

PENGHITUNGAN OPTIMASI BAJA TULANGAN PADA PEKERJAAN PELAT DAN BALOK DENGAN MENGGUNAKAN *MICROSOFT EXCEL* DAN *AUTOCAD*

(Studi Kasus Pembangunan Apartemen Gunawangsa Tidar Surabaya)

Visaretri Pramuktia Purwosri ¹⁾, Widi Hartono ²⁾, Sunarmasto ³⁾

¹⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret Surakarta

²⁾ ³⁾ Pengajar Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret Surakarta
Jalan Ir.Sutami 36A Surakarta 57126. Telp. 0271-647069. Email: visaretri9695@gmail.com

Abstrak

Dalam suatu proyek konstruksi, material baja tulangan merupakan komponen yang menghasilkan sisa material paling tinggi. Tingginya nilai sisa material baja tulangan ini perlu mendapat perhatian penting karena dapat menyebabkan terjadinya pembengkakan biaya yang tak terduga (*hidden cost*) mengingat tingginya harga baja tulangan di pasaran. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, studi ini mencoba *bar bending schedule* mengkombinasikan program *Microsoft-Excel* dan juga *AutoCAD*.

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif komparatif yaitu dengan melakukan penghitungan *bar bending schedule* struktur pelat dan balok menggunakan metode *linear programming* dengan bantuan program *Microsoft Excel* dan *AutoCAD* kemudian membandingkan hasil dari program tersebut dengan jumlah penggunaan baja tulangan di lapangan. Lokasi penelitian dilakukan pada Proyek Apartemen Gunawangsa Tidar Surabaya.

Hasil analisis diperoleh bahwa 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 Ø8 sebesar 25,99%, D10 sebesar 5,15%, D13 sebesar 19,09%, D16 sebesar 27,268%, D19 sebesar 17,03%.

Kata kunci : balok, baja tulangan, *bar bending schedule*, optimasi tulangan, pemrograman linier, pelat, *script*, *solver*, *waste*.

Abstract

In a construction project, the reinforcing steel material is the component that produces the highest residual material. The high value of the remaining steel reinforcement material needs to get important attention because it can cause an unexpected cost increment (hidden cost) given the high price of reinforcing steel in the market. To overcome this problem, this study tries bar bending schedule to combine Microsoft-Excel program and also AutoCAD.

This study uses a comparative quantitative method that is by calculating bar bending schedule of plate and beam structure using linear programming method with the help of Microsoft Excel and AutoCAD program and then compare the result of the program with the amount of iron usage in the field. The location of the research was conducted at the Gunawangsa Tidar Apartment Project Surabaya.

The results of data analysis found that the use of the program Add-in Solver aids to optimize the rest of the reinforcing steel material quite well and produce minimum steel reinforcement waste. The average percentage of steel reinforcement in each diameter is Ø8 of 25.99%, D10 is 5.15%, D13 is 19.09%, D16 is 27.268%, D19 is 17.03%.

Keywords: beam, steel reinforcement, *bar bending schedule*, reinforcement optimization, linear programming, plate, *script*, *solver*, *waste*.

PENDAHULUAN

Material baja tulangan merupakan salah satu komponen struktur yang memiliki *waste level* paling tinggi. Munculnya limbah material baja tulangan ini disebabkan oleh pola pemotongan yang tidak optimal, perubahan desain tulangan, serta kesalahan pada saat proses pabrikasi baja tulangan. Strategi yang dilakukan untuk menanggulangi serta meminimalkan sisa baja tulangan yang muncul di lapangan yaitu dengan membuat *bar bending schedule*. Pembuatan *bar bending schedule* dapat dilakukan secara manual akan tetapi berisiko memakan waktu yang cukup lama, terutama jika sering terjadi perubahan (modifikasi) pada saat pelaksanaan pekerjaan di lapangan maka akan mengalami kesulitan untuk menyelesaikannya. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, studi ini mencoba membuat rancangan program bantu *bar bending schedule* penulangan struktur pelat dan balok dengan metode linear menggunakan kombinasi program *Microsoft-Excel* dan *AutoCAD*. Pemilihan kombinasi kedua program ini didasarkan pada cara penggunaannya yang mudah serta diperoleh tingkat keakuratan yang cukup tinggi dengan tetap mengacu pada peraturan yang ada.

