

BEBAN MAKSIMUM, TEGANGAN, LENDUTAN DAN *MOMEN CURVATUR* PADA VARIASI JEMBATAN BETON BALOK T DENGAN MENGGUNAKAN *SOFTWARE RESPONSE 2000*

Yoga A. Harsoyo¹, Ahmad Hilmi Saifunuha², Mochamad Agung Wibowo³, Jati Utomo Dwi Hatmoko⁴

¹Prodi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jl. Brawijaya, Yogyakarta 55183

Email korespondensi : yogaharsoyo@gmail.com

²Prodi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jl. Brawijaya, Yogyakarta 55183

Email : hsaifunuha@gmail.com

³Prodi Teknik Sipil, Universitas Diponegoro Jl. Prof. Soedarto, SH., Semarang 50275

Email : agung.wibowo@ft.undip.ac.id

⁴Prodi Teknik Sipil, Universitas Diponegoro Jl. Prof. Soedarto, SH., Semarang 50275

Email : jati.hatmoko@ft.undip.ac.id

ABSTRAK

Jembatan menjadi media transportasi utama untuk menghubungkan suatu daerah yang terpisah oleh sungai, rel kereta, atau lembah. Analisis jembatan digunakan untuk mengetahui gaya-gaya yang terjadi dan dapat menghindari terjadinya musibah runtuhnya jembatan. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui beban maksimum, tegangan, lendutan dan *momen curvature* yang terjadi pada jembatan beton balok T. Data-data yang digunakan pada penelitian ini menggunakan data yang diasumsikan. Pembebanan jembatan dilakukan pada benda uji dengan acuan SNI 1725:2016. Data pembebanan jembatan berupa gaya aksial yang terjadi pada jembatan. Analisis ini dilakukan menggunakan *software response - 2000*. Panjang bentang jembatan sebesar 15 m dengan luas penampang yang sama dan tulangan yang sama tetapi memiliki dimensi yang berbeda. Hasil analisis berupa grafik tegangan, lendutan, *load max deflection* dan *momen curvature*. Grafik tegangan mendapatkan hasil berupa gaya tekan dan gaya tarik yang bekerja pada jembatan. Tegangan terkecil terjadi pada BT 1 sebesar 24,81 MPa. Lendutan yang dihasilkan mendapatkan data yang bervariasi dengan lendutan terkecil sebesar 174,59 mm pada tengah bentang. *Momen curvature* terjadi karena momen yang menyebabkan *curvature* pada balok dengan *momen curvature* terkecil pada BT3 sebesar 44,526 rad/km. Beban ultimate mempengaruhi lendutan yang terjadi dengan beban terbesar terjadi pada BT 3 sebesar 117,163 kN.

Kata kunci: Beban maksimum, Tegangan, Lendutan, *Momen - Curvature, Response - 2000*.

ABSTRACT

Bridges are the main transportation to connect an area separated by rivers, railways, or valleys. Bridge analysis is used to determine the forces that occur and can avoid a bridge collapse disaster. This study aims to determine the maximum load, stress, deflection and curvature moment that occurs on the T beam concrete bridge. The data used in this study use assumed data. Bridge loading is carried out on the test object with reference to SNI 1725:2016. Bridge loading data is in the form of axial force that occurs on the bridge. This analysis was carried out using response software - 2000. The length of the bridge span is 15 m with the same cross-sectional area and the same reinforcement but has different dimensions. The results of the analysis are graphs of stress, deflection, load max deflection and moment of curvature. The stress graph results in the form of compressive force and tensile force acting on the bridge. The smallest stress occurs at BT 1 at 24.81 MPa. The resulting deflection obtained varied data with the smallest deflection of 174.59 mm in the middle of the span. The curvature moment occurs because the moment that causes the

curvature on the beam with the smallest curvature moment at BT3 is 44.526 rad / km. The ultimate load affects the deflection that occurs with the largest load occurring at BT 3 of 117.163 kN.

Keywords: Maximum load, Stress, Deflection, Moment - Curvature, Response – 2000.

1. PENDAHULUAN

Supriyadi dan Muntohar (2007) mengatakan Jembatan merupakan sistem transportasi yang berguna sebagai pengontrol kapasitas sistem, memiliki biaya tertinggi per mil dan jika terjadi keruntuhan akan melumpuhkan sistem tersebut. Alam Indonesia yang sangat beragam dengan bukit dan lembah dengan memiliki ribuan sungai baik kecil maupun besar, sehingga dibutuhkan sarana yang dapat melaluinya dengan menggunakan jembatan. “Jembatan merupakan suatu sistem transportasi untuk tiga hal yaitu: pengontrol kapasitas dari sistem, biaya tertinggi dalam pembangunan konstruksi, dan akan menyebabkan kelumpuhan sistem transportasi pada saat terjadinya keruntuhan jembatan”. (Supriyadi dkk, 2007).

Jembatan memiliki beberapa bentuk dan tipe, salah satunya jembatan beton bertulang. Jembatan beton bertulang terdiri dari beberapa bentuk yaitu jembatan slab beton bertulang, jembatan gelagar kotak (*box girder*), dan jembatan gelagar *deck* (*deck girder*). “Jembatan gelagar kotak (*box girder*) tersusun dari gelagar longitudinal dengan slab diatas dan dibawah yang berbentuk rongga (*hollow*) atau gelagar kotak”. (Supriyadi dkk, 2007).

Supriyadi dan Muntohar (2007) mengatakan jembatan gelagar *deck* terdiri dari gelagar yang membentang arah longitudinal dan slab beton yang membentang diantara gelagar. Gelagar dek terdapat banyak variasi antara lain jembatan beton balok T, jembatan Balok I dan lain-lain (Supriyadi dkk, 2007). Pada jembatan ini akan lebih ekonomis digunakan pada bentang 15m - 25m (Supriyadi dkk, 2007). Konstruksi gelagar ini dapat dilakukan secara pracetak maupun prategang. Jembatan gelagar dek memiliki

desain yang lebih sederhana dan biaya yang lebih ekonomis. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis pada jembatan beton balok T yang didasarkan pada SNI 1725:2016 Pembebanan Jembatan dengan menggunakan *software Response – 2000*. Jembatan beton balok T banyak digunakan dalam perencanaan konstruksi karena desain yang sederhana dan biaya lebih ekonomis. Analisis jembatan menggunakan perhitungan yang sangat banyak dan dengan ketelitian yang tinggi. Di era modern ini analisis bisa dilakukan oleh komputer dengan berbagai *software* pendukung seperti *software response – 2000* yang mudah dalam pengoperasian dan tidak memerlukan waktu yang lama untuk analisis girder jembatan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan, pada tahap awal dilakukan mencari studi literatur dan tinjauan pustaka. Studi literatur yang digunakan berupa jurnal terdahulu yang masih berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan. Tinjauan pustaka berupa teori-teori yang berada pada buku acuan dan peraturan-peraturan yang berlaku. Tahapan berikutnya dengan membuat benda uji yang akan digunakan. Penelitian menggunakan 5 (lima) benda uji dengan dimensi yang berbeda tetapi memiliki luas penampang yang sama dan tulangan yang sama. Benda uji berupa balok T dengan panjang bentang 15m. Tahapan berikutnya dengan menentukan dan menghitung beban yang akan digunakan, beban pada jembatan didapatkan dari acuan SNI 1725:2016. Tahapan berikutnya dengan melakukan penelitian menggunakan *software response – 2000*. Pada tahapan ini dilakukan dengan memasukkan data-data jembatan berupa dimensi, mutu beton, mutu

