

Analisis Beton Prategang dengan Variasi Penampang Box Girder

Analisis of Prestressed Concrete with type Variations Box Girder

Kori Anggraini, Hakas Prayuda, Taufiq Ilham Maulana

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Jembatan beton umumnya dipilih untuk membangun jembatan dengan bentang pendek karena sesuai sifat strukturnya yang kuat menahan gaya tekan namun lemah dalam menahan gaya tarik. Perkembangan teknologi menemukan cara untuk mengatasi kelemahan beton, yaitu dengan cara memberikan tegangan pada beton melalui tendon-tendon baja yang biasa disebut dengan beton prategang. Salah satu jenis gelagar yang umum digunakan untuk pembangunan jembatan maupun *flyover* adalah *box girder*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan penampang yang efektif untuk diaplikasikan pada pembangunan jembatan atau *flyover* dari tiga variasi *box girder*. Tiga variasi *box girder* ini memiliki luasan dan jumlah tendon yang sama, agar hasil dari penelitian ini bisa dibandingkan. Metode penelitiannya adalah metode pengolahan dan menganalisis data dengan *microsoft excel*, sedangkan metode pengumpulan data yang digunakan adalah *library research* (penelitian kepustakaan). Hasil analisis hitungan dari perbandingan nilai tegangan (kondisi awal, akhir dan akibat pembebanan) yang memiliki nilai tegangan maksimum adalah penampang tipe 3. Sedangkan nilai defleksi atau lendutan (kondisi akhir, kehilangan tegangan dan akibat pembebanan) terkecil pada penampang tipe 3.

Kata kunci: jembatan, *flyover*, *box girder*, beton prategang, defleksi

Abstract. Concrete bridges are chosen to build bridges with short spans because the properties strong concrete structures for compressive force, but weak in resisting tensile forces. The new technology have way to resolve the weakness of concrete, that is with gives tension to the concrete through a strands that is called prestressed concrete. One of common girder used to build bridges or flyovers is the box girder. The present study aims to get an effective cross section of box girder variation to be applied on bridge construction. Three variations of this box girder have the same area and number of strands, so the result of this study can be compared. This study method is processing and data analysis with microsoft excel. While the data collection method used is library research. The results of the stress values (initial condition, final condition and effect of the load) has a maximum prestressed values is box girder type 3, meanwhile on deflection values (initial condition, final condition and effect of the load) minimum values is box girder type 3.

Key words: bridges, flyover, box girder, prestressed concrete, strands, deflection.

1. Pendahuluan

Beton prategang (*Prestressed concrete*) yaitu beton struktural dimana tegangan dalam diberikan untuk mereduksi tegangan tarik potensial dalam beton yang dihasilkan dari beban (BSN, 2013). Gaya prategang yaitu gaya tekan yang memberikan tegangan pada penampang disepanjang bentang suatu elemen struktural sebelum bekerjanya beban mati dan beban hidup transversal atau beban hidup horizontal transien (Nawy, 2001). Salah satu pengaplikasian beton prategang yaitu pada girder jembatan. Beton prategang pada jembatan digunakan untuk meminimalisir

waktu pekerjaan dan untuk mengatasi kelambatan beton yang lemah terhadap gaya tarik yaitu pemberian tegangan melalui baja-baja dalam kabel sehingga beton mencapai tegangan ultimit yang diinginkan sehingga mampu menahan gaya tarik dengan baik. Salah satu bentuk umum beton prategang yang diaplikasikan pada jembatan yaitu girder berbentuk *box girder*.

Penelitian tentang balok prategang telah banyak diteliti oleh beberapa peneliti diantaranya seperti: Perencanaan Jembatan *slab on pile* pada Sungai Brantas pada Proyek Tol Solo – Kertosono Sta. 176+050 – Sta. 176+375,

hasil analisis penelitian diperoleh tebal rencana seluruh *full slab* dan jumlah tulangan dan dimensinya (Wicaksono dkk., 2016). Perhitungan Perancangan Jalan Layang Akses Terminal A Mangkang Semarang, hasil penelitian ini adalah desain konstruksi jembatan (Nurrianto dkk., 2013). Perancangan ulang Struktur Atas jembatan Gajah Wong Yogyakarta dengan *box girder*, hasil analisis ini diperoleh tegangan yang menunjukkan beton tersebut masih aman (Hardwiyono dkk., 2013). Analisis *box girder fly over* Rawabuaya sisi barat terhadap Jalur Gempa, hasil penelitian ini menunjukkan Jembatan Rawabuaya memiliki beban gempa 10% (Meidiandiyah dkk., 2016). Tinjauan Ulang *Two Cell Box Girder* Beton Prategang pada Perencanaan Pembangunan *Fly over* di kota Banda Aceh, hasil analisis menunjukkan momen lentur, rasio kapasitas geser dan lendutan pada penampang masih memenuhi syarat (Hady dkk., 2017). Analisis Non Linier Tegangan dan Deformasi Struktur Jembatan Beton Prategang pada Tahap Konstruksi dengan Metode *Balanced Cantilever*, hasil analisis ini berupa perbandingan deformasi yang dihitung menggunakan *software* SAP 2000 dan ATENA (Setyawan dan Sulistyono 2013). Studi Parametrik Pengaruh Kuat Tekan Beton dan Gaya Prategang Awal Terhadap Dimensi Penampang T Balok Beton Prategang (Studi Kasus Hotel Alila, Surakarta), hasil analisis ini diperoleh perbandingan optimasi antara parameter gaya prategang (P) dengan luas penampang (A) dengan $f_c' 47$ MPa (Syaiyullah dkk, 2016). Pengaruh Panjang Sambungan pada Beton Prategang Segmental Bertulang Limbah Ban, hasil penelitian ini menunjukkan kuat lentur maksimal tanpa tulangan sebesar 15 kN sedangkan pada balok prategang 4,5-7 kN setelah beban maksimum tercapai beton prategang masih mempunyai kekuatan sisa untuk menahan kurang lebih 1 kN (Martoyo, 2017). Perbandingan Penggunaan PCU dan PCI *girder* pada Jembatan Jurang Gempal di daerah Wonogiri, hasil analisis berupa perbedaan kebutuhan *strand*, luasan dan kebutuhan jumlah tulangannya (Putra dkk, 2017). Perencanaan Beton Prategang pada Struktur Atas Jembatan Cinangneng, hasil analisis diperoleh tegangan dan lendutan (Hidayat dan Chayati, 2014).

Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh penampang yang efektif dari tiga variasi penampang *box girder* dengan membandingkan hasil dari analisis hitungan berupa nilai tegangan dan lendutan yang terjadi pada penampang *box girder* (kondisi awal atau transfer beban, kondisi akhir atau kehilangan prategang dan pada kondisi pembebanan). Tiga variasi *box girder* ini memiliki luasan dan jumlah tendon yang sama, agar hasil dari penelitian ini bisa di bandingkan.

2 Landasan Teori

Pembebanan Box Girder

Pembebanan dan kombinasi pembebanan beton prategang pada penelitian ini mengacu pada peraturan Pembebanan untuk Jembatan yaitu SNI 1725-2016.

Beban Mati

Beban mati jembatan terdiri dari berat setiap komponen struktural maupun non-struktural yang menjadi satu kesatuan. Beban mati terdiri dari berat sendiri (MS) yaitu berat jembatan dan elemen-elemen struktural dan berat mati tambahan (MA) yaitu beban jembatan dari elemen-elemen nonstruktural.

Beban Hidup (Beban Lalu Lintas)

Beban lalu lintas terdiri dari beban truk "T" dan beban lajur "D" (beban yang bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan yang terdiri atas beban terbagi merata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT)).

Gaya Rem (TB)

Gaya rem diambil dari yang terbesar dari 25% dari berat gandar truk desain atau 5% dari beban truk rancangan di tambah beban BTR. Gaya ini diasumsikan bekerja secara horizontal pada jarak 1,8 meter di atas permukaan jalan.

Pembebanan untuk Pejalan Kaki (TP)

Semua komponen trotoar yang lebih besar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa dan dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan pada masing-masing lajur kendaraan.

Beban Angin (EW)

Jembatan harus mampu memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan dimana tekanan tersebut harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm tegak lurus dan bekerja 1800 mm di atas permukaan jalan.

Beban Gempa (EQ)

Gaya gempa dapat ditentukan dengan Persamaan 1.

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R} \times W_t \dots\dots\dots (1)$$

dengan:

- E_Q = gaya gempa horisontal statis (kN)
- C_{sm} = koefisien respon gempa elastik pada mode getar ke-m
- R = faktor modifikasi respon
- W_t = berat total struktur (beban mati dan beban hidup) (kN)

Kombinasi pembebanan mengacu pada SNI 1725-2016 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Kombinasi pembebanan (BSN, 2016)

Aksi/ Beban	Kuat I	Kuat II	Kuat III	Kuat IV	Kuat V	Ekstrim I	Ekstrim II	Layan I	Layan II	Layan III	Layan IV
MS	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
MA	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
PR	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
TD	√	√				√	√	√	√	√	
TB	√	√				√	√	√	√	√	
TP	√	√				√	√	√	√	√	
EW _s			√		√			√			√
EW _L					√			√			
EQ						√					

Posisi Tendon

Lintasan tendon berupa garis melengkung, yang berarti setiap titik dalam lintasan dicari menggunakan Persamaan 2.

$$y = 4 \times f \times \frac{x}{L^2} \times (L - x) \dots\dots\dots (2)$$

dengan:

- f = e_s (eksentrisitas) (m)
- X = jarak lintasan tendon (m)
- L = panjang balok (m)

Pemeriksaan Tegangan

a. Kondisi awal (saat transfer)

Tegangan ijin pada kondisi awal meliputi tegangan tekan $< 0,6 f_{ci}'$ dan tegangan tarik beton $< 0,25 \sqrt{f_{ci}'}$ (BSN, 2002). Tegangan serat atas dapat dihitung dengan Persamaan 3 dan tegangan serat bawah dihitung dengan Persamaan 4.

$$0,25\sqrt{f_{ci}'} = \frac{-P_t}{A} + \frac{P_t \times e_s}{W_a} - \frac{M_{bs}}{W_a} \dots\dots\dots (3)$$

$$-0,6f_{ci} = \frac{-P_t}{A} - \frac{P_t \times e_s}{W_b} - \frac{M_{bs}}{W_b} \dots\dots\dots (4)$$

b. Kondisi akhir (saat service)

Tegangan ijin pada kondisi akhir meliputi tegangan tekan $< 0,45 f_c'$ dan untuk tegangan tarik beton $< 0,50 \sqrt{f_{ci}'}$ (BSN, 2002). Tegangan diserat atas dihitung dengan Persamaan 5, sedangkan tegangan serat bawah dihitung dengan Persamaan 6.

