



Perbandingan *Layout* Potongan dan Pengadaan Besi Antara Desain Struktur Awal Dengan Desain Struktur Revisi 01 Menggunakan Program *Opticutter*

Muhammad Syaiful Anam^{1,*}, Sri Sumiyati², Ratna Purwaningsih²

¹PT Adhi Karya (Persero) Tbk, Departemen Infrastruktur 1

²Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

*Corresponding author: syaifulanam30@gmail.com

(Received: March 7, 2024; Accepted: April 4, 2024)

Abstract

Comparison of Cutting Layout and Iron Procurement Between Initial Structural Design and Revision 01 Structural Design Using the Opticutter Program. Indonesia is a developing country that is intensely developing bridge infrastructure that is widely built, especially in areas separated by rivers. Bridges are also used for road construction which is not possible if built directly on the ground due to limited land. This is common in urban areas with densely populated conditions. JORR Elevated is an overpass built to break down congestion that often occurs in JORR Existing due to the increasing volume of traffic. The construction of an overpass uses the Pier Head as the fulcrum structure of the Girder. One of the Pier Head materials is reinforcement. Pieces of reinforcement in a structure or called Bar Bending Schedule (BBS) have various variations according to structural analysis. This material available on the market generally has a length of 12 meters per bar. Therefore, optimization of pieces is needed to minimize the remaining pieces or waste and determine the amount of reinforcement procurement. In practice in the field, the calculation of waste can be said to be good if the results obtained are <3% and it will be even better if the results are close to 0. The conventional method of cut optimization has drawbacks caused by the large number of iterations to obtain the optimal cut configuration. The human error factor also often occurs, especially in projects that have complex pieces of reinforcement. To overcome this problem, a website-based OptiCutter program is used that can process data optimally. Based on the design differences between the initial design and the revised design 01, it can be concluded that there are changes in the amount of procurement, cost, and reinforcement waste. The largest amount of increase in material procurement is as many as 4 pieces and this linearly affects the cost. The largest increase in waste was 0.6464%. The largest amount of reduction in material procurement is 1 piece, while the largest decrease in waste value is at 3%.

Keywords: cutting optimization, bar bending schedule, JORR Elevated, waste, OptiCutter

Abstrak

Indonesia merupakan negara berkembang yang sedang intens melakukan pembangunan infrastruktur jembatan yang banyak dibangun khususnya pada wilayah yang terpisah oleh sungai. Selain itu jembatan juga digunakan untuk pembangunan jalan yang tidak memungkinkan jika dibangun langsung di atas tanah dikarenakan terbatasnya lahan. Hal ini umum terjadi di wilayah perkotaan dengan kondisi padat penduduk. JORR Elevated adalah jembatan layang yang dibangun untuk mengurai kemacetan yang sering terjadi di JORR saat ini akibat dari meningkatnya volume lalu lintas. Pembuatan jembatan layang menggunakan *Pier Head* sebagai struktur tumpuan dari *girder*. Salah satu material *Pier Head* adalah besi tulangan. Potongan

tulangan dalam sebuah struktur atau disebut *Bar Bending Schedule* (BBS) memiliki variasi yang beragam sesuai dengan analisis struktur. Besi yang tersedia di pasaran umumnya memiliki panjang 12 meter per batang. Oleh karena itu diperlukan optimasi potongan untuk meminimalisir sisa potongan atau *waste* dan menentukan jumlah pengadaan tulangan. Pada praktek di lapangan, perhitungan *waste* dapat dikatakan baik jika hasil yang diperoleh <3% dan akan lebih baik lagi jika hasilnya mendekati angka 0. Metode konvensional dalam optimasi potongan memiliki kekurangan yang disebabkan oleh banyaknya iterasi untuk memperoleh konfigurasi potongan yang optimal. Selain itu faktor *human error* juga sering terjadi terutama pada proyek yang memiliki potongan tulangan yang kompleks. Untuk mengatasi masalah tersebut, digunakan program *OptiCutter* berbasis *website* yang dapat mengolah data dengan optimal. Berdasarkan perbedaan desain antara desain awal dan desain revisi 01, dapat disimpulkan bahwa terdapat perubahan pada jumlah pengadaan, biaya, dan *waste* besi. Jumlah peningkatan pengadaan besi terbanyak adalah sebanyak 4 buah dan hal ini secara linear berpengaruh terhadap biaya. Peningkatan *waste* terbesar adalah sebesar 0,6464%. Jumlah pengurangan pengadaan besi terbanyak adalah 1 buah, sedangkan penurunan nilai *waste* terbesar terdapat pada angka 3%.

