



Optimasi *Waste Besi* Pada *Pier Median Jalan Tol Jakarta – Cikampek 2 Elevated* Dengan Program *Linear*¹

Optimization of Waste Iron Median Pier Road Jakarta – Cikampek Toll 2 Elevated Using Linear Programming

Widia Ade Novita^a, Yuni Ulfiyati^b, Siska Aprilia Hardiyanti^{b,2}

^a Program Studi D3 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Banyuwangi, Jalan Raya Jember KM13, Kawang, Labanasem, Kec. Kabat, Banyuwangi.

^b Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Banyuwangi, Jalan Raya Jember KM13, Kawang, Labanasem, Kec. Kabat, Banyuwangi.

ABSTRAK

Pada pelaksanaan sebuah proyek konstruksi, seringkali menimbulkan sisa material konstruksi. Faktor yang menyebabkan terjadinya sisa atau limbah material besi adalah pemotongan yang tidak optimal. Selama proses pemotongan tersebut, dapat dipicu oleh faktor kesalahan pada penyusunan *bar bending schedule* atau *bestat* besi. Oleh karena itu, untuk mengurangi jumlah *waste* besi tulangan yang besar, dilakukan usaha perhitungan atau merencanakan kembali kebutuhan besi dengan menggunakan metode program *linear*. Pada metode ini, dapat memecahkan suatu masalah optimasi dari kombinasi panjang pemotongan besi tulangan, dengan menentukan fungsi tujuan dan batasan yang ada. Sehingga dalam penelitian ini, dilakukan Optimasi *Waste Besi* Pada *Pier Median Jalan Tol Jakarta – Cikampek 2 Elevated* Dengan Program *Linear*. Hasil yang didapat adalah bahwa dengan metode program *linear* dan bantuan *excel solver add – in*, dapat mengoptimasi *waste* besi tulangan pada *pier* 383 median jalan tol Jakarta – Cikampek 2 *elevated*. Total besar penghematan pada *waste* besi adalah 21,65 % dan total penghematan pada jumlah batang besi sebesar 23,46 %. Tetapi pada besi D25 tidak terjadi penghematan, karena hasil dari sisa dan kebutuhan besi *solver* sama dengan yang ada pada lapangan.

Kata kunci: waste besi, optimasi, program linear

ABSTRACT

The implementation of a construction project often results in residual construction materials. Factors that cause residual or waste iron material is cutting that is not optimal. During the cutting process, it can be triggered by an error factor in the preparation of the bar bending schedule or bestat. Therefore, to reduce a large amount of waste, an effort is made to calculate or re-plan the iron demand using the linear. In this method, we can solve an optimization problem of the combination of cutting length of reinforcing steel, by determining the objective function and the constraints. So that in this research, an optimization waste of iron pier of the Jakarta – Cikampek 2 Elevated program linear. The results obtained are that with the linear and the help of the excel solver add-in, it can optimize waste of reinforcing iron-on pier toll road elevated. The total amount of savings on waste is 21.65% and the total savings on the number of iron rods is 23.46%. However, there are no savings in D25 iron, because the results from the waste and the need for iron solver are the same as those in the field.

Keywords: iron waste, optimization, linear programming

¹ Info Artikel: Received: 12 September 2019, Accepted: 26 Desember 2021.

² Corresponding Author: siska.math3@gmail.com (S.A. Hardiyanti).

PENDAHULUAN

Pada pelaksanaan sebuah proyek konstruksi, tidak dapat dihindari munculnya sisa material konstruksi atau bisa disebut dengan *construction waste*. Pelaku konstruksi sering tidak menyadari bahwa sisa material konstruksi berdampak pada biaya proyek menjadi tidak terkendali, sehingga terjadi pembengkakan biaya atau *cost overrun*. Salah satu faktor yang mengakibatkan pembengkakan biaya adalah material besi.

