

Journal homepage: <http://jos-mrk.polinema.ac.id/> ISSN: 2722-9203 (media online/daring)

## PERBANDINGAN BOX GIRDER DENGAN I-GIRDER MENGGUNAKAN METODE BALANCED CANTILEVER PADA JALAN TOL PANDAAN-MALANG STA. 35+380

Rahma Maulidia Arzanti<sup>1</sup>, Nawir Rasidi<sup>2</sup>, Suhariyanto<sup>3</sup>

D-IV Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang<sup>1</sup>, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang<sup>2,3</sup>

Email: [rahmaarzanti@gmail.com](mailto:rahmaarzanti@gmail.com)<sup>1</sup>, [nawirrasidi@gmail.com](mailto:nawirrasidi@gmail.com)<sup>2</sup>, [suhariyanto.polinema@gmail.com](mailto:suhariyanto.polinema@gmail.com)<sup>3</sup>

### ABSTRAK

Suatu jembatan pada Sta.35+380 jalan tol Pandaan-Malang yang memiliki bentang 96,449 meter menggunakan perencanaan struktur atas dengan I-girder, dimana jembatan dengan bentang lebih dari 40 sampai 50 m dalam standart bina marga bisa juga menggunakan perencanaan dengan box girder cantilever, oleh karena itu pada studi ini akan membandingkan lebih optimal menggunakan struktur atas dengan I-girder atau box girder cantilver dalam segi desain, biaya, waktu, dan K3. Data yang dibutuhkan pada pekerjaan studi ini adalah data primer yaitu gambar perencanaan jembatan pada jalan tol pandaan-malang Sta. 35+380 menggunakan box-girder, dan data sekunder gambar eksisting jembatan Sta. 35+380 bentang 96,449 m. Acuan peraturan yang digunakan oleh penulis antara lain perencanaan struktur beton pada jembatan (SNI-T-12-2004) dan pembebanan untuk jembatan (SNI no.1725 tahun 2016). Perbandingan volume beton yang dibutuhkan box girder lebih kecil dari I-girder yaitu sebesar 1378,08 m<sup>3</sup> sedangkan I-girder sebesar 1794,0206 m<sup>3</sup>. Untuk perbandingan pengaplikasian box girder metode cast in situ balanced cantilever dengan I-girder metode precast erection girder dari segi K3 memiliki tingkat resiko yang lebih tinggi, dan dari segi waktu box cantilever membutuhkan waktu pemasangan selama 77 hari sedangkan pengaplikasian I-girder membutuhkan waktu pemasangan selama 32 hari. Selanjutnya, pada segi biaya nilai yang dikeluarkan box girder sebesar Rp 2,483,177,815.12 sedangkan untuk I-girder sebesar Rp2,703,399,762.93, dari segi biaya nilai yang dibutuhkan oleh I-girder lebih rendah daripada box girder. Oleh karena itu kesimpulan dari studi ini adalah pengaplikasian box girder dengan metode cast in situ balance cantilever tidak optimum sebagai pengganti I-girder dengan metode pada jalan tol Pandaan-Malang Sta.35+380.