tulangan, dimensi tulangan dan panjang bentang. Pada tahap terakhir dilakukan pembahasan dari hasil analisis yang telah dilakukan menggunakan *software response – 2000*. Pembahasan dilakukan untuk mendapatkan hasil dari tujuan tersebut.

Jembatan beton balok T

Budiarti dkk (2020) Jembatan adalah suatu konstruksi yang gunanya untuk meneruskan jalan melalui suatu rintangan yang berada lebih rendah, Rintangan ini biasanya jalan lain berupa baik jalan air maupun jalan lalu lintas biasa. Menurut Supriyadi dan Muntohar (2007) mengatakan Jembatan beton balok T sering digunakan untuk konstruksi jembatan jalan raya, jembatan ini tersusun dari gelagar dan slab beton yang tersusun secara integral. Penggunaannya lebih efektif pada bentang 15-25m pada kondisi normal. Pada kondisi lalu lintas yang padat atau tidak terdapat ruang bebas yang cukup, pekerjaan jembatan dapat dilakukan secara pracetak dan prategang.

Tegangan

Menurut Schodek (1998) Tegangan lentur terjadi pada balok sebagai aksi terhadap momen lentur eksternal pada satu titik balok tersebut. Menurut Schodek (1998) penampang melintang balok yang mendapatkan aksi dari beban sehingga menyebabkan terjadinya deformasi dengan adanya serat balok yang memanjang dan memendek. Serat balok bagian atas mengalami perpendekan dan serat balok bagian bawah mengalami perpanjangan. Serat yang mengalami perpanjangan maksimum dan perpendekan maksimum terjadi pada serat tepi penampang melintang. Dengan demikian serat yang tidak mengalami perpanjangan dan perpendekan yang sering disebut sebagai sumbu netral balok.

Momen Curvature

Menurut Schodek (1998) momen adalah gaya yang menyebabkan benda mengalami

rotasi. Besaran putaran atau rotasi yang bekerja sama dengan besar gaya dikalikan jarak tegak lurus dari garis kerja gaya ke titik yang ditinjau. Momen (M) yang bekerja pada gaya (P) terhadap titik 0.

Lendutan

Menurut Nawy (2010) Lendutan atau yang sering disebut defleksi, lendutan disebabkan karena bagian balok diberi beban. Lendutan bergantung pada beban (w) dan panjang bentang balok (L) dan berbanding terbalik dengan kekakuan balok. Kekakuan didasarkan pada jenis material yang digunakan yaitu modulus elastisitas (E) dan besaran penampang melintang yaitu momen inersia (I). Defleksi merupakan fungsi dari bentang panjang, perletakan, atau tumpuan, jenis pembebanan dan kekakuan lentur EI dari elemen. Persamaan umum defleksi maksimum pada balok yaitu:

$$\Delta_{max} = K \frac{W L_n^3}{48 E I_c} \text{ (Nawy 2010)} \quad (1)$$

dengan W = beban total pada bentang, L_n = Panjang bentang bersih, E = modulus beton, I_c = momen inersia penampang, k = faktor derajat kekakuan tumpuan

Pembebanan jembatan

Pembebanan merupakan salah satu faktor terpenting dalam menentukan tegangan dan lendutan pada jembatan (SNI 1725;2016). Perhitungan ini adalah dasar dalam menentukan beban dan gaya-gaya yang terjadi pada beton prategang (SNI 1725;2016). Pembebanan pada jembatan beton balok T menggunakan acuan SNI 1725:2016.

Faktor beban gradien temperatur (γ_{TG}) ditentukan berdasarkan kondisi pekerjaan. Jika tidak terjadi hal yang menyebabkan perubahan nilai, maka factor beban gradien temperatur sebagai berikut:

- 0,00 : untuk keadaan batas kekuatan dan keadaan ekstrim
- 1,00 : untuk keadaan batas daya layan dengan beban hidup tidak ada
- 0,50 : untuk keadaan batas daya layan dengan beban hidup bekerja

Faktor beban akibat penurunan (γ_{ES}) ditentukan berdasarkan kondisi proyek, jika

tidak terjadi perubahan nilai maka (γ_{ES}) sebesar 1,0. (SNI 1725:2016 pasal 6.1)

Kombinasi pembebanan

Tabel 1. Kombinasi Pembebanan (SNI 1725:2016 pasal 6)

Keadaan batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EW _s	EW _L	BF	EU _n	TG	ES	Gunakan salah satu		
										EQ	TC	TV
Kuat I	g _P	1,30	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	g _{TG}	g _{ES}	-	-	-
Kuat II	g _P	1,40	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	g _{TG}	g _{ES}	-	-	-
Kuat III	g _P	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	g _{TG}	g _{ES}	-	-	-
Kuat IV	g _P	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kuat V	g _P	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	g _{TG}	g _{ES}	-	-	-
Ekstrem I	g _P	g _{EQ}	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Ekstrem II	g _P	0,50	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Daya Layan I	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	-	g _{TG}	g _{ES}	1,00	-	-
Daya Layan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,00	1,00
Daya Layan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	g _{TG}	g _{ES}	-	-	-
Daya Layan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	1,00/1,20	-	1,00	-	-	-
Fatik (TD dan TR)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Beban Mati

Menurut SNI 1725:2016 massa setiap bagian bangunan harus dihitung berdasarkan dimensi yang tertera dalam gambar dan berat jenis bahan yang digunakan. Berat dari bagian bangunan adalah massa dikalikan dengan percepatan gravitasi (g). percepatan gravitasi yang digunakan dalam standar ini adalah 9.81 m/detik². Besarnya kerapatan massa dan berat isi untuk berbagai macam bahan ada pada tabel 3 sebagai berikut:

Tabel 2. Berat isi untuk beban mati (SNI 1725:2016)

No	Bahan	Berat isi (kN/m ³)	Kerapatan masa (kg/m ³)
1	Kayu	7,8	800
2	Kayu keras	11,0	1125
3	Beton ringan	12,25 – 19,6	1250 – 2000
4	Timbunan tanah dipadatkan	17,2	1755
5	Kerikil dipadatkan	18,8 - 22,7	1920 - 2315

No	Bahan	Berat isi (kN/m^3)	Kerapatan masa (kg/m^3)
6	Lapisan permukaan beraspal	22,0	2245
7	Beton aspal		
	Beton $f_c < 35$ MPa	22 – 25	2320
8	$35 < f_c < 105$ MPa	$22 + 0,022 f_c$	$2240 + 2,29 f_c$
9	Besi Tuang	71,0	7240
10	Baja	78,5	7850

Menurut SNI 1725:2016 beban mati jembatan adalah kumpulan berat dari setiap komponen struktural dan komponen non-struktural. Setiap komponen harus dianggap sebagai suatu kesatuan aksi yang tidak terpisahkan pada waktu menerapkan faktor beban normal dan faktor beban terkurangi. Perencana harus mampu menggunakan keahliannya untuk menentukan komponen-komponen tersebut.