Kata kunci: *cutting optimization, bar bending schedule, JORR Elevated, waste, OptiCutter*

How to Cite This Article: Anam, M. S., Sumiyati, S., Purwaningsih, R. (2024). Perbandingan Layout Potongan dan Pengadaan Besi Antara Desain Struktur Awal Dengan Desain Struktur Revisi 01 Menggunakan Program Opticutter. *JPII*, 2(2), 121-126. DOI: <https://doi.org/10.14710/jpii.2024.23918>

PENDAHULUAN

Proyek Tol JORR *elevated* ini terdiri dari 4 Lajur (4L) dan 2 Lajur (2L). Bentang struktur utama proyek ini menggunakan *Super-T Girder* yang sudah pernah diaplikasikan di negara Australia, Selandia Baru, Vietnam, dan Philipina. *Super-T Girder* ini akan ditopang oleh *Pier Head* kemudian diteruskan ke *Pier*, *Pile Cap*, dan *Bored Pile*.

Pembuatan *Pier Head* tidak terlepas dari penggunaan material beton bertulang sebagai struktur utama. Besi atau tulangan adalah material penahan gaya tarik dalam komposisi struktur beton bertulang. Potongan tulangan dalam sebuah struktur atau disebut *Bar Bending Schedule* (BBS) memiliki variasi yang beragam sesuai dengan analisis struktur yang telah dilakukan. Besi yang tersedia di pasaran umumnya memiliki panjang 12 m/batang dengan diameter tertentu. Karena itu diperlukan optimasi potongan untuk meminimalisir *waste* dan menentukan jumlah pengadaan tulangan. *Waste* adalah sisa tulangan yang sudah tidak dapat digunakan lagi pada suatu struktur bangunan. Pada praktek di lapangan, perhitungan *waste* dapat dikatakan baik jika hasil yang diperoleh <3% dan akan lebih baik lagi jika hasilnya mendekati angka 0. Metode konvensional dalam optimasi potongan memiliki kekurangan yang disebabkan oleh banyaknya iterasi untuk memperoleh konfigurasi potongan yang optimal. Selain itu faktor *human error* juga sering terjadi terutama pada proyek yang memiliki potongan tulangan yang kompleks. Untuk mengatasi masalah tersebut, digunakan program *OptiCutter* berbasis *website* yang dapat mengolah data dengan optimal.

Pier Head

Pada sebuah konstruksi, pilar/*pier* memiliki beberapa bagian yaitu *pier head* atau kepala pilar dan

badan pilar. *Pier head* atau kepala pilar merupakan istilah yang dipakai pada pilar jembatan, dimana *pier head* ini dapat didefinisikan sebagai bagian dari pilar jembatan yang memiliki fungsi sebagai pemikul ujung perletakan jembatan, antara *girder*/gelagar dan *bearing pad* atau elastomer sebagai dampalan *girder* ke *pier head*. Bagian berikutnya badan pilar, merupakan dinding atau kolom pada bagian pilar jembatan yang berfungsi meneruskan gaya dari *pier head* pada pondasi (Situs Teknik Sipil, 2017).

