

## ANALISA PERBANDINGAN KEHILANGAN PRATEGANG GIRDER PCI DAN PCU PADA JEMBATAN MAHAKAM IV SISI SAMARINDA KOTA

### *ANALYSIS COMPARISON LOSS OF PRESSTRES GIRDER PCI AND PCU TO MAHAKAM IV BRIDGE SAMARINDA TOWN SIDE*

Sujiati Jepriani<sup>1)</sup>, Garini Widosari<sup>2)\*</sup>, Wahyu Fitriyani<sup>3)</sup>

Sujiati\_jepriyani@polnes.ac.id<sup>1)</sup>, garini\_72@yahoo.com<sup>2)</sup>, wahyufitriyani2002@gmail.com<sup>3)</sup>,  
<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Samarinda

<sup>1,2,3</sup>Jl. Cipto Mangunkusumo Kampus Gunung Panjang, Kota Samarinda 75131, Kalimantan Timur

Korespondensi Naskah : Sujiati Jepriani

#### INTISARI

Jenis *girder* yang berbeda akan mempengaruhi kehilangan prategang yang terjadi. Dimana *girder* yang ditinjau pada analisa perbandingan kehilangan prategang ialah PCI dan PCU *girder* dengan panjang bentang 31,8 m. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kehilangan prategang yang terjadi pada PCI dan PCU *girder*. Kehilangan prategang yang terjadi pada PCI dan PCU *girder* salah satunya dikarenakan proses pemberian gaya prategang. Proses pemberian gaya prategang pada penelitian ini menggunakan metode pascatarik yaitu pemberian gaya prategang dilakukan setelah beton selesai dicor. Pemberian gaya prategang pada *girder* dengan menggunakan metode pascatarik ini menyebabkan terjadinya beberapa kehilangan prategang pada *girder* yaitu *Immediate Elastic Losses* dan *Time Dependent Losses*. Untuk mengetahui besarnya kehilangan prategang yang terjadi pada *girder* PCI dan PCU maka dilakukan perhitungan pada masing-masing *girder* yang kemudian dibandingkan besarnya nilai kehilangan prategang yang didapat. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh besarnya kehilangan prategang yang terjadi pada *girder* PCI ialah 20,441 % sedangkan pada *girder* PCU ialah 17,935 %. Sehingga dengan mempertimbangkan antara nilai total kehilangan prategang, jumlah *girder*, tinggi *girder*, dan gaya guling yang terjadi pada *girder* PCI dan PCU, maka penggunaan PCU *girder* dinilai jauh lebih aman, ekonomis dan efisien.

**Kata kunci** : *Girder*, Kehilangan Prategang, PCI, PCU

#### ABSTRACT

*Different of type girder would influence happened loss of presstres. Where reviewed girder of analysis comparison loss of presstres is PCI and PCU girder with long beam 31,8 m. This research purposed to compare loss of presstres happened of PCI and PCU girder. Loss of presstres happened to PCI and PCU girder either because process giving of presstres force. Process giving of presstres force to this research use post tension method that is giving of presstres force is doing after concrete finished in shape. Giving of presstres force to girder with use this post tension method cause happened some loss of presstres to girder that is Immediate Elastic Losses and Time Dependent Losses. Knowing big loss of presstres of happened to girder PCI and PCU, then done it calculation to every girder then comparison big loss of presstres of obtained. Based of result calculation obtained big loss of presstres of happened to girder PCI is 20,441% and PCU is 17,935%. So that, with consider between total value loss of presstres, total*

*girder, tall girder, and tumbling force of happened to girder PCI and PCU, then useful PCU girder is valued long very safety, economical, and efficient.*

**Keyword :** Girder, Loss of Prestress, PCI, PCU.

## PENDAHULUAN

Pembangunan jembatan Mahakam IV dibagi menjadi tiga *section* yaitu Sisi Pendekat Samarinda Kota, Sisi Jembatan Mahakam sepanjang dan Sisi Pendekat Samarinda Seberang. Dalam proyek pembangunan Jalan Pendekat Jembatan Mahakam IV Sisi Samarinda Kota memiliki panjang bentang *girder* yang bervariasi yaitu 31,8 m, 28,8 m, 27,8 m dan 20,8 m. Dengan tipe *girder* yang digunakan adalah PCU. Pembangunan Jalan Pendekat Jembatan Mahakam IV Sisi Samarinda Kota menggunakan metode pascatarik. Dimana metode pascatarik merupakan metode dengan melakukan pengecoran pada beton terlebih dahulu baru kemudian diberi tegangan. Pada saat pemberian tegangan tersebut terjadilah kehilangan prategang.

