

OPTIMASI PERHITUNGAN KEBUTUHAN TULANGAN DAN TULANGAN SISA (WASTE) SHEAR WALL MENGGUNAKAN SOFTWARE CUTTING OPTIMIZATION PRO PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG MRT JAKARTA

Dedy Kurniawan^{1*}, Muhammad Ujjianto^{2*}

^{1,2}Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl.A.Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura, Surakarta, Sukoharjo, Jawa Tengah

*Email: ¹d100190267@student.ums.ac.id, ²ujjianto@ums.ac.id

Abstrak

Material konstruksi merupakan salah satu komponen yang paling banyak menghabiskan biaya dan waktu. Material baja tulangan merupakan salah satu komponen yang menyisakan sisa material yang cukup banyak, salah satu faktornya adalah kesalahan dalam pemotongan, pemotongan yang tepat sangat penting untuk menghindari kerugian, oleh karena itu dibutuhkan solusi untuk dapat mengoptimasi sisa material besi tulangan. Tujuan dilakukannya penelitian adalah untuk mengetahui seberapa efisiensi penggunaan Software Cutting Optimization Pro untuk mengoptimasi sisa besi tulangan struktur shear wall dengan tulangan D25 dan D13. Pengumpulan data primer diperoleh secara langsung data shop drawing dari konsultan perencana. Pengumpulan data sekunder diperoleh dari studi literatur, dari data tersebut kemudian dapat dihitung kebutuhan tulangan lalu diinput pada Software sehingga dapat diketahui seberapa besar tulangan sisa yang dihasilkan. Dari hasil optimasi waste besi tulangan menggunakan Software cutting optimization pro tulangan tipe D25 didapat waste sebesar 12,6% dan D13 sebesar 5,2%. Rata-rata waste yang dihasilkan sebesar 8,9%. Dari hasil analisis waste besi tulangan secara konvensional tulangan tipe D25 didapat waste sebesar 14% dan D13 sebesar 12,4%. Rata-rata dihasilkan waste sebesar 13,2%. Dari hasil analisa didapat software cutting optimization pro dapat meminimalkan waste secara optimal sebesar 4,3%.

Kata kunci: Tulangan sisa, Shear wall, Software cutting optimization pro

Abstract

Construction materials are one of the most costly and time-consuming components. Reinforcing steel material is one of the components that leaves quite a lot of material left, one of the factors is errors in cutting, precise cutting is very important to avoid losses, therefore a solution is needed to optimize the remaining reinforcing material. The purpose of this research is to find out how efficient the use of Cutting Optimization Pro Software is in optimizing the remaining shear wall steel reinforcement with D25 and D13 reinforcement. Primary data collection is obtained directly from shop drawing data from the planning consultant. Secondary data collection was obtained from a literature study, from these data reinforcement requirements can then be calculated and then inputted into the Software so that it can be seen how much residual reinforcement is produced. From the results of optimizing the waste of reinforcing iron using the Software cutting optimization pro reinforcement type D25, the waste is 12.6% and D13 is 5.2%. The average waste generated is 8.9%. From the results of the analysis of reinforcing iron waste conventionally type D25 obtained waste of 14% and D13 of 12.4%. The average generated waste is 13.2%. From the comparison results obtained cutting optimization pro software can optimally minimize waste by 4.3%.

Keywords: Remaining reinforcement, Shear wall, Software cutting optimization pro

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Material konstruksi merupakan salah satu unsur yang paling banyak menghabiskan biaya dan waktu, maka dari itu manajemen material merupakan salah satu komponen penting dalam dunia konstruksi. Meningkatnya mutu proyek

sekaligus menekan biaya konstruksi dapat terealisasi jika adanya manajemen material yang memadai sesuai dengan tenaga kerja, biaya dan waktu. (Tuino, 2016). Dalam suatu proyek di dunia konstruksi, material menjadi salah satu unsur yang penting dalam menentukan besarnya biaya dengan presentase sebesar 40% - 60% dari

total keseluruhan biaya proyek, maka dari itu unsur material harus diperhitungkan dengan matang dan teliti karena memiliki peran yang penting dalam mendukung kesuksesan suatu proyek terutama dalam kaitannya dengan biaya, Variasi dalam tenaga kerja, material, peralatan, subkontraktor, dan overhead adalah hal yang umum dalam pengendalian biaya. Penggunaan material yang dikerjakan langsung oleh pekerja lapangan bisa membawa dampak kesalahan yang berupa limbah material didalam suatu proyek konstruksi, limbah material yang tersisa tidak hanya penting untuk efisiensi pada konstruksi, namun dapat juga berpengaruh terhadap lingkungan. Oleh karena itu penting bagi para pelaku konstruksi untuk berusaha meminimalkan material yang tersisa (Khadafi, 2008).

