



## Pengaruh Beban Gempa pada Struktur Atas Jembatan Jalan Raya Dengan I-Girder Beton Prategang Apabila Terjadi Ketidaktepatan Prediksi Kehilangan Prategang<sup>1</sup>

*Effect of Earthquake Load on the Structure of the Highway Bridge with I-Girder Prestressed Concrete in the event of Inaccuracies in prestressing loss predictions*

Pujo Priyono<sup>a</sup>, Indra Nurtjahjaningtyas<sup>b,2</sup>

<sup>a</sup> Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember, Jl. Karimata Jember

<sup>b</sup> Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember

### ABSTRACT

In planning a highway bridge girder using prestressed concrete, it must pay attention to two design categories, namely strength and service. Problems have arisen since the existence of earthquake resistance regulations for road bridges, so planners must calculate the amount of deflection and stress that occurs in the upper structure due to earthquake loads, which must be smaller than the deflection and voltage permits required by regulations. All of that was also greatly influenced by the accuracy of the predicted loss losses for prestressed concrete girders.

The purpose of this study was to conduct a study which could be a solution for how to actually treat a good design, for the I-Girder design of prestressed concrete used as a highway bridge girder in the event of inaccurate prediction of loss of pressure during an earthquake, resulting in two design categories strength and service ability can be considered all well.

The methodology of this study is to make as a starting point the prestressed concrete I girder whose dimensions are capable of being a highway bridge girder with a span of 30 m to 40 meters with standard loading for loading BM 100. For span bridges that have 100% prediction accuracy, use as a basic benchmark of deflection and stress values that occur for the type of combination of loads that have earthquake loads, then with the same span, varied values of inaccurate predictions lose pre-stress and analyzed deflection and stress values that occur for types of load combinations that have earthquake loads varied earthquake regions 1,2, 3 and 4, for medium soil types.

The results of the study show that the greater the percentage of inaccurate prediction of loss of pressure, the greater the deviation ratio of deviations both deflection, upper fiber stress and lower fiber stress occur in the field. Which, if the prediction of losing pre-pressures is smaller than the actual one, then the level of the deviation ratio of the allowable deviation increases as well as vice versa. Also, predicting pre-suppression voltage loss that is located on the side greater than the actual loss of pressure that occurs will be on the part of the party that is harmful to the ability of service and the permissible power, when an earthquake occurs.

*Keywords: Highway Bridge Concrete Concrete Girders, deviation deviation ratios, deflection, upper fiber tension, lower fiber tension, prestressed force loss, earthquake load.*

<sup>1</sup> Info Artikel: Received 9 Juli 2018, Received in revised form 13 November 2018, Accepted 26 Desember 2018

<sup>2</sup> E-mail: [pujo@unmuhjember.ac.id](mailto:pujo@unmuhjember.ac.id) (P. Priyono), [indra.teknik@unej.ac.id](mailto:indra.teknik@unej.ac.id) (I. Nurtjahjaningtyas)

## **PENDAHULUAN**

### **Latar Belakang Permasalahan**

Didalam perencanaan gelagar jembatan jalan raya dengan menggunakan beton beton prategang, menurut peraturan beton, harus memperhatikan dua kategori desain, yakni kekuatan dan kelayanan.

Pada saat melakukan tahapan kontrol terhadap kategori desain kekuatan, para perencana dihadapkan pada dua batas yang harus dipenuhi, yakni luas tulangan pratekan yang diperlukan sesuai analisis atau perhitungan tulangan pratekan. Sedangkan, permasalahan didalam merencanakan ini adalah pada tahapan desain penampang yang disaat beban layan sudah bekerja sepenuhnya, yang mana dengan bertambahnya usia gelagar , gaya prategangan akan mengalami kehilangan prategangan sehingga gaya pratekan yang diperlukan untuk desain menggunakan tegangan pratekan efektif, yakni nilai tegangan prategang yang sudah memperhitungkan besarnya kehilangan prategangan.