$$-0,45f_{ci} = \frac{-P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff} \times e_s}{W_a} - \frac{M_{bs}}{W_a} - \frac{M_{TD}}{W_a} \dots\dots\dots (5)$$

$$0,50\sqrt{f_{ci}'} = \frac{-P_{eff}}{A} - \frac{P_{eff} \times e_s}{W_b} - \frac{M_{bs}}{W_b} + \frac{M_{TD}}{W_b} \dots\dots\dots (6)$$

dengan:

- P_t = gaya prategang awal
- A = luas penampang balok
- E = eksentrisitas
- M_{bs} = momen akibat berat sendiri
- W_b = section properties
- M_{TD} = momen maksimum pada balok akibat beban lajur "D"

Kehilangan Prategang (Loss of Prestress)

Pada penelitian ini untuk menghitung kehilangan prategang mengacu pada (Nawi, 2001). Sumber kehilangan prategang yang harus diperhitungkan (BSN, 2013) yaitu:

a. Kehilangan Tegangan akibat Dudukan Angker (A), Kehilangan tegangan akibat dudukan angker dapat dihitung dengan Persamaan 7.

$$\Delta f_{pA} = \frac{\Delta A}{L} E_{ps} \dots\dots\dots (7)$$

dengan:

- ΔA = besar gelincir (m)
- L = panjang tendon (m)
- E_{ps} = modulus elastisitas strand (MPa)

- b. Kehilangan tegangan akibat perpendekan elastis beton. Jika tendon memiliki eksentrisitas dan momen akibat berat sendiri diperhitungkan maka tegangan yang dialami beton pada pusat berat tendon baja prategang dapat dihitung dengan Persamaan 8.

$$f_{cs} = -\frac{P_i}{A_c} \left(1 + \frac{e^2}{r^2}\right) + \frac{M_{De}}{I} \dots\dots\dots (8)$$

- c. Kehilangan tegangan akibat rangkakan beton (CR) Deformasi atau aliran lateral akibat tegangan longitudinal disebut rangkakan. Kehilangan akibat rangkakan dengan dapat dihitung dengan Persamaan 9.

$$\Delta f_{pCR} = n K_{CR} (\bar{f}_{cs} - \bar{f}_{csd}) \dots\dots\dots (9)$$

dengan:

- K_{CR} = 2,0 untuk komponen struktur pratarik
 1,60 untuk komponen struktur pascatarik
 f_{cs} = tegangan pada beton di pusat berat tendon setelah transfer
 f_{csd} = tegangan pada beton di pusat berat tendon akibat semua beban mati tambahan setelah prategang diberikan
 n = rasio modulus

- d. Kehilangan tegangan akibat susut (SH). Besarnya susut beton dipengaruhi beberapa faktor seperti proporsi campuran, tipe semen, tipe agregat, waktu perawatan, waktu antara akhir perawatan dan pemberian tegangan, ukuran komponen struktur dan kondisi lingkungan. Kehilangan tegangan akibat susut dapat dihitung dengan Persamaan 10.:

$$\Delta f_{pSH} = 8,2 \times 10^{-6} K_{SH} E_{ps} \left(1 - 0,06 \frac{V}{S}\right) (100 - RH) \dots\dots\dots (10)$$

- dengan:
 K_{SH} = koefisien komponen struktur pasca tarik pada Tabel 3.6 (Nawi, 2001)
 E_{ps} = modulus elastisitas baja prategang
 V/S = rasio volum-permukaan
 RH = persen kelembaban relatif

- e. Kehilangan tegangan akibat relaksasi baja (R), Kehilangan akibat relaksasi baja dapat dihitung dengan Persamaan 11.

$$\Delta f_{pR} = [K_{re} - J(f_{pES} + f_{pCR} + f_{pSH})] \times C \dots\dots\dots (11)$$

- dengan:
 Nilai koefisien K_{RE} dan J diambil pada Tabel 3.5 (Nawi, 2001)
 Nilai koefisien C diambil pada Tabel 3.4 (Nawi, 2001)

f_{pES} = kehilangan tegangan akibat elastis beton

f_{pCR} = kehilangan tegangan akibat rayapan

f_{pSH} = kehilangan tegangan akibat susut

- f. Kehilangan tegangan akibat friksi (F). Kehilangan tegangan akibat friksi pada struktur pascatarik terjadi disebabkan adanya gesekan antara tendon dan beton yang berada di sekelilingnya. Tegangan akibat friksi maksimum terjadi pada ujung balok. Dengan demikian kehilangan tegangan ini akan bervariasi di sepanjang bentang linier balok. Dapat dihitung dengan Persamaan 12.

$$\Delta f_{pF} = -f_1 (\mu a + KL) \dots\dots\dots (12)$$

dengan:

- f_1 = tegangan yang terjadi akibat gaya prategang awal P_i
 μ = koefisien kelengkungan
 K = nilai koefisien *wobble* diambil dari Tabel 3.7 (Nawi, 2001)

Lendutan pada Box Girder

Komponen struktur beton yang dapat mengalami lendutan harus direncanakan memiliki kekakuan yang cukup untuk membatasi defleksi atau lendutan yang dapat memperlemah kekuatan dari suatu struktur tersebut. Lendutan izin maksimum yang dihitung untuk sistem struktur beton prategang yaitu $L/240$ (BSN, 2012).