Bar Bending Schedule (BBS)

Bar Bending Schedule adalah daftar pola pembengkokan tulangan yang meliputi data diameter, bentuk, panjang dan jumlah tulangan. Untuk membuat *Bar Bending Schedule* diperlukan data-data gambar teknis dari pihak konsultan, data mengenai jumlah dan ukuran baja tulangan yang digunakan, data mengenai jumlah dan dimensi bagian yang dikerjakan serta tabel-tabel yang dibutuhkan. Daftar bengkokan batang tulangan umumnya berisi batang tulangan maupun yang dibengkok, dan menyajikan semua dimensi detail batang tulangan termasuk bengkokannya, serta informasi mengenai mutu baja tulangan dan jumlah yang digunakan. Daftar batang tulangan jenis yang demikian dapat pula digunakan untuk tambahan keterangan pada daftar detail bengkokan, dan gambar pemasangan (Wiguna, 2007).

Cutting Optimization (Optimasi Potongan)

Optimasi potongan adalah masalah pengoptimalan klasik. Hal ini terjadi di industri mana pun yang memiliki stok bersifat "linier". Berbagai pola pemotongan dimungkinkan untuk memenuhi kebutuhan seperti pipa, batang baja, gulungan film, industri kertas, dan lain-lain (CutSolution, 2019).

Program OptiCutter

Opticutter adalah program hitung berbasis *website* (*online*) untuk optimalisasi potongan. Program ini dapat mengoptimalkan potongan dalam 1 dimensi (contoh: besi) dan 2 dimensi (contoh: bekisting). *OptiCutter* dapat menemukan solusi terbaik dengan menggunakan algoritma (*optiCutter*, 2023).

Waste

Waste atau sampah dalam konteks pengendalian biaya material proyek berarti sisa material yang sudah tidak dapat dipakai lagi. Pada proyek gedung, *waste* material ini merupakan masalah yang penting. Pelaku konstruksi sering tidak menyadari betapa *waste* ini telah membuat biaya proyek menjadi tidak terkendali sehingga terjadi pembengkakan biaya/*cost overrun*. Mengenai berapa besaran *waste* itu sendiri, belum pernah diteliti secara spesifik di Indonesia (Suanda, 2011).

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada trase Proyek JORR *Elevated* yang memiliki 2 lajur dengan kondisi *Tangent Alignment* atau pada lajur lurus, sedangkan pada kondisi tikungan atau *Circle & Spiral Alignment* tidak dibahas dalam studi kasus ini. Waktu penelitian dilakukan pada bulan April-Mei 2023.

Penelitian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Melakukan pembacaan gambar *Bar Bending Schedule* (BBS) Desain Rev00 dan Desain Rev01
2. Input detail BBS pada *Microsoft Excel*
3. Input data BBS *Microsoft Excel* pada *website OptiCutter*

4. Analisa dan pembahasan
 Poin ini menganalisa perbandingan antara desain rev00 dan desain rev01 dari sisi *waste*, jumlah pengadaan, dan harga besi. Sumber harga besi diambil dari *website* www.smsperkasa.com dengan rincian sebagai berikut:

- D10 : Rp83.700/batang/12m
- D13 : Rp141.000/batang/12m
- D16 : Rp214.300/batang/12m
- D19 : Rp305.100/batang/12m
- D22 : Rp408.300/batang/12m
- D25 : Rp526.700/batang/12m
- D29 : Rp615.300/batang/12m
- D32 : Rp703.900/batang/12m

