batu bata, baja tulangan, keramik, cat dan lain-lain.
2. *Non-consumable* material, merupakan material penunjang dalam proses konstruksi, dan bukan merupakan bagian dari fisik bangunan, biasanya material ini bisa dipakai ulang dan pada akhir proyek akan menjadi sisa material juga, misalnya: perancah, bekisting, dan dinding penahan sementara.

Sisa material konstruksi

Sisa material adalah kelebihan kuantitas material yang digunakan/ didatangkan, tetapi tidak menambah nilai pekerjaan. (Asiyanto,2005).

Construction waste dapat digolongkan kedalam dua kategori berdasarkan tipenya (Skoyles, 1987) yaitu :

1. *Direct waste* adalah sisa material yang timbul di proyek karena rusak, hilang dan tidak dapat digunakan lagi.
2. *Indirect waste* adalah sisa material yang terjadi di proyek karena volume pemakaian volume melebihi volume yang direncanakan, sehingga tidak terjadi sisa material secara fisik di lapangan dan mempengaruhi biaya secara tersembunyi (*hidden cost*).

Faktor-Faktor Penyebab Terjadinya Sisa Material Besi Tulangan

- Pembelian besi tidak sesuai spesifikasi karena besi sudah mempunyai ukuran pabarikan yakni 12 m, jadi bila bentuk panjang yang di butuhkan hanya sekian meter besi beton di potongan sesuai yang diinginkan.
- Ketidak profesionalan pekerja dalam mengolah material besi karena mereka mendasarkan pengetahuan mereka pada pengalaman dan apa yang telah mereka lihat, padahal apa yang mereka lihat belum tentu benar.
- Perubahan desain, terkadang desain harus disesuaikan dengan kondisi lapangan yang sebenarnya ataupun terkadang pihak konsultan perencanaan mengirimkan perubahan desain.
- Kesalahan manajemen pada pabrikasi pembesian meliputi pemotongan, pembengkokan, dan perakitan.
- Memilih besi berkualitas rendah karena kontraktor menginginkan keuntungan yang berlebih sehingga besi yang dipesan hanya berdasarkan pembicaraan suplier saja. Ketika besi yang dipesan datang tidak sesuai spesifikasi pabrik.

Syarat-syarat tulangan besi

Besi tulangan yang digunakan harus memenuhi syarat-syarat (PBI 1971) sebagai berikut:

- Besi tulangan yang dipakai tidak boleh cacat seperti retak, lipatan, gelembung atau bagian yang kurang sempurna.
- Besi tulangan yang dipakai harus bersih dari kotoran, minyak, karat.
- Mempunyai penampang yang sama rata.
- Percobaan mekanik meliputi percobaan tarik, percobaan kekerasan dan percobaan pukulan.
- Pemotongan tulangan tidak boleh menggunakan alat pemanas (las), harus menggunakan alat pemotong besi (*bar cutter*) atau gergaji besi.

Pelat

Pelat adalah elemen horizontal struktur yang mendukung beban mati maupun beban hidup dan menyalurkannya ke rangka vertikal dari sistem struktur yang tebalnya jauh lebih kecil dibanding dengan dimensi yang lain. Sistem lantai biasanya terbuat dari beton bertulang yang dicor di tempat. (Hendra Putra). Perkembangan ilmu pengetahuan dewasa ini memungkinkan adanya evaluasi:

1. Kapasitas momen
2. Kapasitas geser kolom pelat
3. Perilaku serviceability

Tebal Pelat dapat dibagi menjadi 2 yaitu:

1. Pelat atap = 7 cm → minimal 7 cm
2. Pelat lantai = 12 cm → minimal 12 cm

Jenis Tulangan Pelat

Tulangan-tulangan yang terdapat pada konstruksi pelat beton bertulang adalah:

- 1) Tulangan pokok
 - a. Tulangan pokok primer, ialah tulangan yang dipasang sejajar (//) dengan sisi pelat arah lebar (sisi pendek) dan dipasang mendekati sisi luar beton.
 - b. Tulangan pokok sekunder, ialah tulangan yang dipasang sejajar (//) dengan sisi pelat arah panjang dan letaknya di bagian dalam setelah tulangan pokok primer.
- 2) Tulangan susut, ialah tulangan yang dipasang untuk melawan penyusutan/ pemuaian dan pemasangannya berhadapan dan tegak lurus dengan tulangan pokok dengan jarak dari pusat ke pusat tulangan susut maksimal 40 cm.
- 3) Tulangan pembagi, ialah tulangan yang dipasang pada pelat yang mempunyai satu macam tulangan pokok, dan pemasangannya tegak lurus dengan tulangan pokok. Besar tulangan pembagi 20% dari tulangan pokok dan jarak pemasangan dari pusat ke pusat tulangan pembagi maksimum 25 cm atau tiap bentang 1 meter 4 batang.

Linear Programming

Linear Programming adalah suatu alat yang digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi suatu model linear dengan keterbatasan-keterbatasan sumber daya yang tersedia.

Ada dua macam fungsi dalam pemrograman linear:

1. Fungsi tujuan

Berkaitan dengan pengaturan secara optimal sumber daya untuk memperoleh keuntungan maksimal atau biaya minimal.

2. Fungsi batasan

Fungsi yang berkaitan dengan batasan kapasitas yang tersedia yang dialokasikan secara optimal ke berbagai kegiatan.

a). Bentuk Umum Pemrograman Linear (PL)

Ketiga hal dapat dirumus secara matematis sebagai berikut :

Fungsi tujuan, $\max / \min Z = c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + \dots + c_nx_n$

Fungsi kendala, $a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1n}x_n \leq (=) \geq b_1$

$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \dots + a_{2n}x_n \leq (=) \geq b_2$

$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + a_{m3}x_3 + \dots + a_{mn}x_n \leq (=) \geq b_m$

syarat nonnegatif $x_i \geq 0, i = 1, 2, 3, \dots, n, a_{ij}, i = 1, 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, 3, \dots, n$

Simbol x_1, x_2, \dots, x_n (x_i) menunjukkan variabel keputusan. Simbol c_1, c_2, \dots, c_n merupakan kontribusi masing-masing variabel keputusan terhadap tujuan. Simbol $a_{11}, \dots, a_{1n}, \dots, a_{mn}$ merupakan penggunaan per unit variabel keputusan akan sumber daya yang membatasi. Simbol b_1, b_2, \dots, b_m menunjukkan jumlah masing-masing sumber daya yang ada.

b). *Install the Solver Add-In*

Untuk mengaktifkan agar Add-In solver langkah-langkah yang dilakukan adalah:

1. Pilih tools Add-In dan akan keluar jendela
2. Pada daftar akan muncul Add-In yang bisa diaktifkan
3. Pilih solver Add-In dan klik ok untuk mengakhiri perintah mengaktifkan Add-In.

Bar Bending Schedule (BBS)

Bar bending schedule (BBS) adalah kegiatan untuk merencanakan kebutuhan potongan tulangan dan betuk pembekukan tulangan sebelum kegiatan merangka tulang dilakukan.

Pengelompokkan Ukuran

Dari data-data dapat dibaut sket tipe tulangan, panjang potongan, jumlah panjang dan jumlah kebutuhan tulangan dan dapat dibuat tabel seperti di bawah ini.

Tabel 1. Rekapitulasi Data Barbending Schedule Pelat Berdiameter 10

Panjang Potong (m)	Kebutuhan Potong (m)	Jumlah Batang (batang)
12	451	451
9,6	212	212
7,75	212	212
7,65	16	16
7,35	16	16
6,15	8	8
5,95	248	124
5,8	82	44
4,25	82	44
3,8	36	12
3,5	36	12
3,15	256	86
3	769	193
2,5	122	64
2,15	8	2
2,1	215	43
1,65	16	3
1,4	161	20
1	36	12

Proses Input Dan Output Data Solver

Berikut ini saya lampirkan contoh alternatif potongan besi dari pelat berdiameter 10.

Tabel 2. alternatif potongan besi pelat berdiameter 10.