Permasalahan, muncul belakangan,semenjak adanya peraturan ketahanan gempa untuk jembatan jalan raya ,yakni Peraturan Pembebanan Jembatan Jalan Raya, per tahun 2005 telah dirubah dengan standart Peraturan Pembebanan Jalan Raya dengan RSNI T-02-2005, sesuai Kepmen PU No. 498/KPTS/M/2005 yang merupakan pengembangan atau turunan dari Bridge Management System (BMS) Code Tahun1992, sehingga perencana harus melakukan perhitungan besarnya lendutan dan tegangan yang terjadi pada struktur atas akibat beban gempa , yang kemudian hasilnya harus lebih kecil dari lendutan dan tegangan ijin yang disyaratkan oleh peraturan. Semua itu juga sangat dipengaruhi oleh ketepatan prediksi kehilangan pratekanan untuk gelagar beton pratekan.

Dari latar belakang permasalahan ini, penulis ingin melakukan studi yang mana bisa jadi solusi bagaimana sebenarnya memperlakukan desain yang baik, untuk desain I-Girder beton prategang yang digunakan sebagai gelagar jembatan jalan raya dalam hal terjadi ketidaktepatan prediksi kehilangan pratekanan disaat terjadi gempa, sehingga dua kategori desain,yakni kekuatan dan kemampuan layan bisa diperhatikan semua dengan baik.

### **Permasalahan**

Permasalahan dari studi ini adalah bagaimana pengaruh beban gempa pada struktur atas jembatan jalan raya yang menggunakan gelagar I- beton prategang yang ditegangkan dengan “bonded tendon” dengan sistim “post tension”., yang mana terjadi ketidaktepatan dalam memprediksi kehilangan prategangan.

### **Tujuan**

Tujuan dari studi ini adalah melakukan studi yang mana bisa jadi solusi bagaimana sebenarnya memperlakukan desain yang baik, untuk desain I-Girder beton prategang yang digunakan sebagai gelagar jembatan jalan raya dalam hal terjadi ketidaktepatan prediksi kehilangan pratekanan disaat terjadi gempa, sehingga dua kategori desain,yakni kekuatan dan kemampuan layan bisa diperhatikan semua dengan baik.

### **Lingkup pembahasan**

Sebagai lingkup pembahasan dari studi ini adalah bahwa perhitungan lendutan dan analisis kekuatan I-Girder dianalisis secara elastis serta gelagar ditegangkan dengan “bonded

tendon” dengan sistim “post tension”. Beban gempa dikorelasikan dengan lokasi Jembatan di wilayah zona gempa 2, 3 dan 4 dengan Jembatan dibangun di atas tanah dengan konsistensi sedang.

## **TINJAUAN PUSTAKA**

### **Kehilangan Pratekanan**

Sebagian kehilangan gaya prategangan dapat dikelompokkan pada dua kategori: (a) Kehilangan prategang saat pelaksanaan konstruksi dan kehilangan prategang yang terjadi pada interval waktu tertentu masa layan (Nasution A.,2002).

Pada elemen balok pratekan paska tarik (post-tensioning),  $P_j$  bekerja pada beton saat penegangan , akan tetapi nilai  $P_j$  hanya pada ujung penjangkaran. Kehilangan sebagian tegangan terjadi oleh gesekan. Setelah sesat transfer, gaya prategang pasca tarik berkurang: (a) akibat gelincir penjangkaran,(b)gesekan pada saat tendon ditarik dan (c) pemendekan elastis beton saat penjangkaran

### **Konsep dasar Beton Prategang**

Pada dasarnya , beton prategang merupakan penerapan gaya pratekan pada balok sedemikian rupa sebelum dikerjakan beban luar, guna meniadakan tegangan tarik serat beton yang terjadi saat beban luar bekerja.

### **Batasan batasan gaya prategang**

Tegangan ijin merupakan nilai batas dimana tegangan yang terjadi tidak boleh melampaui nilai tegangan ijin tersebut, supaya terpenuhinya syarat kekuatan bahan. Tegangan ijin beton ditinjau pada dua kondisi (a) pada saat transfer dan (b) pada saat setelah terjadi seluruh kehilangan {loss) tegangan. Tegangan ijin tersebut adalah tegangan ijin tarik dan tekan yang ditetapkan dalam peraturan.