Harga tersebut dikalikan dengan hasil perhitungan jumlah pengadaan besi sehingga dapat dilakukan perbandingan. Jika harga besi pada desain rev01 lebih kecil dari harga besi desain rev00 maka telah terjadi penghematan biaya (*saving*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam dunia konstruksi, perubahan desain adalah hal yang tidak bisa dihindari. Perubahan desain rencana dapat diakibatkan oleh banyak faktor seperti perubahan

rencana pembebanan dan kondisi lapangan yang tidak memungkinkan. Pada proyek JORR *Elevated* ini kedua faktor tersebut menjadi pertimbangan dalam melakukan perubahan desain. *Pier Head* Sentris 2L-01 adalah desain awal dari keseluruhan *pier head* yang menopang *Super-T Girder*. Namun *pier head* sentris tersebut hanya dapat diterapkan di kondisi normal dengan lahan yang cukup. Untuk mengatasi hal tersebut, konsultan perencana membuat *pier head* eksentris. *pier head* ini adalah *pier head* dengan *cantilever* dengan batas maksimum 2,5 meter. Jika lebih 2,5 meter maka *pier head* harus menggunakan desain portal. *Pier head* Sentris dan Eksentris ini tidak dikonstruksi secara langsung dilokasi (*cast in place*) melainkan akan dikonstruksi secara *precast*. Untuk mengurangi ragam variasi pada *pier head* eksentris, dilakukan *grouping* menjadi 3 kategori, yaitu: 2L-07 Eksentrisitas 0,00-0,70 m; 2L-07 Eksentrisitas 0,70-1,70 m, dan 2L-07 Eksentrisitas 1,70-2,50 m. Sedangkan *pier head* Sentris 2L-01 hanya memiliki 1 kategori dikarenakan posisi *Center Line Main Road* yang tepat berada pada *Center Line of Pier*.

Pier Head 2L-01

Perbandingan Waste

Hasil perhitungan *waste* pada PH 2L-01 Rev 00 dan PH 2L-01 Rev 01 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan *waste* PH-2L-01-REV00 & PH-2L-01-REV01

Diameter (mm)	Waste		Deviasi	Keterangan
	PH 2L-01-REV00	PH 2L-01-REV01		
D10	1,2500%	1,0972%	0,1528%	Berkurang
D13	0,0000%	0,0000%	0,0000%	Tetap
D16	0,1635%	0,2068%	-0,0434%	Bertambah
D19	1,5208%	1,2431%	0,2778%	Berkurang
D22	0,0000%	0,0000%	0,0000%	Tetap
D25	0,0000%	0,0000%	0,0000%	Tetap
D29	0,0000%	0,0000%	0,0000%	Tetap
D32	0,0000%	0,0000%	0,0000%	Tetap

Berdasarkan Tabel 1, *waste* besi dengan diameter 13, 22, 25, 29, dan 32 tidak mengalami perubahan. Besi diameter 16 mengalami peningkatan *waste* sebesar 0,0434%. Besi diameter 10 dan 19 mengalami penurunan *waste* sebesar masing-masing 0,1528% dan 0,2778%.

Perbandingan Pengadaan Besi

Hasil perhitungan pengadaan besi pada PH 2L-01 Rev 00 dan PH 2L-01 Rev 01 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan pengadaan besi PH-2L-01-REV00 & PH-2L-01-REV01

Diameter (mm)	Jumlah Besi (bh)		Deviasi	Keterangan
	PH 2L-01-REV00	PH 2L-01-REV01		
D10	12	12	0	Tetap
D13	2	2	0	Tetap
D16	94	98	-4	Bertambah
D19	60	60	0	Tetap
D22	35	35	0	Tetap
D25	0	0	0	Tetap
D29	5	5	0	Tetap
D32	7	7	0	Tetap

Berdasarkan Tabel 2, hanya jumlah pada besi 16 yang mengalami peningkatan sebanyak 4 buah dan sisanya tidak mengalami perubahan.