Alternative	Panjang Potongan Besi																			Sisa (m)
	12	9,6	7,75	7,65	7,35	6,15	5,95	5,8	4,25	3,8	3,5	3,15	3	2,5	2,15	2,1	1,65	1,4	1	
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0,3
3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0,75
4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,25
6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0,8
7	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,45
9	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,75
10	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1
11	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,55
12	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,85
13	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4
14	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,85
15	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0,15

16	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,05
17	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,2
18	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1
19	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25
20	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,15
21	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0,1
22	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0,05
23	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0,55
24	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0,2
25	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0,2
26	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0,05
27	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0,35
28	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0,5
29	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0,15
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	2	0	1	0,1
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0,6
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0,25
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0,2
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	1	0,1
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	0	0	0	0,85
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	3	0	0	0,05
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	0	0	0	0	0,35
39	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0,25
40	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0,35
41	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
42	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0,35
43	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0,25
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	4	0	0	0,1
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	2	0,7
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0,9
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0,05
48	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0,35
49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0,5
50	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0	1	0,05
Kebutuhan	451	212	212	16	16	8	248	82	82	36	36	256	769	225	8	215	16	161	36

Persamaan

Alternatif pemotongan pada tabel diatas didapatkan 50 alternatif pemotongan, hal ini berarti ada 50 fungsi pembatas yang tercipta $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, \dots, X_{49}, X_{50}$.

Maka dapat diambil persamaan matematis optimasi pemotongan besi dari contoh tabel diatas sebagai berikut:

$$Z = 0.0 X_1 + 0.3 X_2 + 0.75 X_3 + 0.0 X_4 + 0.25 X_5 + 0.08 X_6 + 0.0 X_7 + 0.45 X_8 + 0.75 X_9 + 0.1 X_{10} + 0.55 X_{11} + 0.85 X_{12} + 0.4 X_{13} + 0.25 X_{14} + 0.15 X_{15} + 0.05 X_{16} + 0.02 X_{17} + 0.1 X_{18} + 0,25 X_{19} + 0,15 X_{20} + 0,1 X_{21} + 0,05 X_{22} + 0,55 X_{23} + 0,2 X_{24} + 0,2 X_{25} + 0,05 X_{26} + 0,35 X_{27} + 0,5 X_{28} + 0,15 X_{29} + 0,1 X_{30} + 0,6 X_{31} + 0,25 X_{32} + 0.0 X_{33} + 0,2 X_{34} + 0,1 X_{35} + 0,85 X_{36} + 0,05 X_{37} + 0.35 X_{38} + 0,25 X_{39} + 0,35 X_{40} + 0.0 X_{41} + 0,35 X_{42} + 0,25 X_{43} + 0.1 X_{44} + 0,7 X_{45} + 0,9 X_{46} + 0,05 X_{47} + 0,35 X_{48} + 0,5 X_{49} + 0,05 X_{50}$$

Dengan pembatas :