Dari mekanika bahan untuk menghitung defleksi tengah bentang pada balok yang ditumpu sederhana yang dibebani terbagi merata yaitu dengan Persamaan 13.

$$\delta = \frac{5}{384} \frac{w l^4}{E_c I_x} \dots\dots\dots (13)$$

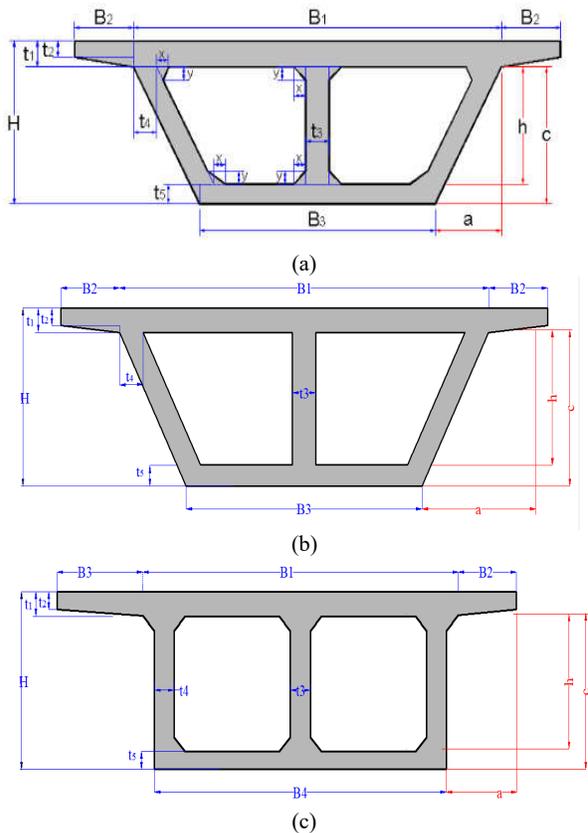
dengan:

- δ = defleksi (m)
 w = beban (kN/m)
 l = panjang bentang (m)
 E_c = modulus elastisitas beton (kPa)
 I_x = momen inersia efektif untuk penampang defleksi (m⁴).

3 Metode Penelitian

Penampang Box Girder

Perhitungan ini menggunakan bantuan *software* sederhana *Microsoft Excel 2013*. Metode pengumpulan data yang digunakan adalah penelitian kepustakaan. Variasi penampang *box girder* pada Gambar 1 dan data spesifikasinya pada Tabel 2.



Gambar 1 Bentuk penampang *box girder* (a) penampang tipe 1, (b) penampang tipe 2, (b) penampang tipe 3

Tabel 2 Data spesifikasi *box girder*

No.	Simbol	Tipe 1 (m)	Tipe 2 (m)	Tipe 3 (m)
1.	B1	6,25	6,25	5,67
2.	B2	1,00	1,00	1,04
3.	B3	4,00	4,00	1,54
4.	B4	-	-	5,24
5.	t ₁	0,35	0,35	0,35
6.	t ₂	0,25	0,25	0,25
7.	t ₃	0,40	0,42	0,36
8.	t ₄	0,40	0,40	0,35
9.	t ₅	0,25	0,30	0,25

Data Jembatan

Panjang bentang jembatan adalah 50 meter, dengan dua jumlah girder, masing-masing lebar jalur adalah 7 meter. Tebal lapisan aspal ditambah overlay adalah 0,1 m. Lebar median 1 meter dan lebar trotoar 1 meter. Mutu beton balok prategang adalah K-500, sehingga kuat tekan beton (f_c') adalah 41,5 MPa. Jenis *strands* yang digunakan adalah *Uncoated 7 wire super strands ASTM A - 416 grade 270*.

4 Hasil dan Pembahasan

Analisis Penampang *Box Girder*

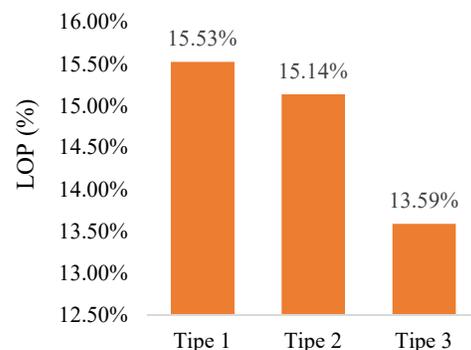
Tahap pertama dalam penelitian ini yaitu menganalisis penampang *box girder*. Momen dan gaya geser yang diperoleh terlihat dalam Tabel 2.

Tabel 2 Analisis *box girder*

No.	Penampang	V (kN/m)	M (kN)
1.	Tipe 1	49884,3	3990,75
2.	Tipe 2	49910,2	3992,82
3.	Tipe 3	49916,7	3993,33

Kehilangan Gaya Prategang (*Loss of Prestress*)

Total gaya prategang yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 1. Selanjutnya hasil dari hitungan tegangan yang terjadi pada tendon baja (f_p), tipe 1 sebesar 1271189,316 kPa, tipe 2 sebesar 1275083,611 kPa dan tipe 3 sebesar 1289117,626 kPa. Tahap kontrol (BSN, 2013) tegangan ijin tendon pasca-tarik, segera setelah penyaluran gaya adalah $< 0,70 f_{pu} = 0,70.1860000 = 1302000$ kPa. Jadi, dapat disimpulkan tegangan yang terjadi pada tendon baja pada semua bentuk penampang *box girder* masih memenuhi persyaratan, karena $f_p < 0,70 f_{pu}$.