Pada program ini akan ditambahkan penghitungan untuk mendapatkan *waste* baja tulangan seminimal mungkin, digunakannya peraturan SNI terbaru, serta kombinasi dengan *script AutoCAD*.

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Sles Sabry (2013) mengadakan penelitian identifikasi pengurangan *waste* pada pemotongan baja tulangan untuk pekerjaan pelat lantai menggunakan metode program linear pada proyek pembangunan Gedung Sekretariat Daerah Kota Surakarta. Model program linear yang diterapkan adalah metode Simplex dengan bantuan *Add In Solver* pada *Microsoft Excel*. Data yang diperlukan pada penelitian ini berupa gambar *shop drawing* penulangan, serta data mengenai jumlah dan dimensi baja tulangan yang digunakan. 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.

Man Kork (2013) melakukan penelitian untuk mendapatkan metode *bar bending schedule* yang dapat digunakan untuk mengoptimasi penulangan pada balok bertulang sehingga dihasilkan *waste* yang sekecil mungkin. Lokasi penelitian ini dilakukan pada gedung Sekretariat Daerah Kota Surakarta. Data sekunder yang digunakan adalah data baja tulangan dalam bentuk *Bar Bending Schedule*. Untuk pengolahan data ini menggunakan bantuan program komputer *Excel Solver* dan Program Linear (PL). Dari hasil analisis penggunaan *Excel Solver* dapat mengoptimasi *waste* pada pemotongan tulangan adapun persentase penghematan tulangan adalah baja tulangan berdiameter 22 terjadi penghematan 2,07% , baja tulangan berdiameter 19 terjadi penghematan 0,90% , baja tulangan berdiameter 16 terjadi penghematan 3,76%, baja tulangan berdiameter 13 terjadi penghematan 3,52%, baja tulangan berdiameter 12 terjadi penghematan 4,76%, dan baja tulangan berdiameter 10 terjadi penghematan 2,43%.

Bar Bending Schedule

Bar bending schedule adalah daftar kebutuhan baja tulangan yang dibutuhkan dalam beberapa tipe baja tulangan yang meliputi data diameter, bentuk, panjang dan jumlah tulangan (ACI 116R-00). Untuk dapat membuat *bar bending schedule* maka dibutuhkan data sebagai gambar teknis dari pihak konsultan, data-data mengenai jumlah dan ukuran baja tulangan yang digunakan, data mengenai jumlah dan dimensi bagian yang dikerjakan, serta tabel-tabel yang dibutuhkan.

Faktor Penyebab Munculnya Sisa Material Baja Tulangan

Faktor yang menjadi penyebab terjadinya sisa material baja tulangan antara lain:

- Panjang baja tulangan yang tidak sesuai dengan design gambar struktur.
- Kesalahan manajemen pada saat proses pabrikan baja tulangan meliputi pemotongan, pembengkokan, dan perakitan material baja tulangan yang diakibatkan oleh tenaga kerja yang kurang terampil dan peralatan yang tidak berfungsi dengan baik.
- Kurangnya kontrol terhadap pekerjaan penulangan di lapangan sehingga hasil pemotongan dan perakitan baja tulangan tidak sesuai dengan *bar schedule* yang telah ditetapkan.
- Informasi gambar yang kurang akurat mengenai tipe, ukuran, dan desain sehingga menyebabkan hasil potongan kurang optimal.
- Perubahan desain pemotongan tulangan pada saat konstruksi berlangsung dikarenakan desain yang harus disesuaikan dengan kondisi di lapangan.
- Kesalahan pembelian material yang tidak sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan.

