

## **EXTERNAL PRESTRESSING PADA STRUKTUR ATAS OVERPASS KLOPO SEPULUH KABUPATEN SIDOARJO MENGGUNAKAN BOX GIRDER POST TENSIONING**

**Amanda Elvira Asha<sup>1</sup>, Sugiharti<sup>2</sup>, Nawir Rasidi<sup>3</sup>**

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

Email: [amandaelviraa@gmail.com](mailto:amandaelviraa@gmail.com)<sup>1</sup>, [sugiharti@polinema.ac.id](mailto:sugiharti@polinema.ac.id)<sup>2</sup>, [nawirrasidi@gmail.com](mailto:nawirrasidi@gmail.com)<sup>3</sup>

### **ABSTRAK**

Perkembangan pesat bidang industri di Kabupaten Sidoarjo berdampak pada kepadatan penggunaan lalu lintas, yaitu kemacetan. Hal ini dapat diatasi dengan perencanaan baru dari *Overpass* Klopo Sepuluh menggunakan *box girder*. Adanya perencanaan ini dapat diketahui tentang struktur *box girder* yang digunakan dan lendutannya. Perencanaan ini juga ditujukan untuk mengetahui metode yang digunakan dan besaran anggaran yang akan dikeluarkan. Hasil dari perencanaan ini didapatkan dimensi *box girder* dengan lebar 9000 mm, tinggi 1800 mm, dan memiliki 16 buah ankur. Dalam perencanaan ini, lendutan yang terjadi adalah -10,429 cm dengan lendutan ijin 3,98125 cm. Metode yang digunakan menggunakan *launching gantry* karena sistem ini tidak mengganggu aktivitas lalu lintas di bawahnya pada saat pelaksanaan *erection* dan tidak memerlukan area yang luas. Dalam perencanaan struktur atas *overpass* dengan menggunakan *box girder* ini diperlukan biaya sekitar Rp 6.767.096.000,00 (enam miliar tujuh ratus enam puluh tujuh juta sembilan puluh enam ribu rupiah).

**Kata kunci** : struktur atas; *overpass*; *box girder*; *post-tensioning*

### **ABSTRACT**

*The rapid development of the industrial sector in Sidoarjo regency has an impact on the density of traffic usage, namely congestion. This can be overcome with new planning on the Klopo Sepuluh Overpass using box girders. With this plan we can find out the structure of the box girder used and its deflection. The existence of this plan is also intended to determine the methods used and the amount of the budget to be issued. The results of this planning obtained box girder dimensions with a width of 9000 mm, height 1800 mm and has 16 pieces of anchor. In this plan, the deflection that occurred was -10,429 cm with a deflection of 3,98125 cm. The method used is using launching gantry because this system does not interfere with the traffic activity underneath during erection and does not require a large area. In planning the structure of the overpass using this box girder it costs around Rp. 6,767,096,000 (Six Billion Seven Hundred Sixty Seven Ninety Six Rupiah).*

**Keywords** : *super structure*; *overpass*; *box girder*; *post-tensioning*

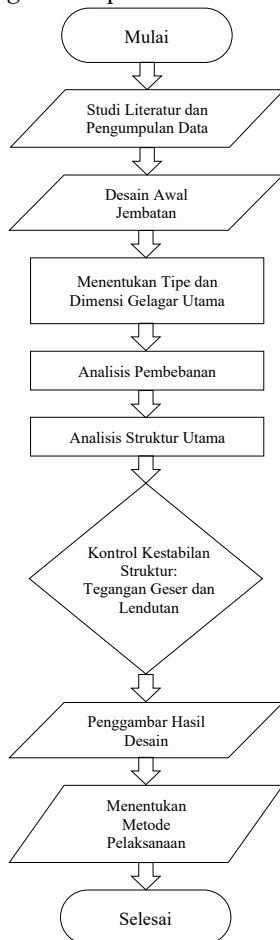
### **1. PENDAHULUAN**

Perkembangan pesat bidang industri di Kabupaten Sidoarjo menimbulkan berbagai masalah lalu lintas, antara lain kemacetan. Ditambah lagi dengan adanya jalan tol yang memutus akses antar dua desa, yaitu Desa Klopo Sepuluh dan Desa Radio Beacon, karena itu diperlukan *overpass* untuk menghubungkan kedua desa tersebut. *Overpass* yang tersedia hanya memiliki dua lajur sehingga sering terjadi kemacetan dan diperlukan pelebaran atau *overpass* tambahan. *Overpass* ini menggunakan 1 *girder* kemudian dilakukan perencanaan ulang menggunakan *box girder*. Penampang ini dikenal dapat memberikan struktur di