Pada saat proses pelaksanaan pemberian gaya prategang ditentukan berdasarkan jenis sistem yang dilaksanakan, panjang bentang dan kelangsingan yang dikehendaki. Jenis *girder* yang berbeda juga sangat berpengaruh pada besarnya kehilangan gaya prategang. Hal ini dikarenakan perbedaan dimensi dan bentuk pada setiap jenis *girder* yang membuat proses pemberian gaya prategang pada setiap jenis *girder* berbeda-beda.

Adapun maksud dan tujuan dari analisa ini adalah untuk mengetahui besarnya perbandingan kehilangan prategang yang terjadi pada PCI dan PCU *girder*.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Beton Prategang

Beton prategang adalah beton struktural dimana tegangan dalam diberikan untuk mereduksi tegangan tarik potensial dalam beton yang dihasilkan dari beban (SNI 2847-2013). Pada struktur dengan bentang yang panjang, struktur beton bertulang biasa tidak cukup untuk menahan tegangan lentur sehingga terjadi retak-retak di daerah yang mempunyai tegangan lentur, geser atau puntir yang tinggi. Untuk mengatasi

keretakan serta berbagai keterbatasan yang lain maka dilakukan penegangan pada struktur beton bertulang

### Pembebanan

Perhitungan pembebanan pada desain struktur *girder* dalam penelitian ini mengacu pada peraturan RSNi T-02-2005. Adapun beban-beban yang ditinjau dalam perhitungan PCI dan PCU *girder* adalah beban mati, beban hidup, gaya rem, beban angin dan beban gempa. Kombinasi beban umumnya didasarkan kepada beberapa kemungkinan tipe yang berbeda dari aksi yang bekerja secara bersama. Aksi rencana ditentukan dari aksi nominal yaitu mengalikan aksi nominal dengan faktor beban yang memadai. Seluruh pengaruh aksi rencana harus mengambil faktor beban yang sama, apakah itu biasa atau terkurangi. Disini keadaan paling berbahaya harus diambil.

### Balok Girder

Gelagar (*Girder*) merupakan komponen yang letaknya melintang arah memanjang arah jembatan atau tegak lurus arah aliran sungai. Fungsi dari *girder* yaitu untuk menyalurkan beban di atas konstruksi ke struktur bawah agar bisa meredam beban atau gaya yang terjadi. Panjang bentang *girder* yaitu dari 20 meter hingga 40 meter. Menurut sistem perancangannya *girder* dibagi menjadi dua yaitu *girder precast* dan *on site girder*.

### Material Beton Prategang

Beton yang digunakan untuk beton prategang adalah yang mempunyai kekuatan tekan yang cukup tinggi dengan  $f'c$  antara 30-45 MPa. Kuat tekan tersebut diperlukan untuk menahan tegangan tekan pada serat tertekan, pengangkutan tendon, mencegah terjadinya keretakan, mempunyai modulus elastisitas yang tinggi dan mengalami rangkai lebih kecil (Budiadi, 2008).

Tata cara perencanaan beton pracetak dan prategang untuk bangunan gedung mensyaratkan bahwa baja yang digunakan

untuk prategang harus sesuai dengan salah satu spesifikasi berikut (SNI 7833:2012) :

- A. Kawat : ASTM A421M
- B. Kawat relaksasi rendah : ASTM A421M, termasuk suplemen 'Low Relaxation Wire'
- C. *Strand* : ASTM A416M
- D. Batang tulangan kekuatan tinggi : ASTM A722M.

Dari empat material baja diatas yang sering digunakan dalam bangunan kostruksi ialah untaian kawat (*strand*).

Selubung adalah material yang melingkupi baja prategang yang mencegah lekatan baja prategang dengan beton yang mengelilinginya, menyediakan perlindungan korosi dan mengandung pelapis (*coating*) pencegah korosi (SNI 2847:2013).

*Grouting* adalah bahan pengisi selubung baja prategang (tendon) pada beton prategang yang menggunakan metode pascatarik. *Grouting* terdiri dari semen *portland* dan air atau semen *portland* pasir dan air (SNI 2847:2013).