Beban lajur “D”

Menurut SNI 1725:2016 beban lajur “D” adalah beban pada seluruh jalur jembatan yang terdiri dari beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT). Faktor beban yang digunakan untuk beban lajur “D” dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. Faktor beban untuk beban lajur “D” (SNI 1725: 2016)

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban (γ_{TD})	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TD}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TD}^U)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks	1,00	2,00
	Girder Baja		

Intensitas beban menurut SNI 1725:2016 beban terbagi rata (BTR) mempunyai

intensitas q kPa dengan besaran q berdasarkan pada panjang total yang dibebani L yaitu seperti berikut:

Jika $L \leq 30$ m : $q = 9,0$ kPa (SNI 1725: 2016 pasal 8.3.1) (2)

Jika $L > 30$ m : $q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L}\right)$ kPa (SNI 1725: 2016 pasal 8.3.1) (3)

dengan q = intensitas beban terbagi rata (TBR) dalam arah memanjang jembatan (kPa), L = panjang total jembatan yang dibebani (meter)

Dimensi benda uji

Pada penelitian ini dibuat lima benda uji dengan dimensi penampang yang berbeda-beda tetapi memiliki luasan yang sama. Dimensi benda uji dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 4. Dimensi benda uji balok T

Benda uji	Tinggi (mm)	Lebar (mm)	Tinggi sayap (mm)	Lebar sayap (mm)
BT 1	1000	300	250	1500
BT 2	800	300	300	1500
BT 3	1200	250	240	1500
BT 4	1000	250	280	1500
BT 5	800	325	290	1500

Data jembatan

- Tipe jembatan : Beton bertulang balok T
- Kelas Jembatan : Tipe A
- Panjang jembatan : 15 meter
- Lebar jalan : 7 meter
- Lebar trotoar : 1 meter
- Lebar total : 9 meter
- Jumlah gelagar : 5 buah

Spesifikasi Pembebanan

- Beban Primer : SNI 1725: 2016
- Kecepatan angin : 120 km/jam
- Beban gempa : Zona 3

Spesifikasi Beton dan Baja Tulangan

- Beton
 - Kuat tekan f_c' : 25 Mpa

- Modulus elastis $E_c : 4700 \times \sqrt{25}$
= 23500 MPa
- b. Baja Tulangan
- Kuat leleh, f_y : 400 MPa
- Modulus elastis E_s : 200.000 MPa

Pembebanan jembatan

Pembebanan pada jembatan beton balok T dilakukan dengan acuan SNI 1725:2016. Perhitungan pembebanan dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Berat Sendiri (MS)

Berat sendiri pada jembatan terdiri dari beban pada struktur jembatan sendiri dan beban non struktur yang ditahan dan bersifat sementara. Faktor berat sendiri *ultimate* (g_{MS}) sebesar 1,30. Beban berat sendiri pada jembatan dihitung sebagai berikut:

- a. Beban diafragma pada girder
Panjang bentang *girder* sebesar 15 m Jumlah balok diafragma sepanjang bentang terdapat 5 buah
Berat satu balok diafragma sepanjang bentang

$$Wd = bd \times (hd - ts) \times s \times wc \quad (2)$$

$$Wd = 0,30 \times (0,40 - 0,25)$$

$$\times 1,50 \times 25,00$$

$$Wd = 1,6875$$

Beban diafragma pada girder sebesar

$$Qd = nd \times Wd \div L \quad (3)$$

$$Qd = 5 \times 1,6875 \div 15$$

$$Qd = 0,56$$

Beban berat sendiri (Q_{MS}) pada girder pada tabel 5 sebagai berikut:

Tabel 5. Beban berat sendiri (QMS)

No	Jenis	Lebar	Tebal	Berat (kN/m ³)	Beban (kN/m)
		(m)	(m)		
1	Pelat lantai	1,5	0,25	25,00	9,38
2	Girder	0,30	0,75	25,00	5,63

3	Diafragma	0,56
Beban berat sendiri (Q_{MS})		15,56

2. Berat mati tambahan (MA)

Berat mati tambahan diperhitungkan untuk beban bukan struktur yang terjadi pada umur rencana. Berat mati tambahan sering terjadi pada kondisi jalan yang diberi lapisan aspal dan hujan yang menggenang. Faktor berat mati tambahan *ultimate* (g_{MA}) sebesar 1,3. Perhitungan berat mati tambahan dapat dilihat pada tabel 6 sebagai berikut:

Tabel 6. Beban Berat sendiri total (Q_{MS})

No	Jenis	Lebar	Tebal	Berat (kN/m ³)	Beban (kN/m)
		(m)	(m)		
1	Lapisan aspal	1,50	0,10	22,00	3,30
2	Air hujan	1,50	0,05	9,80	0,74
Beban berat mati tambahan (Q_{MS})					4,04

3. Beban Lajur "D" (TD)

Menurut SNI 1725:2016 beban lajur "D" terdiri dari beban terbagi rata (BTR) yang digabung beban garis (BGT). Faktor beban lajur "D" *ultimate* (g_{TD}) sebesar 1,80. Beban terbagi rata (BTR) pada jembatan yang akan diuji dengan panjang 15 m atau panjang kurang dari 30 m maka beban terbagi rata (BTR) sebesar $q = 9,0 \text{ kPa}$

Beban lajur "D" dapat dihitung dengan beban terbagi rata dikali jarak antar girder.

$$Q_{TD} = Q_{BTR} \times s \quad (4)$$

$$Q_{TD} = 9,00 \times 1,50$$

$$Q_{TD} = 13,5 \text{ kN/m}$$

4. Beban Truk "T" (TT)

Beban truk "T" memiliki faktor beban *ultimate* sebesar 2,0. Menurut SNI

1725:2016 Pembebanan truk "T" terdiri atas kendaraan *semi - trailer* yang mempunyai berat 500 kN. Beban truk "T" pada jarak antar gandar 1,5 m didapatkan beban sebesar 333 kN/m.