bawahnya lebih estetik dan secara fungsional dapat digunakan untuk mengakomodasi layanan pipa gas, air, instalasi listrik, dan memiliki nilai efisiensi struktural tinggi yang dapat meminimalkan kekuatan *prestressing* yang diperlukan untuk menahan momen lentur yang diberikan. Di bagian bawah proyek *overpass* ini terdapat jalan tol Sidoarjo – Surabaya, maka pada metode pelaksanaan digunakan system *span by span* menggunakan *gantry launcher*. Sistem ini dikenal tidak dapat mengganggu aktivitas lalu lintas di bawahnya pada saat pelaksanaan *erection*.

## 2. METODE

Langkah pertama dalam perencanaan struktur atas *overpass* Klop Sepuluh yang menggunakan *box girder post tensioning* adalah pengumpulan data dan studi literatur. Kedua, menentukan desain awal jembatan dan menentukan tipe dan dimensi *girder*. Ketiga, menghitung pembebanan dan menganalisis struktur utamanya menggunakan SNI 1725:2016 dan SNI T-12-2004 untuk pembebanan serta menggunakan tendon OVM. Keempat, kestabilan strukturnya dikontrol dan dilanjutkan dengan penggambaran hasil desain. Diagram alir perencanaan struktur atas menggunakan *box girder* dapat dilihat di Gambar 1.



**Gambar 1.** Diagram Alir Perencanaan Struktur Atas *Overpass* Klop Sepuluh Menggunakan *Box Girder Post Tensioning*

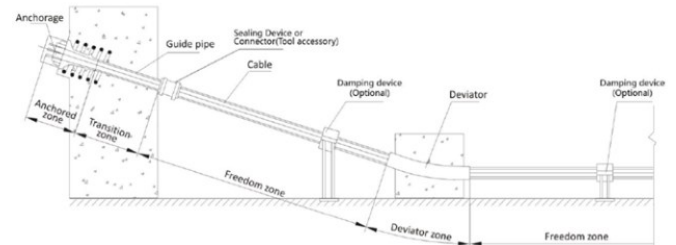
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perencanaan ulang struktur atas *overpass* Klop Sepuluh di Kabupaten Sidoarjo menggunakan *box girder post tensioning* sesuai dengan SNI 1725:2016 dan SNI T-12-2004. Hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut:

### A. Penampang Box Girder

Penampang direncanakan dengan ukuran yang aman berdasarkan katalog AASHTO. Perencanaan ini

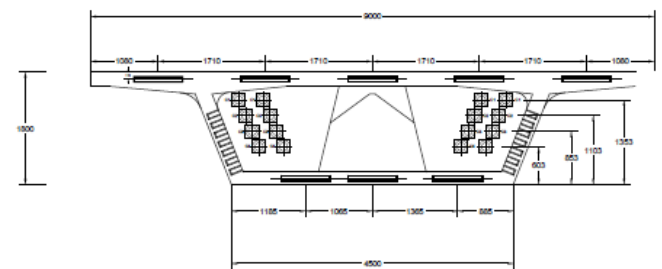
menggunakan prategang *external*, maka terdapat tiga tipe *box girder*. Prategang *external* adalah sistem prategang tendon yang terpasang berada di luar beton. Keuntungan dari penggunaan sistem prategang eksternal antara lain memudahkan pelaksanaan pemasangan, mudah untuk memeriksa kabel dan ankur, serta kabel prategang dapat dengan mudah dipasang ulang atau diganti bila terdapat kerusakan.



**Gambar 2.** Prategang Eksternal

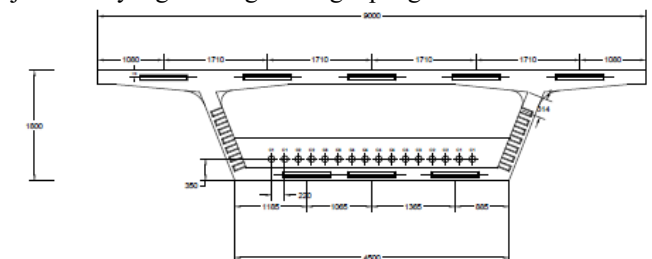
Sumber: Katalog OVM

Menurut Prof. Dr-Ing G Rombach, terdapat 3 *segment box girder*, yaitu *pier segment* yang berada di atas *pier* atau bagian ujung *span* dan lebih tebal daripada *segment* lainnya yang berfungsi sebagai letak ankur.