Sedangkan tegangan ijin pada tendon ditinjau pada tiga kondisi , yaitu pada saat jacking, initial dan tegangan pada ujung tendon (Anchorage) yang juga dihitung berdasarkan ketentuan-ketentuan yang berlaku pada SNI 03-2847-2002.

### **Pembebanan Jembatan Jalan Raya**

Pembebanan Jembatan Jalan Raya diatur di standart Peraturan Pembebanan Jalan Raya dengan RSNI T-02-2005, sesuai Kepmen PU No. 498/KPTS/M/2005 yang merupakan pengembangan atau turunan dari Bridge Management System (BMS) Code Tahun 1992. Pembebanan Jembatan Jalan Raya dibedakan atas. Serta oleh Peraturan Perencanaan Ketahanan Gempa Indonesia untuk Jembatan Jalan Raya (Pd. T-04-2004-B dan SK SNI T-14-1990-03).

## **METODOLOGI STUDI**

Metodologi studi dari studi ilmiah ini adalah diawali dengan memilih data-data studi, yang merujuk jembatan jalan raya yang menggunakan gelagar I beton pratekan yang sering dibangun di Indonesia.

Membuat sebagai patokan awal adalah gelagar I beton pratekan yang dimensinya mampu untuk memikul sebagai gelagar jembatan jalan raya dengan bentang antara 30 meter sampai 40 meter, sebagai dasar untuk mendapatkan gaya prategang yang dibutuhkan pada suatu jenis ukuran gelagar I bangunan jembatan jalan raya dengan pembebanan standar untuk pembebanan BM 100.

Dilakukan analisa kehilangan pratekan atas 5 jenis ukuran bentang jembatan yang dipilih diantara bentang antara 30 meter sampai 40 meter. Setiap jenis ukuran bentang jembatan, dianalisa kehilangan pratekanannya saat ada beban gempa, sehingga bisa dibedakan atas berbagai macam nilai rasio kehilangan prategang terhadap prediksi awal nilai kehilangan prategang.

Dari setiap jenis ukuran bentang gelagar dengan variasi dari nilai rasio kehilangan prategang terhadap asumsi awal kehilangan prategang, diteliti besar gelagar bentang jembatan sedemikian hingga nilai rasionya mendekati angka 1, yang menunjukkan bahwa pada bentang tersebut prediksi kehilangan prategang adalah tepat.

Untuk bentang gelagar jembatan yang mempunyai ketepatan prediksi 100%, digunakan sebagai patokan dasar nilai lendutan dan tegangan yang terjadi untuk jenis kombinasi beban yang ada beban gempanya, kemudian dengan bentang yang sama tadi, divariasikan nilai ketidaktepatan prediksi kehilangan pratekanannya dan dianalisa nilai lendutan dan tegangan serat yang terjadi untuk jenis kombinasi beban yang ada beban gempa.

Beban gempa divariasikan atas wilayah gempa 1,2, 3 dan 4, yang mendiskripsikan kekuatan gempa dari yang kuat sampai menengah, untuk jenis tanah dengan konsistensi sedang.

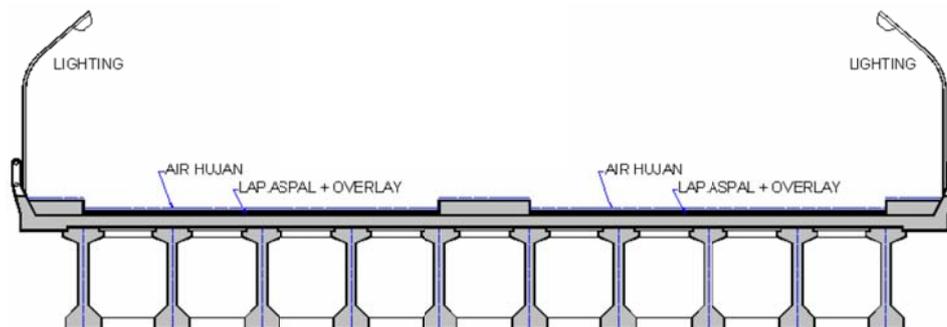
Kontrol juga diperhatikan terhadap lendutan dan tegangan serat terluar gelagar jembatan yang terjadi dengan batasan tidak boleh melebihi dari lendutan dan tegangan ijin sesuai peraturan untuk berbagai kombinasi pembebanan yang mungkin ada pada disain gelagar jembatan jalan raya.

