

Analisis Perencanaan Jembatan Pusong – Kandang Menggunakan Sistem Prategang

Adlin Ashari Nasution¹⁾, Wesli²⁾

^{1, 2)} Jurusan Teknik Sipil Universitas Malikussaleh

Email: adlin.190110143@mhs.unimal.ac.id¹⁾, wesli@unimal.ac.id²⁾

(Received: 11 Oktober 2023 / Revised: 28 Oktober 2023 / Accepted: 02 November 2023)

Abstrak

Jembatan Pusong-Kandang berada di Kota Lhokseumawe yang berfungsi sebagai penyambung jalan lingkar jalan Medan-Banda Aceh yang berada di kawasan desa kandang dan juga berfungsi sebagai jalur evakuasi bencana. Penelitian ini bertujuan untuk melihat besarnya selisih nilai tinjauan antara penggunaan penampang box girder prategang dan PCI girder prategang. Penelitian ini dilakukan dengan mengubah penampang yang digunakan dan standar pembebanan berdasarkan SNI 1726-2016. Dalam penelitian ini didapatkan selisih nilai momen maksimum dan gaya lintang maksimum untuk penampang box girder dan PCI girder sebesar 8,5 % dan 6,9 %, tendon yang dibutuhkan antara penampang PCI dan Box adalah sebanyak 20 buah dan 18 buah, kehilangan prategang yang terjadi sebesar 25,97% dan 27,40% dengan selisih kehilangan prategang antara penampang box girder dan PCI girder sebesar 1,43 %. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perubahan bentuk penampang dari PCI girder ke bentuk box girder dapat mengurangi nilai gaya dalam serta kehilangan prategang yang terjadi pada jembatan.

Kata kunci: Beton prategang box girder, jembatan, kehilangan prategang, pci girder, tendon

Abstract

Pusong-Kandang Bridge is in Lhokseumawe City which functions as a connection to the Medan-Banda Aceh ring road which is in the Kandang village area and also functions as a disaster evacuation route. This research aims to see the magnitude of the difference in review scores between the use of prestressed box girder cross sections and PCI prestressed girders. This research was carried out by changing the cross-section used and the loading standards based on SNI 1726-2016. In this study, it was found that the difference between the maximum moment and maximum transverse forces for the box girder and PCI girder sections was 8.5% and 6.9%, the tendons required between the PCI and Box sections were 20 and 18, respectively, the loss of prestress that occurred amounting to 25.97% and 27.40% with a difference in prestress loss between the box girder and PCI girder sections of 1.43%. The results of this research show that changing the cross-sectional shape from PCI girder to box girder can reduce the value of internal forces and prestress losses that occur in the bridge.

Keywords: Prestressed concrete box girders, bridges, prestress loss, PCI girders, tendons

1. Latar Belakang

Jembatan adalah struktur yang dapat membantu transportasi darat dapat melintasi sungai, danau, kali, jalan raya, jalan kereta api dan lain-lain. Route transportasi berupa jalan kereta api, jalan trem, pejalan kaki, rentetan kendaraan dan lain-lain, (Apriyanto, 2021)

Jembatan Pusong-Kandang adalah jembatan yang telah direncanakan tahun 2019, jembatan ini berada di Kota Lhokseumawe yang berfungsi sebagai penyambung jalan lingkar jalan Medan-Banda Aceh yang berada di kawasan desa kandang dan juga berfungsi sebagai jalur evakuasi bencana. Panjang jembatan ini adalah 344 meter dengan lebar jembatan 23,5 meter yang terdiri dari 7 bentang. Konstruksi pada jembatan pusong-kandang ini terdiri dari dua konstruksi yakni konstruksi baja pada tengah bentang dengan panjang bentang 62 meter yang terdiri dari empat bentang, dan konstruksi beton prategang yakni menggunakan *PCI Girder* pada daerah ujung jembatan yang terdiri dari 3 bentang dengan panjang tiap bentang 30 meter, (Dwitunggal Putra, 2019.) Pada penelitian ini akan dilakukan peninjauan terhadap perencanaan yang telah dibuat, peninjauan ini berfokus pada konstruksi jembatan yang menggunakan sistem prategang, pada peninjauan dilakukan dengan mengganti bentuk penampang menggunakan *Box Girder prategang*.

