

**JURNAL TUGAS AKHIR**  
**PENGARUH BEBAN SENTRIFUGAL TERHADAP**  
**KEMAMPUAN LAYAN PADA JEMBATAN**  
***STEEL BOX GIRDER RAMP 6* JALAN TOL**  
**CIMANGGIS – CIBITUNG SEKSI 1A**  
**BEKASI – JAWA BARAT**



*Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil  
Universitas Muhammadiyah Jember*

Disusun Oleh :

**GIGIH HESTHI WIYONO**

**NIM : 1410 611 038**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH JEMBER**

**2018**

**PENGARUH BEBAN SENTRIFUGAL TERHADAP KEMAMPUAN  
LAYAN PADA JEMBATAN *STEEL BOX GIRDER RAMP 6* JALAN TOL  
CIMANGGIS – CIBITUNG SEKSI 1A BEKASI – JAWA BARAT**  
( Studi Kasus : Jalan Tol Cimanggis – Cibitung Seksi 1A, Bekasi – Jawa Barat )

Gigih Hesthi Wiyono

Dosen Pembimbing :

Ir. Pujo Priyono, MT ; Ir. Totok Dwi K, MT

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah  
Jember

Jalan Karimata 49, Jember 68172, Indonesia

### **ABSTRAK**

Pembangunan prasarana transportasi berupa peningkatan jalan dan jembatan harus sesuai dengan perkembangan daerah yang bersangkutan dan diusahakan mengikuti jalur jalan lama yang sudah ada. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh beban sentrifugal yang masih jarang diperhitungkan dan diproyeksikan dalam perencanaan terhadap konstruksi jembatan dengan pemodelan CSI Bridge v19. Berdasarkan penelitian struktur *steel box girder* akibat gaya – gaya kombinasi dan khususnya beban sentrifugal.

**Kata Kunci** : Jalan Tol Cimanggis – Cibitung seksi 1A, *steel box girder*, gaya sentrifugal, CSI Bridge v19

### **PENDAHULUAN**

Dalam kaitannya dengan keselamatan maka perlu diperhatikan juga tingkat keamanan dan kenyamanan dalam pemakaian jembatan tersebut. Terkait kemampuan layan jembatan dalam menerima beban, terdapat beban khusus (gaya sentrifugal,) yang harus dipikul oleh jembatan, dan diproyekdikan terhadap kekuatan jembatan.

### **RUMUSAN MASALAH**

Rumusan masalah yang akan dibahas antara lain :

1. Berapa besar beban sentrifugal pada konstruksi jembatan *steel box girder Ramp 6* di jalan tol Cimanggis – Cibitung seksi 1A Bekasi, Jawa Barat.
2. Bagaimana pengaruh beban sentrifugal terhadap konstruksi jembatan *steel box girder Ramp 6* di

jalan tol Cimanggis – Cibitung Seksi 1A Bekasi, Jawa Barat.

3. Pengaruh kecepatan maximum kendaraan pada tikungan terkait pembebanan sentrifugal terhadap konstruksi jembatan *steel box girder Ramp 6* di jalan tol Cimanggis – Cibitung Seksi 1A Bekasi, Jawa Barat.

### **BATASAN MASALAH**

Batasan masalah dalam pembahasan ini ialah :

- a. Aspek yang ditinjau adalah jembatan *steel box girder Ramp 6* di jalan tol Cimanggis – Cibitung Seksi 1A Bekasi, Jawa Barat., meliputi aspek konstruksi jembatan, perhitungan struktur jembatan, gambar konstruksi.
- b. Perancangan pada struktur atas jembatan *steel box girder* serta kombinasi yang didalamnya terdapat faktor beban sentrifugal.
- c. Tidak menghitung dan menganalisis sambungan dan manajemen proyek.

### **TUJUAN PENELITIAN**

Adapun tujuan yang ingin dicapai antara lain:

- a. Untuk mengetahui pembebanan secara keseluruhan dari jembatan yang meninjau beban sentrifugal.
- b. Untuk mengetahui proyeksi pengaruhnya beban sentrifugal terhadap konstruksi jembatan menikung *steel box girder*.

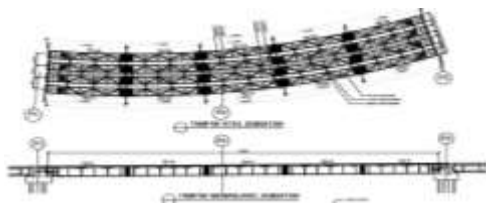
### **MANFAAT PENELITIAN**

Adapun manfaat dari pembahasan ini ialah :

- a. Teoritis  
Diharapkan dapat memberikan manfaat dan informasi secara lebih detail pemberian beban sentrifugal dan pengaruhnya didalam perencanaan struktur jembatan menikung *steel box girder*.
- b. Praktis  
Dari hasil perhitungan beban sentrifugal pada Jembatan jalan raya Proyek Jalan tol Cimanggis – Cibitung, maka diharapkan dapat diketahui pengaruh beban sentrifugal yang bekerja pada struktur jembatan *steel box girder* dan mencari penyelesaiannya.

**LOKASI PENELITIAN**

Lokasi penelitian berada pada proyek pembangunan jalan tol Cimanggis – Cibitung seksi 1A, Bekasi, Jawa Barat.



Tampak atas dan memenjjang jembatan

**STANDART PERATURAN**

1. Struktur Bina Marga *Bridge Management System (BMS)* 1992, Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum.
2. Spesifikasi Jembatan Jalan Raya AASHTO.
3. Standar Pembebanan untuk Jembatan RSNI-T-02-2005.
4. Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan RSNI-T-02-2005.
5. Peraturan lain yang masih berlaku dan sesuai dengan kondisi yang ada.