Pelat

Pelat adalah elemen horisontal struktur dengan bidang permukaan yang lurus, datar, atau melengkung yang mendukung beban mati maupun beban hidup dan menyalurkannya ke rangka vertikal dari suatu sistem struktur yang tebalnya relatif sangat kecil dibandingkan dengan bentang panjang/lebar bidangnya. Elemen-elemen tersebut dapat dibuat sehingga bekerja dalam satu arah atau bekerja dalam dua arah (Nawy, 1998).

Balok

Balok merupakan elemen struktur yang menyalurkan beban-beban yang disangga sendiri maupun beban dari pelat lantai kepada kolom sebagai penyangga yang vertikal. Menurut J.M. Gere dkk (1996) balok merupakan elemen struktur yang mengalami beban lateral, yaitu gaya-gaya atau momen yang vektornya tegak lurus sumbu batang. Balok menahan gaya-gaya yang bekerja dalam arah transversal terhadap sumbunya yang mengakibatkan terjadinya lenturan (Dipohusodo, 1994). Tulangan yang digunakan pada penulangan balok antara lain tulangan longitudinal, tulangan sengkang, dan tulangan samping.

Program Linier

Program Linear merupakan suatu metode untuk penyelesaian masalah dengan menggunakan persamaan atau pertidaksamaan linear yang mempunyai banyak penyelesaian, dengan memperhatikan syarat-syarat yang ada sehingga diperoleh nilai maksimum atau nilai minimum (penyelesaian optimum).

Ada dua macam fungsi dalam *linear programming* yaitu:

1. Fungsi Tujuan (*Objective Function*)
2. Fungsi Batasan (*Constraint Function*)

Bentuk umum *linear programming* adalah sebagai berikut:

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

Fungsi batasan, $a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1n}x_n \leq (=) \geq b_1$
 $a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \dots + a_{2n}x_n \leq (=) \geq b_2$
 $a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + \dots + a_{3n}x_n \leq (=) \geq b_3$

|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|

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

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

Keterangan:

- a. Z sebagai total sisa potongan, didapat dari penjumlahan antara perkalian sisa potongan dan jumlah batangan.
- b. Simbol x_1, x_2, \dots, x_n (x_i) menunjukkan jumlah batangan baja tulangan yang dibutuhkan.
- c. Simbol c_1, c_2, \dots, c_n (c_i) adalah sisa potongan untuk masing-masing alternatif.
- d. Simbol $a_{11}, \dots, a_{1n}, \dots, a_{mn}$ (a_{ij}) yaitu penggunaan per unit variabel keputusan dari sumber daya yang membatasi.
- e. Simbol b_1, b_2, \dots, b_m (b_i) menunjukkan jumlah masing-masing sumber daya yang ada.
- f. Pertidaksamaan terakhir ($x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$) menunjukkan batasan non negatif.

Add in-Solver

Solver merupakan salah satu fasilitas tambahan (*Add-ins*) yang terdapat pada program *Microsoft Excel* yang berfungsi untuk mencari nilai optimal (maksimum atau minimum) dari suatu formula pada sel target yang ada di lembar kerja *Microsoft Excel*.

Solver terdiri dari 3 (tiga) bagian, antara lain:

1. Sel Target (*Target Cell*)
Sel target merupakan bagian *solver* yang berfungsi untuk menempatkan hasil akhir pemrosesan suatu formula.
2. Sel Pengatur (*Adjusted Cell*)
Solver berfungsi untuk mengatur perubahan nilai pada sel yang spesifik.
3. Sel Pembatas (*Constrained Cell*)
Sel pembatas berfungsi untuk membatasi nilai *solver* yang dapat digunakan pada suatu model tertentu.

Script AutoCAD

Script AutoCAD merupakan serangkaian perintah yang dapat dipergunakan dalam *Command Prompt* pada program *AutoCAD*.