Material baja tulangan merupakan salah satu komponen yang menyisahkan sisa yang cukup banyak, memahami bentuk besi dan pemotongan yang tepat sangat penting untuk menghindari kerugian yang terjadi karena salah dalam manajemen dan juga dalam memotong akan mengakibatkan kerugian. Sisa material digolongkan menjadi 2 yaitu sisa tulangan yang diakibatkan karakteristik dari desain penulangan, kemudian yang kedua disebabkan pembelian besi tulangan yang lebih banyak daripada jumlah kebutuhan. Maka dari itu, dalam penentuan kebutuhan material tulangan sangat penting dilakukan dengan teliti dan akurat . (Dohar dkk., 2019) Sisa material konstruksi dapat diartikan sesuatu yang sudah tidak dipakai lagi baik itu berupa sisa pekerjaan maupun material konstruksi yang rusak sehingga tidak dapat digunakan untuk tujuan yang dimaksudkan. Jika sisa material ini tidak dilakukan pengelolaan maka akan menyebabkan proyek menjadi rugi dan kelestarian lingkungan juga ikut terganggu. (J.R. Illingworth, 1998).

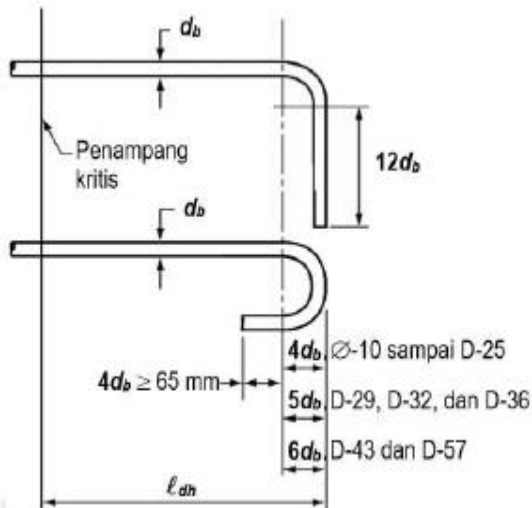
Dalam suatu proyek terdiri dari struktur dan arsitektur. Bagian struktur merupakan bagian-bagian yang membentuk bangunan seperti plat, kolom, balok, atap, pondasi dan *Shear wall*. *Shear wall* merupakan *slab* beton bertulang yang bertujuan untuk memperkaku struktur selain itu untuk menyerap gaya-gaya dalam yang besar dengan semakin tingginya suatu gedung yang dibuat dengan keadaan vertikal dan ditempatkan pada sisi gedung yang telah ditentukan. (I Gede dkk., 2019) Adapun manfaat penggunaan dinding geser dalam struktur bangunan gedung bertingkat tinggi yaitu untuk menyangga lantai pada struktur selain itu juga memastikan ketika terjadi gaya lateral akibat gempa tidak mengalami keruntuhan (Suciati dkk., 2017)

Dalam suatu proyek konstruksi ada kemungkinan besar bahwa proyek konstruksi akan menghasilkan banyak sisa besi tulangan. Hal itu dikarenakan proyek konstruksi biasanya menggunakan bangunan struktur beton bertulang, besi tulangan merupakan salah satu unsur utamanya. Maka dari itu, dibutuhkan suatu cara supaya dapat mengoptimalkan *waste* tulangan tersebut. Proses optimasi ini dilakukan dengan meminimalkan penggunaan baja tulangan. Adapun metode yang bisa digunakan supaya dapat meminimalkan sisa material besi tulangan adalah dengan *Software Cutting Optimization Pro*. *Software* ini dikembangkan oleh Optimal Programs SRL, hasil dari *software* ini adalah pola pemotongan besi tulangan yang paling optimal, selain pola pemotongan *software* ini menampilkan data material besi yang terdapat di lapangan sehingga menjadi lebih mudah dan efektif dalam pengontrolan material besi dan menampilkan pola potongan yang optimal yang dapat digunakan dalam fabrikasi harian. Perangkat lunak yang dibangun adalah perangkat lunak yang berbasis desktop yang secara umum tujuan dari pembuatan *software* ini adalah memudahkan dalam pemotongan besi tulangan pada pekerjaan perusahaan konstruksi. (I wayan dkk., 2020)