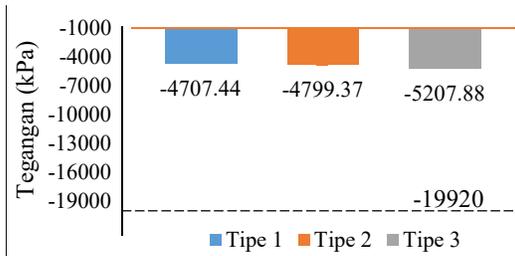


Gambar 2 Kehilangan prategang (*LOP*)

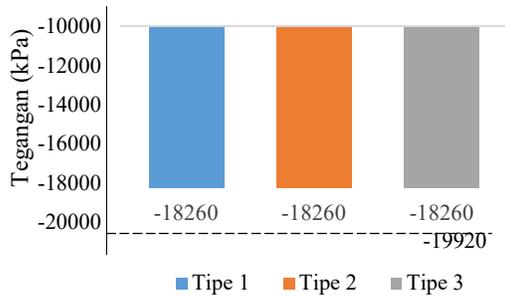
Tegangan yang terjadi pada *Box Girder*

a. Keadaan awal (saat tranfer)

Tegangan beton di serat atas (f_{ca}) (pada Gambar 3) menunjukkan hasil bahwa ketiga penampang tersebut masih memenuhi persyaratan yang ditentukan. Nilai tegangan paling besar terjadi pada penampang tipe 3 yaitu sebesar 5207,88 kPa. Sedangkan tegangan beton di serat bawah (f_{cb}) diperoleh nilai tegangan yang sama yaitu 18260 kPa.



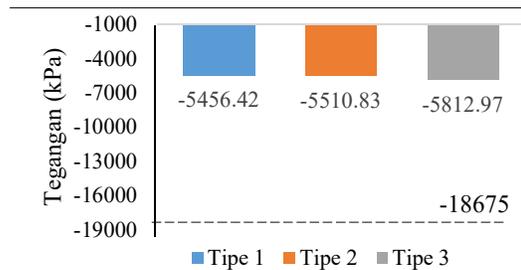
Gambar 3 Tegangan beton diserat atas, f_{ca} (kPa)



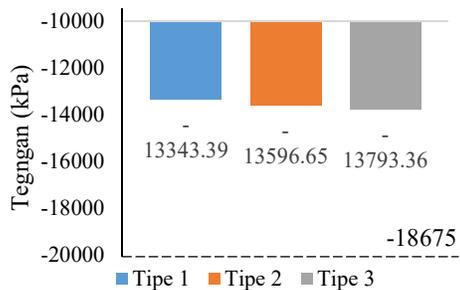
Gambar 4 Tegangan beton diserat bawah, f_{cb} (kPa)

Keadaan setelah Loss of Prestress

Tegangan beton di serat atas dan bawah (Gambar 5 dan Gambar 6) menunjukkan hasil bahwa ketiga penampang tersebut masih memenuhi persyaratan yang ditentukan. Nilai tegangan maksimum terjadi pada penampang tipe 3 yaitu 5812,97 kPa pada serat atas dan 13793,36 kPa pada serat bawah.



Gambar 5 Tegangan beton diserat atas, f_{ca} (kPa)

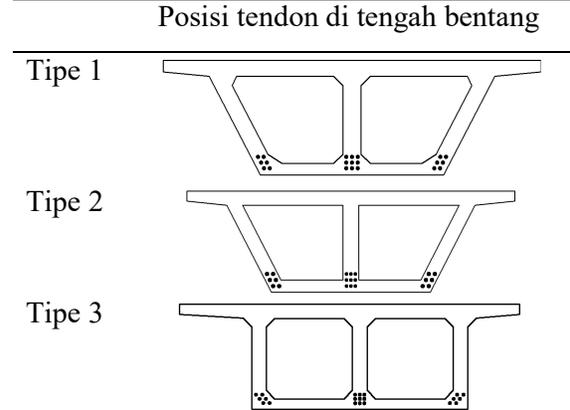


Gambar 6 Tegangan beton diserat bawah, f_{cb} (kPa)

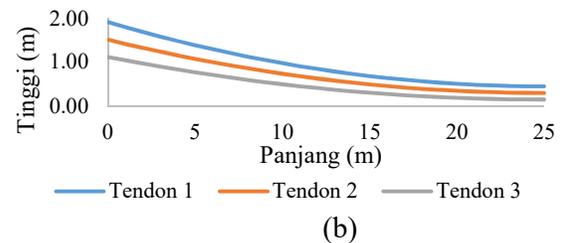
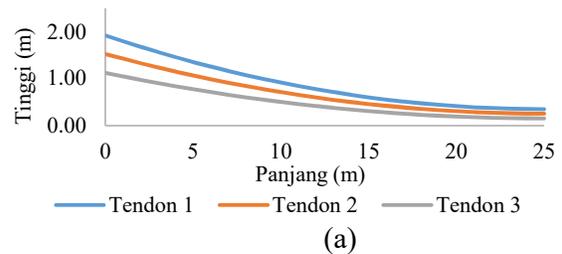
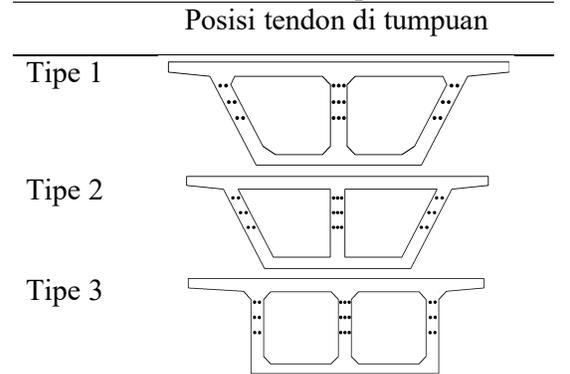
Posisi Tendon