Perbandingan Harga Besi

Hasil perhitungan harga besi pada PH 2L-01 Rev 00 dan PH 2L-01 Rev 01 dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan harga besi PH-2L-01-REV00 & PH-2L-01-REV01

Diameter (mm)	Harga		Deviasi	Keterangan
	PH 2L-01-REV00	PH 2L-01-REV01		
D10	Rp1.004.400,00	Rp1.004.400,00	Rp0,00	Tetap
D13	Rp282.000,00	Rp282.000,00	Rp0,00	Tetap
D16	Rp20.144.200,00	Rp21.001.400,00	-Rp857.200,00	Bertambah
D19	Rp18.306.000,00	Rp18.306.000,00	Rp0,00	Tetap
D22	Rp14.290.500,00	Rp14.290.500,00	Rp0,00	Tetap
D25	Rp0,00	Rp0,00	Rp0,00	Tetap
D29	Rp3.076.500,00	Rp3.076.500,00	Rp0,00	Tetap
D32	Rp4.927.300,00	Rp4.927.300,00	Rp0,00	Tetap

Berdasarkan Tabel 3, hanya biaya pada besi 16 yang mengalami peningkatan sebesar Rp857.200 dan sisanya tidak mengalami perubahan.

Pier Head 2L-07 E 0,00-0,70 m

Perbandingan Waste

Hasil perhitungan *waste* pada PH 2L-07 E 0,7 Rev 00 dan PH 2L-07 E 0,7 Rev 01 dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan *waste* PH-2L-07 E0.7-REV00 & PH-2L-07 E0.7-REV01

Diameter (mm)	Waste		Deviasi	Keterangan
	PH 2L-07 E=0.70M-REV00	PH 2L-07 E=0.70M-REV01		
D10	0,4028%	0,4028%	0,0000%	Tetap
D13	0,0000%	0,0000%	0,0000%	Tetap
D16	0,1970%	0,5172%	-0,3202%	Bertambah
D19	1,8935%	1,8935%	0,0000%	Tetap
D22	3,0000%	0,0000%	3,0000%	Berkurang
D25	0,0000%	0,0000%	0,0000%	Tetap
D29	0,0000%	0,0000%	0,0000%	Tetap
D32	0,0000%	0,0000%	0,0000%	Tetap

Berdasarkan Tabel 4, *waste* besi diameter 16 mengalami peningkatan 0,3202%, sedangkan *waste* besi diameter 22 mengalami penurunan *waste* sebesar 3%.

Perbandingan Pengadaan Besi

Hasil perhitungan pengadaan besi pada PH 2L-07 E 0,7 Rev 00 dan PH 2L-07 E 0,7 Rev 01 dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan pengadaan besi PH-2L-07 E0.7-REV00 & PH-2L-07 E0.7-REV01

Diameter (mm)	Jumlah Besi (bh)		Deviasi	Keterangan
	PH 2L-07 E=0.70M-REV00	PH 2L-07 E=0.70M-REV01		
D10	12	12	0	Tetap
D13	2	2	0	Tetap
D16	90	90	0	Tetap
D19	66	66	0	Tetap
D22	34	34	0	Tetap
D25	0	0	0	Tetap
D29	2	2	0	Tetap
D32	8	8	0	Tetap

Berdasarkan Tabel 5, tidak terdapat perubahan jumlah pengadaan besi.

Perbandingan Harga Besi

Hasil perhitungan harga besi pada PH 2L-07 E 0,7 Rev 00 dan PH 2L-07 E 0,7 Rev 01 dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan harga besi PH-2L-07 E0.7-REV00 & PH-2L-07 E0.7-REV01

Diameter (mm)	Harga		Deviasi	Keterangan
	PH 2L-07 E=0.70M-REV00	PH 2L-07 E=0.70M-REV01		
D10	Rp1.004.400,00	Rp1.004.400,00	Rp0,00	Tetap
D13	Rp282.000,00	Rp282.000,00	Rp0,00	Tetap
D16	Rp19.287.000,00	Rp19.287.000,00	Rp0,00	Tetap
D19	Rp20.136.600,00	Rp20.136.600,00	Rp0,00	Tetap
D22	Rp13.882.200,00	Rp13.882.200,00	Rp0,00	Tetap
D25	Rp0,00	Rp0,00	Rp0,00	Tetap
D29	Rp1.230.600,00	Rp1.230.600,00	Rp0,00	Tetap
D32	Rp5.631.200,00	Rp5.631.200,00	Rp0,00	Tetap

Berdasarkan Tabel 6, tidak terdapat perubahan biaya. Hal ini linear berdasarkan jumlah pengadaan besi yang juga tidak terdapat perubahan.