Penelitian ini bertujuan untuk melihat perilaku struktur atas jembatan yang terjadi akibat perubahan bentuk penampang yang awalnya menggunakan *PCI Girder* prategang menjadi *Box Girder* prategang. Untuk pembebanan pada jembatan berdasarkan SNI 1725:2016, Pemodelan analisis struktur dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* SAP2000 dan untuk perhitungan menggunakan bantuan *software* Microsoft Excel.

2. Metode Penelitian

2.1 Beton Prategang

Menurut Lin and Burns (1982), beton prategang ialah beton yang mengalami tegangan internal yang besar dan distribusi gaya prategang yang sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi sampai batas tertentu tegangan yang hal ini dapat terjadi dikarenakan adanya beban eksternal. Menurut SNI 2387-2002 menjelaskan bahwa definisi dari prategang adalah beton yang dimana tegangan tariknya pada kondisi pembebanan tertentu dihilangkan atau dikurangi sampai batas aman.

2.2 Metode Penegangan

Menurut (Hamsyah, 2019), pada konstruksi beton prategang metode penegangan yang dipakai dalam pemberian gaya prategang pada beton prategang terbagi menjadi 2 yakni sebagai berikut:

A. Metode pratarik (*Pre-tension*)

Pada metode ini, kabel prategang akan dilakukan penarikan awal terlebih dahulu kemudian dilakukan pengecoran. Gaya praetgang akan melewati pada beton prategang pada bagian lekatan ketika beton sudah cukup keras setelah dilakukan pengecoran kemudian dilanjutkan dengan pemotongan ujung tendon. Metode ini sangat cocok digunakan untuk pembuatan beton prategang dalam jumlah yang banyak.

B. Metode paskatarik (*Post-tension*)

Pada metode ini beton akan dilakukan pengecoran terlebih dahulu kemudian dilanjutkan dengan tahap penarikan pada tendon. Pada metode ini, selongsong untuk alur tempat tendon akan dipasang terlebih dahulu setelah itu pengecoran dilaksanakan, setelah beton selesai dilakukan pengecoran kemudian dilanjutkan dengan tahap memasukkan tendon kedalam beton yang dimana telah dipasang selongsong tempat tendon tadi. Setelah beton telah mencapai kekuatan yang direncanakan maka dilanjutkan dengan penarikan tendon sesuai hasil perhitungan sebelumnya. Untuk metode ini tidak cocok dilakukan atau dilaksanakan dalam jumlah yang banyak, karena cara ini memakan waktu cukup lama dan cara ini juga memerlukan ketelitian yang tepat saat pengerjaan dilakukan.

2.3 Kehilangan Prategang

Kehilangan prategang adalah berkurangnya gaya yang bekerja pada tendon dalam tahap-tahap pembebanan (Andri Budiadi, 2008). Di dalam suatu sistem struktur beton prategang selalu terdapat kehilangan gaya prategang, baik akibat sistem penegangan maupun akibat pengaruh waktu. Kehilangan tegangan langsung disebabkan oleh:

A. Perpendekan elastis segera

$$ES = \frac{nT_i}{A_t} \quad (1)$$

Keterangan:

ES = kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis

n = rasio modulus elastis

T_i = gaya prategang awal

A_t = luas tampang tendon

B. Kehilangan akibat slip ankur

Besarnya nilai slip yang terjadi pada pengangkuran dipengaruhi oleh tipe baji pada pengangkuran dan tegangan tendon. Besar rata-rata slip dipengangkuran mencapai 2,5 mm, dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$ANC = \frac{srata - rata}{\Delta L} * 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

ANC = kehilangan prategang akibat slip ankur

Srata-rata = harga rata-rata slip ankur

ΔL = deformasi pada ankur

C. Kehilangan akibat gesekan sepanjang tendon

Kehilangan prategang ini dipengaruhi karena terjadi pergerakan selongsong tendon prategang dan kelengkungan tendon, kehilangan gaya prategang total sepanjang tendon akibat gesekan sepanjang tendon dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$fpf = f1 * e^{-(\mu\alpha + KL)} \quad (3)$$