$$\begin{aligned} X_1 & \geq 451 \\ X_2 + X_3 + X_4 + X_5 & \geq 212 \\ X_7 + X_8 + X_9 + X_{39} + X_{43} + X_{48} & \geq 212 \\ X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{40} & \geq 16 \\ X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{41} & \geq 16 \\ X_{16} + X_{17} + X_{42} & \geq 8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& X_6 + 2X_{18} + X_{19} + X_{20} + X_{21} + X_{22} + X_{23} && \geq 248 \\
& X_{16} + X_{19} + X_{24} + X_{25} + X_{26} && \geq 82 \\
& X_7 + X_{10} + X_{13} + X_{17} + X_{20} + X_{27} + 2X_{28} + X_{29} + X_{50} && \geq 82 \\
& X_8 + X_{11} + X_{14} + X_{21} + X_{30} + X_{31} && \geq 36 \\
& X_9 + X_{12} + X_{15} + X_{32} + X_{33} + X_{44} && \geq 36 \\
& X_6 + X_{32} + X_{34} + 2X_{35} + X_{36} + X_{37} + X_{38} + 3X_{47} && \geq 256 \\
& X_3 + X_{23} + 2X_{24} + X_{26} + 2X_{27} + X_{28} + X_{29} + X_{31} + X_{32} + 2X_{33} + X_{34} + \\
& X_{36} + 2X_{38} + X_{39} + X_{40} + X_{41} + X_{42} + X_{43} + 2X_{45} + 3X_{46} + 3X_{49} && \geq 769 \\
& X_{23} + 2X_{25} + X_{29} + X_{30} + X_{31} + X_{33} + X_{34} + 2X_{36} + X_{37} + X_{38} + X_{42} + X_{45} + \\
& X_{47} + X_{48} + X_{49} && \geq 225 \\
& X_5 + X_{21} + X_{26} + X_{34} && \geq 8 \\
& X_2 + X_6 + X_{29} + 2X_{30} + X_{31} + X_{32} + 2X_{35} + 3X_{37} + 4X_{44} + X_{46} + 3X_{50} && \geq 215 \\
& X_3 + X_{20} + X_{41} && \geq 16 \\
& X_4 + X_{17} + X_{27} + X_{17} + X_{30} + X_{35} + 2X_{45} + X_{48} + X_{50} && \geq 261 \\
& X_4 + X_{15} + X_{25} + X_{26} + X_{34} + X_{39} + X_{40} + X_{43} && \geq 36 \\
& X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, \\
& X_{16}, X_{17}, X_{18}, X_{19}, X_{20}, X_{21}, X_{22}, X_{23}, X_{24}, X_{25}, X_{26}, X_{27}, X_{28}, X_{29}, \\
& X_{30}, X_{31}, X_{32}, X_{33}, X_{34}, X_{35}, X_{36}, X_{37}, X_{38}, X_{39}, X_{40}, X_{41}, X_{42}, X_{43}, \\
& X_{44}, X_{45}, X_{46}, X_{47}, X_{48}, X_{49}, X_{50} && \geq 0
\end{aligned}$$

Untuk mengoptimasikan potongan besi ini, dipergunakan program bantu Add-In Solver yang ada dalam Ms.Excel.

Analisa Hasil Solver

Setelah di-running solver kita sudah dapat hasilnya dan kemudian akan dianalisa secara lebih detail. Kita akan detailkan jumlah batang yang dihasilkan dan sisa potongan yang terjadi.

Alternative	Panjang Potongan Besi																		Sisa (m)	Jumlah Batang	Jumlah Sisa (m)						
	12	9,6	7,75	7,65	7,35	6,15	5,95	5,8	4,25	3,8	3,5	3,15	3	2,5	2,15	2,1	1,65	1,4				1					
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	451	0		
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	171	51,41	
3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	0	
4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	8	2	
5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	82	0	
6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,45	20	8,97	
7	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,55	16	8,79	
8	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,05	8	0,4	
9	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,05	248	12,4	
10	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	74	14,8	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0,1	22	2,16	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,35	17	5,88	
14	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	16	0	
15	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	3	0,84	
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,05	65	3,27	
17	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,35	107	37,35	
Kebutuhan	451	212	212	16	16	8	248	82	82	36	36	256	769	225	8	215	16	161	36								
Potongan	451	212	212	16	16	8	248	82	82	36	36	256	769	225	8	215	16	161	36								
																									Total	1377	148,27

Gambar 1. Tampilan Excel Setelah Disolver

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Sisa Potongan

Sisa Potongan adalah total sisa buangan dari masing-masing ukuran. Hasil sisa potongan masing-masing ukuran dari pelat didapatkan total sisa potongan 148,27 m.

Jumlah Batang Yang Dihasilkan

Dari hasil solver, tampilan angka jumlah batang harus angka bulat, tidak boleh ada tampilan angka yang tidak bulat karena itu berarti solver tidak didapatkan solusi yang *feasible*. Munculnya angka jumlah batang berarti alternatif potongan pada baris tersebut yang digunakan untuk menghasilkan sisa potongan yang minimum.