**DATA PENELITIAN**

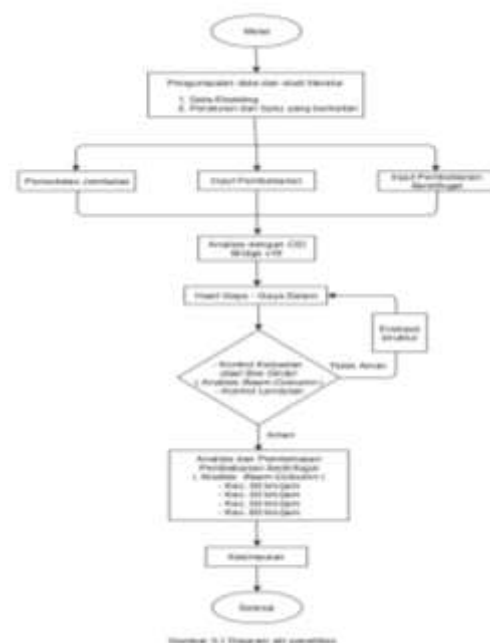
Adapun data - data untuk perancangan struktur atas jembatan adalah sebagai berikut:

1. Panjang jembatan : 59,60 m
2. Lebar jembatan : 9,7 m
3. Jumlah lalu lintas : 2 Lajur

4. Tipe jembatan : *Steel Box Girder*
5. Lebar jalur lalu lintas : 5,5 mr
6. Tinggi bebas jembatan: 8 m
7. Mutu gelagar box : 355 Mpa
8. Mutu beton : 30 Mpa
9. Tebal pelat beton : 250 mm
10. Tinggi tiang sandaran : 1,5 m

**DIAGRAM ALIR PENELITIAN**

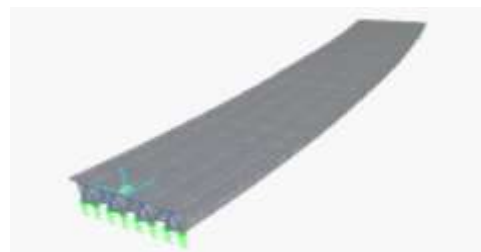
Berikut ini adalah gambar diagram alir perancangan struktur pada jembatan *steel box girder*:



**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Pemodelan dan Kriteria Struktur**

Analisis kekuatan struktur yang dilakukan diawali dengan pemodelan struktur menggunakan *CSI Bridge 19*. Kriteria desain yang digunakan dalam pemodelan struktur berdasarkan dokumen perencanaan, adalah sebagai berikut :



**Deck Slab**

- Dimensi ( P x L x tebal ):9,7 m x 59,6 m x 0,25 m
- Tipe Bahan : Beton B1
- $f'c$  : 30 Mpa
- : 30,000 kN/ m<sup>2</sup>
- Modulus Elastisitas : 25742,96
- Berat per Unit Volume:25 kN/ m<sup>2</sup>
- Massa per Unit Volume:2,55 kg
- Rasio Poisson : 0,2
- Koefisien Thermal:1.17 x 10<sup>-5</sup>/°C
- Modulus Geser : 10726,23 Mpa

**Steel Box Girder**

- Tipe bahan : BJ – 50
- Berat per Unit Volume :78,6 kN/ m<sup>2</sup>
- Massa per Unit Volume :8,015 kg
- Modulus Elastisitas :200,000 Mpa
- Rasio Poisson : 0,3
- Koefisien Thermal:1.2 x 10<sup>-5</sup>
- Modulus Geser :76,923,08 kN/ m<sup>2</sup>
- $F_y$  Minimum : 340 Mpa
- $F_u$  Maksimum: 490 Mpa

**Bearing**

Jenis perletakan : Sendi – Rol

Nama	Tipe	Jumlah	Berat (Kg)
Lower bearing	SM490A	1	668.8
Upper bearing	SM490A SCW480N atau	1	492.2
Side protector	SM490A SS400	2	174.7
Anchor bolt	SM490A	4	193.8

**ANALISIS PENAMPANG**

**KOMPOSIT**

Berdasarkan desain perencanaan pada jembatan *Ramp 6 steel box girder* Jalan Tol Cimanggis – Cibitung seksi 1A, Bekasi – Jawa Barat. Terdapat 6 bentuk girder yang berbeda. Pada perhitungan ini penampang dalam keadaan komposit serta setelah komposit.

( Perhitngan penampang girder C )

$$Ec = 4700 \times \sqrt{f'c}$$

$$= 25.743$$

$$Es = 200.000$$

$$n = Es/Ec$$

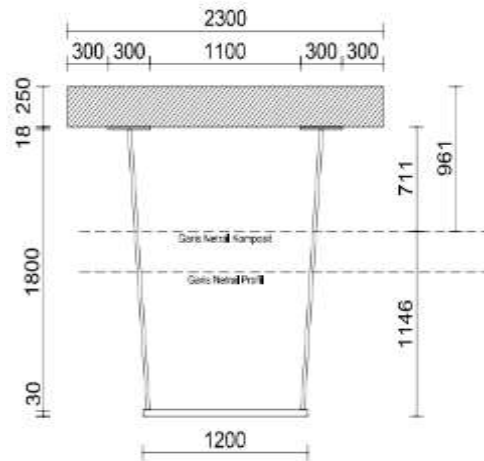
$$= 7,769$$

Pelat beton ditransformasikan

ke penampang baja

$$be/n = 2300/7,769$$

$$= 296,04 \text{ mm}$$



$$A = 220.811 \text{ mm}^2$$

$$y_{ca} = \frac{\sum Ai \times yi}{\sum Ai}$$

$$= 961,64 \text{ mm}$$

$$y_{sb} = H - y_{ca}$$

$$= 2108 - 961,64$$

$$= 1146,4 \text{ mm}$$

$$y_{sa} = H_b - y_{sb}$$

$$= 1858 - y_{sb}$$

$$= 711,64 \text{ mm}$$

Inersia sumbu x

$$I_x = 2 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

Inersia sumbu y

$$I_y = 4,6 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

Modulus penampang

$$S_c = S_{beton} = I_x/y_{ca}$$

$$= 1,56 \times 10^8 \text{ mm}^3$$

$$S_c = S_{baja \text{ atas}} = I_x/y_{sa}$$

$$= 2 \times 10^8 \text{ mm}^3$$

$$S_{sb} = S_{baja \text{ bawah}} = I_x/y_{sb}$$

$$= 1,3 \times 10^8 \text{ mm}^3$$

Jari-jari girasi

Sumbu x,  $r_x$

$$\sqrt{I_y \times A} = \sqrt{1,4 \times 10^{11} / 220.811}$$

$$= 825,419 \text{ mm}$$

Sumbu y,  $r_y$

$$\sqrt{I_x \times A} = \sqrt{4,6 \times 10^{10} / 220.811}$$

$$= 697,706 \text{ mm}$$

Modulus penampang plastis sumbu x,  $Z_x$

$$Z_x = t_w * h_t^2 / 4 + (b_f - t_w) * (h_t - t_f) * t_f = 1,5 \times 10^9 \text{ mm}^3$$