### Metode Pemberian Gaya Prategang

Metode pratarik merupakan metode dengan penarikan tendon atau pemberian tegangan pada baja prategang terlebih dahulu sebelum beton di cor. Metode pascatarik merupakan metode dengan melakukan pengecoran pada beton terlebih dahulu. Setelah umur rencana beton tercapai dan dan cukup kuat untuk menerima gaya prategang, maka selanjutnya memberikan gaya prategang melalui *duct* yang sudah dipasang sebelumnya.

### Perhitungan Struktur

Dengan adanya tekan dan lentur seluruh penampang beton menerima tegangan tekan. Ini berbeda dengan balok beton bertulang yang sebagian menerima tekan dan sebagian menerima tarik dimana bagian tarik tidak berfungsi karena keterbatasan bahan beton menerima tegangan tarik.

Dalam pengembangan persamaan elastis untuk tegangan lentur, efek gaya prategang P, momen akibat beban mati Mg, dan momen akibat beban hidup Mq dapat dihitung secara terpisah, dari tegangan-tegangan yang terpisah tersebut kemudian disuperposisikan. Dengan memasukkan jari-jari penampang dan menggabungkan momen akibat pembebanan, baik akibat berat

sendiri, beban hidup maupun beban tambahan lainnya menjadi momen total Mt, maka teganga-tegangan resultan pada penampang dapat disederhanakan menjadi :

$$M_t = M_g + M_q \quad (1)$$

$$f^a = - \frac{P}{A} \left( 1 - \frac{e \cdot y_a}{r^2} \right) - \frac{M_t}{C_a} \quad (1)$$

$$f^b = - \frac{P}{A} \left( 1 + \frac{e \cdot y_b}{r^2} \right) - \frac{M_t}{C_b} \quad (3)$$

Menentukan tegangan ijin menurut SNI 2847-2013 pasal 18.4

Saat transfer :

$$f_{ci} = 0,6 * f'_{ci} \quad (4)$$

$$f_{ti} = 0,25 * \sqrt{f'_{ci}} \quad (5)$$

Saat layan :

$$f_c = 0,45 * f'_{ci} \quad (6)$$

$$f_t = 0,5 * \sqrt{f'_{ci}} \quad (7)$$

Dalam menentukan lintasan pada balok prategang digunakan rumus berikut:

$$Y = \frac{4 * f_i * X}{L^2} * (L - X) \quad (8)$$

Dalam menentukan sudut angkur pada balok prategang digunakan rumus berikut :

$$\alpha = ATAN \left( \frac{dY}{dX} \right) \quad (9)$$

$$\frac{dY}{dX} = 4 * f_i * (L - 2 * X) / L^2 \quad (10)$$

Untuk X = 0 (posisi angkur di tumpuan), maka :

$$\frac{dY}{dX} = 4 * f_i / L^2 \quad (11)$$

Dalam menentukan tata letak dan *trace* tendon digunakan rumus berikut :

$$z_i = z_i' - \left[ \left( \frac{4 * f_i * X}{L^2} \right) * (L - X) \right] \quad (12)$$

Kehilangan Gaya Prategang (*Losses Of Prestressing Force*) yaitu berkurangnya gaya prategang yang bekerja pada baja / kabel prategang (tendon) pada tahap-tahap pembebanan. Secara umum kehilangan gaya prategang dapat dibagi menjadi 2 macam yaitu :

- A. Kehilangan prategang dalam jangka pendek (*Immediate Elastic Losses*)

Perpendekan elastis beton :

$$\Delta f_{ES(a,b)} = n * f_{Cr(a,b)} \quad (13)$$

Friksi / gesekan sepanjang kelengkungan tendon :

$$P_s = P_s * e^{-\mu(\alpha_t + \beta_p L_{pa})} \quad (14)$$

Sistem pengangkuran / slip dipengangkuran

$$\Delta f_s = \epsilon_s * E_s \quad (15)$$

B. Kehilangan prategang karena pengaruh waktu (*Time Dependent Losses*)

Rangkak (*creep*) :

$$\Delta f_{CR} = C_t * n * f_c \quad (16)$$

Susut Pada Beton :

$$\Delta f_{sh} = K_{sh} * \epsilon_{sh} * E_s \quad (17)$$

Relaksasi Baja :

$$\Delta f_{RE} = [K_{RE} - J * (\Delta f_{SH} + \Delta f_{CR} + \Delta f_{ES})] * C \quad (18)$$