5. Gaya Rem (TA)

Menurut SNI 1725:2016 gaya rem harus diambil yang terbesar dari

- 25 % dari berat gandar truk atau
- 5 % dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata (BTR)

Maka didapatkan perhitungan sebagai berikut:

- $Q_{TA} = 0,25 \times 225 = 56,25 \text{ kN/m}$
- $Q_{TA} = (0,05 \times 333) + 9,00 = 25,65 \text{ kN/m}$

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan beban terbesar yang digunakan untuk beban rem (Q_{TA}) sebesar 56,25 kN/m.

6. Beban Angin (EW)

Beban angin memiliki faktor beban ultimate (g_{EW}) sebesar 1,2. Beban angin yang bekerja pada jembatan beton balok T dihitung berdasarkan SNI 1725:2016 sebagai berikut:

$$V_{DZ} = 2,5 V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \quad (5)$$

$$V_{DZ} = 2,5 \times 17,6 \left(\frac{150}{120} \right) \ln \left(\frac{10000}{1000} \right)$$

$$V_{DZ} = 126,64$$

Beban angin pada struktur dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \quad (6)$$

$$P_D = 0,0024 \left(\frac{126,64}{120} \right)^2$$

$$P_D = 0,00267 \text{ MPa}$$

$$P_D = 2,67 \text{ kN/m}^2$$

Beban angin didapatkan sebagai berikut:

$$Q_{EW} = P_D \times S$$

$$Q_{EW} = 2,67 \text{ kN/m}^2 \times 1,5 \text{ m}$$

$$Q_{EW} = 4,005 \text{ kN/m}$$

7. Pengaruh Temperatur (ET)

Pengaruh temperature diperhitungkan dalam rencana jembatan beton balok T, dapat dilihat dalam perhitungan sebagai berikut:

$$\Delta T = \alpha L (T_{max \text{ design}} - T_{min \text{ design}}) \quad (7)$$

$$\Delta T = (10 \times 10^{-6} \text{ mm/}^\circ\text{C}) \times 15000 \text{ mm} \times (40^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C})$$

$$\Delta T = 0,375 \text{ mm}$$

Modulus elastisitas pada beton didapatkan sebagai berikut:

$$E_c = 4700 \sqrt{f_{c'}} \quad (8)$$

$$E_c = 4700 \sqrt{25}$$

$$E_c = 23500 \text{ MPa}$$

Beban akibat perubahan temperature didapatkan pada persamaan sebagai berikut:

$$Q_{ET} = E_c \times \Delta T \quad (9)$$

$$Q_{ET} = 23,5 \text{ kN/mm}^2 \times 0,375 \text{ mm}$$

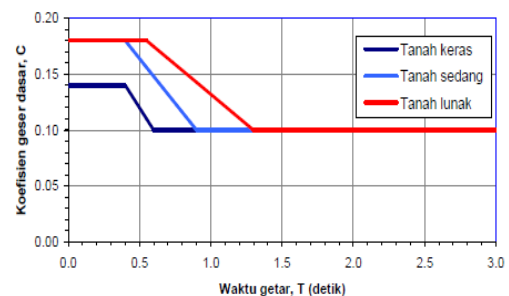
$$Q_{ET} = 8,81 \text{ kN/mm}$$

8. Beban Gempa (EQ)

Beban gempa pada SNI 1725:2016 dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t \quad (10)$$

Untuk memperoleh C_{sm} didapatkan dari grafik berikut:



Gambar 1. Perbandingan Koefisien Geser Dasar dan Waktu Getar

Berat total dari berat sendiri dan beban mati tambahan pada sepanjang balok girder T.

$$W_t = (Q_{MS} + Q_{MA}) \times L \quad (11)$$

$$W_t = (15,56 + 4,04) \times 15$$

$$W_t = 294 \text{ kN/m}$$

Momen inersia penampang girder

$$I = \frac{1}{12} \times b \times h^3 \quad (12)$$

$$I = \frac{1}{12} \times 0,3 \times 1,0^3$$

$$I = 0,025 \text{ m}^4$$

Kekakuan lentur girder

$$Kp = 48 \times Ec \times \left(\frac{I}{L}\right)^3 \quad (13)$$

$$Kp = 48 \times 2,35 \times 10^7 \text{ MPa} \times \left(\frac{0,025 \text{ m}^4}{15 \text{ m}}\right)^3$$

$$Kp = 8356 \text{ kN/m}$$

Waktu getar T (detik) didapatkan dari persamaan sebagai berikut:

$$g = 9,81 \text{ m/detik}^2$$

$$T = 2 \times \mu \times \sqrt{\frac{Wt}{g \times KP}} \quad (14)$$

$$T = 2 \times \mu \times \sqrt{\frac{294}{9,81 \times 8356}}$$

$$T = 0,37 \text{ detik}$$

a. Lokasi pada zona 3

Didapatkan koefisien geser dasar dari gambar diatas sebesar $C_{sm} = 0,18$

Faktor modifikasi respons sebesar

$$Rd = 1,0 \times F \quad (14)$$

$$F = 1,25 - 0,025 \times n$$

Jumlah sendir palstis yang menahan deformasi struktur $n = 1$

$$F = 1,25 - 0,025 \times 1$$

$$F = 1,225$$

Maka

$$Rd = 1,0 \times 1,225$$

$$Rd = 1,225$$

Beban gempa didapatkan dengan persamaan diatas sebagai berikut:

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{Rd} \times W_t \quad (15)$$

$$E_Q = \frac{0,18}{1,225} \times 294 \text{ kN/m}$$

$$E_Q = 43,2 \text{ kN/m}$$

9. Kombinasi pembebanan

Kombinasi pembebanan didapatkan dari tabel kombinasi pembebanan SNI 1725 - 2016 dengan kombinasi kuat III.