Modulus penampang plastis sumbu y,  $Z_y$

$$Z_y = t_f * h_t^2 / 4 + (b_f - 2 * t_f) * t_w^2 / 4 = 4,7 \times 10^7 \text{ mm}^3$$

$$S_x = 1,3 \times 10^8 \text{ mm}^3$$

$$S_y = 4,05 \times \text{mm}^3$$

### ANALISIS PEMBEBANAN

Besar pembebanan yang terjadi pada jembatan *steel box girder Ramp 6* Jalan tol Cimanggis – Cibitung seksi 1A berdasarkan RSNI T-02-2005 :

No	Jenis Beban	Kode Beban	Q kN/m	P kN	M kNm	Keterangan
1	Beban mati sendiri	QMS	154.033			Beban merata, QMS
	- Beban Girder	Qgirder	34.458			Beban merata, Qgirder
	- Beban Diafragma	Qdiafragma	58.950			Beban terpusat, Qdiafragma
	- Beban Pelat Kendaran	Qpltkend	72.625			Beban merata, Qpltkend
	Beban mati tambahan	QMA	51.415			Beban merata, QMA
	- Beban aspal + overlay	Qaspal	21.340			Beban merata, Qaspal
	- Beban genangan air	Qga	4.753			Beban merata, Qga
- Beban Parapet	Qprt	11.712			Beban merata, Qprt	
3	Beban Lajur "D"	QTT	65.621	67.424		Beban merata, Qtr dan beban terpusat, BGT
4	Gaya Rem	Mtb			31.465	Beban momen, MTB
5	Gaya Sentrifugal	QTr				
-	V30	QTr	0.496			Beban merata, QTr
-	V40	QTr	0.881			Beban merata, QTr
-	V50	QTr	1.377			Beban merata, QTr
-	V60	QTr	1.983			Beban merata, QTr
6	Temperatur	Met			28.966	Beban momen, Met
7	Beban Angin	Qew	1,62			Beban merata, Qew

### KOMBINASI PEMBEBANAN

Dalam tugas akhir ini meninjau kombinasi pembebanan yang didalamnya terdapat faktor beban sentrifugal. Berdasarkan RSNI T-02-2005. pembebanan tersebut dikombinasikan kedalam program CSI Bridge v19 seperti pada tabel.

KOMBINASI PEMBEBANAN	
- Untuk kelayakan	
Komb I =	1MS + 1MA + 1TT + 1TB + 1ET
Komb II =	1MS + 1MA + 1TT + 1TB + 1ET + 1EW
- Untuk ultimit	
Komb I =	1,3MS + 2MA + 1,8TT + 1,8TB + 1,2ET + 1,2EW
Komb II =	1,3MS + 2MA + 1,8TT + 1,8TB + 1,2ET

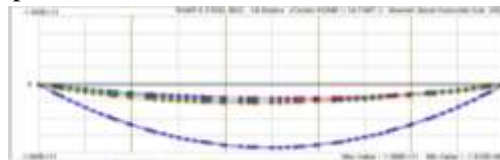
Tabel 4. Kombinasi pembebanan sumbu x

KOMBINASI PEMBEBANAN	
- Untuk kelayakan	
Komb I =	1MS + 1MA + 1TT + 1TB + 1TTR + 1ET
Komb II =	1MS + 1MA + 1TT + 1TB + 1TTR + 1ET + 1EW
- Untuk ultimit	
Komb I =	1,3MS + 2MA + 1,8TT + 1,8TB + 1,8TTR + 1,2ET + 1,2EW
Komb II =	1,3MS + 2MA + 1,8TT + 1,8TB + 1,8TTR + 1,2ET

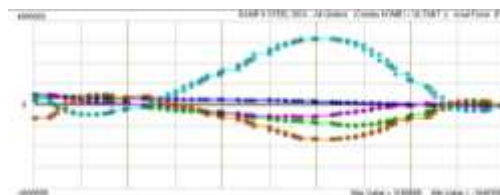
Tabel 4. Kombinasi pembebanan sumbu y

### HASIL GAYA – GAYA DALAM

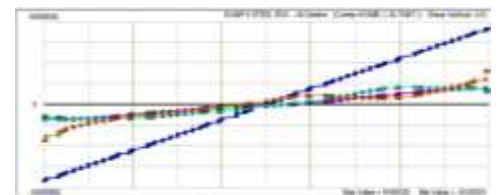
Gaya-gaya dalam maksimum keseluruhan jembatan *steel box girder Ramp 6* akibat pembebanan gaya kombinasi keseluruhan jembatan. Nilai gaya dalam ini dihitung pada program CSI Bridge 19 dengan kombinasi 1 Ultimit yang menghasilkan gaya-gaya dalam terbesar, seperti yang digambarkan pada Gambar.



M3



P



V2

Dari data gaya dalam kombinasi pembebanan ultimit I

$$M3 = 4,1 \times 10^{10} \text{ Nmm}$$

$$P = 1.630.009,11 \text{ N}$$

$$V2 = 1.027.709,04 \text{ N}$$

Gaya – gaya dalam tersebut digunakan untuk analisis kekuatan *steel box girder* dengan analisis *beam-columnn*.