Pembahasan dan kesimpulan dibuat atas hasil-hasil dari studi.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Data Studi**

Sebagai data studi ini adalah penampang tipikal jembatan jalan raya seperti terlihat pada Gambar 1.



**Gambar 1** Gambar data studi

Dengan data dimensi umum adalah sebagai berikut adalah tebal plat lantai kendaraan= 0,20 m, Tebal aspal + overlay= 0,10 m, tebal genangan air hujan= 0,05 m, jumlah Girder = 10 bh, jarak antara girder=1,70 m, lebar jalur lalu lintas= 7,00 m, lebar total jembatan=18,0m. Sedangkan panjang bentang jembatan (m) adalah variable.

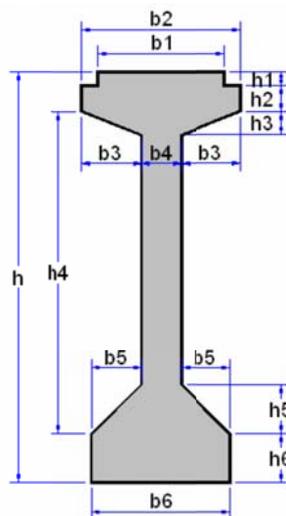
Sedangkan data bahan struktur adalah mutu beton gelagar = K-500.

Data Baja Prategang meliputi:

- |  |          |  |
|--|----------|--|
| 1. Jenis strands                                   | Uncoated | 7wire super strands ASTM A-416 grade 270 |
| 2. Tegangan leleh strand                           |          | $f_{py} = 1580 \text{ Mpa}$              |
| 3. Kuat tarik strand                               |          | $f_{pu} = 1860 \text{ Mpa}$              |
| 4. Diameter nominal strands                        |          | 12,7 mm                                  |
| 5. Luas tampang nominal satu strand                |          | $A_{st} = 98,7 \text{ mm}^2$             |
| 6. Beban putus minimal satu strands                |          | $P_{bs} = 187,32 \text{ kN (100\% UTS)}$ |
| 7. Jumlah kawat untaian (strand cable) tiap tendon |          | 19                                       |
| 8. Diamatere selubung ideal                        |          | 84 mm                                    |
| 9. Luas tampang strands                            |          | $1876,3 \text{ mm}^2$                    |
| 10. Beban putus satu tendon                        |          | $P_{b1} = 3559,1 \text{ kN}$             |
| 11. Modulus elastisitas stands                     |          | $E_s = 193000 \text{ kPa}$               |
| 12. Tipe dongkrak                                  |          | VSL 19                                   |

Tabel 1 Dimensi balok prategang

Kode	Lebar(m)	Kode	Tebal(m)
$b_1$	0,64	$h_1$	0,07
$b_2$	0,8	$h_2$	0,13
$b_3$	0,3	$h_3$	0,12
$b_4$	0,2	$h_4$	1,65
$b_5$	0,25	$h_5$	0,25
$b_6$	0,7	$h_6$	0,25
		<b>h</b>	<b>2,1</b>



Gambar 2 Dimensi penampang gelagar I

### Hasil analisis dan pembahasan

Hasil analisis beban , kehilangan pratekan, tegangan dan lendutan untuk berbagai bentang jembatan dengan setiap bentang jembatan divariasikan beban zona gempanya telah dibuat.

Dari hasil uraian analisis, dapat ditabelkan pengaruh bentang gelagar jembatan terhadap rasio ketepatan prediksi Loss of Prestress terhadap rasio lendutan terhadap yang diijinkan, tegangan serat atas dan tegangan serat bawah untuk beban gempa zona 4, 3, 2,dan 1 masing-masing seperti Tabel 2, Tabel 3 dan Tabel 4, Tabel 5, Tabel 6, Tabel 7, Tabel 8, Tabel 9, Tabel 10 dan Tabel 11, Tabel 12, Tabel 13.