**Kata kunci :** Box girder segmental, Tendon kantilever, Tendon menerus, *Metode cast in situ balance cantilever.*

### ABSTRACT

*A bridge on Sta.35 + 380 Pandaan-Malang toll road that has a span of 96,449 meters using the upper structure planning with I-girder, where bridges with spans of more than 40 to 50 meters in the Bina Marga standard can also use planning with box cantilever girder, therefore in this study it will be more optimal to compare using the top structure with I-girder or cantilver box girder in terms of design, cost, time, and K3. The data needed for this study work time is primary data the picture of bridge planning on the pandaan-malang toll road Sta. 35 + 380 using box-girders, and secondary data of the existing bridge Sta. 35 + 380 spans 96,449 m. Reference rules used by the author include planning concrete structures on bridges (SNI-T-12-2004) and loading for bridges (SNI no.1725 in 2016). Comparison of the volume of concrete required by the box girder is smaller than the I-girder that is 1378.08 m<sup>3</sup> while the I-girder is 1794.0206 m<sup>3</sup>. To participate the application of the cast girder box method in a balanced cantilevered place with the I-girder precast girder erection method in terms of K3 32 days. Furthermore, in terms of the value of the cost incurred by the box girder of Rp 2,483,177,815.12 while for the I-girder of Rp 2,703,399,762.93, in terms of the value cost required by the I-girder is lower than the girder box. Therefore the conclusion of this study is that the application of box girder with the cast in situ balance cantilever method is not optimal as substitute I-girder with the method on the Pandaan-Malang Sta.35 + 380 toll road.*

**Keywords :** *Segmental box girder, Cantilever tendon, Continous tendon, Balance cantilever with traveler method.*

## 1. PENDAHULUAN

Pembangunan jalan tol kini menjadi salah satu alternatif yang dapat meminimalisir akibat meningkatnya penduduk di Indonesia. Hal ini menjadi salah satu alternatif yang diambil oleh pemerintah Kota Malang. Dengan adanya jalan tol menuju kota Malang dapat memberikan waktu tempuh yang lebih cepat dan dapat memberikan akses yang efisien sehingga bisa ditempuh dari berbagai kota.

Proyek ini dikerjakan oleh PT. PP yang mencakup wilayah 3 wilayah yaitu Kabupaten Pasuruan, Kabupaten Malang, dan Kota Malang. Mengingat proyek ini terdiri dari pekerjaan dalam volume masif, maka perencanaan strukturnya harus dikerjakan dengan baik dan mengacu pada regulasi yang berlaku, agar bangunan tersebut memenuhi aspek keamanan dan kenyamanan berkendara. Selain itu, perencanaan tersebut juga harus memerhatikan kondisi tanah pada wilayah tersebut, karena terdapat beberapa kontur curam seperti jurang, lembah, atau gunung.

Sehubungan hal tersebut, maka ditinjau salah satu lokasi jembatan pada proyek tol Pandaan Malang, yang terletak di sta 35+380 dengan panjang bentang 96,449 m. Struktur ini direncanakan menggunakan beton prategang dengan menggunakan girder. Untuk keperluan studi, akan dilakukan perbandingan antara box girder dengan girder, untuk mencari alternatif terbaik jika ditinjau dari segi biaya, waktu, serta faktor K3l. Pembahasan tersebut akan disusun pada skripsi berjudul "Studi perbandingan pengaplikasian box girder sebagai pengganti I girder".

## 2. METODE

Metode yang akan digunakan dalam perencanaan box girder pada jalan tol Pandaan-Malang Sta.35+380 yaitu Metode balanced cantilever dengan traveler

### A. Perencanaan dimensi box girder

Untuk menentukan perencanaan dimensi pada box girder, dapat diperoleh dari lebar jembatan dan panjang jembatan yang telah diketahui pada data sekunder. Dimana dari data lebar serta panjang jembatan dapat membantu menentukan detail dimensi pada box girder yaitu :

- Tinggi box-girder

Untuk menentukan tinggi balok box girder (h) digunakan rumus :

$$\frac{L}{30} \leq h \leq \frac{L}{15}$$

- Ketebalan minimum web box girder

- 300 mm jika terdapat saluran untuk penempatan post tensioning tendons pada badan box.
- 350 mm terdapat anker tendon yang ditempatkan pada badan box.
- Ketebalan minimum top flange box girder
  - Untuk lebar antar badan box < 3m (tf = 175mm)

- Untuk lebar antar badan box antara 3 – 4.5mm (tf = 200mm)
- Untuk lebar antar badan box antara 4.5 – 7.5 mm (tf = 250mm)