### KONTROL GAYA DALAM

Perhitungan momen

$$= 1/8 \times \text{berat} \times L^2 \times A$$

$$\text{Momen maksimum akibat } \textit{steel box girder} = 15.300,148 \text{ kNm}^2$$

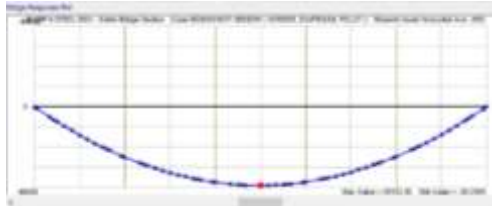
Momen maksimum akibat *deck slab* = 21.534,970 kNm<sup>2</sup>

Momen maksimum akibat *diafragma* = 1.667,794 kNm<sup>2</sup>

Mmaks akibat beban mati sendiri = 38.502,911 kNm<sup>2</sup>

Jadi, Mmaks = 38.502,911 kNm<sup>2</sup> < 39.102,35 kNm<sup>2</sup> Mmaks CSI Bridge v19

Gambar. Sehingga pemodelan pada *CSI Bridge 19* dapat digunakan.

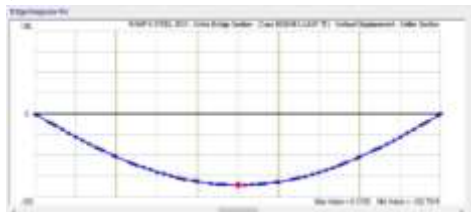


### KONTROL LENDUTAN

Berdasarkan RSNI-13, batas lendutan yang terjadi pada jembatan *steel box girder Ramp 6* akibat beban hidup sebesar  $L/800$ .

$$\Delta \text{ ijin} = 59600 / 800 = 74,5 \text{ mm}$$

Nilai lendutan maksimum jembatan *steel box girder* yang terjadi pada program CSI Bridge 19 sebesar 113,696 mm akibat beban hidup atau beban lajur "D". Nilai lendutan yang terjadi lebih besar dari nilai lendutan ijin, sehingga dilakukan *camber* oleh pabrikan senilai 385 mm. Sehingga nilai lendutan maksimum nilai lendutan sebesar yang terjadi pada 310,5 mm keadaan *camber*, dan nilai lendutan maksimum akibat beban hidup pada jembatan *steel box girder* aman.



### ANALISIS BALOK-KOLOM (BEAM-COLOUMN)

Jembatan *steel box girder Ramp 6* Jalan Tol Cimanggis – Cibitung seksi 1A, Bekasi – Jawa Barat memiliki penampang berupa pelat girder berdingding penuh dan pada penelitian ini digunakan pendekatan *BeamColoum*.

*Ditinjau penampang girder C pada kombinasi pembebanan ultimit I dengan beban sentrifugal pada kec. 60 km/jam.*

Momen maks beban terfaktor,  $M_{ux} = 4,10 \times 10^{10}$  Nmm

(diambil dari software CSI bridge v19)

Momen  $\frac{1}{4}$  bentang = 10.257.500.000 Nmm

Momen  $\frac{1}{2}$  bentang = 20.515.000.000 Nmm

Momen  $\frac{3}{4}$  bentang = 30.772.500.000 Nmm

Momen maks beban sentrifugal,  $M_{uy} = 7,37 \times 10^7$  Nmm

(diambil dari software CSI bridge v19)

Momen  $\frac{1}{4}$  bentang = 18.428.401 Nmm

Momen  $\frac{1}{2}$  bentang = 36.856.802 Nmm

Momen  $\frac{3}{4}$  bentang = 55.285.203 Nmm

Gaya aksial beban terfaktor =

$$1.630.009,11 \text{ N}$$

Gaya geser beban terfaktor =

$$1.027.709,04 \text{ N}$$

Faktor reduksi kekuatan aksial tekan = 0,85

Faktor reduksi kekuatan lentur = 0,9

Faktor reduksi kekuatan geser = 0,75.

### Section Properties

Modulus geser, G

$$G = E / [2 * (1 + \nu)]$$

$$= 200.000 / (2 * (1 + 0,3))$$

$$= 76.923 \text{ Mpa}$$

Konstanta puntir torsi,

$$J = \sum [ b * t^3 / 3 ]$$

$$= 35.839.316,7 \text{ mm}^4$$

Konstanta putir lekung

$$I_w = I_y * h^2 / 4$$

$$= 3,523 \times 10^6 \text{ mm}^6$$

Koefisien momen tekuk torsi lateral sumbu x,

$$X_1 = \pi / S_x * \sqrt{ [ E * G * J * A / 2 ] }$$

$$= 5.906,4 \text{ Mpa}$$

$$X_2 = 4 * [ S_x / ( G * J ) ]^2 * I_w / I_y$$

$$= 0,00687 \text{ mm}^2/\text{N}^2$$

Koefisien momen tekuk torsi lateral sumbu y,

$$X_1 = \pi / S_y * \sqrt{ [ E * G * J * A / 2 ] }$$

$$= 19.132,5 \text{ Mpa}$$

$$X_2 = 4 * [ S_y / ( G * J ) ]^2 * I_w / I_y$$

$$= 0,000655 \text{ mm}^2/\text{N}^2$$

Momen Plastis sumbu x, Mp

$$\begin{aligned} Mp &= F_y \times Z_x \\ &= 355 \times 146.982.376,2 \\ &= 52.178.743.564 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen Plastis sumbu y, Mp

$$\begin{aligned} Mp &= F_y \times Z_y \\ &= 355 \times 47.150.625 \\ &= 16.738.471.875 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen batas tekuk sumbu x, Mr

$$\begin{aligned} Mr &= S_x \times (f_y - f_r) \\ &= 1,3 \times 10^8 \times (355 - 70) \\ &= 37.401.765.382 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen batas tekuk sumbu y, Mr

$$\begin{aligned} Mr &= S_y \times (f_y - f_r) \\ &= 4,7 \times 10^7 \times (355 - 70) \\ &= 11.546.255.280 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Perhitungan kekuatan