Berikut ini beberapa *script AutoCAD* yang dapat dibuat menggunakan *Microsoft Excel*:

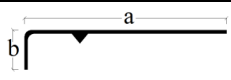
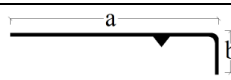
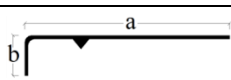
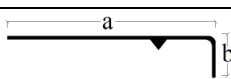
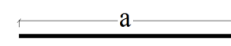
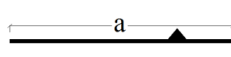
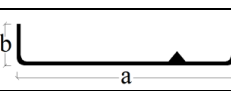
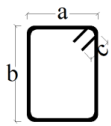
1. *Point*
Perintah *script* untuk membuat titik koordinat dapat dibuat dengan menuliskan rumus PO atau *POINT* pada lembar kerja *Microsoft Excel*.
2. *Line*
Perintah *script* untuk menggambar garis dapat dibuat dengan menuliskan rumus L atau *LINE* pada lembar kerja *Microsoft Excel*.
3. *Polyline*
Perintah *script* untuk menggambar *polyline* (garis menyambung) dapat dibuat dengan menuliskan rumus PL atau *PLINE* pada lembar kerja *Microsoft Excel*.
4. *Text*
Perintah *script* untuk penulisan teks dapat dilakukan dengan menuliskan rumus -T atau *-TEXT* pada lembar kerja *Microsoft Excel*.

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Penghitungan *Bar Bending Schedule*

Hasil hitungan *bar bending schedule* dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Hitungan *Bar Bending Schedule*

No	Uraian	Diameter Tulangan (m)	Panjang Potongan			Jumlah Potongan (pcs)	Panjang Total Tulangan (m)	
			A (m)	B (m)	C (m)			
BALOK G4-1 (0,3 x 0,55) m								
P : 5,3 m								
Tulangan Atas								
1		0,019	2,2	0,9	3,1	3	9,3	
2		0,019	2,2	0,9	3,1	3	9,3	
3		0,013	2	0,6	2,6	1	2,6	
4		0,013	2	0,6	2,6	1	2,6	
Tulangan Samping								
1		0,01	6,2		6,2	2	12,5	
Tulangan Bawah								
1		0,013	3,6		3,6	1	3,6	
2		0,019	6,4	0,9	8,2	3	24,7	
Tulangan Senggang								
1		0,01	0,2	0,5	0,1	1,4	35	48

Pengelompokkan Tulangan

Data penghitungan *bar bending schedule* selanjutnya diidentifikasi dan dikelompokkan berdasarkan diameter tulangan, pola tulangan, panjang tulangan, serta jumlahnya dan dibuat tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Data *Bar Bending Schedule* Tulangan D13

No	Panjang Potongan (m)	Jumlah Potongan (pcs)	Panjang Total (m)	Kebutuhan Batang (Batang)
1	12	1	12	1
2	5,9	1	5,9	1
3	4,9	1	4,9	1
4	4	3	12	1
5	3,6	9	32,5	3
6	3,1	5	15,6	2
7	2,6	3	7,8	1
8	2,1	9	19,3	2
Total			110	12

Pembuatan Alternatif Pemotongan Baja Tulangan

Pembuatan alternatif pemotongan ini bertujuan untuk mencari kombinasi potongan yang dapat menghasilkan sisa potongan seminimal mungkin. Contoh alternatif pemotongan baja tulangan dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Alternatif Pemotongan Baja Tulangan D13

Alternatif	Panjang (m)								Sisa (m)	Jumlah Batang	Jumlah Sisa (m)
	12	5,9	4,9	4	3,6	3,1	2,6	2,1			
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	2	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0
3	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0
4	0	1	0	0	0	1	1	0	0,4	0	0
5	0	0	2	0	0	0	0	1	0,1	0	0
6	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0
7	0	0	1	0	1	1	0	0	0,4	0	0
8	0	0	1	0	0	0	1	2	0,3	0	0
9	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	2	1	0	0	0	0,4	0	0
11	0	0	0	1	1	0	0	2	0,2	0	0
12	0	0	0	1	0	1	1	1	0,2	0	0
13	0	0	0	1	0	0	3	0	0,2	0	0
14	0	0	0	0	2	0	1	1	0,1	0	0
15	0	0	0	0	1	2	0	1	0,1	0	0
16	0	0	0	0	1	1	2	0	0,1	0	0
17	0	0	0	0	1	0	0	4	0	0	0
18	0	0	0	0	0	3	1	0	0,1	0	0
19	0	0	0	0	0	1	1	3	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	3	2	0	0	0
Kebutuhan Potongan	1	1	1	3	9	5	3	9	Total sisa (m)	0	0