Pier Head 2L-07 E 0,07-1,70 m

Perbandingan Waste

Hasil perhitungan *waste* pada PH 2L-07 E 1,7 Rev 00 dan PH 2L-07 E 1,7 Rev 01 dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan *waste* PH-2L-07 E1.7-REV00 & PH-2L-07 E1.7-REV01

Diameter (mm)	Waste		Deviasi	Keterangan
	PH 2L-07 E=1.70M-REV00	PH 2L-07 E=1.70M-REV01		
D10	0,0139%	0,0042%	0,0097%	Berkurang
D13	0,9375%	0,9375%	0,0000%	Tetap
D16	0,5880%	0,4866%	0,1014%	Berkurang
D19	1,2604%	1,9069%	-0,6464%	Bertambah
D22	0,0000%	0,0000%	0,0000%	Tetap
D25	0,0000%	0,0000%	0,0000%	Tetap
D29	0,0000%	0,0000%	0,0000%	Tetap
D32	0,0000%	0,0000%	0,0000%	Tetap

Berdasarkan Tabel 7, *waste* besi diameter 10 dan 16 mengalami penurunan sebesar masing-masing 0,0097% dan 0,1014%, sedangkan *waste* besi diameter 19 mengalami peningkatan sebesar 0,6464%.

Perbandingan Pengadaan Besi

Hasil perhitungan pengadaan besi pada PH 2L-07 E 1,7 Rev 00 dan PH 2L-07 E 1,7 Rev 01 dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Perbandingan pengadaan besi PH-2L-07 E1.7-REV00 & PH-2L-07 E1.7-REV01

Diameter (mm)	Jumlah Besi (bh)		Deviasi	Keterangan
	PH 2L-07 E=1.70M-REV00	PH 2L-07 E=1.70M-REV01		
D10	11	11	0	Tetap
D13	3	3	0	Tetap
D16	97	97	0	Tetap
D19	82	85	-3	Bertambah
D22	4	4	0	Tetap
D25	21	24	-3	Bertambah
D29	2	1	1	Berkurang
D32	10	10	0	Tetap

Berdasarkan Tabel 8, terdapat penambahan jumlah besi sebanyak 3 buah pada besi diameter 19 dan 25. Sedangkan pengurangan jumlah besi terdapat pada besi diameter 29 sebanyak 1 buah.

Perbandingan Harga Besi

Hasil perhitungan harga besi pada PH 2L-07 E 1,7 Rev 00 dan PH 2L-07 E 1,7 Rev 01 dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Perbandingan harga besi PH-2L-07 E1.7-REV00 & PH-2L-07 E1.7-REV01

Diameter (mm)	Harga		Deviasi	Keterangan
	PH 2L-07 E=1.70M-REV00	PH 2L-07 E=1.70M-REV01		
D10	Rp920.700,00	Rp920.700,00	Rp0,00	Tetap
D13	Rp423.000,00	Rp423.000,00	Rp0,00	Tetap

D16	Rp20.787.100,00	Rp20.787.100,00	Rp0,00	Tetap
D19	Rp25.018.200,00	Rp25.933.500,00	-Rp915.300,00	Bertambah
D22	Rp1.633.200,00	Rp1.633.200,00	Rp0,00	Tetap
D25	Rp11.060.700,00	Rp12.640.800,00	-Rp1.580.100,00	Bertambah
D29	Rp1.230.600,00	Rp615.300,00	Rp615.300,00	Berkurang
D32	Rp7.039.000,00	Rp7.039.000,00	Rp0,00	Tetap

Berdasarkan Tabel 9, terdapat kenaikan biaya pada besi diameter 19 dan 25 sebesar masing-masing Rp915.300 dan Rp1.850.100. Sedangkan terdapat pengurangan biaya pada besi diameter 29 sebesar Rp615.300.