### B. Perhitungan pembebanan struktur atas

Perhitungan pembebanan pada struktur atas dibutuhkan untuk merencanakan umur bangunan serta menentukan perkuatan yang dibutuhkan, pada kali ini juga digunakan untuk menentukan jumlah tendon pada perencanaan box girder, pembebanan struktur atas yang dianalisa adalah :

- Beban mati
- Beban hidup
- Beban angin
- Pengaruh gempa
- Gaya rem (TB)
- Kombinasi beban
- Faktor reduksi kekuatan

### C. Menentukan jumlah dan peletakkan tendon

Untuk menentukan jumlah tendon yang dibutuhkan dapat dianalisis dengan besarnya nilai momen dan tegangan pada box girder, setelah itu dapat menentukan gaya prategang yang dibutuhkan dan dapat memilih jenis tendon serta dapat menentukan detail tendon, dari jenis tendon yang sudah dipilih akan dilakukan perhitungan jumlah kebutuhan tendon karena sudah dapat mengetahui diameter serta luasan yang disyaratkan pada jenis tendon tersebut.

### D. Kontrol

- Kontrol tegangan
  - 1) Pada kondisi awal
 
$$f_{a,b} = -\frac{F}{A} \pm \frac{F_o.e.y}{I_g} \pm \frac{Mg.y}{I_g}$$
  - 2) Setelah kehilangan gaya prategang
 
$$f_{a,b} = -\frac{F}{A} \pm \frac{F.e.y}{I_g} \pm \frac{Mg.y}{I_g}$$
  - 3) Setelah beban hidup bekerja
 
$$f_{a,b} = -\frac{F}{A} \pm \frac{F.e.y}{I_g} \pm \frac{ML.y}{I_g}$$
- Tegangan batas yang diijinkan: ( SNI 03-7833-2012, Pasal 6.4 )
  - 1) Pada kondisi awal ( Sebelum kehilangan )
 
$$f = 0,7 \cdot \sqrt{f'ci} \text{ tekan}$$

$$f = 0,5 \cdot \sqrt{f'ci} \text{ Tarik}$$
  - 2) Pada kondisi akhir ( Setelah kehilangan dan beban layan )
 
$$f = 0,6 \cdot \sqrt{f'c} \text{ tekan}$$

$$f = 0,5 \cdot \sqrt{f'c} \text{ Tarik}$$

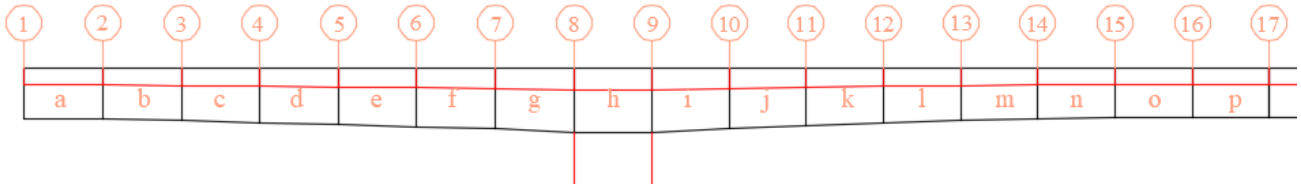
$$f'ci = \text{Kuat tekan beton saat pemberian prategang awal}$$

$$= 0,80 \cdot f'c$$
- Kontrol lendutan

- a.  $\delta_{tot} = \delta_e + \delta_g$
- b.  $\delta_{tot} < L_x/240$

**E. Perencanaan dimensi box girder**

Dari bantuan aplikasi SAP 2000 yang telah menyesuaikan perencanaan dengan AASHTO maka didapatkan 17 segmental box girder.