### Kontrol Tegangan

Menurut SNI 03-2847-2002 tegangan izin pada beton prategang yaitu :

Tegangan beton sesaat sesudah penyaluran gaya prategang (sebelum terjadinya kehilangan tegangan sebagai fungsi waktu) tidak boleh melampaui nilai berikut:

- A. Tegangan serat tekan terluar  $0,60 * f_{ci}$
- B. Tegangan serat tarik terluar  $(1/4) * f'_{ci}$
- C. Tegangan serat tarik terluar pada ujung-ujung komponen struktur di atas perletakan sederhana  $(1/2) * f'_{ci}$

Tegangan beton pada kondisi beban layan (sesudah memperhitungkan semua kehilangan prategang yang mungkin terjadi) tidak boleh melampaui nilai berikut:

- A. Tegangan serat tekan terluar akibat pengaruh prategang, beban mati dan beban hidup tetap  $0,45 * f'_{c}$
- B. Tegangan serat tekan terluar akibat pengaruh prategang, beban mati dan beban hidup total  $0,6 * f'_{c}$

### Kontrol Lentutan

Karena adanya eksentrisitas kabel prategang, elemen balok prategang biasanya melengkung ke atas pada saat momen luar yang bekerja masih kecil. Defleksi ke atas ini disebut *camber*. Dalam menentukan nilai *camber* digunakan rumus berikut :

$$c = \frac{5 * P_j * e * L^2}{48 * E_c * I}$$

Berdasarkan SNI T-12-2004, lentutan akibat beban rencana untuk daya layan jembatan jalan raya tidak melampaui  $L/300$  bentang.

## METODE PERANCANGAN

### Deskripsi Proyek

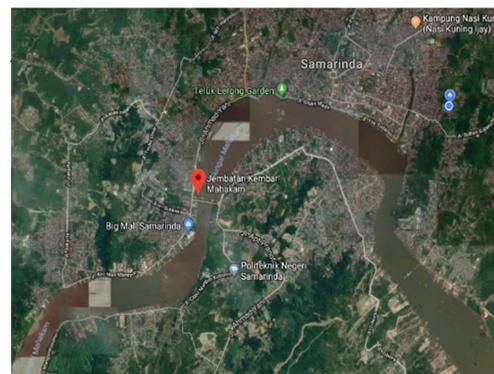
Pembangunan Jalan Pendekat Jembatan Mahakam IV Sisi Samarinda Kota

menggunakan balok *girder* sebagai gelagarnya. Jenis *girder* yang digunakan adalah tipe U dengan panjang bentang yaitu 31,80 m. Untuk melakukan perhitungan perbandingan kehilangan gaya prategang pada jenis *girder* yang berbeda digunakan PCI *girder* sebagai pembanding terhadap PCU *girder*. Konstruksi *girder* pada Pembangunan Jalan Pendekat Jembatan Mahakam IV Sisi Samarinda kota merupakan jenis beton prategang yang menggunakan beton *girder precast*. Sistem penarikan pada balok *girder* ini ialah *post-tensioning* atau penarikan pascatarik pada beton *girder precast*. Material beton yang digunakan pada balok *girder* ini adalah material beton mutu tinggi sebesar 500 kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabel 1 Data-Data Struktur Jembatan**

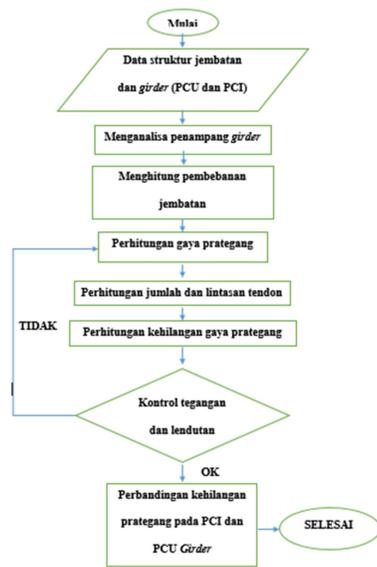
No.	Nama	Dimensi
a.	Lebar jembatan	17,3 m
b.	Jumlah jalur	1 jalur
c.	Lebar jalur :	
	Motor	1,75 m
	Mobil	7 m
	Pejalan kaki	1,75 m
d.	Lebar <i>separator</i>	2,4 m
e.	Lebar dudukan <i>railing</i>	0,5 m
f.	Tebal plat lantai jembatan	0,40 m
g.	Tebal aspal	0,05 m
h.	Tinggi genangan air hujan	0,05 m

Sumber : Gambar Kerja PT. Waskita Karya (Proyek Pembangunan Jembatan Mahakam IV Sisi Samarinda Kota), 2018.