**Tabel 2** Pengaruh ketepatan prediksi LoP terhadap lendutan ( $\Delta$ ) beban gempa zona 4

Bentang L (m)	Asumsi LoP (%)	Real LoP (%)	Dev LoP (%)	Rasio Dev LoP	Lendutan, $\Delta$ (m) KOMB5	Deviasi $\Delta$ (m)	Rasio
30.00	28.00	28.95	-0.95	-3.4%	0.00012	0.100	-100%
32.13	28.00	28.45	-0.45	-1.6%	0.00139	0.107	-99%
34.25	28.00	28.00	0.00	0.0%	0.00286	0.114	-97%
37.13	28.00	27.46	0.54	1.9%	0.00557	0.124	-96%
40.00	28.00	27.00	1.00	3.6%	0.00940	0.133	-93%

**Tabel 3** Pengaruh ketepatan prediksi LoP terhadap tegangan serat atas (fca) beban gempa zona 4

Bentang L (m)	Asumsi LoP (%)	Real LoP (%)	Dev LoP (%)	Rasio Dev LoP	fca (kPa) KOMB5	Deviasi $\Delta$ (kPa)	Rasio
30.00	28.00	28.95	-0.95	-3.4%	-4869.16	-18675	-74%
32.13	28.00	28.45	-0.45	-1.6%	-5055.82	-18675	-73%
34.25	28.00	28.00	0.00	0.0%	-5814.58	-18675	-69%
37.13	28.00	27.46	0.54	1.9%	-6923.13	-18675	-63%
40.00	28.00	27.00	1.00	3.6%	-8146.58	-18675	-56%

**Tabel 4** Pengaruh ketepatan prediksi LoP terhadap tegangan serat bawah (fcb) beban gempa zona 4

Bentang L (m)	Asumsi LoP (%)	Real LoP (%)	Dev LoP (%)	Rasio Dev LoP	fca (kPa) KOMB5	Deviasi $\Delta$ (kPa)	Rasio
30.00	28.00	28.95	-0.95	-3.4%	-9549.64	-18675	-49%
32.13	28.00	28.45	-0.45	-1.6%	-9017.73	-18675	-52%
34.25	28.00	28.00	0.00	0.0%	-8536.65	-18675	-54%
37.13	28.00	27.46	0.54	1.9%	-7815.79	-18675	-58%
40.00	28.00	27.00	1.00	3.6%	-6981.3	-18675	-63%

**Tabel 5** Pengaruh ketepatan prediksi LoP terhadap lendutan ( $\Delta$ ) beban gempa zona 3

Bentang L (m)	Asumsi LoP (%)	Real LoP (%)	Dev LoP (%)	Rasio Dev LoP	Lendutan, $\Delta$ (m) KOMB5	Deviasi $\Delta$ (kPa)	Rasio
30.00	28.00	28.95	-0.95	-3.4%	0.00056	0.100	-99%
32.13	28.00	28.45	-0.45	-1.6%	0.00197	0.107	-98%
34.25	28.00	28.00	0.00	0.0%	0.00384	0.114	-97%
37.13	28.00	27.46	0.54	1.9%	0.00692	0.124	-94%
40.00	28.00	27.00	1.00	3.6%	0.01185	0.133	-91%

**Tabel 6** Pengaruh ketepatan prediksi LoP terhadap tegangan serat atas(fca) beban gempa zona 3

Bentang L (m)	Asumsi LoP (%)	Real LoP (%)	Dev LoP (%)	Rasio Dev LoP	fca(kPa)		Deviasi $\Delta$ (kPa)	Rasio
					KOMB5	ijin		
30.00	28.00	28.95	-0.95	-3.4%	-4424.07	-18675	14251	-76%
32.13	28.00	28.45	-0.45	-1.6%	-5207.67	-18675	13467	-72%
34.25	28.00	28.00	0.00	0.0%	-6043.04	-18675	12632	-68%
37.13	28.00	27.46	0.54	1.9%	-7189.26	-18675	11486	-62%
40.00	28.00	27.00	1.00	3.6%	-8563.72	-18675	10111	-54%