Keterangan:

fpf	= kehilangan gaya prategang akibat gesekan sepanjang tendon
f1	= tegangan awal
μ	= koefisien gesekan
α	= sudut pada tendon
K	= koefisien wobble
L	= panjang tendon

D. Rangkak

Kehilangan prategang yang terjadi akibat rangkak dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$CR = Kcr \frac{Es}{Ec} (fci - fcd) \quad (4)$$

Keterangan:

CR	= kehilangan prategang akibat rangkak
Kcr	= koefisien rangkak
Es	= modulus elastisitas baja prategang
Ec	= modulus elastisitas beton
fci	= tegangan beton setelah gaya prategang
fcd	= tegangan beton pada pusat berat tendon

E. Susut

Kehilangan prategang yang terjadi akibat dari penyusutan yang terjadi pada beton dapat dihitung menggunakan persamaan berikut,

$$SH = \varepsilon sh * Ksh * Es \quad (5)$$

Keterangan:

SH	= kehilangan prategang akibat susut beton
εsh	= susut efektif beton
Ksh	= koefisien penyusutan
Es	= modulus elastisitas baja

F. Relaksasi baja prategang

Pengurangan akibat relaksasi baja tergantung akibat lamanya waktu berjalan dan rasio antara gaya prategang awal (fpi) dan prategang akhir (fpy). Besarnya nilai kehilangan tegangan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$RE = C[Kre - J(SH + CR + ES)] \quad (6)$$

Keterangan:

RE	= kehilangan prategang akibat relaksasi baja
C	= faktor relaksasi, tergantung tipe baja
Kre	= koefisien relaksasi, berkisar 41-138 N/mm ²
J	= faktor waktu berkisar 0,05-0,15
SH	= kehilangan prategang akibat susut beton
CR	= kehilangan prategang akibat rangkak beton
ES	= kehilangan prategang akibat perpendekan elastis

3. Hasil dan Pembahasan

Penyajian dalam hasil penelitian ini adalah hasil yang diperoleh dari perhitungan gaya – gaya dalam, perhitungan jumlah tendon, dan perhitungan kehilangan prategang untuk dapat dilihat perubahan nilai akibat perubahan penampang jembatan. Berikut penyajian hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan.

A. Bidang momen maksimum dan gaya lintang maksimum

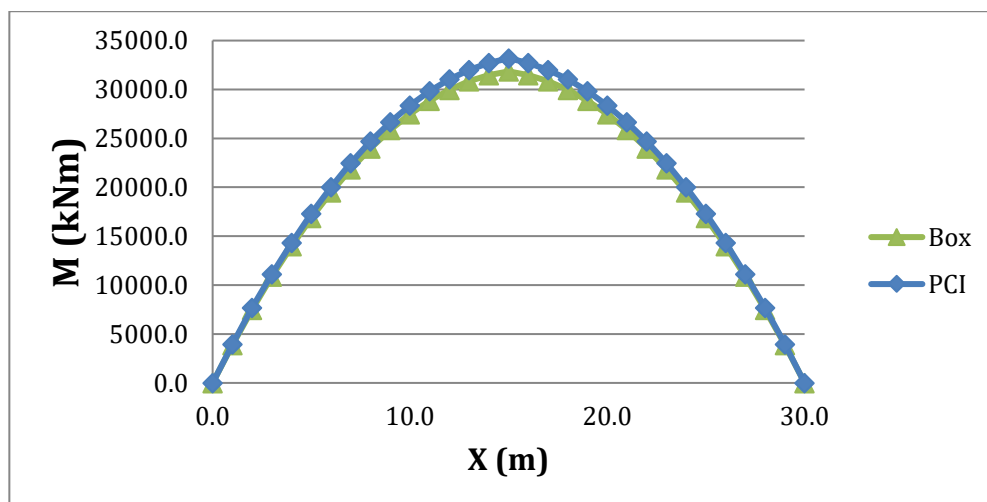
Pengurangan besarnya nilai gaya momen maksimum dan gaya lintang maksimum dipengaruhi oleh beban yang bekerja pada jembatan serta dipengaruhi oleh panjang bentang jembatan, untuk besarnya gaya dalam yang terjadi diperlihatkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1 Momen maksimum