Faktor yang paling sering menyebabkan terjadinya sisa atau limbah material besi adalah perubahan – perubahan desain. Sedangkan jika dilihat dari pengaruh faktor penyebab terjadinya sisa material besi terhadap kegiatan konstruksi, maka pemotongan besi yang tidak optimal merupakan faktor yang mempengaruhi terjadinya sisa material besi. Pemotongan yang tidak optimal selama proses tersebut, dapat dipicu oleh faktor kesalahan pada penyusunan *bar bending schedule* atau *bestat* besi. Hasil *bestat* besi yang tersaji dalam *bar list*, akan tertera pada *shop drawing* yang digunakan para pekerja sebagai acuan untuk fabrikasi besi.

Oleh karena itu, untuk mengurangi jumlah *waste* besi tulangan yang besar, dilakukan usaha perhitungan atau merencanakan kembali kebutuhan besi dengan menggunakan metode program *linear*. Pada metode ini, dapat memecahkan suatu masalah optimasi dari kombinasi panjang pemotongan besi tulangan, dengan menentukan fungsi tujuan dan batasan yang ada. Sehingga diperoleh hasil *waste* besi tulangan minimum dari alternatif – alternatif panjang potongan besi yang dihasilkan oleh program *linear*. Kemudian, akan dianalisis secara detail oleh *solver add-in*. Dimana nantinya akan ditampilkan alternatif – alternatif yang dapat menghasilkan *waste* terkecil dan jumlah batang besi tulangan masing – masing berdiameter D13, D16, D25 dan D32. Berdasarkan permasalahan yang ada, maka dilakukan perhitungan Optimasi *Waste* Besi Pada *Pier* Median Jalan Tol Jakarta Cikampek 2 *Elevated* Dengan Program *Linear*.

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan pada proyek pembangunan *pier* median Jalan Tol Jakarta - Cikampek 2 *Elevated*. Untuk pelaksanaan penelitian dilakukan di Politeknik Negeri Banyuwangi, Jalan Raya Jember – Banyuwangi Km.13, Labanasem, Banyuwangi, Jawa Timur, Indonesia.

Flowchart (Diagram Alir)

Secara umum penelitian ini dilakukan melalui tahapan – tahapan kerja, untuk mendapatkan hasil yang akurat dan mencapai tujuan dari penelitian. Tahapan – tahapan kerja dapat dilihat pada diagram alir Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart pelaksanaan penelitian

Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini diperlukan beberapa hal untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan tujuan penelitian. Adapun langkah – langkah yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Tinjauan Pustaka
Tinjauan pustaka dilakukan guna untuk dijadikan referensi dan dasar dari penelitian ini baik berupa buku – buku, jurnal melalui proses meringkas dan mengklasifikasi yang berhubungan dengan penelitian ini, agar mendapatkan hasil sesuai dengan yang diharapkan.
2. Data Sekunder
Dalam penelitian ini, menggunakan data sekunder pada proyek pembangunan Jalan Tol Jakarta – Cikampek 2 *Elevated* yang berupa data *shop drawing pier median*. Pada *shop*

drawing tersebut terdapat *bar bending schedule* yang dapat membantu mengetahui diameter besi, jumlah tulangan, dan panjang besi tulangan yang akan dioptimasi.

3. Menghitung sisa material penulangan lapangan

Pada penelitian ini data BBS merupakan data penting untuk bisa dilakukannya penelitian ini. Namun data tersebut yang ada hanya tercantum diameter besi, panjang potongan dan jumlah potongan, tidak lengkap dengan sisa material penulangan, sehingga perlu dilakukannya perhitungan kembali agar mendapat data tersebut, dengan rumus (Haryoko, W., 2017):

$$\text{Berat Besi (kg/m)} = ((\text{Diameter Besi} \times 1000)^2) \times 0,006165 \quad (1)$$

$$\text{Total Panjang (m)} = \text{panjang potongan} \times \text{jumlah potongan} \quad (2)$$

$$\text{Total Berat (kg)} = \text{berat isi} \times \text{total panjang} \quad (3)$$

$$\text{Sisa} = 12 - \text{potongan} \quad (4)$$

$$\text{Jumlah total sisa besi (m)} = \text{Kebutuhan besi} \times \text{sisa} \quad (5)$$