*Menentukan momen nominal terhadap sumbu x,*

Aksi balok

1. Momen Nominal pengaruh *Local Buckling*

Kelangsingan penampang

$$\begin{aligned} \lambda &= b_f / t_f \\ &= 300 / (18 + 40) \\ &= 5,172 \end{aligned}$$

Batas kelangsingan maksimum untuk penampang kompak

$$\begin{aligned} \lambda_p &= 500 / \sqrt{f_y} \\ &= 500 / \sqrt{355} \\ &= 26,537 \end{aligned}$$

Batas kelangsingan maksimum untuk penampang tidak kompak,

$$\begin{aligned} \lambda_r &= 625 / \sqrt{f_y} \\ &= 625 / \sqrt{355} \\ &= 33,172 \end{aligned}$$

Karena  $\lambda \leq \lambda_p$ , berdasarkan nilai kelangsingan sayap, maka termasuk penampang kompak. Sehingga momen nominal penampang dihitung berikut :

$$\begin{aligned} Mn &= Mp \\ Mn &= 52.178.743.564 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Pengaruh tekuk lokal (*local buckling*) pada badan

Kelangsingan penampang badan

$$\begin{aligned} \lambda &= h / tw \\ &= 1742 / 25 \\ &= 69,680 \end{aligned}$$

Batas kelangsingan maksimum untuk penampang kompak,

$$\begin{aligned} \lambda_p &= 1680 / \sqrt{f_y} \\ &= 1680 / \sqrt{355} \end{aligned}$$

$$= 89,165$$

Batas kelangsingan maksimum untuk penampang tidak kompak,

$$\begin{aligned} \lambda_r &= 2550 / \sqrt{f_y} \\ &= 2550 / \sqrt{355} \\ &= 135,340 \end{aligned}$$

Karena  $\lambda \leq \lambda_p$ , berdasarkan nilai kelangsingan badan, maka termasuk penampang kompak. Sehingga momen nominal penampang dihitung berikut :

$$\begin{aligned} Mn &= Mp \\ Mn &= 52.178.743.564 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

2. Momen nominal balok pelat berdinging penuh

Kelangsingan penampang badan

$$\begin{aligned} \lambda &= h/tw \\ &= 1742 / 25 \\ &= 69,680 \\ \lambda_r &= 625 / \sqrt{f_y} \\ &= 625 / \sqrt{355} \\ &= 33,172 \end{aligned}$$

Koefisien momen tekuk torsi lateral,

$$\begin{aligned} C_b &= 12,5 \times M_u / (2,5 \times M_u + 3 \times M_A + 4 \times M_B + 3 \times M_C) \\ &= (12,5 \times 4,1 \times 10^{10}) / (2,5 \times 4,1 \times 10^{10} + 3 \times 1,03 \times 10^{10} + 4 \times 2,05 \times 10^{10} + 3 \times 3,077 \times 10^{10}) \\ &= 1,67 \end{aligned}$$

Karena nilai  $C_b < 2,3$  maka diambil nilai  $C_b$  minimum yaitu 1,67. Perbandingan luas pelat badan terhadap luas pelat sayap

$$\begin{aligned} a_r &= h \times tw / (bf \times tf) \\ &= 1742 \times 25 / (300 \times 18) \\ &= 8,065 \end{aligned}$$

3. Momen nominal berdasarkan tekuk torsi lateral

Jarak antara pengekang lateral

$$L = 59.600 \text{ mm}$$

Angka kelangsingan

$$\begin{aligned} \lambda_G &= L/r_x \\ &= 59.600 / 825,419 \\ &= 72,206 \end{aligned}$$

Batas kelangsingan maksimum untuk penampang kompak

$$\begin{aligned} \lambda_p &= 1,76 \times \sqrt{(E_s / f_y)} \\ &= 1,76 \times \sqrt{(200.000 / 355)} \\ &= 41.775 \text{ mm} \end{aligned}$$

Batas kelangsingan maksimum untuk penampang tidak kompak

$$\lambda_r = 4,40 \times \sqrt{(E_s / f_y)}$$

$$= 4,4 \times \sqrt{(200.000 / 355)}$$

$$= 104,437$$

Tegangan acuan untuk momen kritis tekuk torsi lateral

$$f_c = C_b \times f_y / 2$$

$$= 1,67 \times 355 / 2$$

$$= 295,83 \text{ Mpa}$$

Karena  $f_c < f_y$  maka diambil nilai  $f_c$  yakni 295,83 Mpa

Karena  $\lambda_G > \lambda_P$ ,  
Nilai tegangan kritis penampang diambil terbesar yakni

$$F_{cr} = f_y$$

$$= 355 \text{ Mpa}$$

Koefisien balok pelat berdingding penuh,  
 $K_g = 1 - [a_r / (1200 + 300 * a_r)] * [h / t_w - 2550 / \sqrt{f_{cr}}]$

$$= 1,146$$

Sehingga nilai momen nominal penampang adalah

$$M_n = K_g \times S_x \times F_{cr}$$

$$= 1,146 \times 131.234.264 \times 355$$

$$= 53.404.148.658 \text{ Nmm}$$

4. Momen nominal berdasarkan *local bucling* pada sayap

Kelangsingan penampang sayap

$$\lambda_G = b_f / t_f$$

$$= 300 / (18 + 40)$$

$$= 5,17$$

Faktor kelangsingan pelat badan

$$K_e = 4 / \sqrt{h/t_w}$$

$$= 4 / \sqrt{1742/25}$$

$$= 0,479$$

Karena  $K_e < 0,763$ , maka diambil nilai  $K_e = 0,479$

Batas kelangsingan maksimum untuk penampang kompak

$$\lambda_p = 0,38 \times \sqrt{(E_s / f_y)}$$

$$= 0,38 \times \sqrt{(200.000 / 355)}$$

$$= 9,02$$

Batas kelangsingan maksimum untuk penampang tidak kompak

$$\lambda_r = 1,35 \times \sqrt{(K_e \times E_s / f_y)}$$

$$= 1,35 \times \sqrt{(0,479 \times 200.000 / 355)}$$

$$= 22,18$$

Tegangan acuan untuk momen kritis tekuk lokal

$$F_c = f_y / 2$$

$$= 355 / 2$$

$$= 177,5 \text{ Mpa}$$

Karena  $\lambda_G < \lambda_P$ ,

Nilai tegangan kritis penampang diambil terbesar yakni

$$F_{cr} = f_y$$

$$= 355 \text{ Mpa}$$

Koefisien balok pelat berdingding penuh,  
 $K_g = 1 - [a_r / (1200 + 300 * a_r)] * [h / t_w - 2550 / \sqrt{f_{cr}}]$