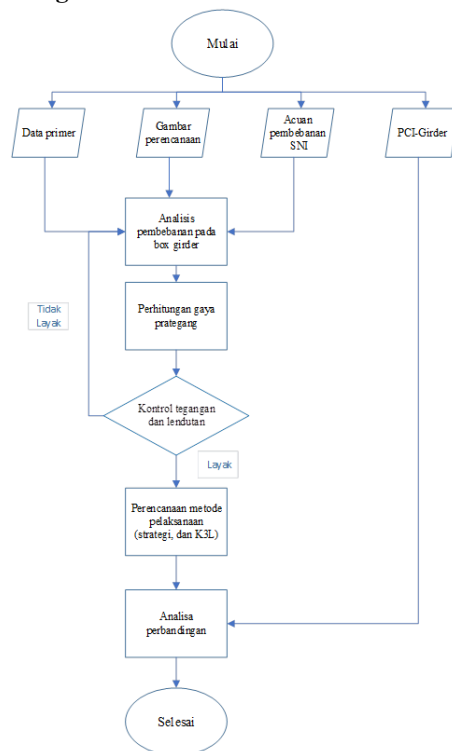
**Gambar 1.** Potongan memanjang perencanaan box girder

Dan hasil segmental seperti berikut :

**Tabel 1.** Dimensi box girder

Segmen	Panjang box girder kumulatif	Panjang box girder	Tinggi
Satuan	m	m	m
1	0.000	3.038	1.905
2	3.038	3.038	1.979
3	6.077	3.038	2.053
4	9.115	3.038	2.127
5	12.154	3.038	2.201
6	15.192	3.038	2.275
7	18.230	3.038	2.348
8	21.269	3.038	2.496
9	24.307	2.990	2.496
10	27.297	2.990	2.357
11	30.286	2.990	2.238
12	33.276	2.990	2.136
13	36.266	2.990	2.053
14	39.255	2.990	1.988
15	42.245	2.990	1.942
16	45.235	2.990	1.914
17	2.990	1.905	1.905
1	0.000	3.038	1.905

**F. Diagram alir**



**Gambar 2.** Diagram Alir

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Analisa struktur**

Didapatkan hasil kombinasi momen dan geser pada segmen 1-35 yang telah di lampirkan pada **tabel 2** dan **tabel 3**.

**Tabel 2.** Hasil kombinasi momen

Segmen	Jarak	Kombinasi Beban Momen					
	X	KOMB I (MS+MA+TD+TB)	KOMB II (MS+MA+EW)	KOMB III (MS+MA)	KOMB IV (MS+MA+TD+TB+EW)	KOMB V (MS+MA+EQ)	KOMB VI (MS+MA+TD+TB+EW+EQ)
Satuan	m	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm
1	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

2	3.03838	6591.798	4941.819	4774.728	6758.888	5523.306	7507.466
3	6.07675	7984.138	6171.194	5963.727	8191.605	6893.194	9121.071
4	9.11513	4156.162	3667.268	3546.139	4277.292	4088.806	4819.959
5	12.1535	-4912.987	-2590.818	-2498.895	-5004.909	-2910.716	-5416.730
6	15.19188	-19244.166	-12623.920	-12192.231	-19675.856	-14126.229	-21609.853
7	18.23025	-38858.235	-26452.897	-25554.728	-39756.404	-29578.591	-43780.268
8	21.26863	-63776.050	-44098.607	-42607.243	-65267.414	-49288.661	-71948.832
9	24.307	-94026.727	-65590.164	-63378.892	-96238.000	-73285.552	-106144.660
10	27.29669	-55003.581	-38195.637	-36904.361	-56294.857	-42689.371	-62079.866
11	30.28638	-21148.828	-14529.856	-14035.910	-21642.774	-16248.822	-23855.686
12	33.27606	7566.277	5435.936	5255.220	7746.993	6064.841	8556.614
13	36.26575	31163.243	21723.232	20990.520	31895.956	24273.126	35178.561
14	39.25544	49663.477	34353.437	33191.392	50825.521	38397.436	56031.565
15	42.24513	63088.312	43347.892	41879.182	64557.023	48459.109	71136.950
16	45.23481	71459.123	48727.974	47075.265	73111.831	54479.518	80516.085
17	48.2245	74797.358	50515.123	48801.081	76511.399	56480.111	84190.430