4. Pengelompokkan ukuran (diameter) besi atau rekapitulasi data BBS

Data hasil perhitungan di atas, selanjutnya akan dikelompokkan sesuai dengan ukuran diameter masing – masing. Dimana dikelompokkan tersebut guna untuk mempermudah mengetahui dan total keseluruhan berupa total panjang besi (m), berat besi (kg/m), total berat (kg), dan total sisa material besi sesuai dengan ukuran diameter masing – masing.(Haryoko, W., 2017)

5. Mencari alternatif pemotongan besi (metode program *linear*)

Metode program *linear* dilakukan untuk mencari alternatif potongan besi sesuai diameter diantaranya D13, D16, D25 dan D32.

6. Input dan output data solver

Pada proses ini *Solver* melakukan running, sehingga dapat diperoleh hasil potongan tulangan pada struktur *pier* yang kemudian dianalisis secara lebih detail. Dengan menggunakan *Excel Solver* diperoleh kombinasi potongan tulangan dan sisa potongan yang terjadi pada masing – masing ukuran diameter besi *Pier*.

7. Hasil pembahasan

Setelah mendapat hasil dari *solver*, penulis melakukan konsultasi dengan dosen pembimbing yang telah ditetapkan dan dilakukan perhitungan persentase penghematan dengan rumus:

$$\text{Sisa} = \frac{\text{jumlah sisa solver}}{(\text{jumlah batang} \times 12)} \times 100 \% \quad (6)$$

$$\text{Penghematan} = \frac{(\text{lapangan} - \text{solver})}{\text{lapangan}} \times 100 \% \quad (7)$$

8. Kesimpulan dan saran

Dari hasil penelitian yang dilakukan dan data yang telah didapat, penulis menyimpulkan tentang hasil optimasi *waste* besi menggunakan program *linear* dengan bantuan *solver add - in*. Dan hasil tersebut dihasilkan saran yang bersifat membangun dan tentunya bermanfaat bagi semua.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Menghitung Sisa Material Penulangan Kondisi Eksisting

Setelah mengetahui data *bar bending schedule* dari tiap item pekerjaan (*bore pile, pile cap, pier* tahap 1, 2 dan 3), maka selanjutnya dilakukan perhitungan sisa material penulangan kondisi *eksisting*. Perlu adanya perhitungan *eksisting* adalah sebagai pembanding antara hasil metode program *linear* dan *solver add-in* dengan kebutuhan atau sisa besi di lapangan. Berikut contoh perhitungan sisa material besi kondisi *eksisting* D32, dengan panjang potongan 4,92 m dan jumlah potongan 14 buah:

$$\begin{aligned} \text{Berat Besi (kg/m)} &= ((\text{Diameter Besi} \times 1000)^2) \times 0,006165 \\ &= ((0,032 \times 1000)^2) \times 0,006165 \\ &= 6,31 \text{ kg/m.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Panjang (m)} &= \text{panjang potongan} \times \text{jumlah potongan} \\ &= 4,92 \times 14 \\ &= 68,88 \text{ m.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Berat (kg)} &= \text{berat besi} \times \text{total panjang} \\ &= 6,31 \times 68,88 \\ &= 434,63 \text{ kg.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Besi (batang)} &= \text{Jumlah potongan} : \left(\frac{12}{\text{panjang potongan}} \right) \\ &= 14 : \left(\frac{12}{4,92} \right) \\ &= 7 \text{ batang.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sisa (m)} &= 12 - \text{panjang potongan per besi} \\ &= 12 - (2 \times 4,92) \\ &= 2,16 \text{ m.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah total sisa besi (m)} &= \text{Kebutuhan besi} \times \text{sisa} \\ &= 7 \times 2,16 = 15,12 \text{ m.} \end{aligned}$$

Rekapitulasi Data Bar Bending Schedule Pier

Setelah perhitungan sisa material kondisi *eksisting* selesai dihitung, maka selanjutnya dilakukan rekapitulasi data *bar bending schedule* menurut diameter besi masing – masing. Dilakukan rekapitulasi data *bar bending schedule* guna untuk mempermudah mengetahui panjang besi (m), jumlah potongan (m) serta kebutuhan besi (batang) tiap diameter besi masing – masing.