Tabel 7. Kombinasi Pembebanan Kuat III

No.	Jenis Beban	Faktor Beban	Beban (kN/m)
1	20,23	1,30	15,56
2	5,25	1,30	4,04
3	24,30	1,80	13,5
4	112,5	2,00	56,25
5	4,81	1,20	4,01
6	10,57	1,20	8,81
7	43,2	1,00	43,2
Total beban pada girder balok T			220,86

Beban total pada girder balok T didapatkan sebesar 220,86 kN/m. Panjang balok girder sebesar 15 m. Gaya aksial pada girder jembatan beton balok T sebagai berikut:

$$P = 0,5 \times Q_{total} \times L \quad (16)$$

$$P = 0,5 \times 220,86 \times 15$$

$$P = 1656,45 \text{ kN}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis yang telah dilakukan mendapatkan hasil beban maksimum, tegangan, lendutan dan momen *curvature* yang dijelaskan lebih terperinci sebagai berikut:

1. Pengaruh Terhadap tegangan

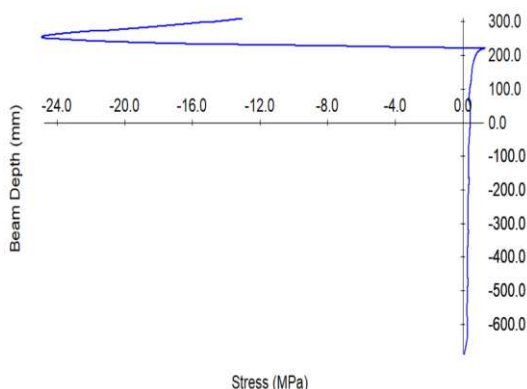
Tegangan terjadi akibat beban yang bekerja pada penampang melintang balok menimbulkan deformasi. Tegangan mengakibatkan penampang memendek pada bagian atas balok dan bagian penampang memanjang pada bagian bawah balok. Penampang yang memanjang disebut dengan tegangan tarik dan penampang yang mengalami perpempendekan disebut tegangan tekan. Dari tegangan tarik menuju tegangan tekan terdapat peralihan yang sering disebut dengan sumbu netral. Analisis ini dilakukan pada 5 benda uji yang dibedakan dimensi penampang tetapi memiliki luas penampang yang sama dan tulangan yang sama. Beban yang digunakan menggunakan pembebanan yang mengacu pada SNI 1725:2016 pembebanan untuk jembatan. Jembatan memiliki kualifikasi kelas 1 dengan

klasifikasi kaut 3. Analisis dilakukan pada benda uji balok T-beam dengan panjang balok 15m. Analisis yang telah dilakukan menggunakan *software response - 2000* mendapatkan hasil yang dapat dilihat pada tabel 8 dibawah ini.

Tabel 8. Data Hasil Tegangan Menggunakan *Software response - 2000*

Benda Uji	Tegangan (MPa)	Beam Depth (mm)
BT1	-24,816	261,000
BT2	-24,924	186,000
BT3	-24,979	314,938
BT4	-25,000	238,500
BT5	-24,929	191,362

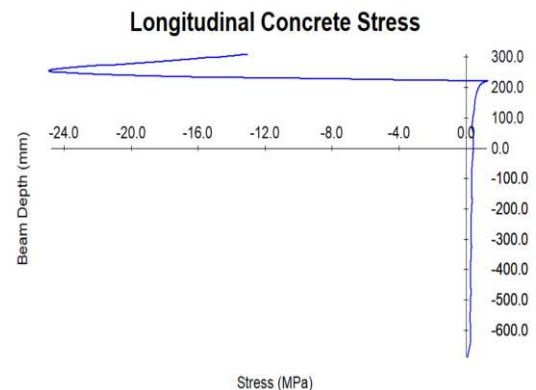
Dari hasil analisis didapatkan BT1 mendapatkan hasil tegangan paling kecil dan diikuti berurutan dengan BT2, BT5, BT3 dan terbesar pada BT4. BT 4 mendapatkan hasil tegangan tertinggi dengan nilai 25 MPa pada jarak 238,5 mm di atas sumbu netral. BT 1 mendapatkan tegangan terkecil dengan tegangan sebesar 24,81 MPa pada jarak 261 mm di atas sumbu netral. Pada BT4 didapatkan letak sumbu netral yaitu pada ketinggian 687,5 mm.



Gambar 2. Grafik Hubungan Tegangan dan Kedalaman BT 4

Pada gambar 2 menunjukkan grafik hubungan tegangan dan kedalaman pada

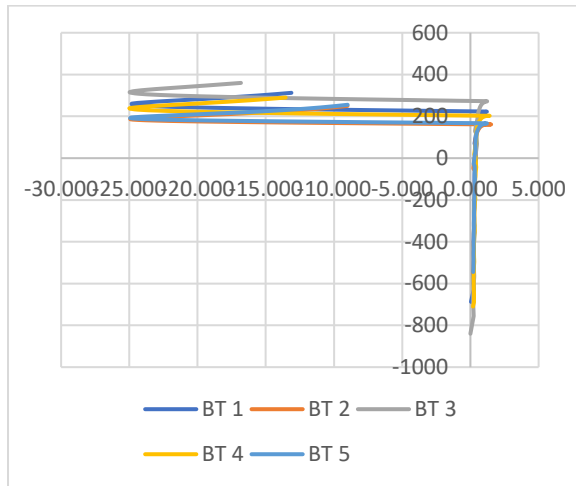
BT 4 dengan hasil tegangan maksimum pada 25 MPa yang terjadi pada tegangan tekan. Tegangan maksimum pada grafik terjadi pada kedalaman 238,5 mm dari sumbu netral atau 51,5 mm dari atas balok. Tegangan ini terjadi pada sayap balok dengan panjang sayap sebesar 1500 mm. Sumbu netral pada grafik diatas terjadi pada kedalaman 290 mm dari atas balok. BT 4 mendapatkan tegangan terbesar dari benda uji yang lain disebabkan memiliki dimensi yang dapat dilihat pada tabel 4 dengan dimensi lebih kecil yaitu dengan tinggi 800 mm, lebar balok 300 mm, dan lebar sayap 1500 mm dengan tinggi sayap 300 mm. BT4 memiliki sayap yang tebal dan tinggi yang pendek menyebabkan tegangan lebih tinggi dari benda uji lainnya.



Gambar 3. Grafik Hubungan Tegangan dan Kedalaman BT 1

Tegangan yang terjadi pada BT 1 memiliki hasil yang paling kecil dari benda uji yang lainnya. Pada gambar 3 tidak terlihat perbedaan yang signifikan dibandingkan BT 4 dikarenakan dari semua benda uji memiliki tegangan yang hampir sama. BT 1 ini mendapatkan hasil pengujian dengan tegangan maksimum sebesar 24,816 MPa pada jarak 261 mm di atas sumbu netral. Tegangan ini terjadi pada sayap balok dengan panjang sayap sebesar 1500 mm. BT 1 memiliki tinggi balok yang sama dengan BT 4 tetapi memiliki ketebalan sayap yang berbeda, BT 1 memiliki ketebalan sayap 250 mm

sedangkan BT 4 memiliki ketebalan 280 mm. Sumbu netral pada grafik diatas terjadi pada kedalaman 312 mm dari atas balok BT 1 memiliki dimensi tinggi balok sebesar 1000 mm dan lebar 300 mm dengan tinggi sayap 250 mm dan lebar sayap 1500 mm.



Gambar 4. Grafik Tegangan pada Semua Benda Uji

Tegangan yang dihasilkan dari analisis menggunakan *software response - 2000* mendapatkan hasil yang berbeda - beda. Pada gambar 4 dapat dilihat perbedaan grafik tegangan dari keseluruhan benda uji.