**Tabel 7** Pengaruh ketepatan prediksi LoP terhadap tegangan serat bawah (fcb) beban gempa zona 3

Bentang L (m)	Asumsi LoP (%)	Real LoP (%)	Dev LoP (%)	Rasio Dev LoP	Fca (kPa)		Deviasi $\Delta$ (kPa)	Rasio
					KOMB5	ijin		
30.00	28.00	28.95	-0.95	-3.4%	-9329.97	-18675	9345	-50%
32.13	28.00	28.45	-0.45	-1.6%	-8767.91	-18675	9907.1	-53%
34.25	28.00	28.00	0.00	0.0%	-8160.79	-18675	10514	-56%
37.13	28.00	27.46	0.54	1.9%	-7377.97	-18675	11297	-60%
40.00	28.00	27.00	1.00	3.6%	-6295.06	-18675	12380	-66%

**Tabel 8** Pengaruh ketepatan prediksi LoP terhadap lendutan ( $\Delta$ ) beban gempa zona 2

Bentang L (m)	Asumsi LoP (%)	Real LoP (%)	Dev LoP (%)	Rasio Dev LoP	Lendutan, $\Delta$ (m)		Deviasi $\Delta$ (kPa)	Rasio
					KOMB5	ijin		
30.00	28.00	28.95	-0.95	-3.4%	0.00101	0.100	-0.099	-99%
32.13	28.00	28.45	-0.45	-1.6%	0.00255	0.107	-0.104	-98%
34.25	28.00	28.00	0.00	0.0%	0.00433	0.114	-0.110	-96%
37.13	28.00	27.46	0.54	1.9%	0.00776	0.124	-0.116	-94%
40.00	28.00	27.00	1.00	3.6%	0.01186	0.133	-0.121	-91%

**Tabel 9** Pengaruh ketepatan prediksi LoP terhadap tegangan serat atas(fca) beban gempa zona 2

Bentang L (m)	Asumsi LoP (%)	Real LoP (%)	Dev LoP (%)	Rasio Dev LoP	fca (kPa)		Deviasi $\Delta$ (kPa)	Rasio
					KOMB5	ijin		
30.00	28.00	28.95	-0.95	-3.4%	-4557.59	-18675	14117.4	-76%
32.13	28.00	28.45	-0.45	-1.6%	-5359.52	-18675	13315.5	-71%
34.25	28.00	28.00	0.00	0.0%	6157.28	-18675	24832.3	-133%
37.13	28.00	27.46	0.54	1.9%	-7355.59	-18675	11319.4	-61%
40.00	28.00	27.00	1.00	3.6%	-8563.72	-18675	10111.3	-54%

**Tabel 10** Pengaruh ketepatan prediksi LoP terhadap tegangan serat bawah (fcb) beban gempa zona 2

Bentang L (m)	Asumsi LoP (%)	Real LoP (%)	Dev LoP (%)	Rasio Dev LoP	fca (kPa)		Deviasi $\Delta$ (kPa)	Rasio
					KOMB5	ijin		
30.00	28.00	28.95	-0.95	-3.4%	-9110.3	-18675	9564.7	-51%
32.13	28.00	28.45	-0.45	-1.6%	-8518.09	-18675	10156.9	-54%
34.25	28.00	28.00	0.00	0.0%	-7972.85	-18675	10702.2	-57%
37.13	28.00	27.46	0.54	1.9%	-7104.34	-18675	11570.7	-62%
40.00	28.00	27.00	1.00	3.6%	-6295.06	-18675	12379.9	-66%

**Tabel 11** Pengaruh ketepatan prediksi LoP terhadap lendutan ( $\Delta$ ) beban gempa zona 1

Bentang L (m)	Asumsi LoP (%)	Real LoP (%)	Dev LoP (%)	Rasio Dev LoP	Lendutan, $\Delta$ (m)		Deviasi $\Delta$ (kPa)	Rasio
					KOMB5	ijin		
30.00	28.00	28.95	-0.95	-3.4%	0.00130	0.100	-0.099	-99%
32.13	28.00	28.45	-0.45	-1.6%	0.00293	0.107	-0.104	-97%
34.25	28.00	28.00	0.00	0.0%	0.0051	0.114	-0.109	-96%
37.13	28.00	27.46	0.54	1.9%	0.00861	0.124	-0.115	-93%
40.00	28.00	27.00	1.00	3.6%	0.01298	0.133	-0.120	-90%