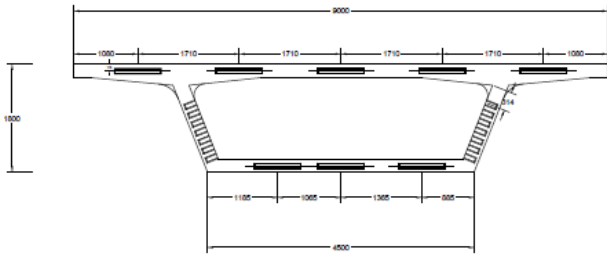
**Gambar 3.** Box Girder Tipe End Block

Kemudian *deviator segment* yang berada di 1/3 bentang jembatan yang berfungsi sebagai pengaturan deviasi tendon.



**Gambar 4.** Box Girder Tipe Deviator

Terakhir adalah tipe standar yang merupakan dimensi standard *box girder* yang digunakan.



Gambar 5. Box Girder Tipe Standar

**B. Beban dan Kombinasi Momen**

Pembebanan yang diperhitungkan untuk perencanaan box girder ini berdasarkan SNI 1725:2016.

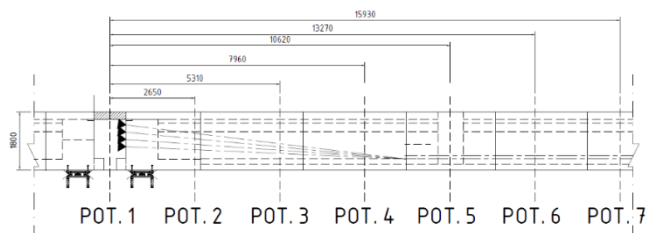
Tabel 1. Hasil Pembebanan

No.	Tipe Beban	Faktor Ultimit	Kode Beban	Q (ton/meter)	P (ton)	M (ton meter)
1	Balok precast	1,2	q1	10,01		
2	Beban aspal dan air	2	q3	1,43		
3	Beban terpusat (deviator)	2	q4		0,83	
4	Beban lalu lintas	1,8	TD	7,86	61,74	
5	Gaya rem	1,8	TB			36,62
6	Pengaruh temperature	1,2	ET			8,34
7	Beban angin	1,2	EW	0,10		
8	Beban gempa	1	EQ	0,84		

**C. Jumlah Tendon**

Perencanaan jumlah tendon digunakan kabel yang terdiri dari beberapa kawat baja untai dengan data sebagai berikut:

- Kabel prestress = Uncoated stress relieve seven wires strand (ASTM A416 Grade 270 Low Relaxation)
- Diameter = 15,2 mm
- Luas Penampang Efektif = 1,4 cm<sup>2</sup>
- Modulus Elastisitas (E) = 1.950.000 kg/cm<sup>2</sup>
- Ultimate Tensile Strength = 19,004 kg/cm<sup>2</sup>



Gambar 6. Profil Kabel yang Digunakan Dalam Perencanaan

Tabel 2. Jumlah Kabel dan Profil Kabel

Cable	Nos	Profil		Pot1	Pot2	Pot3	Pot4	Pot5	Pot6	Pot7
		EJ	DEV							
C-1	76	135,5	35	135,50	136,48	103,24	60,81	35,00	35,00	35,00
C-2	76	110,3	35	110,30	117,73	93/86	58,47	35,00	35,00	35,00
C-3	76	85,30	35	85,30	98,98	84,49	56,12	35,00	35,00	35,00
C-4	76	60,30	35	60,30	80,23	75,11	53,78	35,00	35,00	35,00
Total	304	97,80	35	97,80	89,18	89,18	57,29	35,00	35,00	35,00