1.2 Teori Penulangan

Pola penulangan setiap elemen struktur dibedakan berdasarkan bentuk dan jenis elemen struktur yang digunakan. Beberapa persyaratan perlu diperhatikan dalam merancang tulangan yaitu kualitas tulangan baja dan beton, jarak minimum antar tulangan, kait dan bengkokan, persyaratan selimut beton sambungan lewatan, dan panjang penyaluran. Perencanaan dan pelaksanaan proyek memerlukan desain struktur yang teliti dan dapat dipertanggung jawabkan serta pengawas pada teknis operasional pembangunan di lapangan. Konsultan pengawas pada fabrikasi pembesian diperlukan untuk memastikan bahwa panjang, bentuk, jumlah dan diameter, serta penempatan tulangan sesuai antara gambar desain dan yang ada di lapangan (Samuel dkk., 2019)

Panjang penyaluran (l_d) merupakan panjang tulangan yang dibutuhkan guna meningkatkan kuat perencanaan batang tulangan yang terjadi pada penampang kritis tertentu. Beton bertulang mampu memberikan fungsi yang optimal apabila terdapat kerja sama antar tulangan dengan beton sehingga penyaluran gaya dapat terjadi dari satu bahan ke bahan lainnya. Panjang penyaluran pada batang tulangan ulir kondisi tarik diakhiri dengan kait standar. (Samuel dkk., 2019)



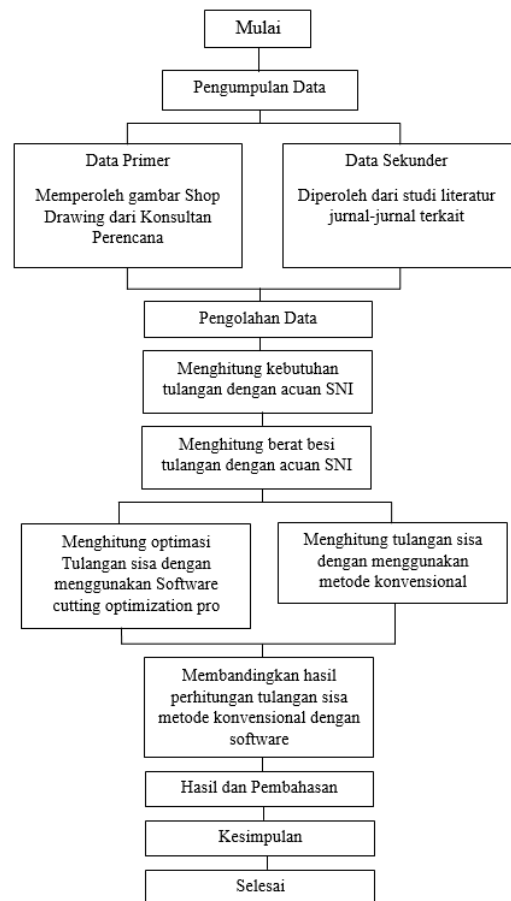
Gambar 1. Tulangan berkait untuk penyaluran kait standar (SNI 2847:2013)

Permasalahan yang diteliti pada penelitian ini adalah kebutuhan tulangan dan total waste untuk pekerjaan *Shear wall* pada Proyek Pembangunan Gedung MRT Simpang Temu Dukuh Atas. Batasan pada pembahasan penelitian ini yaitu:

- Penelitian dilakukan pada Proyek Pembangunan Gedung MRT Simpang Temu Dukuh Atas.
- Perhitungan pekerjaan penulangan dihitung pada struktur *Shear wall*.
- Hanya menghitung kebutuhan tulangan dan waste tulangan yang tidak dapat digunakan lagi karena karakteristik desain penulangan.