Persamaan Matematis Optimasi Pemotongan Baja Tulangan

Pada contoh tabel di atas didapatkan 20 alternatif pemotongan sehingga berarti ada 20 fungsi pembatas yang dihasilkan yaitu $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, \dots, X_{19}, X_{20}$. Teknik optimasi potongan baja tulangan ini digunakan untuk mencari sisa potongan yang paling pendek sehingga kita harus meminimalkan sisa potongan dari tiap-tiap item kombinasi.

Persamaan matematis optimasi pemotongan baja tulangan yang dapat dihasilkan dari tabel di atas adalah sebagai berikut.

$$Z = 0,0 X_1 + 0,2 X_2 + 0,0 X_3 + 0,4 X_4 + 0,1 X_5 + 0,0 X_6 + 0,4 X_7 + 0,3 X_8 + 0,0 X_9 + 0,4 X_{10} + 0,2 X_{11} + 0,2 X_{12} + 0,2 X_{13} + 0,1 X_{14} + 0,1 X_{15} + 0,1 X_{16} + 0,0 X_{17} + 0,1 X_{18} + 0,0 X_{19} + 0,0 X_{20} + 0,0 X_{21}$$

Dengan pembatas :

$$\begin{aligned} X_1 & \geq 1 \\ 2X_2 + X_3 + X_4 & \geq 1 \\ 2X_5 + X_6 + X_7 + X_8 & \geq 1 \\ X_3 + X_6 + 2X_9 + 3X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} & \geq 3 \\ X_7 + X_{10} + X_{11} + 2X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} & \geq 9 \\ X_{14} + X_6 + X_7 + X_{12} + 2X_{15} + X_{16} + 3X_{18} + X_{19} & \geq 5 \\ X_4 + X_8 + X_{12} + 3X_{13} + X_{14} + 2X_{16} + X_{18} + X_{19} + 3X_{20} & \geq 3 \\ X_3 + X_5 + 2X_8 + 2X_{11} + X_{12} + X_{14} + X_{15} + 4X_{17} + 3X_{19} + 2X_{20} & \geq 9 \\ X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, \\ X_{16}, X_{17}, X_{18}, X_{19}, X_{20} & \geq 0 \end{aligned}$$

Untuk mengoptimasikan potongan baja tulangan ini , dipergunakan program bantu *Add-In Solver* yang ada dalam *Microsoft Excel*.

Analisis Total Kebutuhan Potongan Tulangan

Hasil total kebutuhan potongan tulangan harus lebih besar atau sama dengan (\geq) kebutuhan potongan tulangan.

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Optimasi Potongan Baja Tulangan D13

Alternatif	Panjang (m)								Sisa (m)	Jumlah Batang	Jumlah Sisa (m)
	12	5,9	4,9	4	3,6	3,1	2,6	2,1			
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
2	0	2	0	0	0	0	0	0	0,2	1	0,1
3	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0
4	0	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0
5	0	0	0	0	2	0	1	1	0,1	3	0,3
6	0	0	0	0	1	2	0	1	0,1	2	0,2
7	0	0	0	0	1	0	0	4	0	1	0
Kebutuhan Potongan	1	1	1	3	9	5	3	9	Total sisa (m)	9	1

Analisis Jumlah Batang dan Sisa Potongan yang Dihasilkan

Jumlah batang dan sisa potongan baja tulangan dari masing-masing tower yang dihasilkan dari analisis menggunakan *Excel Solver* akan disajikan pada tabel 5, tabel 6, dan tabel 7.