Sumber : Google Map

Gambar 1 Peta Lokasi Proyek Pembangunan Jalan Pendekat Jembatan Mhaakam IV Sisi Samarinda Kota



Gambar 2 Flow Chart / Diagram Alir

**PEMBAHASAN**

Perencanaan ulang struktur atas jembatan menggunakan profil girder PC-I. Dimana spesifikasi material yang diambil dan digunakan tidak jauh berbeda dengan profil girder PC-U. Detail spesifikasi material yang digunakan pada perencanaan ulang PC-I dan analisa kekuatan PC-U dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2 Spesifikasi Material Jembatan**

Jenis Material	PC-I <i>Girder</i>	PC-U <i>Girder</i>
Panjang Bentang	31,8 m	31,8 m
Jarak antar balok prategang	1,85 m	2,7 m
Tebal Plat Lantai	0,33 m	0,33 m
Tebal Aspal	0,05 m	0,05 m
Tinggi Genangan Air Hujan	0,05 m	0,05 m
Mutu Beton	K-500	K-500
Tinggi Girder	1,7 m	1,65 m
Luas Area Girder	0,67 m <sup>2</sup>	1,188 m <sup>2</sup>
Jumlah Total Girder	9 Balok	6 Balok
Jumlah Tendon	36 Tendon	36 Tendon

Secara umum kehilangan prategang dibedakan menjadi dua bagian yaitu kehilangan jangka waktu pendek (*immediate losses of prestress*) dan kehilangan jangka waktu panjang (*long term losses of prestress*). Adapun yang termasuk dalam kehilangan jangka waktu pendek adalah

pendekanan elastis beton dan pengangkuran. Sedangkan rangkak, susut beton dan relaksasi baja termasuk dalam kehilangan prategang jangka panjang. Hasil dari perhitungan yang telah dilakukan didapat nilai kehilangan prategang pada PC-I dan PC-U yang berbeda-beda. Dapat dilihat pada Tabel 3 dibawah ini.

**Tabel 3 Kehilangan Prategang**

Kehilangan Prategang	PC-I <i>Girder</i> (%)	PC-U <i>Girder</i> (%)
Perpendekan Elastis Beton	2,297	0,144
Pengangkuran	0,659	0,659
Rangkak Beton	8,899	8,369
Susut Beton	1,553	1,496
Relaksasi Baja	7,033	7,266
Total Kehilangan	20,441	17,935

Perhitungan gaya yang bekerja pada girder PC-I dan PC-U mencakup momen dan gaya geser yang terjadi pada balok. Perhitungan momen dan gaya geser dilakukan terhadap kombinasi pembebanan. Dari kombinasi pembebanan tersebut didapat besarnya nilai momen dan gaya geser maksimum di tengah bentang yang bekerja pada jembatan dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4 Gaya yang Bekerja Pada Jembatan**

Gaya yang Bekerja	PC-I <i>Girder</i>	PC-U <i>Girder</i>
Momen Maximum di Tengah Bentang	5699,756 kNm	8912,285 kNm
Gaya Geser Maximum di Tengah Bentang	64,857 kN	94,490 kN

Setiap perhitungan tegangan dan lendutan yang telah dilakukan selalu di kontrol terhadap tegangan dan lendutan izin yang dapat dilihat pada Tabel 5 dan 4..