2. METODOLOGI

Pada tahap metodologi ini dilakukan beberapa proses pengumpulan data meliputi pengumpulan data primer dan pengumpulan data sekunder yang bertujuan untuk mendapatkan informasi terkait tulangan *shear wall* yang akan diteliti sehingga tujuan penelitian dapat tercapai. Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah mengidentifikasi masalah yang akan diteliti, selanjutnya pengumpulan data primer, data sekunder, lalu pengolahan data, hasil dan pembahasan serta diakhiri dengan kesimpulan. Bagan alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagan alur penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

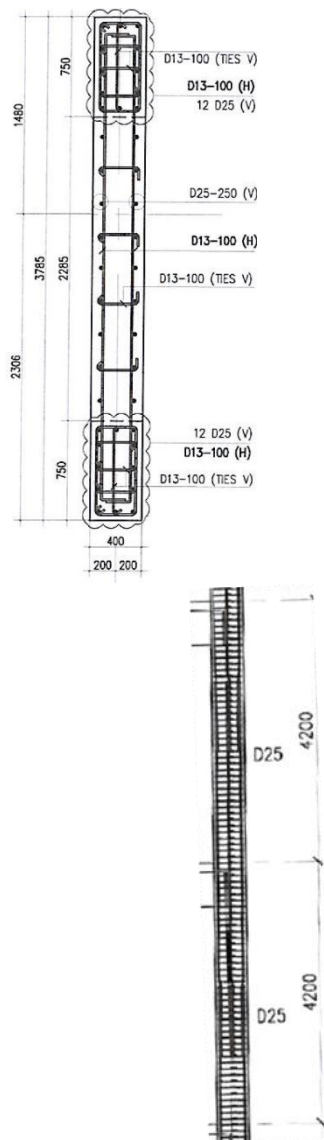
Perhitungan kebutuhan pembesian *Shear Wall* ini dihitung mulai dari tulangan utama, tulangan sengkang, tulangan peminggang, tulangan sepihak, dan Tulangan *Ties*.

Berikut adalah tabel Berat Besi Beton Ulir Menurut standar SNI yaitu SNI 07-2052-2002

Tabel 1. Berat Besi Beton Ulir

No	Pena- maan	Dia- meter nominal (d) mm	Luas penam- pang nominal cm ²	Dia- meter dalam nominal mm	Tinggi sirip melintang min maks	Jarak sirip melintang (maks) mm	Lebar rusuk memanjang (maks) mm	Berat nominal Kg/m	
1	S.6	6	0,2827	5,5	0,3	0,6	4,2	4,7	0,222
2	S.8	8	0,5027	7,3	0,4	0,8	5,6	6,3	0,395
3	S.10	10	0,7854	8,9	0,5	1	7	7,9	0,617
4	S.13	13	1,327	12	0,7	1,3	9,1	10,2	1,04
5	S.16	16	2,011	15	0,8	1,6	11,2	12,6	4,58
6	S.19	19	2,835	17,8	1	1,9	13,3	14,9	2,23
7	S.22	22	3,801	20,7	1,2	2,2	15,4	17,3	2,98
8	S.25	25	4,909	23,6	1,3	2,5	17,5	19,7	3,85
9	S.29	29	6,625	27,2	1,5	2,9	20,3	22,8	5,18
10	S.32	32	8,042	30,2	1,6	3,2	22,4	25,1	6,31
11	S.36	36	10,18	34	1,8	3,6	25,2	28,3	7,99
12	S.40	40	12,57	38	2	4	28	31,4	9,88
13	S.50	50	19,64	48	2,5	5	38	39,3	17,4

Berikut ini contoh perhitungan tulangan utama Pada SW3



Gambar 3. Detail Penulangan Shear Wall 3
(Sumber : PT. PP (Persero) 2022)

Jumlah Tulangan Utama = $12 \times 2 = 24$ buah
 Overlap Tulangan = 1 m
 Tinggi SW floor to floor = 4,2 m
 Panjang lonjor besi = 12 m
 Berat nominal D25 = 3,85 kg/m

Tinggi Tulangan Utama
 = t SW + t Overlap
 = 4,2 m + 1 m
 = 5,2 m

Total Panjang Tul. Utama
 = t Tul utama x Jumlah T.D25
 = 5,2 m x 12 buah
 = 124,8 m