Pier Head 2L-07 E 1,70-2,50 m

Perbandingan Waste

Hasil perhitungan *waste* pada PH 2L-07 E 2,5 Rev 00 dan PH 2L-07 E 2,5 Rev 01 dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Perbandingan *waste* PH-2L-07 E2.5-REV00 & PH-2L-07 E2.5-REV01

Diameter (mm)	Waste		Deviasi	Keterangan
	PH 2L-07 E=2.50M-REV00	PH 2L-07 E=2.50M-REV01		
D10	0,0333%	0,0333%	0,0000%	Tetap
D13	0,2292%	0,2292%	0,0000%	Tetap
D16	0,4830%	0,4830%	0,0000%	Tetap
D19	1,3676%	1,3676%	0,0000%	Tetap
D22	0,0000%	0,0000%	0,0000%	Tetap
D25	0,0000%	0,0000%	0,0000%	Tetap
D29	0,0000%	0,0000%	0,0000%	Tetap
D32	0,0000%	0,0000%	0,0000%	Tetap

Berdasarkan Tabel 10, *waste* besi pada seluruh diameter tidak mengalami perubahan.

Perbandingan Pengadaan Besi

Hasil perhitungan pengadaan besi pada PH 2L-07 E 2,5 Rev 00 dan PH 2L-07 E 2,5 Rev 01 dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Perbandingan pengadaan besi PH-2L-07 E2.5-REV00 & PH-2L-07 E2.5-REV01

Diameter (mm)	Jumlah Besi (bh)		Deviasi	Keterangan
	PH 2L-07 E=2.50M-REV00	PH 2L-07 E=2.50M-REV01		
D10	12	12	0	Tetap
D13	3	3	0	Tetap
D16	98	98	0	Tetap
D19	83	83	0	Tetap
D22	4	4	0	Tetap
D25	28	28	0	Tetap
D29	1	1	0	Tetap
D32	10	10	0	Tetap

Berdasarkan Tabel 11, jumlah kebutuhan besi pada seluruh diameter tidak mengalami perubahan.

Perbandingan Harga Besi

Hasil perhitungan harga besi pada PH 2L-07 E 2,5 Rev 00 dan PH 2L-07 E 2,5 Rev 01 dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Perbandingan harga besi PH-2L-07 E2.5-REV00 & PH-2L-07 E2.5-REV01

Diameter (mm)	Harga		Deviasi	Keterangan
	PH 2L-07 E=2.50M-REV00	PH 2L-07 E=2.50M-REV01		
D10	Rp1.004.400,00	Rp1.004.400,00	Rp0,00	Tetap
D13	Rp423.000,00	Rp423.000,00	Rp0,00	Tetap
D16	Rp21.001.400,00	Rp21.001.400,00	Rp0,00	Tetap
D19	Rp25.323.300,00	Rp25.323.300,00	Rp0,00	Tetap
D22	Rp1.633.200,00	Rp1.633.200,00	Rp0,00	Tetap
D25	Rp14.747.600,00	Rp14.747.600,00	Rp0,00	Tetap
D29	Rp615.300,00	Rp615.300,00	Rp0,00	Tetap
D32	Rp7.039.000,00	Rp7.039.000,00	Rp0,00	Tetap

Berdasarkan Tabel 12, tidak terdapat kenaikan maupun penurunan biaya pada seluruh besi.

KESIMPULAN

1. Pier Head 2L-01

Besi D16 mengalami peningkatan *waste* sebesar 0,0434%. Besi D10 dan D19 mengalami penurunan *waste* sebesar masing-masing 0,1528% dan 0,2778%. Besi D16 bertambah sebanyak 4 buah. Biaya pada besi D16 mengalami peningkatan sebesar Rp857.200.