Tabel 1. Rekapitulasi data *bar bending schedule pier* D13

| No. | Panjang (m) | Jumlah Potongan (buah) | Kebutuhan Besi (batang) |
|-------|-------------|------------------------|-------------------------|
| 1 | 2.75 | 774 | 194 |
| 2 | 3.25 | 774 | 258 |
| 3 | 3.19 | 231 | 77 |
| Total | | | 529 |

Mencari Alternatif Pemotongan Besi (Metode Program *Linear*) dan Proses *Input* dan *Output Solver*

Metode program *linear* dilakukan untuk mencari alternatif – alternatif potongan besi yang dapat menghasilkan sisa besi tulangan minimum. Alternatif – alternatif potongan dibedakan sesuai dengan diameter besi masing – masing, diantaranya besi D13, D16, D25, D32 dan dapat dilihat pada Tabel 2.

Selanjutnya proses *input solver*, persamaan matematis dari perhitungan metode program *linear* dimasukkan ke dalam *solver*, mulai dari tujuan untuk meminimumkan, hingga kendala atau batasan – batasan yang ada. Setelah proses *input* selesai, lalu dilakukannya *solver*, menghasilkan *output* yaitu bertambahnya informasi batang yang diperlukan, potongan besi, sisa serta jumlah keseluruhan sisa besi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat seperti pada Gambar 1.

Tabel 2. Alternatif potongan besi D13 pada *pier* median

| Alternatif | Panjang potongan (m) | | | Sisa (m) |
|------------|----------------------|------|------|----------|
| | 2.75 | 3.25 | 3.19 | |
| 1 | 2 | 1 | 1 | 0.06 |
| 2 | 2 | 0 | 2 | 0.12 |
| 3 | 3 | 1 | 0 | 0.5 |
| 4 | 3 | 0 | 1 | 0.56 |
| 5 | 4 | 0 | 0 | 1 |
| 6 | 0 | 3 | 0 | 2.25 |
| 7 | 2 | 2 | 0 | 0 |
| Kebutuhan | 774 | 774 | 231 | |

Pada Tabel 2 didapatkan 7 alternatif pemotongan dengan 3 fungsi pembatas seperti X_1, X_2, X_3, X_4 . Dari alternatif dan fungsi pembatas dapat dibuat persamaan matematis optimasi pemotongan besi D13 adalah sebagai berikut:

$$Z = 0.06 X_1 + 0.12 X_2 + 0.5 X_3 + 0.56 X_4 + 1 X_5 + 2.25 X_6 + 0.0 X_7$$

Dengan Pembatas:

$$2 X_1 + 2 X_2 + 3 X_3 + 3 X_4 + 4 X_5 + 2 X_7 \geq 774$$

$$X_1 + X_3 + 3 X_6 + 2 X_7 \geq 774$$

$$X_1 + 2 X_2 + X_4 \geq 231$$

Dari persamaan matematis pada pemotongan besi D13 tersebut, berguna untuk mempermudah proses *input* dan *output solver*. Apabila proses *input solver* berhasil menemukan solusi optimal dengan memecahkan permasalahan dari batasan – batasan yang ada, serta tujuan tercapai dengan kondisi optimal. Maka *output solver* akan muncul dan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil *solver* D13

| Alternatif | Panjang potongan (m) | | | sisa (m) | Batang | Jumlah Sisa (m) |
|------------|----------------------|------|------|----------|--------|-----------------|
| | 2.75 | 3.25 | 3.19 | | | |
| 1 | 2 | 1 | 1 | 0.06 | 231 | 13.86 |
| 2 | 0 | 3 | 0 | 2.25 | 77 | 173.25 |
| 3 | 2 | 2 | 0 | 0 | 156 | 0 |
| Kebutuhan | 774 | 774 | 231 | 2.31 | 464 | 187.11 |
| Potongan | 774 | 774 | 231 | | | |

Pada Tabel 3 hasil *solver* menghasilkan 3 alternatif potongan dari 7 alternatif sebelumnya. Total jumlah batang yang didapat adalah 464 batang dengan jumlah sisa besi D13 sebesar 187,11 m.