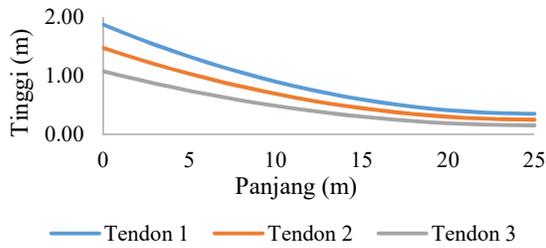
Arah lintasan tendon diperoleh dari menetapkan posisi tendon di tengah bentang dan di ujung tendon (tumpuan). Posisi tendon ketiga penampang *box girder* dapat dilihat pada Tabel 3 dan Table 4. Arah lintasan tendon ketiga penampang penampang *box girder* dapat dilihat di Gambar 7.

Tabel 3 Posisi tendon di tengah bentang



Tabel 4 Posisi tendon di tumpuan



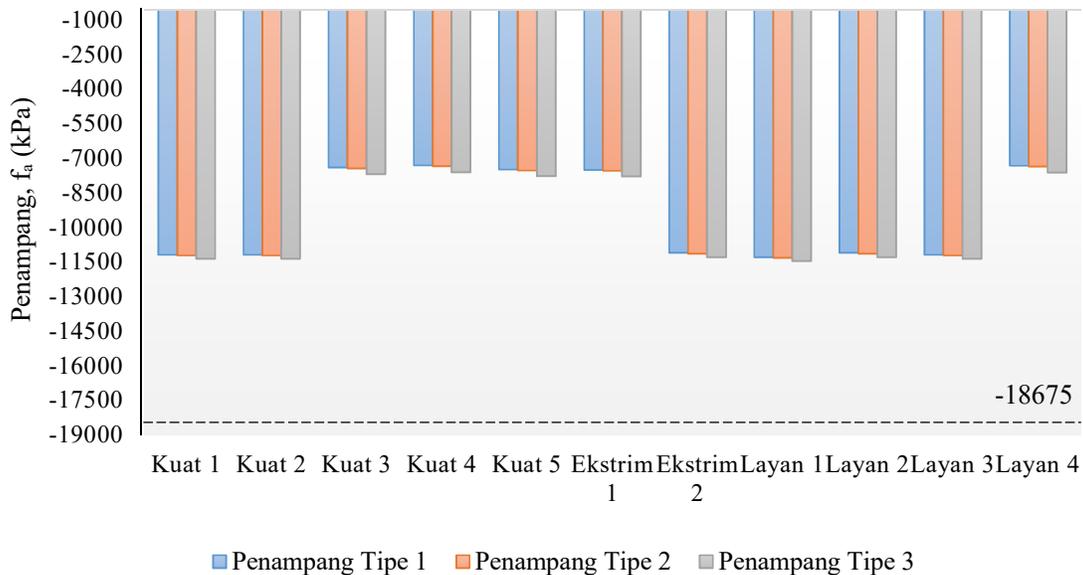


(c)

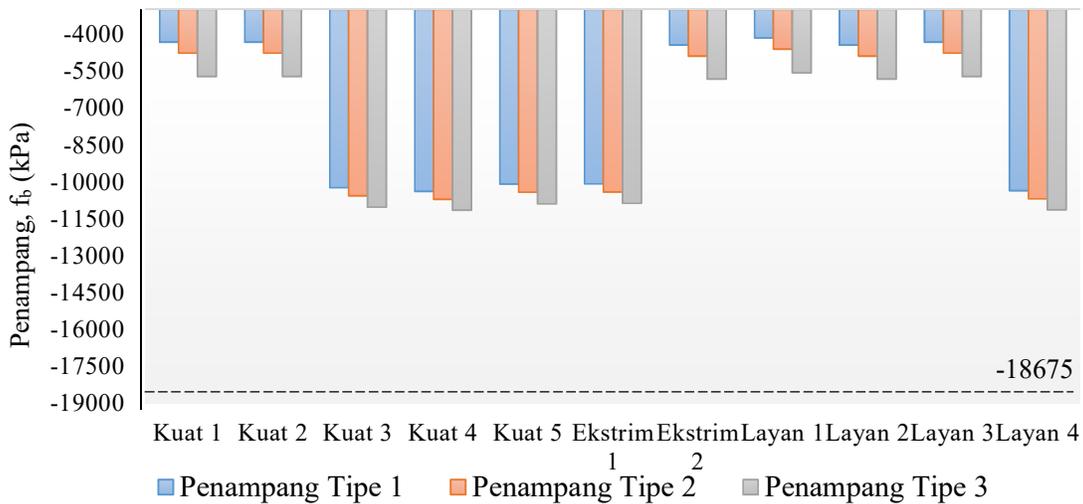
Gambar 7. Arah lintasan tendon (a) tipe 1, (b) tipe 2 dan (c) tipe 3