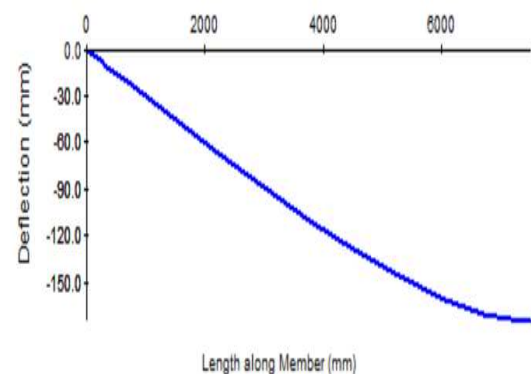
2. Pengaruh Terhadap Lendutan/*Deflection*
Lendutan atau yang sering disebut defleksi adalah penurunan yang terjadi pada balok akibat dari beban yang bekerja pada balok tersebut. Analisis dengan membuat 5 benda uji yang dapat dilihat pada tabel 4 dengan panjang bentang 15 m. Analisis dilanjutkan dengan pembebanan jembatan berdasarkan acuan SNI 1725:2016 mendapatkan hasil pembebanan pada beban aksial sebesar 1090,28 kN. Proses analisis dilakukan menggunakan *software response - 2000* dengan memasukkan data - data yang telah didapatkan. Analisis ini mendapatkan hasil lendutan yang dapat dilihat pada tabel 9 dibawah ini. Lendutan terkecil didapatkan pada BT 4 sebesar 174,592

mm, dan diikuti BT 2, BT 5, BT 3 dan lendutan terbesar terjadi pada BT 1.

Tabel 9. Hasil *Deflection* Maksimum

Benda Uji	<i>Deflection</i>	<i>Length along Member</i>
	mm	mm
BT 1	-395,938	7500,000
BT 2	-174,592	7500,000
BT 3	-351,515	7500,000
BT 4	-165,668	7500,000
BT 5	-181,404	7500,000

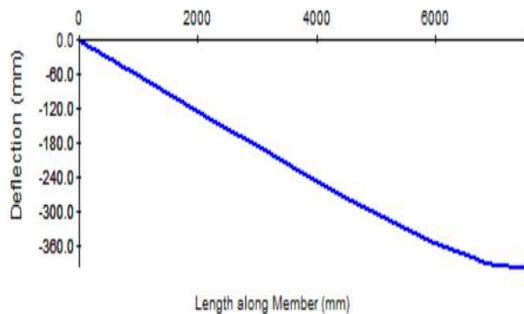
Lendutan maksimum yang didapatkan keseluruhan terjadi pada tengah bentang atau pada panjang 7500 mm. pada BT 1 memiliki hasil yang paling tinggi dan BT 4 memiliki hasil yang paling kecil. Hal ini disebabkan balok pada BT 1 lebih lebar sebesar 300 mm dan balok BT 4 memiliki lebar sebesar 250 mm. pada BT 5 mendapatkan hasil ditengah karena balok BT 5 memiliki tinggi sebesar 800 mm dan lebar sebesar 325 mm.



Gambar 5. Grafik Lendutan BT 2

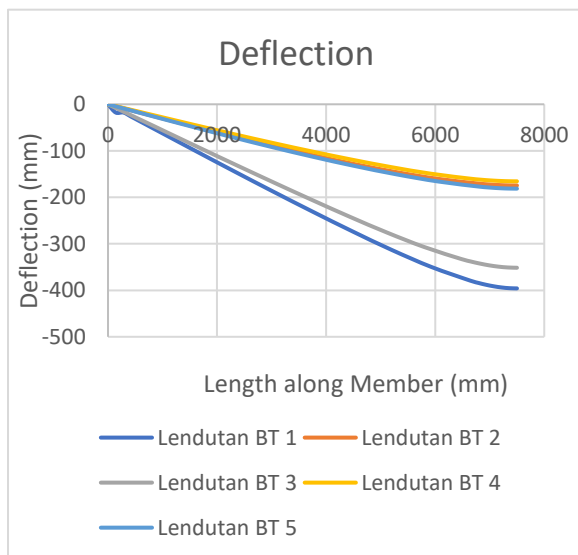
Lendutan yang diperoleh pada pemodelan BT2 dapat dilihat pada Gambar 5. BT2 memperoleh lendutan terkecil dikarenakan memiliki dimensi tinggi yang kecil dan lebar balok lebih besar serta tinggi sayap lebih besar yaitu tinggi 800mm dan lebar balok 300mm

dengan lebar sayap 1500mm dan tinggi sayap 300mm.



Gambar 6. Grafik Lendutan BT 1

Lendutan/defleksi terbesar terjadi pada pemodelan BT1 yang dapat dilihat pada gambar 6. dengan hasil lendutan sebesar 395,93mm pada bentang 7500. Hasil tersebut terjadi karena pemodelan mempunyai tinggi 1000mm dan lebar 300mm dengan tinggi sayap 250mm dan lebar sayap 1500mm. lendutan yang terjadi pada pemodelan BT1.



Gambar 7. Grafik Lendutan pada Semua Benda Uji

Lendutan/defleksi yang dihasilkan dari analisis menggunakan *software response - 2000* mendapatkan hasil yang berbeda-beda. Pada gambar 7. dapat dilihat perbedaan grafik tegangan dari

keseluruhan benda uji. Grafik yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini mendapatkan hasil yang berbeda-beda dikarenakan dimensi tinggi balok T dan tinggi sayap.

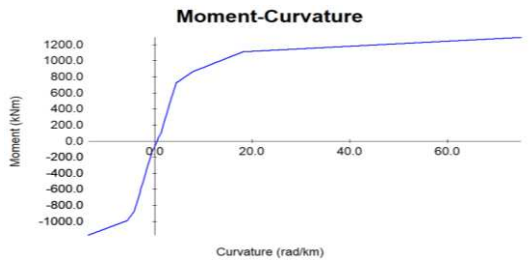
3. Pengaruh terhadap momen *curvature*

Momen *curvature* terjadi akibat balok yang menerima gaya yang bekerja sehingga menimbulkan rotasi. Analisis yang dilakukan dengan aplikasi *Response - 2000* mendapatkan hasil grafik momen *curvature* Analisis dengan membuat 5 benda uji yang dapat dilihat pada tabel 4 dengan panjang bentang 15 m. Analisis dilanjutkan dengan pembebanan jembatan berdasarkan acuan SNI 1725:2016 mendapatkan hasil pembebanan pada beban aksial sebesar 1090,28 kN. Proses analisis dilakukan menggunakan *software response - 2000* dengan memasukkan data-data yang telah didapatkan. Analisis ini mendapatkan hasil lendutan yang dapat dilihat pada tabel 10 dibawah ini.