Berat Besi D25 tul utama
 = Berat Jenis D25 x Panjang tulangan D25
 = 3,85 kg/m x 124,8 m
 = 480,48 kg

Total Besi Digunakan
 = Total Panjang Tulangan Utama : 12 m
 = 124,8 m : 12 m
 = 10,4 \approx 11 Batang Besi D-25

Perhitungan Besi Sengkang Tumpuan D13 Pada SW3

Selimit Beton = 40 mm = 0,04 m

Ukuran Kolom = 400 x 750 mm

Tinggi SW floor to floor = 4,2 m

Jarak antar Sengkang = 100 mm

Diameter Besi = D13

BJ Besi Ulir D13 = 1,04 kg/m

Panjang 1 Sengkang

= Keliling Sengkang + (2 x Panjang Tekukan)
 = $(2 \times 0,4) + (2 \times 0,75) - (2 \times 0,04) + 2 \times (6 \times 0,013)$

= 2,376 m

Banyak Sengkang

= $2 \times (\text{Tinggi SW} / \text{Jarak Sengkang}) + 1$

= $2 \times ((4,2 / 0,1 \text{ m}) + 1)$

= 86 buah

Panjang Seluruh Sengkang

= Panjang 1 sengkang x Banyak Sengkang

= 2,376 m x 86 buah

= 204,3 m

Berat besi D13 untuk tulangan Sengkang Tumpuan

= B_j besi ulir D13 x Panjang besi D13 bagian sengkang Tumpuan

= 1,04 kg/m x 204,3 m

= 212,51 kg

Total Besi Digunakan (batang)

= Panjang Besi Lonjor = 12m

= Total Panjang Tul. Sengkang : 12 m

= 204,3 m : 12 m

= 17 Batang Besi D-13

3.1 Rekapitulasi Total Kebutuhan Tulangan Batang Utuh Pada Shear wall

Setelah menghitung kebutuhan jumlah tulangan pada *Shear Wall*, selanjutnya hasil perhitungan yang telah dilakukan direkap secara keseluruhan. Perhitungan ini didapat berdasarkan shop drawing dengan acuan SNI.

Berikut ini adalah hasil rekapitulasi jumlah tulangan yang dibutuhkan pada pekerjaan *Shear Wall* tipe 1 yang ditampilkan pada Tabel 2. di bawah ini.

Tabel 2
Rekapitulasi jumlah tulangan yang dibutuhkan pada pekerjaan Shear Wall tipe 1

Tipe Tulangan	Panjang (m)	Jumlah	Berat Nominal	Berat total (Kg)	Total Besi (Batang)
D25	5,2	24	3,85	480,48	11
D13	4,72	10	1,04	49,09	4
D13	2,676	86	1,04	239,34	20
D13	0,576	86	1,04	51,52	5
D13	0,876	86	1,04	78,35	7
D13	0,476	30	1,04	14,85	2
D13	3,861	86	1,04	345,33	28

Pada tabel 2. Rekapitulasi jumlah tulangan yang dibutuhkan pada pekerjaan Shear Wall tipe 1 dapat diketahui bahwa tipe tulangan D25 yang artinya mempunyai berat nominal 3,85 Kg/m memiliki panjang 5,2 m dengan jumlah 24 buah dan memiliki total berat 480,48 kg dengan total 11 batang Besi. Berikut ini adalah hasil rekapitulasi jumlah tulangan yang dibutuhkan pada pekerjaan Shear Wall tipe 2 yang ditampilkan pada Tabel 3. di bawah ini.

Tabel 3.
Rekapitulasi jumlah tulangan yang dibutuhkan pada pekerjaan Shear Wall tipe 2

Tipe Tulangan	Panjang (m)	Jumlah	Berat Nominal	Berat total (Kg)	Total Besi (Batang)
D25	5,2	24	3,85	480,48	11
D13	4,72	12	1,04	58,91	5
D13	3,076	86	1,04	275,12	23
D13	0,576	86	1,04	51,52	5
D13	1,076	86	1,04	96,24	8
D13	0,476	24	1,04	11,88	1
D13	5,861	86	1,04	524,21	42

Berikut ini adalah hasil rekapitulasi jumlah tulangan yang dibutuhkan pada pekerjaan Shear Wall tipe 3 yang ditampilkan pada Tabel 4. di bawah ini.