$$= 1,146$$

Sehingga nilai momen nominal penampang adalah

$$M_n = K_g \times S_x \times F_{cr}$$

$$= 1,146 \times 131.234.264 \times 355$$

$$= 53.404.148.658 \text{ Nmm}$$

5. Momen nominal pengaruh *lateral bucling*

Panjang bentang maksimum balok yang mampu menahan momen plastis,

$$L_p = 1,76 \times r_x \times \sqrt{E_s / f_y}$$

$$= 1,76 \times 825,419 \times \sqrt{20.000 / 355}$$

$$= 34.482 \text{ mm}$$

Tegangan leleh dikurangi tegangan sisa,

$$f_l = f_y - f_r$$

$$= 355 - 70$$

$$= 285 \text{ Mpa}$$

Panjang bentang minimum balok yang tahanannya ditetentukan oleh momen kritis tekuk torsi lateral,

$$L_r = r_x \times X_1 / f_L \times \sqrt{[1 + \sqrt{(1 + X_2 * f_L^2)}]}$$

$$= 84.937 \text{ mm}$$

Karena  $L_p < L < L_r$  dan penampang kompak, maka termasuk bentang pendek masuk kasus 3.

Sehingga  $M_n = M_p$ .

$$M_n = C_b \times (M_r + (M_p - M_r) \times (L_r - L) / (L_r - L_p))$$

$$M_n = 74.703.841.539 \text{ Nmm}$$

Karena  $M_n > M_p$ , maka digunakan  $M_n = M_p$ ,

$$M_n = 52.178.743.564 \text{ Nmm}$$

6. Momen Nominal pengaruh *Local Bucling* pada Badan

Kelangsingan penampang badan

$$\lambda = h / t_w$$

$$= 69,680$$

Gaya aksial leleh

$$N_y = A \times f_y$$

$$= 220.811,0106 \times 355$$

$$= 78.387.909 \text{ N}$$

$$\text{Maka, } N_u / (\phi_b \times N_y) = 0,023$$

Untuk nilai  $N_u / (\phi_b \times N_y) < 0,125$ , maka Batas kelangsingan maksimum penampang kompak,



$$\lambda_p = 1680 / \sqrt{f_y} * [ ( 1 - 2.75 * N_u / ( \phi_b * N_y ) ) ]$$

$$= 83,499$$

Batas kelangsingan maksimum penampang tidak kompak,

$$\lambda_r = 2550 / \sqrt{f_y} * [ ( 1 - 0,74 * N_u / ( \phi_b * N_y ) ) ]$$

$$= 133,026$$

Karena nilai  $\lambda < \lambda_p$ , maka penampang masuk kategori kompak. Sehingga

$$M_n = M_p,$$

$$M_n = 52.178.743.564 \text{ Nmm}$$

### 7. Tahanan momen lentur

Dari perhitungan momen nominal dapat ditampilkan berikut :

a. Momen nominal pengaruh <i>local buckling</i> :		
Momen nominal pengaruh <i>local buckling</i> pada sayap,	$M_n =$	52178743564 Nmm
Momen nominal pengaruh <i>local buckling</i> pada badan,	$M_n =$	52178743564 Nmm
b. Momen nominal balok plat berdingding penuh :		
Momen nominal pengaruh tekuk torsi lateral,	$M_n =$	53404148658 Nmm
Momen nominal pengaruh <i>local buckling</i> pd. sayap,	$M_n =$	53404148658 Nmm
c. Momen nominal pengaruh <i>lateral buckling</i> ,		
$M_n =$	52178743564	Nmm
d. Momen nominal pengaruh <i>local buckling</i> pada badan,		
$M_n =$	52178743564	Nmm
Momen nominal (terkecil) yang menentukan,	$M_n =$	52178743564 Nmm
Tahanan momen lentur,	$\phi * M_n =$	46960869208 Nmm

$$\phi_b \times M_n = 0,9 \times 52.178.743.564$$

$$= 46.960.869.208 \text{ Nmm}$$

*Menentukan Momen Nominal terhadap sumbu y,*

berdasarkan perhitungan seperti menentukan momen nominal sumbu x maka momen nominal sumbu y ditampilkan berikut :

a. Momen nominal pengaruh <i>local buckling</i> :		
Momen nominal pengaruh <i>local buckling</i> pada sayap,	$M_n =$	16738471875 Nmm
Momen nominal pengaruh <i>local buckling</i> pada badan,	$M_n =$	16738471875 Nmm
b. Momen nominal balok plat berdingding penuh :		
Momen nominal pengaruh tekuk torsi lateral,	$M_n =$	53404148658 Nmm
Momen nominal pengaruh <i>local buckling</i> pd. sayap,	$M_n =$	53404148658 Nmm
c. Momen nominal pengaruh <i>lateral buckling</i> ,		
$M_n =$	16738471875	Nmm
Momen nominal (terkecil) yang menentukan,	$M_n =$	16738471875 Nmm
Tahanan momen lentur,	$\phi * M_n =$	15064624688 Nmm

$$\phi_b \times M_n = 0,9 \times 16.738.471.875$$

$$= 15.064.624.688 \text{ Nmm}$$

### 8. Tahanan aksial tekan

Aksi kolom

Faktor panjang tekuk efektif terhadap sumbu x,

$$K_x = 1$$

Faktor panjang tekuk efektif terhadap sumbu y,

$$K_y = 1$$

Panjang tekuk efektif dihitung sebagai berikut :