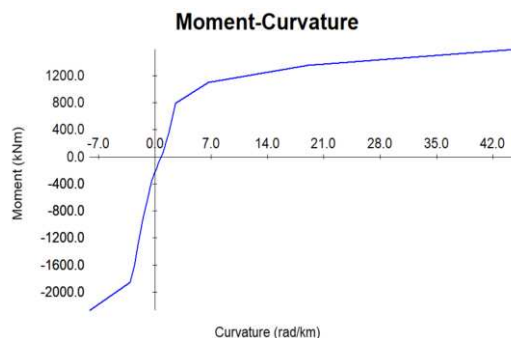
Tabel 10. Hasil momen *curvature*

Benda Uji	Curvature	Moment
	(rad/km)	(kNm)
BT 1	54,666	1.456,472
BT 2	74,855	1.295,317
BT 3	44,526	1597,692
BT 4	54,526	1485,614
BT 5	74,896	1305,98

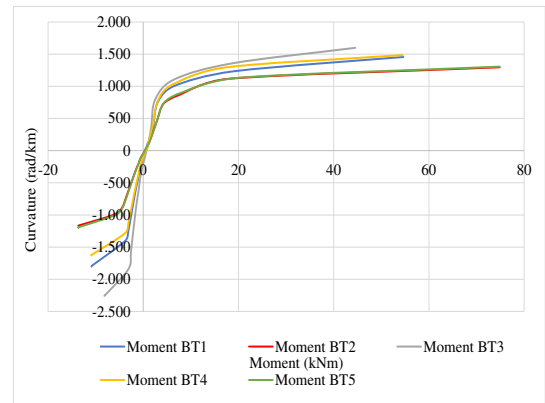
Pada tabel 10. diatas menunjukkan hasil *momen - curvature* yang dilakukan menggunakan *software response - 2000*. Pada BT3 mendapatkan *curvature* yang paling kecil diikuti BT 4, BT 1, BT 5 dan *curvature* terbesar terjadi pada BT 2.

Gambar 8. Grafik *Momen - curvature* BT2

Grafik momen *curvature* pada BT 2 dapat dilihat pada gambar 8. Dari 5 benda uji tersebut didapatkan *momen - curvature* terbesar pada BT 2 dengan *curvature* sebesar 74,855 rad/km dan momen sebesar 1.295,317 kNm. BT2 memiliki *momen - curvature* yang dikarena memiliki dimensi tinggi sebesar 800mm, lebar balok sebesar 300 mm dan tinggi sayap sebesar 300 mm dan lebar sayap 1500 mm.

Gambar 9. Grafik *Momen - curvature* BT 3

Grafik momen - *curvature* pada BT 3 dapat dilihat pada gambar 9. Momen - *curvature* terkecil didapatkan pada BT3 dengan hasil *curvature* sebesar 44,526 rad/km dan momen sebesar 1597,692 kNm. BT3 memiliki dimensi yang dapat dilihat pada tabel 4 dengan tinggi sebesar 1200 mm, lebar balok sebesar 250 mm dan tinggi sayap sebesar 240 mm dan lebar sayap 1500 mm.

Gambar 10. Grafik *Momen - curvature* pada Semua Benda Uji

Analisis yang telah dilakukan mendapatkan hasil yang berbeda – beda yang dapat dilihat pada gambar 10. *Momen - curvature* digunakan untuk mengetahui retak yang terjadi pada *girder* beton balok T.

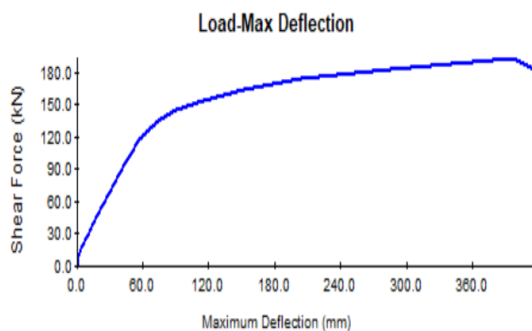
4. Pengaruh Load Max Terhadap Pelaksanaan

Load Max atau beban maksimum jembatan digunakan untuk mengetahui beban maksimum yang dapat diterima jembatan. Analisis yang dilakukan dengan aplikasi *Response - 2000* mendapatkan hasil grafik momen *curvature* analisis dengan membuat 5 benda uji yang dapat dilihat pada tabel 4 dengan panjang bentang 15 m. Analisis dilanjutkan dengan pembebanan jembatan berdasarkan acuan SNI 1725:2016 mendapatkan hasil pembebanan pada beban aksial sebesar 1656,45 kN. Pada analisis ini menggunakan aplikasi *Response-2000* untuk menentukan beban yang dapat diterima oleh jembatan, dan untuk menentukan batas beban maksimal sebelum terjadinya keruntuhan jembatan. *Response-2000* menghasilkan data beban maksimum yang disajikan dalam bentuk grafik *Load-Max deflection*. Analisis yang telah dilakukan mendapatkan hasil *load max deflection* yang ditunjukkan pada tabel 8 dibawah ini. Pada analisis ini digunakan beban ultimate terhadap lendutan yang terjadi. Dari hasil analisis didapatkan beban

ultimate terhadap defleksi terbesar terjadi pada BT 3 dan diikuti BT 1, BT 4, BT 5 dan terkecil terjadi pada BT 2.

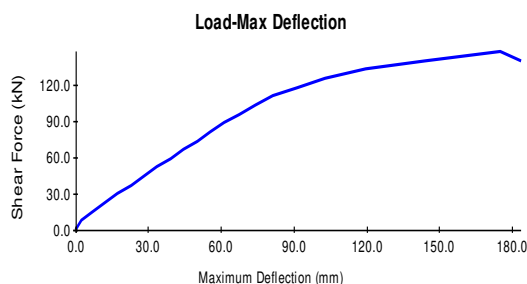
Tabel 11. Hasil *Load Ultimate* Terhadap Defleksi.

Benda Uji	Defleksi (mm)	Load Ultimate (kN)
BT 1	49,213	106,807
BT 2	55,314	81,858
BT 3	41,598	117,163
BT 4	43,620	94,914
BT 5	54,928	82,914



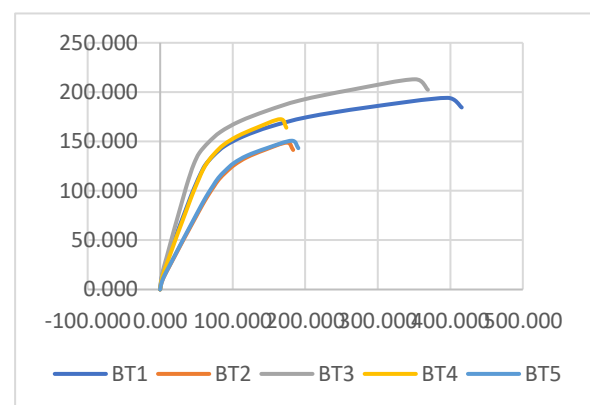
Gambar 11. Grafik *Load-Max Deflection* pada BT 3

Grafik hasil analisis *load max deflection* pada BT 3 dapat dilihat pada gambar 11. BT 3 mendapatkan hasil beban *ultimate* sebesar 117,163 kN pada defleksi sebesar 41,598 mm. BT 3 memiliki dimensi yang dapat dilihat pada tabel 4.1 dengan tinggi balok T beam sebesar 1200mm, lebar balok sebesar 250 mm, lebar sayap sebesar 1500 mm dengan tinggi sayap sebesar 240 mm.