Tabel 4.
Rekapitulasi jumlah tulangan yang dibutuhkan pada pekerjaan Shear Wall tipe 3

Tipe Tulangan	Panjang (m)	Jumlah	Berat Nominal	Berat total (Kg)	Total Besi (Batang)
D25	5,2	24	3,85	480,48	11
D13	4,72	18	1,04	88,36	7
D13	2,376	86	1,04	212,51	17
D13	0,476	86	1,04	42,57	4
D13	0,826	86	1,04	73,88	6

D13	0,476	24	1,04	11,88	1
D13	5,361	86	1,04	479,49	39

Berikut ini adalah hasil rekapitulasi jumlah tulangan yang dibutuhkan pada pekerjaan Shear Wall tipe 4 yang ditampilkan pada Tabel 5. di bawah ini.

Tabel 5.
Rekapitulasi jumlah tulangan yang dibutuhkan pada pekerjaan Shear Wall tipe 4

Tipe Tulangan	Panjang (m)	Jumlah	Berat Nominal	Berat total (Kg)	Total Besi (Batang)
D25	5,2	24	3,85	480,48	11
D13	4,72	8	1,04	39,27	4
D13	3,276	86	1,04	203,57	17
D13	0,476	86	1,04	42,57	4
D13	0,776	86	1,04	69,41	6
D13	0,476	12	1,04	5,94	1
D13	4,636	86	1,04	414,64	34

Berikut ini adalah hasil rekapitulasi jumlah tulangan yang dibutuhkan pada pekerjaan Shear Wall tipe 5 yang ditampilkan pada Tabel 6. di bawah ini.

Tabel 6.
Rekapitulasi jumlah tulangan yang dibutuhkan pada pekerjaan Shear Wall tipe 5

Tipe Tulangan	Panjang (m)	Jumlah	Berat Nominal	Berat total (Kg)	Total Besi (Batang)
D25	5,2	36	3,85	720,72	16
D13	4,72	18	1,04	88,36	8
D13	3,276	86	1,04	293,01	24
D13	0,476	86	1,04	42,57	4
D13	1,276	86	1,04	114,13	10
D13	0,476	48	1,04	23,76	2
D13	9,326	86	1,04	834,12	67

Berikut ini adalah hasil rekapitulasi jumlah total tulangan yang dibutuhkan pada pekerjaan Shear Wall yang ditampilkan pada Tabel 7. di bawah ini.

Tabel 7.
Rekapitulasi jumlah total tulangan yang dibutuhkan pada pekerjaan Shear Wall

Tipe Tulangan	Panjang (m)	Jumlah	Berat total (Kg)	Total Besi (Batang)
D25	26	132	2642,64	60
D13	23,6	66	323,98	28

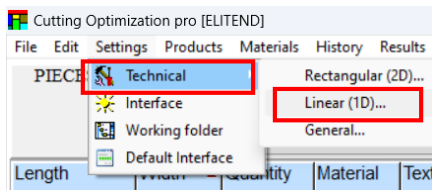
D13	14,68	430	1223,53	101
D13	2,58	430	230,75	22
D13	4,83	430	431,99	37
D13	2,38	138	68,31	7
D13	29,045	430	2597,78	210

3.2 Optimasi Total Sisa Tulangan (Waste) Pada Shear Wall Menggunakan Software cutting optimization pro

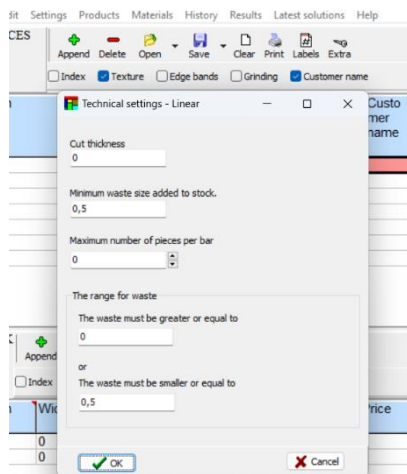
Setelah mendapatkan data kebutuhan tulangan maka dapat dilakukan optimasi tulangan menggunakan *Software cutting optimization pro*.

