

ANALISIS STRUKTUR *BOX GIRDER* JEMBATAN *FLY OVER* RAWA BUAYA SISI BARAT TERHADAP GEMPA

(Structure Analysis of Box Girder The western Rawabuaya Flyover bridge on earthquake load)

Aditya Fajar Meidiansyah¹, M. Yanuar J. Purwanto², M. Fauzan³

^{1,2,3} Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Jl. Raya Dramaga, Kampus IPB Dramaga, PO BOX 220, Bogor, Jawa Barat Indonesia

Penulis korespondensi : Aditya Fajar Meidiansyah. Email: fajaradityamj@gmail.com

Diterima: 20 Oktober 2015

Disetujui: 22 Januari 2016

ABSTRACT

The Rawabuaya flyover bridge is an option to overcome the traffic jam that often happens in the Rawabuaya area. It has an extremely vital function to disentangle the traffic congestion; therefore, the structure must be strong in holding the on-going load, specifically the seismic load. The seismic load is dangerous to a structure because it has period that causes the structure to repeatedly shaken. If the movements happened continually, the structure will collapse — depending on how much earthquake load that is being loaded on the structure. Therefore, it is essential to conduct a structural analysis on the earthquake resistance level of the Rawabuaya flyover bridge based on the "Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung" RSNI 03-1726-2010 and "Peta Zonasi Gempa Indonesia 2010" to know further about the on-going deformation. This research was done thoroughly by recognizing the maximum forces in the combination of ultimate loads based on the most recent rules of encumbering, including the rules regarding the seismic load. The maximum forces in the combination of ultimate loads were compared with the forces' nominal values, especially those related to the seismic load. From the research, it was concluded that the values of the maximum forces in the combination of ultimate loads had the combined seismic load worked on the upper structure of box girder as well as on the structure beneath the pier of Rawabuaya flyover bridge with a maximum moment values of 800300.80 KNm applied to Pier P6B with the combination of the singular ultimate load, additional dead load, pre-stressed load, and "T" truck load. Impairment to the structure was found to happen if the combination of the ultimate load was forced to work continuously on the Rawabuaya flyover bridge. Meanwhile, the result of the compared maximum forces in the combination of ultimate load with the values of nominal forces indicated that the Rawabuaya flyover bridge had a large amount of seismic load with 10% difference. It meant that this structure was able to resist 90% of ultimate seismic load, which required the usage of reinforcements on the upper structure of box girder as well as on the structure beneath the pier to increase the concrete stress power and the tendon on the upper structure of box girder to increase the tensile of the concrete.

Keywords: prestressed box girder, structural analysis, seismic load, force

PENDAHULUAN

Transportasi dan ekonomi adalah dua hal yang saling berkaitan satu sama lain. Terhambatnya kegiatan transportasi tentu akan berdampak pada menurunnya pendapatan secara ekonomi. Begitu pula sebaliknya, maka dari itu perlu adanya kesinambungan antara kedua hal ini sehingga pertumbuhan ekonomi dapat meningkat.

Transportasi darat atau *ground transport* adalah salah satu jenis transportasi yang banyak digunakan oleh para pelaku usaha. Di pulau Jawa, khususnya Jakarta, jalur distribusi barang berpusat pada daerah Cengkareng yaitu di kawasan Bandara Internasional Soekarno-Hatta yang dapat ditempuh melalui Jalan Tol Puri Kembangan dan Jalan Raya Kembangan.

Jalur Cengkareng-Kembangan ini lambat laun menjadi tidak hanya jalur

distribusi barang, tetapi juga sebagai jalur alternatif bagi pengguna jalan yang akan menuju Bandara Internasional Soekarno-Hatta maupun arah sebaliknya ke Jakarta. Sehingga kemacetan sering terjadi khususnya di daerah Rawabuaya yang dilalui jalur perlintasan kereta api dari Stasiun Tanah Abang ke arah Stasiun Rawabuaya.

Jembatan *fly over* Rawabuaya merupakan solusi yang diberikan oleh pemerintah setempat untuk mengatasi kemacetan yang terjadi di daerah Rawabuaya karena adanya jalur perlintasan kereta api yang melintas di bawah Jalan Tol Puri Kembangan dan Jalan Raya Kembangan. Jembatan *fly over* Rawabuaya ini menjadi sangat vital fungsinya untuk menangani masalah kemacetan yang ada di sekitar daerah Rawabuaya. Maka dari itu, jembatan *fly over* Rawabuaya ini harus kuat dalam menahan beban-beban yang bekerja terhadap strukturnya.

Pembebanan jembatan *fly over* Rawabuaya ini mengacu pada “Standar Pembebanan Untuk Jembatan” dalam RSNI T-02-2005 dengan tambahan peraturan mengenai beban gempa yang tertuang dalam “Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung” SNI 03-1726-2002 dan “Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Jembatan” SNI 03-2883-2008.

Beban gempa merupakan beban yang berbahaya bagi suatu struktur, karena beban gempa adalah beban yang memiliki periode sehingga dapat menyebabkan struktur bergoyang berulang-ulang. Jika hal ini berlangsung terus-menerus, maka struktur tersebut akan runtuh tergantung dari besarnya beban gempa yang terjadi.