**Tabel 12** Pengaruh ketepatan prediksi LoP terhadap tegangan serat atas (fca) beban gempa zona 1

Bentang L (m)	Asumsi LoP (%)	Real LoP (%)	Dev LoP (%)	Rasio Dev LoP	fca (kPa)		Deviasi $\Delta$ (kPa)	Rasio
					KOMB5	ijin		
30.00	28.00	28.95	-0.95	-3.4%	-4646.61	-18675	14028.4	-75%
32.13	28.00	28.45	-0.45	-1.6%	-5460.76	-18675	13214.2	-71%
34.25	28.00	28.00	0.00	0.0%	-6328.63	-18675	12346.4	-66%
37.13	28.00	27.46	0.54	1.9%	-7524.18	-18675	11150.8	-60%
40.00	28.00	27.00	1.00	3.6%	-8755.37	-18675	9919.63	-53%

**Tabel 13** Pengaruh ketepatan prediksi LoP terhadap tegangan serat bawah (fcb) beban gempa zona 1

Bentang L (m)	Asumsi LoP (%)	Real LoP (%)	Dev LoP (%)	Rasio Dev LoP	fca (kPa)		Deviasi $\Delta$ (kPa)	Rasio
					KOMB5	ijin		
30.00	28.00	28.95	-0.95	-3.4%	-8963.85	-18675	9711.15	-52%
32.13	28.00	28.45	-0.45	-1.6%	-8351.54	-18675	10323.5	-55%
34.25	28.00	28.00	0.00	0.0%	-7690.96	-18675	10984	-59%
37.13	28.00	27.46	0.54	1.9%	-6828.97	-18675	11846	-63%
40.00	28.00	27.00	1.00	3.6%	-5979.75	-18675	12695.3	-68%

Sebagai *base line* untuk bentang  $L=34,25m$ , disaat ketepatan prediksi 100%, maka semakin besar prosentase ketidaktepatan prediksi kehilangan pratekanan, maka semakin besar pula kesalahan lendutan, tegangan serat bawah dan tegangan serat atas yang terjadi di lapangan. Yang mana, apabila prediksi kehilangan pratekanan lebih kecil dari yang sebenarnya, maka tingkat kesalahan dari yang diijinkan semakin besar demikian juga sebaliknya.

Juga bisa dijelaskan bahwa setiap 1,0% kesalahan prediksi kehilangan pratekanan yang sebenarnya terjadi pada pihak yang sebenarnya lebih besar dari prediksi, maka terjadi penambahan rasio deviasi penyimpangan 2,4% ,2,8%, 2,8% dan 3,1% dari lendutan yang terjadi terhadap yang diijinkan untuk zona gempa masing-masing 4,3,2 dan 1, dilain pihak bahwa setiap 1,0% kesalahan prediksi kehilangan pratekanan yang sebenarnya terjadi pada pihak yang sebenarnya lebih kecil dari prediksi, maka terjadi pengurangan rasio deviasi penyimpangan 4,6%,5,5%,5,1% dan5,3% dari lendutan yang terjadi terhadap yang diijinkan untuk zona gempa masing-masing 4, 3, 2 dan 1.

Untuk tegangan serat atas, bisa dijelaskan bahwa setiap 1,0% kesalahan prediksi kehilangan pratekanan yang sebenarnya terjadi pada pihak yang sebenarnya lebih besar dari prediksi, maka terjadi penambahan rasio deviasi penyimpangan 5,1% ,8,7%, 8,6% dan 9,0% dari yang terjadi terhadap yang diijinkan untuk zona gempa masing-masing 4,3,2 dan

1, dilain pihak bahwa setiap 1,0% kesalahan prediksi kehilangan pratekanan yang sebenarnya terjadi pada pihak yang sebenarnya lebih kecil dari prediksi, maka terjadi pengurangan rasio deviasi penyimpangan 12,5%,13,5%,12,9% dan13,0% dari yang terjadi terhadap yang diijinkan untuk zona gempa masing-masing 4, 3, 2 dan 1.