Langkah Langkah melakukan optimasi adalah sebagai berikut :

- Sebelum memasukkan data, atur terlebih dahulu sisa material minimum yang masih bisa digunakan Kembali untuk pemotongan selanjutnya dengan cara Klik setting lalu pilih *Technical* kemudian pilih linear (1D).

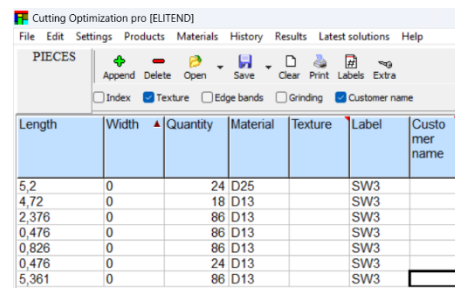


Gambar 4. Setting minimum sisa material

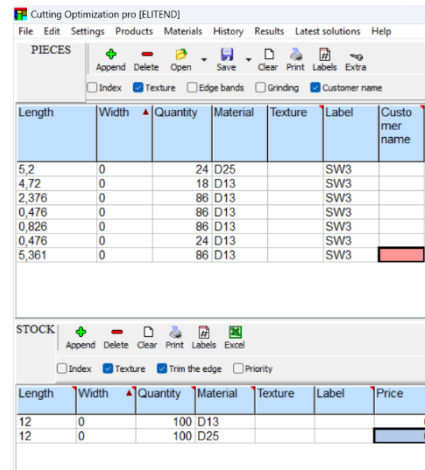


Gambar 5. Setting minimum sisa material

- Memasukan Panjang tulangan, jumlah tulangan dan tipe tulangan dilakukan sesuai dengan tipe besi tulangan agar memudahkan input serta kontrol di lapangan



Gambar 6. Memasukkan data Panjang tulangan, jumlah tulangan dan tipe tulangan
c. Memasukkan kebutuhan potongan dan bahan tulangan



Gambar 7. Memasukkan data kebutuhan potongan dan bahan tulangan

- Selanjutnya klik *start*



Gambar 8. Pilihan menu Start

Rekap data statistik potongan besi hasil perhitungan *Software cutting optimization pro* tertera pada Tabel 8.

Tabel 8. Rekap hasil perhitungan sisa tulangan menggunakan *Software cutting optimization pro*

Tipe tulangan	Total material yang digunakan (kg)	Sisa tulangan (kg)	Sisa tulangan (%)
D25	2642,64	332,64	12,6
D13	4945,811	257,816	5,2

Berat sisa tulangan dapat dicari dengan menjumlahkan semua sisa potongan panjang tulangan yang tidak dibutuhkan dikalikan dengan

berat besi tulangan sesuai diameternya. Sesuai dengan SNI 07-2052-2002 untuk diameter 25 mm dikali dengan berat nominal 3,85 kg/m. Diameter 13 mm dikali dengan berat nominal 1,04 kg/m. Berikut ini adalah hasil rekapitulasi jumlah total sisa tulangan yang pada pekerjaan *Shear Wall* yang ditampilkan pada Tabel 9 di bawah ini.

Tabel 9. Rekap hasil perhitungan sisa tulangan secara konvensional

Tipe tulangan	Waste (kg)	Waste (%)
D25	369,6	14
D13	617,136	12,4

Perbandingan *waste* metode konvensional dengan *software cutting optimization pro* disajikan dalam Tabel 10. berikut.

Tabel 10. Perbandingan waste metode konvensional dengan *Software cutting optimization pro*

Tipe tulangan	Software waste (%)	Konvensional waste (%)
D25	12,6	14
D13	5,2	12,4
Rata-rata waste	8,9	13,2

Dari table 10. tehasil optimasi mampu meminimalkan *waste* secara optimal sebesar 4,3%. Sesuai dengan penelitian I Wayan Muka, Made Adi Widyatmika dan I Made Nova Antara (2020) penggunaan *Software cutting optimization pro* juga dapat meminimalkan waste tulangan yang dihasilkan dibandingkan dengan metode konvensional sebesar 4%. *Software* ini juga menghasilkan pola potongan seperti pada gambar 8. pola potongan tersebut cocok untuk digunakan dalam fabrikasi harian.