Momen Maksimum Tengah Bentang	PCI girder (kNm)	BOX girder (kNm)	Selisih
Kombinasi 1 (MS+MA+TD+TB)	32619,900	30141,113	7,6%
Kombinasi 2 (MS+MA+TD+EW)	32822,300	30026,578	8,5%
Kombinasi 3 (MS+MA+TD+TB+EW)	33186,900	30367,913	8,5%
Kombinasi 4 (MA+MA+EQ)	21210,800	21990,178	-3,7%

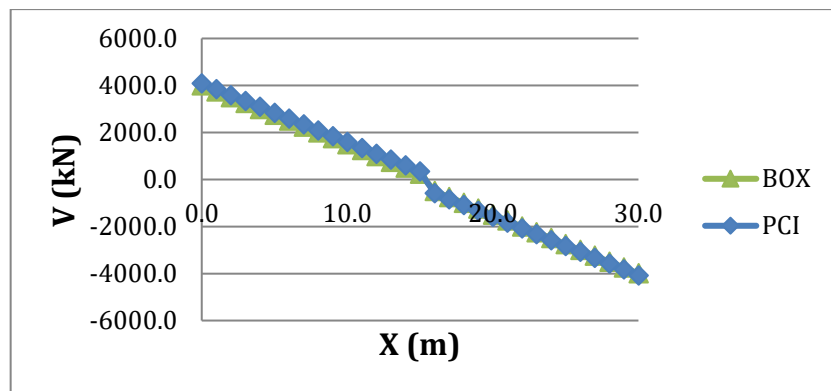
Tabel 2 Gaya lintang maksimum

Gaya Geser	PCI girder (kN)	BOX girder (kN)	Selisih
Kombinasi 1 (MS+MA+TD+TB)	4007,732	3771,219	5,9%
Kombinasi 2 (MS+MA+TD+EW)	4059,030	3778,704	6,9%
Kombinasi 3 (MS+MA+TD+TB+EW)	4083,330	3801,459	6,9%
Kombinasi 4 (MA+MA+EQ)	2828,100	2932,024	-3,7%



Gambar 1 Bidang momen penampang Box dan PCI

Setelah dilakukan perhitungan gaya – gaya dalam yang timbul pada penampang jembatan, besarnya gaya dalam yang timbul pada penampang PCI girder lebih besar daripada Penampang Box girder, yakni untuk momen maksimum yang timbul pada penampang PCI girder dan Box girder pada kombinasi 3 sebesar 33186,900 kNm dan 30367,913kNm dengan selisih sebesar 8,5%. Besarnya gaya lintang yang timbul pada penampang PCI girder dan Box girder pada kombinasi 3 sebesar 4083,330 kN dan 3801,459 kN dengan selisih sebesar 6,9%. Untuk besarnya momen maksimum dan gaya lintang pada kombinasi lainnya diperlihatkan pada tabel 3.1 dan tabel 3.2 dan grafik selisih momen maksimum dan gaya lintang maksimum diperlihatkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 2 Bidang lintang penampang Box dan PCI

B. Struktural tendon

Dari hasil penelitian didapatkan bahwa jumlah tendon yang dibutuhkan untuk penampang Box girder berjumlah 18 buah tendon dengan total jumlah kabel prategang sebanyak 270 buah sedangkan untuk penampang PCI girder memerlukan 20 buah untuk 5 buah profil PCI sepanjang bentang jembatan 30 meter dengan total jumlah kabel prategang sebanyak 285 buah. Tegangan leleh yang terjadi pada baja prategang untuk penampang PCI sebesar 74,27 % dan pada penampang Box girder sebesar 75,20 %. Nilai presentase leleh pada kedua penampang masih dikatakan aman karena masih dibawah batas ijin tegangan leleh yakni < 80 %. Hasil ini sesuai dengan penelitian (HAKIM, 2013) dan (Prasetya and Budi, 2014). Untuk lebih jelasnya dapat diperlihatkan pada Tabel 3