Sumber: Hasil perhitungan

**Tabel 3.** Hasil kombinasi geser

Segmen	jarak	Kombinasi Beban Geser					
	X	KOMB I (MS+MA+TD+TB)	KOMB II (MS+MA+EW)	KOMB III (MS+MA)	KOMB IV (MS+MA+TD+TB+EW)	KOMB V (MS+MA+EQ)	KOMB VI (MS+MA+TD+TB+EW+EQ)
Satuan	m	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm
1	0	-3022.857	-2235.104	-2159.259	-3098.702	-2499.053	-3438.496
2	3.03838	-1351.181	-1403.342	-1427.728	-712.278	-1292.708	-1502.121
3	6.07675	280.309	361.296	366.698	151.565	260.605	441.114
4	9.11513	1922.499	2136.634	2171.825	1020.826	1824.619	2391.220
5	12.1535	3575.387	3922.670	3987.650	1895.505	3399.330	4348.190
6	15.19188	5238.971	5719.401	5814.170	2775.599	4984.738	6312.021
7	18.23025	6913.255	7526.833	7651.391	3661.112	6580.845	8282.722
8	21.26863	8598.237	9344.963	9499.310	4552.042	8187.650	10260.285
9	24.307	10306.459	11186.332	11370.468	5454.661	9817.696	12252.865
10	27.29669	-11342.550	-12414.116	-12619.298	-5979.100	-10852.308	-13761.567
11	30.28638	-9682.361	-10622.914	-10798.784	-5101.729	-9269.043	-11813.755
12	33.27606	-8033.148	-8842.687	-8989.245	-4229.813	-7696.754	-9873.122
13	36.26575	-6394.878	-7073.403	-7190.649	-3363.334	-6135.407	-7939.645
14	39.25544	-4767.549	-5315.060	-5402.995	-2502.292	-4585.002	-6013.323
15	42.24513	-3151.165	-3567.661	-3626.285	-1646.689	-3045.542	-4094.157
16	45.23481	-1545.732	-1831.215	-1860.526	-796.529	-1517.033	-2182.156
17	48.2245	48.225	-106.244	-106.244	48.225	0.000	-278.042

Sumber: Hasil Perhitungan

**Perencanaan tendon kantilever**

(Perhitungan pada segmen 8)

- Gaya prategang efektif yang dibutuhkan (F)

$$\begin{aligned}
 F &= Mg / 0,65 \cdot H \\
 &= 42607,243 / 0,65 \cdot 2,496 \\
 &= 26263,544 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Gaya prategang kehilangan fase Tarik 20 % (Fo)

$$\begin{aligned}
 F_o &= F / 0,8 \\
 &= 26263,544 / 0,8 \\
 &= 32829,430 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Strand yang dibutuhkan (n)

$$n = F_o / f_{pu}$$

- = 32829,430 / 1860
- = 17,650 (digunakan 36)
- Jumlah tendon = 2
- Jumlah strand komulatif = 162
- F (sesuai VSL) =  $\Sigma$  strand komulatif . Beban putus nominal (VSL)
- = 162 . 260,7
- = 42233,4 kN
- Total jumlah strand pada segmen
- = 162 . 2
- = 324
- Gaya prategang yang digunakan sesuai VSL (F)
- = 42233,4 . 2
- = 84466,8 kN
- Gaya prategang kehilangan fase tarik yang digunakan sesuai VSL (Fo)
- = F / 0,8
- = 84466,8 / 0,8
- = 105583,5 kN