Berikut ini adalah berbandingkan Jumlah batang di lapangan dan hasil solver dari pelat adalah:

- ✓ Total Batang oleh Solver 1377 batang
- ✓ Total batang di lapangan 1574 batang

Untuk memperoleh kepastian mengenai penghematan yang terjadi harus dibandingkan dengan penggunaan besi batangan dilapangan. Untuk dibandingkan digunakan rasio sisa dibutuhkan.

Berikut ini ditampilkan rasio perbandingan sisa potongan dengan jumlah potongan besi dari hasil solver :

$$\% \text{Penghematan} = \frac{\text{Sisa}}{(\text{Jumla batang} \times 12)} \times 100\% = \frac{148,29}{(1377 \times 12)} \times 100\% = 0,897 \%$$

Sebagai pembanding untuk mengetahui penghematan yang terjadi perlu dibandingkan pula dengan kebutuhan yang terjadi dilapangan. Berikut ini adalah tabel bandingkan hasil solver dengan dilapangan

Tabel 3. Rasia Penghematan Tiap Besi

Berdiameter	Rasia penghematan tiap besi			
	Kebutuhan besi		Penghematan	
	Lapangan	Solver	Batang	%
D10	1574	1377	197	12,516

Secara seluruhan solver telah berhasil meminimalisasi sisa potongan - potongan material besi tulangan.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil optimasi sisa material besi menggunakan solver dalam Ms. Excel pada Proyek Gedung Sekretariat Daerah Kota Surakarta dapat diambil kesimpulan adalah terdapat penghematan pemotongan tulangan pada pekerjaan pelat lantai sebesar 12,516 %.

REKOMENDASI

Penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian dapat dilakukan pada proyek lain dengan skala yang lebih besar dan item pekerjaan yang lebih kompleks.
2. Agar mendapatkan nilai optimasi yang baik maka harus melihat ukuran panjang besi di pasaran dan mengambil ukuran yang terpendek sebagai ukuran stardar.

UCAPAN TERIMAKASIH

Atas bantuan dan kerjasama yang baik dari semua pihak hingga selesainya skripsi ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada: Segenap Pimpinan Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta. Segenap Pimpinan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta. Bapak Widi Hartono, ST,MT dan Ir. Sugiyarto, MT , selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan arahan dalam menyusun laporan ini dan rekan- rekan mahasiswa teknik sipil angkatan 2008 atas kerjasama dan bantuannya.

REFERENSI

- Gavilan, R. M., and Bernold, L. E., Source Evaluation of Solid Waste in Building Construction, *Journal of Construction Engineering and Management*, September 1994. pp. 536 – 552.
- Kusuma Valentino Arya (2010) Analisa dan evaluasi sisa material konstruksi: Sumber penyebab, Kuantitas, dan Biaya. *Dimensi Teknik Sipil*, Maret 2005.
- Lenny Mayasari Sutanto, Mita Dwi Purwanti . *Penyiapan Bar Bending Schedule pada Proyek Konstruksi* .
- Muhammad, Khadafi. 2008. *Analisis Penggunaan Aplikasi Software Optimasi Wast Besi Pada Pekerjaan Struktur Beton Bertulangan Proyek XYZ*. Tesis. Program Studi Teknik Sipil . Universitas Indonesia Jakarta.
- RSNI3, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. September 2002. Pp 37-38.
- Stuckhart, George., *Construction Materials Management*, Marcel Dekker, Inc., 1995.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., and Vigil, S.A., *Integrated solid management*, McGraw-Hill. Inc., New Jersey. 1993.
- Syamsul Hadi .2007 . *Journal from JIPTUNMERPP* , Department of Mechanical Engineering Merdeka University Malang.
- Sulaiman, 2010. *Pengaruh Proses Pelengkungan dan Pemanasan Garis Pelat Baja Kapal AisiE 2512 Terhadap Nilai Kekerasan dan Laju Korosi*. Tesis. Program Studi Magister Teknik Mesin Semarang.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., and Vigil, S.A., *Integrated solid management*, McGraw-Hill. Inc., New Jersey. 1993
- <https://www.google.com>