2. Pier Head 2L-07 Eksentrisitas 0,00-0,70 m

Waste besi D16 mengalami peningkatan sebesar 0,3202%, sedangkan *waste* besi D22 mengalami penurunan *waste* sebesar 3%. Tidak terdapat perubahan jumlah pengadaan dan biaya.

3. Pier Head 2L-07 Eksentrisitas 0,70-1,70 m

Waste besi D10 dan D16 mengalami penurunan sebesar masing-masing 0,0097% dan 0,1014%, sedangkan *waste* besi diameter 19 mengalami peningkatan sebesar 0,6464%. Terdapat penambahan besi sebanyak 3 buah pada besi D19 dan D25. Sedangkan pengurangan jumlah besi terdapat pada besi D29 sebanyak 1 buah. Terdapat kenaikan biaya pada besi D19 dan D25 sebesar masing-masing Rp915.300 dan Rp1.850.100. Sedangkan pada besi D29 terdapat pengurangan biaya sebesar Rp615.300.

4. Pier Head 2L-07 Eksentrisitas 1,70-2,50 m

Tidak terdapat perubahan *waste* dan jumlah pengadaan besi. Hal ini menandakan bahwa konfigurasi *Bar Bending Schedule* (BBS) pada desain awal dan desain rev01 tidak mengalami perubahan/tetap. Kemungkinan perubahan terjadi pada konfigurasi tendon yang tidak dibahas dalam studi kasus ini.

DAFTAR PUSTAKA

- CutSolution. (2019). One Dimensional Cutting Optimization. Retrieved from CutSolution: <https://www.cutsolution.com/>
- Dipohusodo, I. (1994). Struktur Beton Bertulang. Jakarta: Gramedia.
- Direktoral Jenderal Bina Marga. (1997). Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI). Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Grigg, N. (1998). Infrastructure Engineering and Management. John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Ijintender. (2022, Mei 17). Mengenal Girder, Komponen Penting Dalam Pembangunan Jembatan. Retrieved from Ijintender: <https://www.ijintender.co.id/artikel/mengenal-girder-komponen-penting-dalam-pembangunan-jembatan>
- Muntohar, S. (2007). Jembatan (Edisi Ke-IV). Yogyakarta: Beta Offset.
- optiCutter. (2023, Maret 28). Easy to use cutting optimization software. Retrieved from optiCutter: <https://www.opticutter.com/>
- PT. KUALITAS INDONESIA SISTEM. (2021, November 2). JSA - Job Safety Analysis. Retrieved from PT. KUALITAS INDONESIA SISTEM: <https://kiscerti.co.id/artikel/jsa-job-safety-analysis>
- SITUS TEKNIK SIPIL. (2017, Februari 19). Perhitungan Pilar Jembatan. Retrieved from SITUS TEKNIK SIPIL: <https://www.situstekniksipil.com/2017/02/penger-tian-pilar-jembatan-pilar-atau.html>
- SMS PERKASA. (2023, Maret 16). Harga dan Ukuran Besi Beton. Retrieved from SMS PERKASA: <https://www.smsperkasa.com/produk/besi-beton>
- Suanda, B. (2011, Februari 10). SOWB. Retrieved from Manajemen Proyek Indonesia: <https://manajemenproyekindonesia.com/?p=6>
- Wiguna, I. P. (2007). Peningkatan Kompetensi Sumber Daya di Industri Konstruksi dalam Melakukan Optimalisasi Sistem Pembesian Struktur dengan Berbasis Web Based Training. Institut Teknologi 10 Nopember.
- Wikipedia. (2022, November 3). Jalan Layang. Retrieved from Wikipedia Ensiklopedia Bebas: https://id.wikipedia.org/wiki/Jalan_layang