Tabel 3 Struktural tendon penampang Box dan PCI

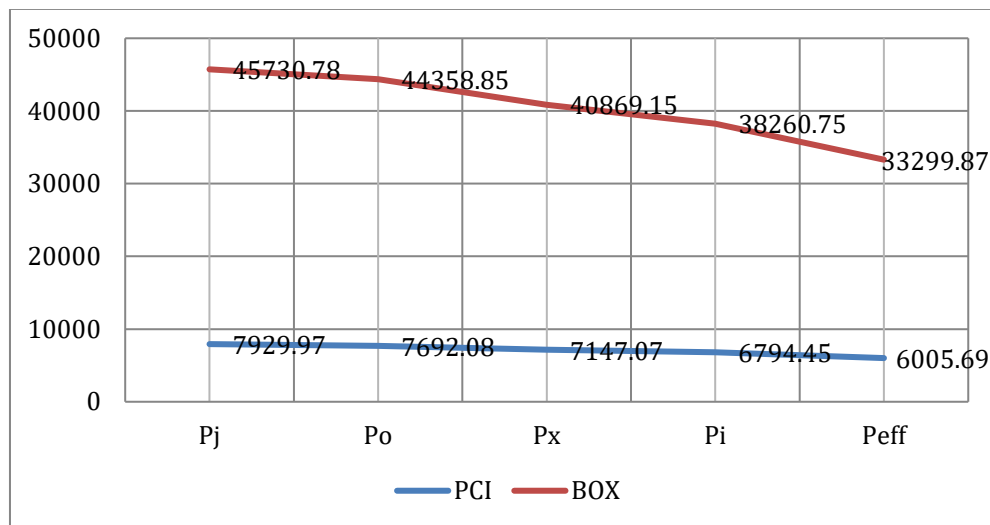
Tinjauan	Notasi	Nilai		Satuan
		Box	PCI	
Gaya Prategang	Pt	32327,18	6740,48	kN
Jumlah Tendon	Nt	18	20	Buah
Jumlah Strands	Ns	270	285	Buah
Persentase Tegangan leleh baja	Po	75,20	74,27	%
Gaya Prategang akhir	Peff	26622,38	5550,98	kN

C. Kehilangan prategang

Dari hasil penelitian didapatkan bahwa total kehilangan pretagang yang terjadi pada penampang tidak boleh melebihi batas ijin perencanaan yakni $< 30\%$. Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa kehilangan prategang yang terjadi pada penampang PCI yakni sebesar $25,97\%$ dan untuk penampang Box girder sebesar $29,37\%$ dengan selisih sebesar $1,43\%$. Kehilangan prategang yang timbul pada penampang PCI girder dan Box girder masih dibawah batas ijin perencanaan.

Tabel 4 Kehilangan prategang pada penampang Box dan PCI

No	Kehilangan Prategang	Notasi	Nilai		Satuan
			Box	PCI	
1	Gesekan ankur	Pj	45730,78	7929,97	kN
2	Gesekan Kabel	Po	44358,85	7692,08	kN
3	Pemendekan Elastis	Px	40869,15	7147,07	kN
4	Relaksasi Tendon	Pi	38260,75	6794,45	kN
5	Gaya Efektif	Peff	33299,87	6005,69	kN
Total Kehilangan Prategang			25,97%	27,40%	%



Gambar 3 Kehilangan prategang

Besarnya nilai kehilangan prategang yang timbul pada penampang box girder lebih kecil dimensi penampang box girder dimana ini mempengaruhi besarnya kehilangan prategang yang terjadi pada jembatan, sesuai dengan penelitian sesuai dengan penelitian (Nuur, 2018), (Faid, 2019), (Prayuda, 2021) dan (Rizkia, 2017). Untuk besarnya kehilangan prategang yang terjadi diperlihatkan pada Tabel 3 dan Gambar 3.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa pada penampang PCI girder gaya dalam yang terjadi yakni momen maksimum dan gaya lintang yang terjadi lebih besar daripada penampang box girder, yakni untuk momen maksimum yang timbul pada penampang PCI girder dan Box girder sebesar 33186,900 kNm dan 30367,913 kNm dengan selisih sebesar 8,5 % dan besarnya gaya lintang yang timbul pada penampang PCI girder dan Box girder sebesar 4083,330 kN dan 3801,459 kN dengan selisih sebesar 6,9 %.