Tabel 5. Jumlah Batang dan Sisa Potongan Tulangan pada Tower A

Tower	Diameter Tulangan	Jumlah Batang (Batang)	Sisa (m)
Tower A	Ø 8	397	28,7
	D 10	2216	90,4
	D 13	9	0,6
	D 16	105	11,9
	D 19	477	50

Tabel 6. Jumlah Batang dan Sisa Potongan Tulangan pada Tower B

Tower	Diameter Tulangan	Jumlah Batang (Batang)	Sisa (m)
Tower B	Ø 8	1307	108,5
	D 10	6002	554,4
	D 13	65	23,3
	D 16	299	51,7
	D 19	798	184,5

Tabel 7. Jumlah Batang dan Sisa Potongan Tulangan pada Tower C

Tower	Diameter Tulangan	Jumlah Batang (Batang)	Sisa (m)
Tower C	Ø 8	856	11,1
	D 10	3792	267,3
	D 13	75	12,7
	D 16	232	17,5
	D 19	530	89

Untuk mengetahui penghematan yang terjadi harus dibandingkan dengan total kebutuhan tulangan di lapangan seperti pada tabel 8, tabel 9, dan tabel 10.

Tabel 8. Perbandingan Kebutuhan Tulangan dari Hasil *Solver* dengan Kebutuhan Tulangan di Lapangan Tower A

Tower	Diameter Tulangan	Kebutuhan Tulangan (kg)		Penghematan	
		Solver	Lapangan	Kilogram	%
Tower A	Ø 8	1883,703	1944,839	61,136	3,143
	D 10	16409,079	16593,816	184,737	1,113
	D 13	114,400	130,008	15,608	12,006
	D 16	1988,167	2432,629	444,462	18,271
	D 19	12767,446	13776,169	1008,723	7,322

Tabel 9. Perbandingan Kebutuhan Tulangan dari Hasil *Solver* dengan Kebutuhan Tulangan di Lapangan Tower B

Tower	Diameter Tulangan	Kebutuhan Tulangan (kg)		Penghematan	
		Solver	Lapangan	Kilogram	%
Tower B	Ø 8	6193,737	9303,209	3109,471	33,424
	D 10	44438,155	50038,625	5600,471	11,192
	D 13	809,467	1078,312	268,845	24,932
	D 16	5662,018	9477,668	3815,650	40,259
	D 19	21345,441	26308,502	4963,061	18,865

Tabel 10. Perbandingan Kebutuhan Tulangan dari Hasil *Solver* dengan Kebutuhan Tulangan di Lapangan Tower C

Tower	Diameter Tulangan	Kebutuhan Tulangan (kg)		Penghematan	
		Solver	Lapangan	Kilogram	%
Tower C	Ø 8	4056,514	6922,075	2865,561	41,397
	D 10	28079,336	28994,327	914,990	3,156
	D 13	940,680	1180,830	240,150	20,337
	D 16	4407,568	5744,586	1337,018	23,274
	D 19	14193,271	18901,906	4708,634	24,911

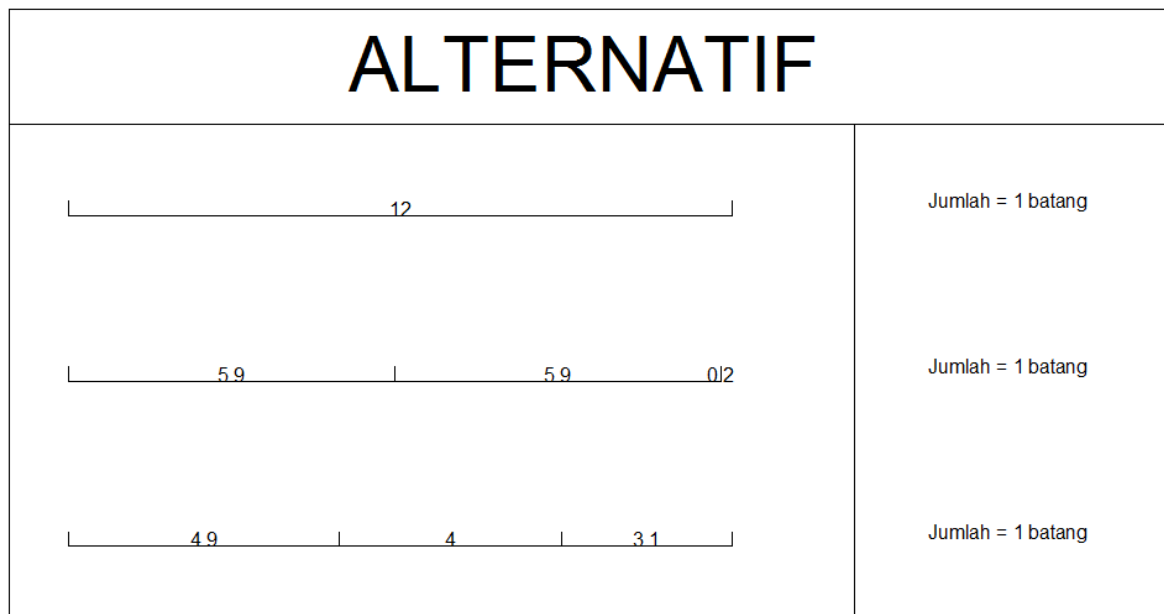
Script Kombinasi Potongan dalam Satu Lonjor Tulangan