Rasio Sisa Kondisi Eksisting Dengan Solver

Berikut ini merupakan rasio perbandingan sisa potongan dengan jumlah potongan besi dari kondisi *eksisting* :

Besi tulangan berdiameter 13

$$\text{Sisa} = \frac{\text{jumlah sisa eksisting}}{(\text{jumlah batang} \times 12)} \times 100 \%$$

$$\text{Sisa} = \frac{736,69}{(519 \times 12)} \times 100\% = 11,79 \%$$

Setelah diketahui rasio dari kondisi *eksisting*, berikut ini adalah rasio perbandingan sisa potongan dengan jumlah potongan besi dari hasil *solver*:

Besi tulangan berdiameter 13

$$\text{Sisa} = \frac{\text{jumlah sisa solver}}{(\text{jumlah batang} \times 12)} \times 100 \%$$

$$\text{Sisa} = \frac{187,11}{(464 \times 12)} \times 100\% = 3,36 \%$$

Untuk lebih jelasnya hasil dari rasio perbandingan sisa kondisi *eksisting* dengan *solver* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Rasio sisa kondisi *eksisting* dengan *solver*

| No. | Dia. | Kondisi Eksisting | Solver | Penghematan |
|-------|------|-------------------|---------|-------------|
| 1. | D13 | 11,79 % | 3,36 % | 8,43 % |
| 2. | D16 | 12,69 % | 5,71 % | 6,98 % |
| 3. | D25 | 29,83 % | 29,83 % | 0 % |
| 4. | D32 | 16,50 % | 10,26 % | 6,24 % |
| Total | | | | 21,65 % |

Pada Tabel 4 diketahui rasio perbandingan sisa material besi kondisi *eksisting* dengan *solver*, yang menghasilkan total keseluruhan penghematan sebesar 21,65 %. Untuk besi D13, D16 dan D32 terjadi penghematan, tetapi pada besi D25 tidak terjadi penghematan karena hasil dari rasio sisa kondisi *eksisting* sama dengan hasil *solver*.

Rasio Penghematan Pada Setiap Besi (Batang)

Sebagai pembanding lainnya, dibutuhkan perbandingan penghematan yang terjadi pada setiap besi (batang) di lapangan dengan hasil menggunakan metode program *linear* dan *solver add-in*. Berikut ini perhitungan rasio penghematan pada setiap besi (batang):

Besi tulangan berdiameter 13

$$\text{Penghematan} = \frac{(\text{lapangan} - \text{solver})}{\text{lapangan}} \times 100 \%$$

$$\text{Penghematan} = \frac{(529 - 464)}{529} \times 100 \%$$

$$\text{Penghematan} = \frac{65}{529} \times 100 \% = 12,28 \%$$

Perbandingan kebutuhan batang di lapangan dan *solver* lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Rasio penghematan pada setiap besi (batang)

| Rasio Penghematan Pada Setiap Besi | | | | |
|------------------------------------|----------------|--------|-------------|-------|
| Ber Diameter | Kebutuhan Besi | | Penghematan | |
| | Lapangan | Solver | Batang | % |
| D13 | 529 | 464 | 65 | 12,28 |
| D16 | 304 | 279 | 25 | 8,22 |
| D25 | 52 | 52 | 0 | 0 |
| D32 | 304 | 295 | 9 | 2,96 |
| | Total | | | 23,46 |