**Kontrol tegangan**

a. Serat atas

$$f_o = -\frac{F}{A} - \frac{F_o \cdot e \cdot y}{Ix} + \frac{Mg \cdot y}{Ix}$$

$$= -\frac{84466,8}{7,250} - \frac{105583,5 \cdot 0,643 \cdot 0,855}{12,302} + \frac{42607,243 \cdot 0,855}{12,302}$$

$$= -13448,1 \text{ kN}$$

$$= -13,4481 \text{ MPa} < 0 \text{ (ok)}$$

b. Serat bawah

$$f_o = -\frac{F}{A} + \frac{F_o \cdot e \cdot y}{Ix} - \frac{Mg \cdot y}{Ix}$$

$$= -\frac{84466,8}{7,250} + \frac{105583,5 \cdot 0,643 \cdot 1,640}{12,302} - \frac{42607,243 \cdot 1,640}{12,302}$$

$$= -8202,33$$

$$= -8,20233 < 27 \text{ MPa (ok)}$$

Abaikan tanda (-)

**Perencanaan tendon menerus**

(Perhitungan pada segmen 8)

- Gaya prategang efektif yang dibutuhkan (F)

$$F = MT / 0,65 \cdot H$$

$$= -63776,050 / 0,65 \cdot 2,496$$

$$= -39312,216 \text{ kN}$$

- Gaya prategang kehilangan fase Tarik 20 % (Fo)

$$F_o = F / 0,8$$

$$= -39312,216 / 0,8$$

$$= -49140,269 \text{ kN}$$

- Strand yang dibutuhkan (n)

$$n = F_o / f_{pu}$$

$$= -39312,216 / 1860$$

$$= -26,419 \text{ (digunakan 40)}$$

- Jumlah tendon = 4

- Jumlah strand komulatif = 160
- F (sesuai VSL) =  $\Sigma$  strand komulatif . Beban putus nominal (VSL)
- = 160 . 260,7
- = 41712 kN
- Gaya prategang kehilangan fase tarik yang digunakan sesuai VSL (Fo)
- = F / 0,8
- = 41712 / 0,8
- = 52140 kN

**Kontrol tegangan**

a. Serat atas

$$f_o = -\frac{F}{A} - \frac{F_o \cdot e \cdot y}{Ix} + \frac{MT \cdot y}{Ix}$$

$$= -\frac{41712}{7,250} - \frac{41712 \cdot 0,643 \cdot 1,640}{12,302} + \frac{9776,250 \cdot 1,640}{12,302}$$

$$= -8632,777 \text{ kN}$$

$$= -8,633 + (-13,4481)$$

$$= -22,081 \text{ MPa} < 0 \text{ (ok)}$$

b. Serat bawah

$$f_o = -\frac{F}{A} + \frac{F_o \cdot e \cdot y}{Ix} - \frac{MT \cdot y}{Ix}$$

$$= -\frac{7821}{7,250} + \frac{7821 \cdot 0,643 \cdot 0,855}{12,302} - \frac{9776,250 \cdot 0,855}{12,302}$$

$$= 6114,799 \text{ kN}$$

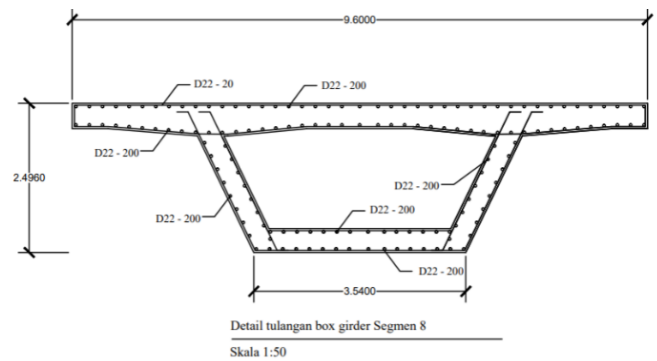
$$= 6,115 + (-8,202)$$

$$= -2,008 \text{ MPa} < 27 \text{ (ok)}$$

Abaikan tanda (-)

**Penulangan box girder**

- Slab atas menggunakan tulangan D22-20
- Slab tengah dan bawah menggunakan tulangan D22-200