Panjang kolom terhadap sumbu x

$$L_x = 59.600 \text{ mm}$$

Panjang tekuk efektif terhadap sumbu x

$$L_{kx} = k_x \times L_x$$

$$= 59.600 \text{ mm}$$

Panjang kolom terhadap sumbu y

$$L_y = 59.600 \text{ mm}$$

Panjang tekuk efektif terhadap sumbu y

$$L_{ky} = k_y \times L_y$$

$$= 1 \times 59.600$$

$$= 59.600 \text{ mm}$$

Parameter kelangsingan terhadap sumbu x,

$$\lambda_{cx} = 1 / \pi \times L_{kx} / r_x \times \sqrt{ ( f_y / E ) }$$

$$= 1 / 3,14 \times 59.600 / 825,419 \times \sqrt{ 355 / 200.000 }$$

$$= 0,9683$$

Parameter kelangsingan terhadap sumbu y,

$$\lambda_{cy} = 1 / \pi \times L_{ky} / r_y \times \sqrt{ ( f_y / E ) }$$

$$= 1 / 3,14 \times 59.600 / 597,706 \times \sqrt{ 355 / 200.000 }$$

$$= 1.1456$$

Menentukan nilai faktor tekuk terhadap sumbu x, untuk parameter kelangsingan terhadap sumbu x,  $\lambda_{cx} = 0,9683$ , maka

$$\omega = 1,43 / ( 1,6 - 0,67 \times \lambda_c )$$

$$= 1,503$$

dan masuk katategori kolom sedang.

Menentukan nilai faktor tekuk terhadap sumbu y, untuk parameter kelangsingan terhadap sumbu x,  $\lambda_{cy} = 1,1456$ , maka

$$\omega = 1,43 / ( 1,6 - 0,67 \times \lambda_c )$$

$$= 1,718$$

dan masuk katategori kolom sedang.

Tegangan tekuk terhadap sumbu x

$$F_{cr} = f_y / \omega_x$$

$$= 355 / 1,503$$

$$= 236,143 \text{ Mpa}$$

Tegangan tekuk terhadap sumbu y

$$F_{cr} = f_y / \omega_y$$

$$= 355 / 1,718$$

$$= 206,661 \text{ Mpa}$$

Tahanan aksial tekan nominal terhadap sumbu x

$$N_{nx} = A \times f_{cx}$$

$$= 220.811,0106 \times 236,143$$

$$= 52.142.881 \text{ N}$$

Tahanan aksial tekan nominal terhadap sumbu y

$$N_{ny} = A \times f_{cy}$$

$$= 220.811,0106 \times 206,661$$

$$= 45.633.037 \text{ N}$$

Diambil nilai tahanan aksial terkecil,

$$N_n = 45.633.037 \text{ N,}$$

Sehingga

Tahanan aksial tekan

$$\Phi_n \times N_n = 0,85 \times 45.633.037$$

$$= 38.788.082 \text{ N}$$

9. Pembesaran Momen

Rasio kelangsingan  $kL/r$  yang diperhitungkan dalam pembesaran momen harus berhubungan dengan sumbu lentur

Sumbu x,

$$kL/r_x = 59.600 / 825,419$$

$$= 72,21$$

$$C_m = 0,6 - 0,4 \times (\mu_1/\mu_2)$$

$$= 0,6 - 0,4 \times 4,1 \times 10^{10}$$

$$= 0,4$$

$$N_e = \pi^2 \times E_s \times A / kL/r^2$$

$$= 6.036.408.162 \text{ N}$$

$$\delta_b = C_m / (1 - (N_u/N_{e1}))$$

$$= 0,60$$

Karena  $\delta_b < 1$ , maka dipakai  $\delta_b = 1$

Periksa terhadap persamaan

$$M_{ux} = \delta_b \times M_u$$

$$= 1 \times 4,1 \times 10^{10}$$

$$= 4,103 \times 10^{10} \text{ Nmm}$$

Sumbu y,

$$kL/r_y = 59.600 / 697,706$$

$$= 85,42$$

$$\sum N_u = 5 \times N_u$$

$$= 5 \times 1.646.309$$

$$= 8.231.545 \text{ N}$$

$$N_e = \pi^2 \times E_s \times A / kL/r^2$$

$$= 5.102.426.638 \text{ N}$$

$$\sum N_u = 5 \times N_e$$

$$= 5 \times 5.102.426.638$$

$$= 2.55 \times 10^{10} \text{ N}$$

$$\delta_s = 1 / (1 - (\sum N_u / \sum N_e))$$

$$= 1,00032$$

Periksa terhadap persamaan

$$M_{uy} = \delta_s \times M_y$$

$$= 1,00032 \times 73.737.396$$

$$= 73.737.396 \text{ Nmm}$$

10. Interaksi Tekan dan Momen Lentur

Dari perhitungan diatas didapat nilai – nilai sebagai berikut :

Gaya aksial akibat beban terfaktor,  $N_u$

$$= 1.630.099,11 \text{ N}$$

Momen akibat beban terfaktor,  $M_{ux}$  sb x

$$= 41.030.000.000 \text{ Nmm}$$

Momen akibat beban terfaktor,  $M_{uy}$  sb y

$$= 73.737.396 \text{ Nmm}$$

Tahanan aksial tekan,  $\phi_n \times N_n$

$$= 38.788.082 \text{ N}$$

Tahanan momen lentur, sb x.  $\phi_b \times M_{nx}$

$$= 46.960.869.208 \text{ Nmm}$$

Tahanan momen lentur, sb y.  $\phi_b \times M_{ny}$

$$= 15.064.624.688 \text{ Nmm}$$

Karena nilai  $N_u / (\phi_n \times N) = 0,0424 < 0,2$ . Maka

$$N_u / (2 \times \phi_n \times N_n) + [M_{ux} / (\phi_b \times M_{nx}) + M_{uy} / (\phi_b \times M_{ny})] = 0,8998$$

Sehingga nilai interaksi aksial tekan dan momen lentur akibat pembebanan ultimit I dengan beban sentrifugal kecepatan 60 km / jam,  $0,914 < 1$ , dan dinyatakan penampang girder C aman.