**Tabel 5 Kontrol Tegangan**

Jenis Girder	Kead. Awal	Teg. Izin	Kadaan Setelah Loss Of Prestress	Teg. Izin
PC-I Girder	fa	-1394,83 kPa	-1865,59 kPa	- 18675 kPa
	fb	-19920 kPa	-17987,7 kPa	
PC-U Girder	fa	0 kPa	-374,953 kPa	
	fb	-17228,7 kPa	-16284,1 kPa	

**Tabel 4.5 Kontrol Lendutan**

Jenis Girder		Keadaan Awal	Keadaan Setelah <i>Loss Of Prestress</i>	Tegangan Izin
PC-I Girder	δ	-0,0322 m	-0,028 m	0,106 m
PC-U Girder		-0,0308 m	-0,0285 m	

**KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil perhitungan perbandingan kehilangan prategang dari perencanaan ulang PC-I girder dan analisa kekuatan PC-U girder maka dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu :

1. Perhitungan perencanaan ulang pada PC-I girder yang telah dilakukan dengan menggunakan mutu beton K-500, panjang bentang 31,8 m, tinggi girder 1,7 m dan luas penampang 0,67 m<sup>2</sup>, telah memenuhi persyaratan terhadap kontrol tegangan dan lendutan izin. Dari hasil perhitungan tersebut diperoleh besarnya kehilangan prategang sebesar 20,441 %.
2. Hasil dari analisa kekuatan pada PC-U girder yang telah dilakukan dengan menggunakan dimensi, mutu beton, penulangan dan jumlah tendon yang sesuai dengan perencanaan di lapangan yaitu telah memenuhi persyaratan terhadap kontrol tegangan dan lendutan izin. Oleh karena itu, girder PC-U pada Jalan Pendekat Jembatan Mahakam IV Sisi Samarinda Kota telah memenuhi syarat dan layak untuk digunakan. Dari hasil perhitungan tersebut diperoleh besarnya kehilangan prategang sebesar 17,935 %.
3. Hasil analisa perbandingan kehilangan prategang yang telah dilakukan pada girder PC-I dan PC-U ialah nilai kehilangan prategang yang terjadi pada PC-I girder yaitu 20,441 % lebih besar dibandingkan PC-U girder yaitu 17,935 %. Sehingga dengan mempertimbangkan antara nilai total kehilangan prategang, jumlah girder, tinggi girder, dan gaya guling yang terjadi pada girder PCI dan PCU, maka penggunaan PCU girder dinilai jauh lebih aman, ekonomis dan efisien.

**SARAN**

1. Perhitungan yang telah dilakukan menggunakan standar pembebanan jembatan RSNI T-02-2005. Oleh karena itu, sebaiknya untuk perhitungan selanjutnya menggunakan standar pembebanan jembatan SNI 1725-2016 agar perhitungan struktur jauh lebih aman.
2. Analisa yang telah dilakukan hanya kehilangan prategang pada girder PCU dan PCI secara umum. Oleh karena itu, sebaiknya untuk analisa selanjutnya lebih spesifik seperti analisa kehilangan prategang akibat metode *stressing* satu arah dan dua arah.

**DAFTAR PUSTAKA**

American Concrete Institut, *ACI 318-89 Building Code Requirements for Reinforce Concrete, Part 1, General Requirements, Fitsh Edition, Skokie, Illinois, USA:PCA, 1990.5pp.*

BSN.(2005). *RSNI-T-02-2005 Pedoman Pembebanan Untuk Jembatan* , Jakarta.

BSN.(2013). *SNI 2847:2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.*

Budiadi, Andri. 2008. *Desain Praktis Beton Prategang.* Penerbit: Penerbit Andi.Yogyakarta. 498 hlm.

Departemen Pekerjaan Umum, 1989. *Pedoman Beton, Badan Peneletian dan Pengembangan PU, 1989. SKBI.1.4.53.1989. Draft Konsensus, Jakarta: DPU, 1989.*

Departemen Pekerjaan Umum, *Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI), Yayasan LPMB, Bandung, 1971.*

Departemen Pekerjaan Umum, 2002. *Syarat-syarat campuran beton, SNI.03-2847-2002.* Bandung.

Lin, T.Y.(1988). *Desain Struktur Beton Prategang Jilid I.* (Edisi Ketiga). Jakarta. Penerbit Erlangga.

Nawy, Edward. G. 2001. *Beton Prategang Suatu Pendekatan Mendasar Edisi Ketiga.*

- Penerbit : Erlangga. Jakarta. 452  
hlm.
- Prestressed Concrete Institute. 2004.  
*PCI Design Handbook 6th  
Edition*. Prestressed Concrete  
Institute, Chicago.
- PT. Waskita Karya. (2016). *Pembangunan  
Jalan Pendekat Jembatan  
Mahakam IV Sisi Samarinda Kota*
- PT. Waskita Beton Precast (2014). *Brosur  
Beton Precast Girder PCU dan  
PCI*.