Pada Tabel 5 dapat diketahui secara keseluruhan dengan metode program *linear* dan bantuan *excel solver*, dapat mengoptimasi *waste* besi pada *pier* 383 median dengan total keseluruhan penghematan kebutuhan besi sebesar 23,46 %. Dengan persentase penghematan terbesar adalah besi D13 sebesar 12,28%. Tetapi pada besi berdiameter 25 tidak terjadi penghematan karena hasil kebutuhan lapangan dengan hasil *solver* sama yaitu 52 batang, sehingga persentase yang didapat adalah 0 %.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa dengan metode program *linear* dan *excel solver add - in*, dapat mengoptimasi *waste* besi tulangan pada *pier* 383 median jalan tol Jakarta – Cikampek 2 *elevated*. Total besar penghematan pada *waste* besi adalah 21,65 % dan total penghematan pada jumlah batang besi sebesar 23,46 %. Tetapi

pada besi D25 tidak terjadi penghematan, karena hasil dari sisa dan kebutuhan besi *solver* sama dengan yang ada pada lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Moghany, S. S. 2006. *Managing and Minimizing Construction Waste in Gaza Strip*. The Islamic University Of Gaza. Gaza
- Asiyanto. 2005. *Construction Project Cost Management*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Dipohusodo, I. 1993. *Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum RI
- Gavilan, R. M. and Bernold, L. E. 1994. *Source Evaluation Of Solid Waste In Building Construction*. Journal of Construction Engineering and Management. pp. 536-552.
- Gunantara, N. 2018. *Teknik Optimasi*. Denpasar: Udayana University Press.
- Haryoko, W. 2017. *Efisien Biaya Pembesian Berdasarkan Bestat Pada Pekerjaan Pier Jembatan Tol Sumo Main Road STA 12+266.746 Di PT Wijaya Karya (Persero) Tbk*. *Rekayasa Teknik Sipil*. 3(3): 112 – 118.
- Khalifah, S. N., Hartono, W., dan Sunarmasto. 2017. *Perhitungan Optimasi Baja Tulangan Pada Pekerjaan Shear Wall Dengan Menggunakan Microsoft Excel dan Autocad*. *E-jurnal Matriks Teknik Sipil*. 1112.
- Kork, M., Hartono, W., dan Sugiyanto. 2013. *Perhitungan Kebutuhan Tulangan Besi Dengan Memperhitungkan Optimasi Waste Besi Pada Pekerjaan Balok Dengan Program Microsoft Excel*. *E-jurnal Matriks Teknik Sipil*. 290.
- Margaretta, J. dan Gondokusumo, O. 2017. *Penerapan Metode Linear Programming Untuk Analisis Pemotongan Besi Tulangan Pada Proyek Bangunan Gedung Di Jakarta*. *Jurnal Muara*. 1(2): 51 – 61.
- PT. Acset Indonusa Tbk. 2017. *Data Proyek Jalan Tol Jakarta – Cikampek 2 Elevated*. Jakarta: PT. Acset Indonusa Tbk.
- Putri, A. D. Y. A., Hartono, W., dan Sugiyarto. 2014. *Integer Programming Dengan Pendekatan Metode Branch And Bound Untuk Optimasi Sisa Material Besi (Waste) Pada Plat Lantai (Studi Kasus: Pasar Elpabes Banjarsari Surakarta)*. *E-jurnal Matriks Teknik Sipil*. 2 (2). 86.
- Sabry, S., Hartono, W., dan Sugiyarto. 2013. *Model Optimasi Pemotongan Besi Tulangan Pelat Lantai Dengan Program Linear*. *E-jurnal Matriks Teknik Sipil*. 283.
- Skoyles, E. F. 1987. *Material wastage: A misuse of resources*. *Building Research and Practice*. pp. 232-243.
- SNI 03-2847-2013. 2013. *Tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-6816-2002. 2002. *Tata Cara Pendetailan Penulangan Beton*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 07-2052-2014. 2014. *Tentang Baja Tulangan Beton*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Studio Manajemen Industri. 2017. *Linear Programming – Agregat dan Disagregat*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., and Viggil, S.A. 1993. *Integrated Solid Management*. McGraw-Hill. Inc. New Jersey.