Tegangan Box Girder akibat pembebanan

Perhitungan tegangan *box girder* akibat beban meliputi tegangan beton di serat atas plat dan tegangan beton di serat bawah yang dihitung pada setiap pembebanan. Tahap kontrol tegangan terhadap kombinasi pembebanan (BSN, 2016). Tegangan ijin tekan adalah $-0,45 f_c' = -0,45 \cdot 41500 \text{ kPa} = -18675 \text{ kPa}$. Sedangkan tegangan ijin tarik adalah $0,5 \sqrt{f_{ci}'} = 0,5 \sqrt{41500} = 102 \text{ kPa}$. Hasil tegangan dari semua kombinasi (Gambar 8 dan 9) telah memenuhi persyaratan tegangan ijin tekan dan tarik. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai maksimum tegangan beton di serat atas pada penampang tegangan tipe 1.



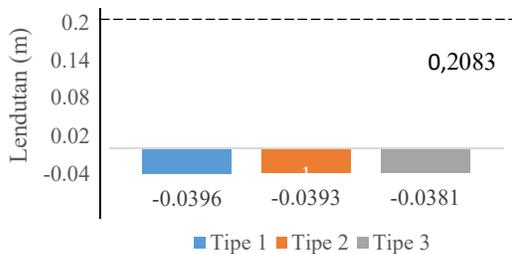
Gambar 8 Perbandingan nilai tegangan pada serat atas



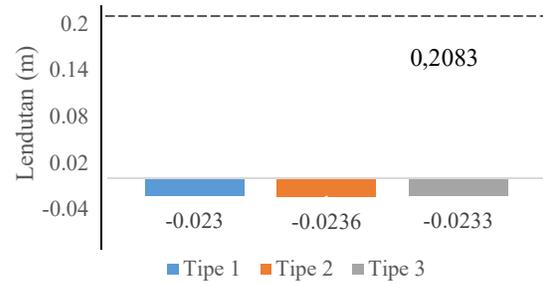
Gambar 9 Perbandingan nilai tegangan pada serat bawah

Lendutan Box Girder

Terdapat tiga jenis nilai lendutan pada *box girder*, yaitu lendutan pada keadaan awal (*transfer*), lendutan setelah kehilangan tegangan (*loss of prestress*) dan lendutan akibat pembebanan. Lendutan ijin (BSN, 2013) yaitu $L/240 = 50/240 = 0,208$ m. Lendutan yang terjadi pada semua tipe penampang *box girder* akibat kombinasi pembebanan dapat disimpulkan aman karena masih memenuhi persyaratan ijin. Nilai lendutan maksimum pada keadaan awal terjadi pada penampang tipe 1 yang dapat dilihat dalam Gambar 9. Nilai lendutan maksimum setelah *loss of prestress* pada penampang tipe 2 dalam Gambar 10.



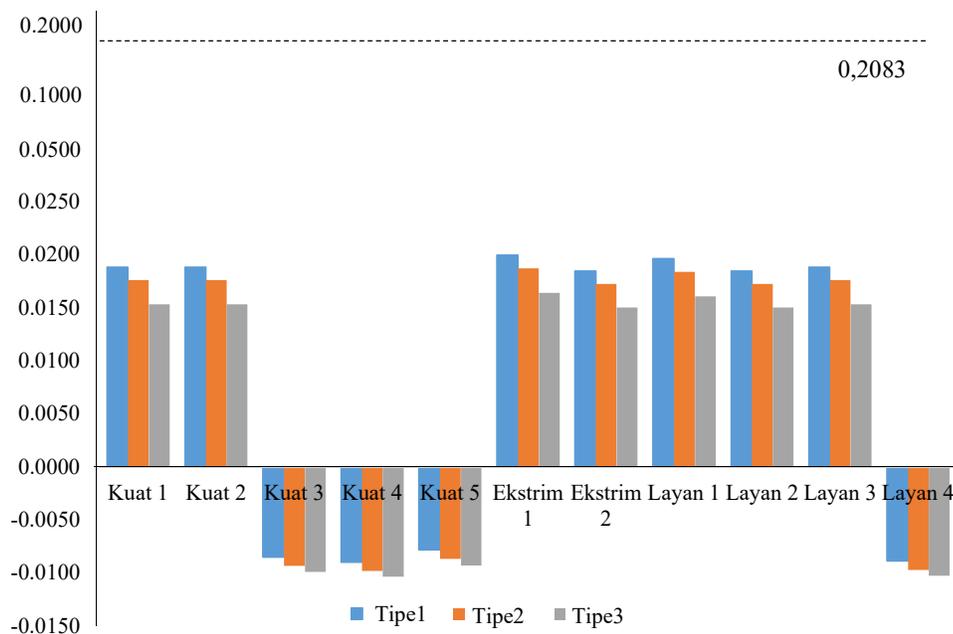
Gambar 10 Lendutan pada keadaan awal (*transfer*)



Gambar 11 Lendutan setelah *loss of prestress*

Lendutan minimum kondisi awal (*transfer*) terjadi pada penampang tipe 3 yaitu -0,0381 m dengan arah lendutan ke atas. Lendutan minimum setelah *loss of prestress* terjadi pada penampang 1 dan 3 yaitu -0,023 m. dengan arah lendutan ke atas.