**D. Gaya Prategang**

1) Gaya Prestress Transfer

$$0,65 \cdot n_s \cdot \text{Astrand} \cdot \text{Ultimate tensile strength}$$

$$= 0,65 \cdot 304 \cdot 0,1400 \cdot 19004$$

$$= 5.257.248 \text{ kg}$$

Untuk gaya prestress transfer per-strand adalah sebagai berikut:

$$5.257.248 / (1000 \cdot 9,8) / 304 = 169,48 \text{ kN}$$

2) Gaya Prestress Efektif

Kehilangan akibat relaksasi tegangan baja

$$\text{Loss relaxation} = 0,025 \cdot P$$

$$= 0,025 \cdot 5257248$$

$$= 131.431 \text{ kg}$$

Kehilangan susut rangkang

$$\text{Creep coefficient} = 2,0$$

$$\text{Shrinkage Coefficient} = 15,3 \cdot E-5$$

Stress prestressed

$$= 0,65 \cdot \text{Ultimate Tensile Strength}$$

$$= 0,65 \cdot 19004$$

$$= 12.353 \text{ kg/cm}^2$$

Stress creep prestressed

$$= P / I_x \cdot (1 + (Y_b - e)^2 / I_x \cdot A)$$

$$= 322,7 \text{ kg/cm}^2$$

Stress cp

$$= \text{Stress Cpt} - (MS + MA) / I_x \cdot (Y_b - e) \cdot 1000$$

$$= 253,1 \text{ kg/cm}^2$$

Kehilangan Susut Rangkang

$$\frac{n \times \text{CreepCoef} \times \text{Stress cp} + \text{ShrinkageCoef} \times E_s}{1 + n \times \frac{\text{Stress cpt}}{\text{Stress pt} \times (1 + \frac{\text{Creep coef}}{2})}}$$

$$= 2.245,6 \text{ kg/cm}^2$$

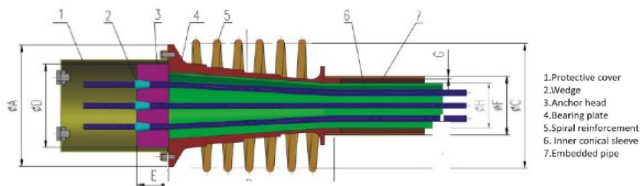
$$= 955.709 \text{ kg}$$

$$\text{Effective Prestress Force} = 5257248 - 131431 - 955708$$

$$= 4.170.108 \text{ kg}$$

Tipe angkur yang digunakan adalah tipe OVM TM 15-19 dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Tipe : OVM.TM 15-19
- Anchor Head (ØD x E) : Ø 206 x 75
- Bearing Plate (Ø A x B) : Ø 300 x 325
- Spiral Reinforcement(Ø C) : Ø 350
- Inner Conical Sleeve (Ø H) : Ø 110
- Embedded Pipe (Ø F x G) : Ø 133 x 5



Gambar 7. Tipe Angkur

Sumber: Katalog OVM

**E. Tegangan dan Lenturan Box Girder**

Berikut tabel tegangan yang terjadi di *box girder*. Kondisi awal adalah kondisi beban-beban belum bekerja. Kondisi service adalah kondisi beban-beban sudah bekerja di *box girder*.

**Tabel 3. Tegangan yang Terjadi di Box Girder**

No	Uraian	Girder	Stress	Tegangan Ijin	Keterangan	
1	<b>Kondisi Awal</b>	Top	26,16	-19,16	OK	
		Bottom	323,80	347,67	OK	
2	<b>Kondisi Service</b>	Pembebanan 1	Top	92,61	325,94	OK
			Bottom	125,36	-42,85	OK
		Pembebanan 2	Top	92,76	325,94	OK
			Bottom	125,09	-42,85	OK
		Pembebanan 3	Top	93,06	325,94	OK
			Bottom	124,54	-42,85	OK
		Pembebanan 4	Top	93,20	325,94	OK
			Bottom	124,48	-42,85	OK
		Pembebanan 5	Top	93,06	325,94	OK
			Bottom	124,54	-42,85	OK

Berikut adalah perhitungan lenturan yang terjadi di *box girder*. Masih *chamber* berarti *box girder* melendut ke atas.

**Tabel 4. Lenturan yang Terjadi di Box Girder**

	DL	PT	DL+PT	ADL	TDL+PT
Deflection (cm)	1,89	-6,668	-4,78	0,42	-4,35
Span/Deflection	1684	-478	-667	7535	-731

**Tabel 5. Kontrol Lenturan yang Terjadi di Box Girder**

No	Load	Erection	Final	Allowable L/800	Keterangan
1	Prestress	-6,668			<b>Masih Chamber</b>
2	Beam	1,891			
3	ADL Deck	0,423			
		<b>-4,354</b>	-4,354		
4	ADL		0,187		<b>(OK)</b>
	Aspal		<b>-4,167</b>		
5	Creep		-12,501		
	LL		<b>-10,429</b>	<b>3,98125</b>	

**F. Resume Momen Balok**

Berikut adalah resume momen balok yang sudah dikalikan faktor beban ultimit. Faktor beban ultimit dapat dilihat di SNI 1725-2016.