Untuk tegangan serat bawah, bisa dijelaskan bahwa setiap 1,0% kesalahan prediksi kehilangan pratekanan yang sebenarnya terjadi pada pihak yang sebenarnya lebih besar dari prediksi, maka terjadi penambahan rasio deviasi penyimpangan 5,4% ,6,3%, 6,1% dan 6,8% dari yang terjadi terhadap yang diijinkan untuk zona gempa masing-masing 4,3,2 dan 1, dilain pihak bahwa setiap 1,0% kesalahan prediksi kehilangan pratekanan yang sebenarnya terjadi pada pihak yang sebenarnya lebih kecil dari prediksi, maka terjadi pengurangan rasio deviasi penyimpangan 8,3%,10,0%,9,0% dan 9,2% dari yang terjadi terhadap yang diijinkan untuk zona gempa masing-masing 4, 3, 2 dan 1.

## **KESIMPULAN**

Beberapa kesimpulan yang bisa dikemukakan dari studi ini adalah:

1. Memprediksi kehilangan tegangan pratekanan yang terletak di pihak lebih besar dari kehilangan pratekanan yang sebenarnya terjadi akan berada pada pihak yang membahayakan terhadap kemampuan layan dan kekuatan yang diijinkan, saat terjadi beban gempa.
2. Setiap penyimpangan 1,0% dari kehilangan pratekanan yang diprediksi, dengan prediksi lebih besar dari kehilangan pratekanan yang sebenarnya terjadi , akan meningkatkan penyimpangan lendutan untuk wilayah gempa 1,2,3, dan 4 masing-masing sebesar 5,3%,5,1%,5,6%,4,6% , tegangan serat bawah masing-masing sebesar 13,0%,12,9%,13,7% dan 12,5% dan tegangan serat atas gelagar jembatan masing-masing sebesar 9,2%,9,0%,10,2% dan 8,3%.
3. Terdapat peningkatan penyimpangan sebesar 16,5%, 4,1% dan 10,0% akibat kesalahan memprediksi kehilangan pratekanan, dimana prediksi lebih besar dari kehilangan pratekanan yang sebenarnya terjadi, masing-masing untuk lendutan, tegangan serat atas dan serat bawah gelagar, fungsi dari letak bangunan di wilayah gempa zona 1 ke 4, dengan konsistensi jenis tanah sedang.

Sebagai saran adalah dengan melakukan studi yang lebih dikembangkan terhadap tinjauan analisa beban gempa secara dinamis, dengan koefisien gempa diperoleh secara elastis.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Bridge Management System (BMS). (1992). Bagian BDC (Bridge Design Code) dengan revisi pada:Bagian 2 dengan Pembebanan untuk Jembatan (SK SNI T-02-2005) sesuai Kepmen PU No. 498/KPTS/M/2005; Bagian 6 dengan Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan (SK SNI T-12-2004), sesuai Kepmen PU No. 260/KPTS/M/2004; Bagian 7 dengan perencanaan struktur baja untuk jembatan (SK SNI T-03-2005), sesuai Kepmen PU No. 498/KPTS/M/2005.
- Bridge Management System (BMS). (1992). Bagian BDM (Bridge Design Manual).
- Lin T.Y dan N.H. Burns. (1982). *Design of Prestressed Concrete Structures*. 3<sup>rd</sup> ed. John Wiley & Sons, New York.
- Nasution, A. (2009). *Analisis dan Desain Struktur Beton Bertulang*. ITB. Bandung.

- Nilson, Arthur H. (1978). *Design of Prestressed Concrete*. John Willey & Sons, New York.  
Pd. T-04-2004-B, *Pedoman Perencanaan Beban Gempa Untuk Jembatan*.  
SNI 03-1725-1989. *Tata Cara Perencanaan Beban Gempa Untuk Jembatan*.  
SNI 03-1726-2002. *Standart Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung*.  
SNI 03-2833-1992. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Jembatan Jalan Raya*.  
SK SNI T-14-1990-0.3. *Tata cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan Jalan Raya*.  
Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03 2847 2002) dilengkapi penjelasan (S-2002).(2007). ITS Pres. Surabaya.