Untuk *script* kombinasi potongan tulangan D13 dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 11. *Script* Kombinasi Potongan Tulangan D133

No	Alternatif	X	Y	SCRIPT LINE	SCRIPT POINT	SCRIPT TEXT
1	Alternatif 1	0	21	LINE 0,21	POINT 0,20,85	TEXT J C 6,20,5 0.25 0 12
		12	21	12,21	POINT 12,20,85	TEXT J C 17,21 0.25 0 Jumlah = 1 batang
2	Alternatif 2	0	18	LINE 0,18	POINT 0,17,85	TEXT J C 2,95,17,5 0.25 0 5,9
		5,9	18	5,9,18	POINT 5,9,17,85	TEXT J C 8,85,17,5 0.25 0 5,9
		11,8	18	11,8,18	POINT 11,8,17,85	TEXT J C 11,9,17,5 0.25 0 0,2
		12	18	12,18	POINT 12,17,85	

		0	15	LINE 0,15	POINT 0,14,85	TEXT J C 2,45,14,5 0.25 0 4,9	TEXT J C 17,15 0.25 0 Jumlah = 1 batang
3	Alternatif 3	4,9	15	4,9,15	POINT 4,9,14,85	TEXT J C 6,9,14,5 0.25 0 4	
		8,9	15	8,9,15	POINT 8,9,14,85	TEXT J C 10,45,14,5 0.25 0 3,1	
		12	15	12,15	POINT 12,14,85		



Gambar 1. *Output Script* Kombinasi Potongan Tulangan D13

Gambar 1 merupakan *output script* kombinasi potongan tulangan D13.

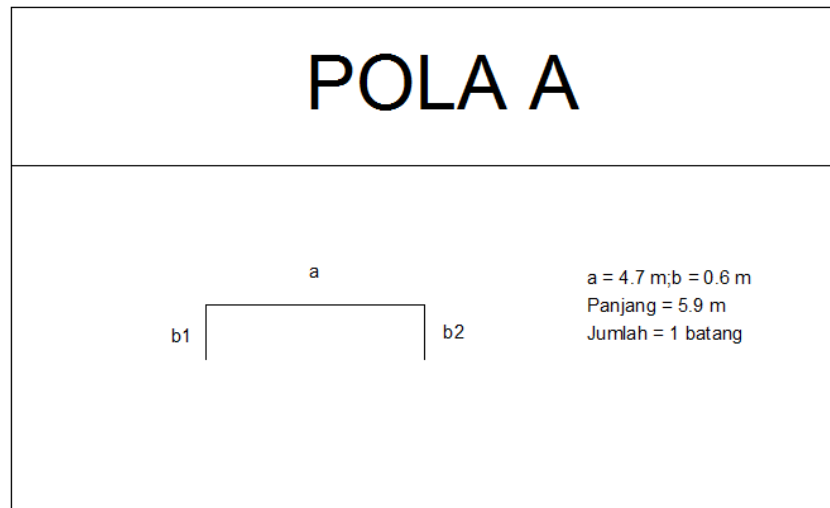
Script Pola Potongan Tulangan

Script pola potongan tulangan D13 dapat dilihat pada tabel 12.