**Tabel 6. Resume Momen Balok**

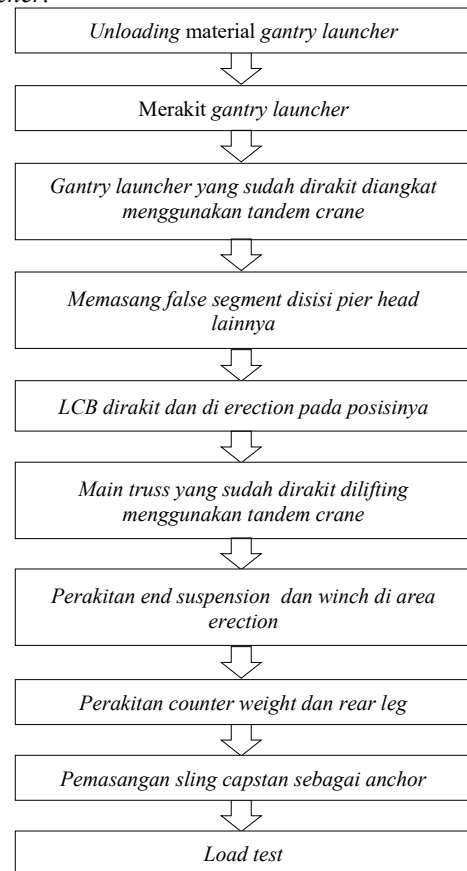
Kombinasi	Mu Aktual	Mu Capacity	SF	Ket.
Kombinasi 1 (1,2MS+2MA+1,8TD+1,8TB)	4808,96	9069,12	1,886	OK
Kombinasi 2 (1,2MS+2MA+1,8TD+1,8TB+1,2EW)	4813,97	9069,12	1,884	OK
Kombinasi 3 (1,2MS+2MA+1,8TD+1,8TB+1,2EW)	4824,30	9069,12	1,880	OK
Kombinasi 4 (1,2MS+2MA+1,8TD+1,8TB+1,2ET+1,2EW)	4892,31	9069,12	1,878	OK
Kombinasi 5 (1,2MS+2MA+EQ)	2202,23	9069,12	4,118	OK

**G. Metode Pelaksanaan**

*Box girder* yang digunakan memiliki tinggi 180 cm dengan panjang 900 cm dan lebar *box girder* adalah 300 cm dan 280 cm. Pemasangan beton *precast* dilakukan dengan metode *span by span* menggunakan *gantry launcher*. Langkah-langkah pada metode *span by span* menggunakan *gantry launcher* terdiri dari persiapan *gantry launcher*, persiapan girder, proses *launching* dan *erection*, penyambungan segmen, *stressing* dan *grouting*, pelepasan *gantry* dengan *segment*, dan yang terakhir adalah proses *dismantling*.

1) Persiapan *Gantry Launcher*

Berikut adalah diagram alir proses persiapan *gantry launcher*.



Gambar 8. Diagram Alir Persiapan Gantry Launcher

2) Persiapan Girder

Box girder pracetak yang telah diproduksi di pabrik diangkut ke lokasi dengan menggunakan truk trailer. Lalu box girder ditelakkan di lokasi terdekat dengan lokasi pengangkatan untuk menunggu proses erection. Pada saat akan erection, bagian atas box girder dipasang spreader beam sebagai penghubung dengan launcher.

3) Proses Launching dan Erection

Proses launching dan erection dilakukan pada malam hari. Pekerjaan launching bertujuan agar gantry launcher mencapai posisi untuk erection box girder setelah proses erection pada span. Erection box girder adalah proses lifting dan juga perapatan yang digunakan dengan alat gantry launcher.

4) Penyambungan Segment

Box girder dipasangi karet lubang dan dilakukan proses pengeringan. Hal tersebut agar lem segment dapat

merekat kuat. Lem segment dipasangkan ke bagian pinggir salah satu segment. Setelah salah satu bagian telah diolesi lem, lalu dilakukan perapatan segment untuk selanjutnya dilakukan proses stressing.