Selanjutnya adalah lendutan *box girder* akibat pembebanan. Kontrol lendutan terhadap kombinasi (BSN, 2016). Lendutan minimum akibat kombinasi pembebanan terjadi pada penampang tipe 3. Dari hasil analisis semua nilai lendutan akibat pembebanan pada semua tipe penampang *box girder* masih memenuhi syarat ijin lendutan.



Gambar 12 Lendutan akibat pembebanan

5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan pembahasan dalam bab-bab sebelumnya, dapat diambil kesimpulan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Kehilangan prategang (*Loss of Prestress*) dari ketiga penampang *box girder* yang paling minimum adalah penampang tipe 3.
2. Tegangan pada kondisi awal (transfer) maksimum terjadi pada penampang 3 sebesar -5207,88 kPa. Tegangan maksimum pada kondisi akhir terjadi pada penampang tipe 3 sebesar -13793,36 kPa. Sedangkan tegangan akibat kombinasi pembebanan maksimum pada penampang tipe 3. Lendutan pada kondisi awal (transfer) paling kecil terjadi pada penampang tipe 3 yaitu -0,0381 m dengan arah lendutan ke atas. Lendutan pada kondisi akhir paling minimum terjadi pada penampang tipe 1 yaitu -0,0230 m dengan arah lendutan ke atas. Sedangkan lendutan akibat kombinasi pembebanan paling minimum terjadi pada penampang tipe 3.
3. Perbandingan gaya-gaya dalam, tegangan, kehilangan prategang dan defleksi (lendutan) dari ketiga bentuk profil penampang *box girder*, dapat ditarik kesimpulan bahwa penampang tipe 3 lebih efektif digunakan.

6 Daftar Pustaka

- ASTM A416/ A416M-17a, Standard Specification for Low-Relaxation, Seven-Wire Steel Strand for Prestressed Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org
- Badan Standarisasi Nasional, 2016, SNI-1725-2016. *Pembebanan untuk Jembatan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional, 2002, SNI 03-2847-2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (Beta Version)*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional, 2013, SNI-2847-2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional, 2012, SNI-1726-2012, *Tata Cara Perencanaan Ketahan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Hady, M., Saidi, T., & Hasan, M., 2018, Tinjauan Ulang Two-Cell Box Girder Beton Prategang Terhadap Kapasitas Dukung Beban Lalu Lintas pada Perencanaan Pembangunan Fly over Simpang Surabaya Kota Banda Aceh. *Jurnal Teknik Sipil*, 6(3), 223-232.
- Hardwiyono, S., Soebandono, B., & Hakim, L., 2015, Perancangan Ulang Struktur Atas Jembatan Gajah Wong Yogyakarta dengan Menggunakan Box Girder. *Jurnal Semesta Teknika*, 16(1), 10-20.
- Hidayat, A. S., & Chayati, N., 2014, Perancangan Struktur Atas Jembatan Beton Prategang. *Astonjadro*, 3(2), 29-42.
- Maryoto, Agus, 2017, Pengaruh Panjang Sambungan pada Beton Prategang Segmental Bertulang Limbah Ban. *Jurnal teknik sipil dan perencanaan*, 19(1), 65-70.
- Meidiensyah, A. F., Purwanto, M. Y. J., & Fauzan, M., 2016, Analisis Struktur Box Girder Jembatan Fly over Rawa Buaya Sisi Barat Terhadap Gempa. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 1(1), 42-56.
- Nurrianto, F., Iswanto, K. A., Yulipriyono, E. E., & Adi, R. Y., 2013, Perancangan Jalan Layang Akses Terminal A Mangkang Semarang. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 2(2), 219-227.
- Post-Tensioning Institute, 2000, Post Tensioning Manual, 6th Ed., Phoenix, AZ.
- Prestressed Concrete Institute, 1999, PCI Design Handbook. Chicago: Prestressed Concrete Institute, 5th ed.
- Putra, B. P., Muntafi, Y., & Suharyatmo, S., 2017, Studi Perbandingan Penggunaan PCU Girder dan PCI Girder Pada Struktur Atas Jembatan Jurang Gempal, Wonogiri. *Jurnal Teknisia*, 12(1), 333-346.
- Setyawan, A., & Sulistyono, I. I. D., 2013, Analisis Non Linier Tegangan dan Deformasi Struktur Jembatan Beton Prategang pada Tahap Konstruksi dengan Metode Balanced Cantilever. *Journal*

- Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, 13(2), 33-39.*
- Sulistyo, Djoko, 2014, Diktat Kuliah Beton Prategang, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Syaifullah, A. A., Kristiawan, S. A., & Purwanto, E., 2016, Studi Parametrik Pengaruh Kuat Tekan Beton dan Gaya Prategang Awal Terhadap Dimensi Penampang T Balok Beton Prategang (Studi Kasus Hotel Alila, Surakarta). *Matriks Teknik Sipil, 4(4), 1146-1156.*
- Wicaksono, K. A., Saadati, K., Purwanto, P., & Sukamta, S., 2016, Perencanaan Struktur Jembatan Slab on Pile Sungai Brantas Dengan Menggunakan Metode Pracetak Pada Proyek Tol Solo–Kertosono Sta. 176+ 050–Sta. 176+ 375. *Jurnal Karya Teknik Sipil, 5(2), 275-282.*