11. Tahanan Geser

Luas penampang badan

$$A_w = t_w \times h$$

$$= 40 \times 1800$$

$$= 45.000 \text{ mm}^2$$

$$K_n = 5 + 5 / (a/h)^2$$

$$= 173,587$$

Pebandingan tinggi terhadap tebal badan,

$$h/t_w = 69,680$$

$$1.1 \times \sqrt{k_n \times E_s / f_y} = 343,995$$

$$1.37 \times \sqrt{k_n \times E_s / f_y} = 428,430$$

Karena  $h/t_w < 1.1 \times \sqrt{k_n \times E_s / f_y}$  dan  $h/t_w < 1.37 \times \sqrt{k_n \times E_s / f_y}$ , maka termasuk tahanan geser plastis. Sehingga tahanan geser nominal dihitung berikut :

$$V_n = 0,6 \times f_y \times A$$

$$= 0,6 \times 355 \times 220811,0106$$

$$= 9.585.000 \text{ N}$$

Tahanan gaya geser dikalikan faktor reduksi

$$\Phi_f \times V_n = 0,75 \times 9.585.000$$

$$= 7.188.750 \text{ N}$$

Gaya geser akibat beban terfaktor

$$V_u = 1.027.709,04 \text{ N}$$

Syarat yang harus dipenuhi  $V_u \leq \Phi_f \times V_n$ , maka  $V_u / \Phi_f \times V_n = 0,143 < 1$  kategori aman.

12. Interaksi Geser dan Lentur

Elemen yang memenuhi kombinasi geser dan lentur harus dikontrol sebagai berikut Syarat yang harus dipenuhi untuk interaksi geser dan lentur

$$\left( \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) + 0,625 \frac{V_u}{\phi_f M_n} \leq 1,375$$

$$\frac{M_u}{\phi_b M_n} = 0,878$$

$$\frac{V_u}{\phi_f M_n} = 0,143$$

$$\left( \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) + 0,625 \frac{V_u}{\phi_f M_n} = 0,968$$

Sehingga  $0,983 \leq 1,375$  penampang girder C terhadap kombinasi pembebanan ultimit I dengan beban sentrifugal kecepatan 60 km / jam dikategorikan aman terhadap geser dan lentur.

Analisis perbandingan pada pembebanan sentrifugal dapat dilihat pada tabel berikut :

Pembebanan	Nilai interaksi aksial tekan dan momen lentur	Persentase pengaruh beban sentrifugal (%)	Nilai interaksi geser dan momen lentur	Persentase pengaruh beban sentrifugal (%)
Beban Sentrifugal V = 60 km/jam	0,914	2,21%	0,983	2,03%
Beban Sentrifugal V = 70 km/jam	0,921	2,99%	0,990	2,78%
Beban Sentrifugal V = 80 km/jam	0,928	3,72%	0,994	3,21%
Beban Sentrifugal V = 90 km/jam	0,956	4,61%	1,002	4,04%
Beban Sentrifugal V = 100 km/jam	0,949	6,10%	1,017	5,64%

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan.

1. Jembatan *steel box girder Ramp 6* Jalan Tol Cimanggis – Cibitung seksi 1A, Bekasi – Jawa Barat memiliki lendutan akibat beban hidup sebesar 113,696 mm ( lendutan ijin sebesar = 74,5 mm ), sehingga dilakukan *camber* senilai 385 mm. Dan lendutan terjadi pada 310,5 mm keadaan *camber* dinyatakan aman.
2. Berdasarkan hasil gaya – gaya dalam yang terjadi pada Jembatan *steel box girder Ramp 6* Jalan Tol Cimanggis – Cibitung seksi 1A, Bekasi – Jawa Barat memiliki gaya dalam terbesar akibat kombinasi pembebanan ultimit I, dimana kombinasi pembebanan ultimit I tidak terdapat faktor pembebanan gempa.

3. Berdasarkan analisis *beam-coloumn* balok pelat berdingding penuh penampang komposit terhadap beban sentrifugal ( analisis kecepatan variasi 60 km/jam – 100 km/jam ) dengan nilai interaksi aksial tekan dan momen lentur serta nilai interaksi geser dan momen lentur berikut. ( analisis momen terbesar pada penampang girder c ).

## SARAN

Beberapa saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah

1. Penggunaan perangkat lunak diperlukan dalam analisis komponen jembatan yang lebih detil bagian gelagar jembatan.
2. Untuk penelitian selanjutnya agar dapat diteliti gaya – gaya yang terjadi pada pier dan pondasi serta sambungan, agar dapat diketahui juga pengaruh beban sentrifugal terhadap struktur bawah dan pada sambungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Priyono, P. (1994). Diktat Kuliah Struktur Baja II (Berdasarkan SNI 03 – 1729 – 2002). Universitas Muhammadiyah Jember, Jember.
- Setiawan, A. (2013). Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD (berdasarkan SNI 02-1729-2002”,2nded. Erlangga, Jakarta
- Heins, C. P. dan Firmage, D. A.(1979), Design of Modern Steel Highway Bridges,University of Maryland, Brigham Young University,Toronto.
- [BSN] Badan Standarisasi Nasional. 2005. RSNI T-02-2005. Pembebanan untuk jembatan. Jakarta (ID) : BSN
- [CSI] Computer & Structure, Inc. 2010. Introduction to CSI Bridge. Amerika at (US) : University Avenue.
- DPU] Departemen Perkerjaan Umum. 1992. Bridge Design Manual BMS. Jakarta (ID). DPU
- Hafiz M. A. 2013. Analisis Kekuatan Struktur Steel Box Girder Jalan Bebas Hambatan Tanjung Priok Seksi E2-A Terhadap Gempa [skripsi]. Bogor (IDN) : IPB