5) Kegiatan Stressing dan Grouting

Tendon diselubungi dengan pipa HDPE yang akan dilakukan grouting. Masing-masing pipa HDPE harus dilas dengan inner HDPE terlebih dahulu kemudian letakkan bearing plate dan hubungkan ke pipa HDPE dengan HDPE coupler.

Hubungkan tabung baja ke strand pusher kemudian tarik ujung kabel strand lalu masukkan ke tabung baja. Nyalakan strand pusher sampai ujung kabel strand keluar. Potong kabel strand di bagian yang ditandai lalu kabel di lakukan stressing. Berikut perhitungan kehilangan prategang per-angkur pada saat pelaksanaan:

**Tabel 6.** Kehilangan Prategang pada Saat Pelaksanaan

Letak Tendon	Jumlah Strand	Jacking Force (kN)	Elastisitas Beton	Kehilangan Prategang (kN)			
				Rangkak	Susut	Relaksasi Baja	Pengangkuran
C1	76 (@19 strandx4tendon)	178,45	4,60	12,91	5,46	7,52	1751,714
C2	76 (@19 strandx4tendon)	178,32	4,60	12,91	5,46	7,52	1751,714
C3	76 (@19 strandx4tendon)	178,18	4,60	12,91	5,46	7,52	1751,714
C4	76 (@19 strandx4tendon)	178,05	4,60	12,91	5,46	7,52	1751,714

Setelah stressing potong kawat strand yang berlebih dan sisakan sepanjang 30 mm kemudian pasang penutup. Bersihkan lubang grouting dan hubungkan mesingrouting, selang, dan komponen lainnya. Masukkan adonan grouting di area yang diperlukan.

6) Pelepasan Gantry dengan Segment

Proses pelepasan segment dari gantry dilakukan setelah proses perakitan selesai.

7) Proses Dismantling

Proses dismantling dilakukan setelah launcher selesai digunakan dan juga siap dismantling. Proses dismantling dilakukan dengan tahap berlawanan dengan proses perakitan yaitu dari bagian paling atas.

**4. KESIMPULAN**

Dari hasil Perencanaan Ulang Struktur Atas Overpass Klop Sepuluh di Kabupaten Sidoarjo Menggunakan Box Girder Post Tensioning dapat diperoleh hasil sebagai berikut:

- Perencanaan menggunakan box girder didasari karakteristik penampang yang mampu digunakan untuk jembatan dengan bentang yang panjang. Didapat dimensi box girder lebar 9000 mm dan tinggi 1800 mm dengan angkur sebanyak 16 buah. Metode konstruksi dalam perencanaan ini menggunakan metode post tensioning yaitu semua bagian mengalami tekan.

- Pada kondisi awal, mengalami tegangan 26,16 tm untuk serat atas serta 323,80 tm untuk serat bawah dengan tegangan ijin -19,16 tm untuk serat atas dan 347,67 tm untuk serat bawah, serta mengalami lendutan ke atas (chamber) sebesar 10,429 cm dengan lendutan ijin 3,98125 cm.
- Metode span by span menggunakan gantry launcher, metode ini dilakukan erection dan jacking di box girder secara bersamaan sehingga pengerjaan konstruksi jembatan lebih cepat dan efisien.

**DAFTAR PUSTAKA**

[1] Hadipratomo, Winarni. 1994. *Struktur Beton Prategang*. Bandung: Nova.

[2] Krishnaraju, N. 1989. *Beton Prategang*, edisi kedua. Jakarta: Erlangga.

[3] Lin, T Y. 1993. *Desain Struktur Beton Prategang*, jilid satu. Jakarta: Erlangga.

[4] Nawy, E. 2001. *Beton Prategang Jilid 2 Edisi 3*. Jakarta: Erlangga.

[5] Rombach, G. 2002. Precast Segmental Box Girder Bridges with External Prestressing. *Journal of Technical University of Hamburg-Harburg*.

- [6] SNI T-12-04. 2004. *Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan*. Badan Standarisasi Nasional: Jakarta.
- [7] SNI 1725-2016. 2016. *Pembebanan untuk Jembatan*. Badan Standarisasi Nasional: Jakarta.
- [8] Stuyk, H.J. 1990. *Jembatan*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [9] Ardi.staff.gunadarma.ac.id."Konstruksi Beton Pratekan Ir.Soetoyo I".2016. <http://www.google.co.id/search?hl=id&revid=681074254&ie=ISO-8859-1&q=downlod+buku+beton+pratekan+ir+soetoyo>.