**Gambar 3.** Penulangan box girder

**Kontrol lendutan**

- Lendutan total

a.  $\delta_{tot1} = \delta e_1 + \delta g_1$

$$= 0,200 + 0,078$$

$$= 0,279 < 12,66 \text{ (OK)}$$

b.  $\delta_{tot2} = \delta e_2 + \delta g_2$

$$= 0,033 + 0,070$$

$$= 0,103 < 12,457 \text{ (OK)}$$

### Analisa perbandingan

#### a) Box girder

$$\begin{aligned} \text{- Volume box girder} &= A \cdot l \\ &= 6,278 \cdot 3,038 \\ &= 20,442 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Volume box girder total

$$\begin{aligned} &= (\sum \text{Volume box girder segmen} \\ &\quad 1-16 \cdot 2 + \text{segmen 17}) \\ &= 1378 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

#### - Metode yang digunakan

Metode yang digunakan pada perencanaan box girder kali ini menggunakan cast in situ balanced cantilever dengan traveler.

#### - Durasi pekerjaan

Berikut merupakan durasi pekerjaan box girder dengan metode cast in situ balanced cantilever menggunakan bantuan Ms.Project dan didapatkan durasi waktu selama 77 hari. (terlampir)

#### - Analisa biaya dari alat yang digunakan

Alat yang digunakan untuk perencanaan box girder dengan metode cast in situ balanced cantilever menggunakan form traveller. Harga sewa form traveller Rp 220,000,000,- /set/ bulan.

#### b) I-girder

#### - Volume

$$\begin{aligned} \text{Total volume yang dibutuhkan} &= (\sum \text{volume section} \cdot 2) + \sum \text{slab} \\ &= 1794020000000 \text{ mm}^3 \\ &= 1794,0206 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

#### - Metode yang digunakan

Metode yang digunakan pada pengaplikasian I-girder adalah metode erection girder menggunakan crane.

#### - Durasi

Berikut merupakan durasi pekerjaan I-girder dengan metode precast erection girder menggunakan bantuan Ms.Project dan didapatkan total durasi yang dibutuhkan selama 32 hari. (terlampir)

#### - Analisa biaya dari alat yang digunakan

Alat yang digunakan untuk perencanaan I-girder dengan metode precast erection girder dengan mobile crane. Harga sewa mobile crane Rp 90,000,000,- / set / bulan.

b) Pengaplikasian I-girder dengan metode precast erection girder lebih optimal karena jumlah tendon yang dibutuhkan lebih sedikit dari box girder dengan metode cast in situ balance cantilever.

c) Dalam segi tulangan yang digunakan pengaplikasian box girder dengan metode cast in situ balance cantilever lebih berat dibandingkan pengaplikasian I-girder dengan metode precast erection girder.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pembebanan pada jembatan, *SNI no 1725 tahun 2016*
- [2] Perencanaan struktur beton untuk jembatan, *SNI T-12-2004*
- [3] VSL STRAND POST-TENSIONING SYSTEM (catalog)
- [4] Sturyk,dkk. 1987, *Jembatan*, Penerjemah soemargono.
- [5] Robert Benaim, 2008 , *The Design of Prestressed Concrete Bridges Concepts and Principles*
- [6] Ramadhan, 2010, *Perhitungan box girder kapasitas momen*, Jurusan Teknik sipil dan Lingkungan Universitas Gajah Mada
- [7] Titiono,2017, *Modifikasi Perencanaan Struktur Flyover Menggunakan Segmental Box Girder Dengan Metode Span-By-Span :Proyek Jalan Tol Bekasi-\ Cawangkampung Melayu (Becakayu) Section 1c.*
- [8] Puspitasari, 2011, *Perencanaan Jembatan Palu IV Dengan Konstruksi Box girder Segmental Metode Pratekan Statis Tak tentu*, Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya

### 4. KESIMPULAN

Dari hasil yang diperoleh maka :

- a) Dalam segi volume beton box girder lebih ringan daripada pengaplikasian I-girder pada proyek jalan tol Pandaan-Malang Sta.35+380.