The figure displays a grid of tables for each reinforcement bar length. Each table lists waste values in kg and percentages, along with the source of the waste (SW1-SW5). For example, for length 0, the waste is 4,72 kg (12,6%) for D25 and 2,376 kg (12,4%) for D13. For length 0,002, the waste is 5,861 kg (12,6%) for D25 and 5,361 kg (12,4%) for D13. The tables show that the *Software cutting optimization pro* method consistently results in lower waste percentages compared to the conventional method.

Gambar 9. Kebutuhan Panjang besi tiap lonjor potongan *Software cutting optimization pro*

(hasil analisis)

Berdasarkan gambar 8. Dapat diketahui pola potongan hasil dari optimasi menggunakan *Software cutting optimization pro* menghasilkan pola potongan yang optimal salah satunya yaitu dalam satu lonjor besi dengan Panjang 12 m sesuai dengan SNI 07-2052-2002 dapat digunakan untuk tulangan pembagi dengan Panjang 5,861 pada *shear wall* 2 dua buah, jadi waste yang dihasilkan adalah sebesar 0,278 m.

4. KESIMPULAN

Software cutting optimization pro bisa digunakan untuk mengoptimasi sisa material baja tulangan dan menghasilkan sisa baja tulangan yang minimum. Dari hasil optimasi sisa besi tulangan menggunakan *Software cutting optimization pro* tulangan tipe D25 didapat waste sebesar 12,6% dan tulangan D13 sebesar 5,2%. Rata-rata waste yang ditimbulkan dari kedua jenis besi tulangan tersebut sebesar 8,9%. Dari hasil analisis waste besi tulangan secara konvensional tulangan tipe D25 didapat waste sebesar 14% dan tulangan D13 sebesar 12,4%. Rata-rata waste yang dihasilkan dari kedua jenis besi tulangan tersebut sebesar 13,2%. Dari hasil perbandingan diperoleh *software cutting optimization pro* mampu meminimalkan waste secara optimal sebesar 4,3%.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional, 2022, SNI 07-2052:2002 Baja tulangan beton, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta
- Dohar Sinabutar, S.T., M.T., Anggie Rahmadani Tambunan, 2019, *Analisis Perhitungan Sisa Material (Waste) Tulangan Pada Ballroom Proyek Kantor Inalum Dengan Menggunakan Aplikasi Software Optimalisasi Waste Besi (Sowb)*, Politeknik Negeri Medan
- I Gede Gegiranang Wiryadi dan I Ketut Sudarsana, 2019, *Analisis Pengaruh*

- Bentuk Dinding Geser Beton Bertulang Terhadap Kapasitas Dan Luas Tulangan*. Universitas Udayana, Denpasar
- Illingworth, J.R., Thain, K. (1988). *Materials Management – is it worth it, CIRIA Special Publication*, 1988, Vol. 58.
- I Wayan Muka, Made Adi Widyatmika, I Made Nova Antara, 2020, *Analisis Perbandingan Waste Besi Tulangan Metode Konvensional Dengan Software Cutting Optimazation Pro*, Universitas Hindu Indonesia, Bali
- Mochammad Iqbal Nur Rizqy, Rifqy Zacky Ariadhy, Gara Alpinas, Jihad Ryzki, Irika Widadianti, 2021, *Analisa Kebutuhan Material Pembesian pada Struktur Shear Wall*, Universitas Negeri Jakarta
- Samuel Stefanus Nasautama, Mizanuddin Sitompul, 2022, *Analisis Kebutuhan Tulangan dan Tulangan Sisa (Waste) Pekerjaan Struktur Kolom, Balok dan Pelat Lantai Proyek Pembangunan Pasar Baru Kabupaten Mandailing Natal*, Politeknik Negeri Medan, Medan
- Setiawan, Agus, 2016, *Perencanaan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013*, Erlangga: Jakarta.
- Suciati Nur Khalifah, Widi Hartono, Sunarmasto, 2017, *Penghitungan Optimasi Baja Tulangan Pada Pekerjaan Shear Wall Dengan Menggunakan Microsoft Excel Dan Autocad (Studi Kasus Pembangunan Apartemen Gunawangsa Tidar Surabaya)*, Universitas Sebelas Maret, Surakarta
- Tuino, Ismail, 2016, *Analisis Kebutuhan Material pada Proyek Pembangunan Gedung DPRD Provinsi Sulawesi Utara*. Thesis, Politeknik Negeri Manado