Tendon yang dibutuhkan untuk penampang Box girder berjumlah 18 buah tendon dengan total jumlah kabel prategang sebanyak 270 buah sedangkan untuk penampang PCI girder memerlukan 20 buah untuk 5 buah profil PCI sepanjang bentang jembatan 30 meter dengan total jumlah kabel prategang sebanyak 285 buah. Tegangan leleh yang terjadi pada baja prategang untuk penampang PCI Sebesar 74,27 % dan pada penampang Box girder sebesar 75,20 %.

kehilangan prategang yang terjadi pada penampang PCI yakni sebesar 27,40 % dan untuk penampang Box girder sebesar 25,97 %, nilai kehilangan prategang dari kedua penampang masih < 30 %, dengan selisih Kehilangan prategang antara penampang PCI girder dan Box girder sebesar 1,43 %.

Kedua penampang baik PCI girder dan Box girder sama-sama dapat digunakan untuk perencanaan jembatan pusong kandang sendiri namun penampang box girder mampu mengurangi besarnya nilai gaya dalam dan kehilangan prategang yang terjadi pada jembatan.

4.2 Saran

Berdasarkan analisis data yang telah dilakukan, maka saran yang dapat diberikan adalah penelitian ini hanya menghitung struktur atas jembatan menggunakan box girder prategang, disarankan melakukan perhitungan efektifitas penggunaan penampang box girder dan penampang PCI serta melakukan evaluasi perhitungan biaya penggunaan penampang box girder dan penampang PCI .

Daftar Kepustakaan

- Apriyanto, D., 2021. Perencanaan Girder Jembatan Beton Prategang Jl. Raya Sememi Benowo Surabaya Section 0-152. *Axial: Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Konstruksi* 9, 035–040.
- Chairiyah, C., Syukri, S., Miswar, K., 2020. Perencanaan Box Girder Pada Jembatan Krueng Cut Kota Banda Aceh. *Jurnal Sipil Sains Terapan* 3.
- Dwitunggal Putra, P.S., 2019. Laporan Analisa Struktur Ded Jembatan Kota Lhokseumawe.
- Faid, M., 2019. Perencanaan Ulang Jembatan Curahmalang Jember Menggunakan Box Girder Pratekan.
- Fikri, M.S.A., 2019. Perencanaan Box Girder Pada Flyover Simpang Surabaya Kota Banda Aceh. *Jurnal Sipil Sains Terapan* 2.