Tabel 12. *Script* Pola Potongan Tulangan D13

No	Dimensi	X	Y	SCRIPT LINE POLA A	SCRIPT TEXT POLA A	
1	Dimensi 1 a			LINE	TEXT ML 8,5,5 0.25 0 a = 4,7 m;b = 0,6 m	
		1	5	1,5	TEXT J C 3,5,5 0.25 0 a	TEXT ML 8,5 0.25 0 Panjang = 5,9 m
		5	5	5,5		TEXT ML 8,4,5 0.25 0 Jumlah = 1 batang
2	Dimensi 1 b1			LINE	TEXT ML 4,5,5 0.25 0 a = 4,7 m;b = 0,6 m	
		1	4	1,4	TEXT J C -1,5,5 0.25 0 b1	TEXT ML 4,5 0.25 0 Panjang = 5,9 m
		1	5	1,5		TEXT ML 4,4,5 0.25 0 Jumlah = 1 batang

			LINE	TEXT ML 8,5,5 0.25 0 a = 4,7 m;b = 0,6 m
3	Dimensi 1 b2	1	4 1,4	TEXT J C 3,5,5 0.25 0 b2
		5	5 5,5	TEXT ML 8,5 0.25 0 Panjang = 5,9 m
				TEXT ML 8,4,5 0.25 0 Jumlah = 1 batang



Gambar 2. *Output Script* Pola Potongan Tulangan D13

Gambar 2 merupakan *output script* pola potongan tulangan D13.

SIMPULAN

Dari hasil analisis data diperoleh bahwa penggunaan program bantu *Solver* mampu mengoptimasi sisa material pada pemotongan baja tulangan dengan cukup baik serta menghasilkan *waste* baja tulangan minimum. Adapun persentase penghematan baja tulangan pada masing-masing tower dapat dilihat pada tabel 13, tabel 14, dan tabel 15.

Tabel 13. Persentase Penghematan Tulangan pada Tower A

Tower	Diameter Tulangan	Penghematan (%)
Tower A	Ø 8	3,143
	D 10	1,113
	D 13	12,006
	D 16	18,271
	D 19	7,322

Tabel 14. Persentase Penghematan Tulangan pada Tower B

Tower	Diameter Tulangan	Penghematan (%)
Tower B	Ø 8	33,424
	D 10	11,192
	D 13	24,932
	D 16	40,259
	D 19	18,865

Tabel 15. Persentase Penghematan Tulangan pada Tower C

Tower	Diameter Tulangan	Penghematan (%)
Tower C	Ø 8	41,397
	D 10	3,156
	D 13	20,337
	D 16	23,274
	D 19	24,911

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 Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta. Bapak Widi Hartono, S.T.,M.T. dan Ir. Sunarmasto, M.T. , selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan arahan dalam menyusun skripsi ini dan rekan- rekan mahasiswa teknik sipil angkatan 2013 atas kerjasama dan bantuannya.

REFERENSI

- Anonim. 2002. *Structural Detailing (ACI 315-2002)*.
- Gere, James M., dan Stephen P. Timoshenko. 1996. *Mekanika Bahan*. Jilid 1. Diterjemahkan oleh : Bambang Suryoatmono. Erlangga. Jakarta.
- Istimawan, Dipohusodo. 1994. *Struktur Beton Bertulang*. Gramedia. Jakarta.
- Kork, Man. 2013. *Perhitungan Kebutuhan Tulangan Besi Dengan Memperhitungkan Optimasi Waste Besi Pada Pekerjaan Balok Dengan Program Microsoft Excel*. Skripsi : Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Nawy, P. E., dan Edward G. 1998. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Diterjemahkan oleh : Bambang Suryoatmono. PT. Rafika Aditama. Bandung.