Gambar 12. Grafik *Load-Max Deflection* pada BT 2

Grafik hasil analisis *load max deflection* pada BT 2 dapat dilihat pada gambar 12. BT 2 mendapatkan hasil beban *ultimate* terkecil dari semua benda uji yang di analisis menggunakan *software response - 2000*. BT 2 mendapatkan nilai beban *ultimate* sebesar 81,858 kN dengan defleksi sebesar 55,314 mm. BT 3 memiliki dimensi yang dapat dilihat pada tabel 4 dengan tinggi balok T beam sebesar 800 mm, lebar balok sebesar 300 mm, lebar sayap sebesar 1500 mm dengan tinggi sayap sebesar 300 mm.



Gambar 13. Grafik *Load-Max Deflection* pada Semua Benda Uji

Pengujian menggunakan *software response - 2000* yang dilakukan pada 5 benda uji jembatan beton balok T mendapatkan hasil *load - max deflection* yang berbeda-beda yang ditunjukkan pada grafik dapat dilihat BT3 gambar 13.

4. KESIMPULAN

Hasil analisis yang telah dilakukan pada pengujian balok T beam menggunakan *software response - 2000* dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Tegangan yang telah dilakukan mendapatkan hasil terkecil pada BT1 dan diikuti BT2, BT5, BT3 dan terbesar pada BT4. Tegangan pada balok T beam yang telah dilakukan menggunakan *software response - 2000* didapatkan hasil pada BT 1 mendapatkan nilai paling kecil sebesar 24,81 MPa pada jarak 261 mm dari sumbu netral balok. BT 4 mendapatkan

hasil tegangan tertinggi dengan nilai 25 MPa pada jarak 238,5 mm di atas sumbu netral. Lebar dan tinggi balok mempengaruhi tegangan pada gelagar beton balok T.

2. Lendutan terkecil didapatkan pada BT 4, dan diikuti BT 2, BT 5, BT 3 dan lendutan terbesar terjadi pada BT 1. Lendutan terkecil terjadi pada BT2 mendapatkan lendutan sebesar 174,59 mm dan lendutan terbesar terjadi pada BT 1 mendapatkan lendutan sebesar 395,93 mm.
3. Pada BT3 mendapatkan *curvature* yang paling kecil diikuti BT 4, BT 1, BT 5 dan *curvature* terbesar terjadi pada BT 2. Dari hasil analisis momen *curvature* pada BT3 dapat menahan momen lebih besar sebesar 1597,692 kNm dengan *curvature* sebesar 44,526 rad/km dan BT 2 dapat menahan momen terkecil sebesar 1295,317 kNm dengan *curvature* sebesar 74,855 rad/km.
4. Beban *ultimate* terhadap defleksi terbesar terjadi pada BT 3 dan diikuti BT 1, BT 4, BT 5 dan terkecil terjadi pada BT 2. Beban *ultimate* terbesar terjadi pada BT 3 dengan beban *ultimate* sebesar 117,163 kN dan pada beban *ultimate* terkecil pada BT 2 dengan 81,858 kN.
5. BT 1 memiliki hasil tegangan terkecil dari yang lainnya, BT 4 mendapatkan hasil lendutan terkecil dari benda uji lainnya, *moment - curvature* terkecil terjadi pada BT 3, dan beban *ultimate* terbesar terjadi pada BT 3.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Budiarto, B., Bachtiar, E. dan Setiawan, E., 'Perencanaan Balok T Konvensional pada Superstruktur Jembatan', Jurnal Aplikasi Teknik dan Sains, 2(1), pp.1 - 11, 2020.
- [2] Cahyati, M.A., "Pengaruh Variasi Tebal Terhadap kekakuan Lentur Pada Balok Komposit menggunakan Response 2000". Jurnal Ilmiah Semesta Teknika, 19(2), pp.157 - 164, 2016.
- [3] Hasan, M., Mahlil, dan Jamil, M., "Penanganan Girder yang Mengalami Defleksi yang Besar Setelah Pengecoran Pelat Lantai", Jurnal Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala, 9(2), pp.48 - 54, 2020.
- [4] Monika, F., Prayuda, H., dan Sarita, A.F.M., "Tingkat Kekakuan Pada Beton Bertulang Menggunakan Aplikasi Response - 2000". Jurnal Riset Rekayasa Sipil, 3(1), pp.7-15, 2019.
- [5] Nawy, G.E., "Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar", Bandung: Refika Aditama, 2010.
- [6] Praja, B.A., dan Triwiyono, A., "Perilaku Rangkak Susut Terhadap Lendutan Struktur Jembatan Bentang Panjang", Jurnal Teknik Sipil, 13(4), pp.260 - 267, 2016.
- [7] Schodek, D.L., "Struktur", Bandung: Refika Aditama, 1998.
- [8] Supriyadi, B., dan Muntohar, A.S., "Jembatan", Yogyakarta: Beta Offset, 2007.
- [9] Suryanto, B., Morgan, R, dan Han, A.L., "Prediksi Respon Terhadap Balok Beton Bertulang Geser Kritis Menggunakan Response - 2000 dan SNI 2847:2013", Civil Engineering Dimension, 18(1), pp.16 - 24, 2016.
- [10] Syaryadhi, M., Hasibuan, P, dan Suhardi., "Penggunaan Accelerometer MMA7361 sebagai Alternatif Pengukuran Lendutan pada Jembatan Secara Nirkabel Berbasis ATmega 32", Jurnal Rekayasa Elektrik, 11(5), pp.182 - 188, 2015.
- [11] Thamrin, R., "Analisis Prediksi Respon Lentur Balok Persegi yang Diperkuat dengan Pelat Baja", MATEC Web of Conferences, 103, pp.1-8, 2017.
- [12] Tudjono, S., Lie, H.A., dan Hidayat, B.A., "Studi Eksperimen pengaruh penguatan Fiber Reinforced Polymer (FRP) pada balok yang mengalami pembengkokan dan geser", Procedia Engineering, 125, pp.1070 - 1075, 2015.
- [13] Yuslinda, "Analisis Plastis Jembatan Box Girder dengan Penampang Single Box", Teras Jurnal, 11(1), pp.29 - 39, 2021.