- HAKIM, L., 2013. Perencanaan Ulang Struktur Atas Jembatan Gajah Wong Yogyakarta Dengan Menggunakan Box Girder (Phd Thesis). Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Hamsyah, A., 2019. Perencanaan Ulang Struktur Atas Menggunakan Box Girder Pada Ruas Jembatan Srigonco-Pantai Balekambang Kecamatan Bantur Kabupaten Malang (Phd Thesis). University Of Muhammadiyah Malang.
- Herdiansyah, H., Pangaribuan, M.R., 2013. Pengaruh Batu Cadas (Batu Trass) Sebagai Bahan Pembentuk Beton Terhadap Kuat Tekan Beton. *Inersia: Jurnal Teknik Sipil* 5, 11–20.
- Hidayat, A.S., Chayati, N., 2014. Perancangan Struktur Atas Jembatan Beton Prategang. *ASTONJADRO: CEAESJ* 3, 29–42.
- Indonesia, S.N., 2016. Pembebanan Untuk Jembatan. SNI 1725, 2016.
- Karramal, M.F., 2016. Perencanaan Box Girder Prategang Struktur Atas Fly Over Simpang Air Hitam Samarinda. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Lin, T.Y., Burns, N.H., 1982. Design Of Prestressed Concrete Structures. USA: John Iley & Sons, Inc. Terjemahan Oleh D. Irawan MCE 1996. Desain Struktur Beton Prategang.
- Maizuar, Lihai Zhang, Russell Thompson, Herman Fithra, 2017, Life-Cycle Performance of A Bridge Subjected To Multiple Heavy Vehicle Impacts, Emerald Reach Proceedings Series Vol. 1, pp 13-18
- Nasional, B.S., 2002. SNI 03-2847-2002: Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. BSN, Jakarta.
- Nawy, E.G., Hardani, W., Suryoatmono, B., 2001. Beton Prategang: Suatu Pendekatan Mendasar. Erlangga.
- Nuur, A.A., 2018. Perencanaan Jembatan Pondok Nongko Banyuwangi Menggunakan Box Girder.
- Pramudhita, G., Buwono, H.K., 2019. Analisis Nonlinier Static Pushover Struktur Gedung Bertingkat Soft Story Dengan Menggunakan Material Beton Bertulang Dan Beton Prategang Pada Balok Bentang Panjang. *Konstruksia* 10, 95–106.
- Prasetya, W.A., Budi, G.S., 2014. Perhitungan Jembatan Layang (Flyover) Dengan Tipe Box Girder Beton Prategang (Prestressed Concrete) Untuk Pertemuanjalan Mayor Alianyang Dan Jalan Soekarno-Hatta Kabupaten Kubu Raya. *Jelast: Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang* 1.
- Prayuda, H., 2021. Pengaruh Modifikasi Penampang Pada I-Girder Dan Box Girder Beton Prategang Terhadap Kekakuan Dan Lendutan. *MEDIA KOMUNIKASI TEKNIK SIPIL* 27, 97–106.
- Rahmawati, C., Zainuddin, Z., Is, S., Rahim, R., 2018. Comparison Between PCI And Box Girder In Bridgesprestressed Concrete Design, In: *Journal Of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, P. 012065.
- Ridwan, M., 2017. Analisa Struktur Box Girder Jalan Layang Kereta Api Kualanamu.
- Ristanti, D.R., Nurhidayatullah, E.F., 2019. Efektifitas Penampang Jembatan Tipe Box Girder Prategang Dibandingkan Dengan Struktur I Girder Prategang, Studi Kasus: Jembatan Sarigono Effectiveness Of Types Of Prestressed Box Girder Of Bridges Compared To Structure 1 Of Prestressed Girder Case Study: Sarigono Bridge (Phd Thesis). University Technology Yogyakarta.

- Rizkia, S.R., 2017. Analisis Perbandingan Kehilangan Prategang Akibat Metode Stressing Satu Arah Dan Dua Arah Pada Jembatan Beton Prategang.
- Rizqa, S., Naibaho, A., 2021. Perencanaan Ulang Pembangunan Jalan Layang Box Girder Jalan Akses Bandara Jenderal Ahmad Yani Semarang. Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi (JOS-MRK) 2, 143–148.
- Roestaman, R., Permana, S., Merliana, R., 2020. Analisis Prategang Pada Box Girder Longspan Ciliwung LRT Jabodebek. Jurnal Konstruksi 18, 101–110.
- RSNI T-12-2004 Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan.
- Struyk, H.J., N.D. Van Der Veen, KHCW, Soemargono., 1995. Jembatan, Pradnya Paramitha, Jakarta.
- Sulastri, S., 2018. Perencanaan Ulang Jembatan Meninting Menggunakan Precast Segmental Box Girder (Phd Thesis). Universitas Mataram.
- Walujodjati, E., Gumilar, E.C., 2022. Analisis Kapasitas Box Girder Pada Jembatan. Jurnal Konstruksi 20, 126–138.
- Wibisono, H., 2017. Pengaruh Variasi Tinggi Penampang Dan Mutu Beton Terhadap Karakteristik Box Girder Prestressed Bentang 50 Meter