Seiring dengan berjalannya waktu, percepatan batuan dasar dari gempa-gempa besar yang terjadi, seperti gempa Aceh pada tahun 2004 dan gempa

Nias pada tahun 2005, lebih besar daripada percepatan batuan dasar yang digunakan dalam “Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung” SNI 03-1726-2002 khususnya Peta Zonasi Gempa Indonesia 2002, sehingga dikhawatirkan kerusakan struktur terjadi tidak hanya pada struktur yang tidak direncanakan tahan gempa tetapi juga pada struktur yang direncanakan tahan gempa.

Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia telah meresmikan Peta Zonasi Gempa Indonesia 2010, dimana dalam peta zonasi gempa yang baru ini telah dimasukkan sesar-sesar aktif di daratan yang sebelumnya tidak dicantumkan di dalam Peta Zonasi Gempa Indonesia 2002 selain zona gempa subduksi (pertemuan antar lempeng tektonik) yang memang sudah terdeteksi.

Oleh karena itu, diperlukan suatu analisis struktur terhadap jembatan *fly over* Rawabuaya ini terhadap gempa berdasarkan “Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung” RSNI 03-1726-2010 dan Peta Zonasi Gempa Indonesia 2010 untuk mengetahui deformasi yang terjadi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di pekerjaan pembangunan jembatan *fly over* Rawabuaya yang berlokasi di Jalan Raya Kembangan, Cengkareng, Jakarta Barat untuk mendapatkan data teknis mengenai struktur dari jembatan *fly over* Rawabuaya ini selama kurang lebih 90 hari dari bulan Februari sampai dengan bulan April. Kemudian penelitian dilanjutkan di Laboratorium Struktur Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Kabupaten Bogor untuk melakukan analisis data teknis yang telah diperoleh selama

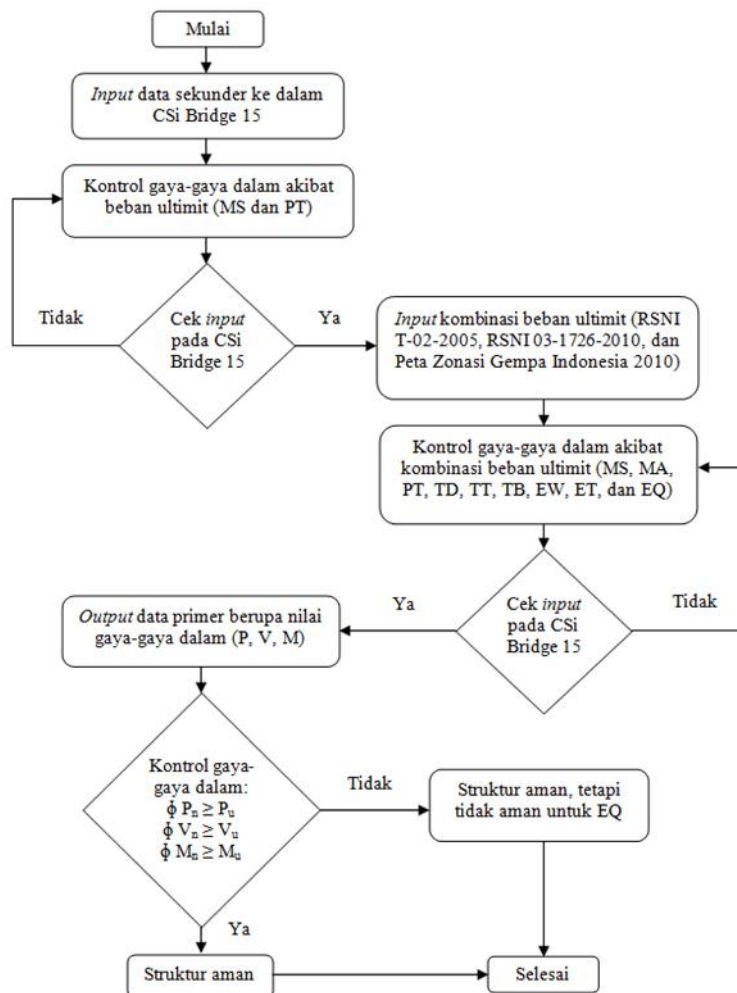
kurang lebih 60 hari dari bulan Mei sampai dengan bulan Juni.

Tahapan pelaksanaan penelitian ini dilakukan dalam tiga tahap, yaitu tahap permodelan komputer, tahap pembebanan pada permodelan komputer, dan kontrol gaya dalam (Gambar 1).

Jembatan *fly over* Rawabuaya dimodelkan dengan menggunakan program komputer CSi Bridge 15 berdasarkan input data teknis untuk mendapatkan model simulasi secara utuh dari jembatan *fly over* Rawabuaya ini.

Structure, Inc. ini membuat program komputer SAP2000 yang dibuat untuk memodelkan gedung, jembatan, maupun konstruksi lainnya. SAP2000 versi 14 merupakan versi terakhir sebelum versi 15 muncul, dimana permodelan komputer untuk gedung dan bangunan lain dipisah dengan jembatan. Sehingga untuk penelitian ini, digunakan CSi Bridge 15 sebagai program komputer untuk memodelkan jembatan *fly over* Rawabuaya.

Untuk memodelkan jembatan *fly*



Gambar 1. Diagram alir metode penelitian

CSi Bridge 15 adalah program komputer yang dibuat khusus oleh *Computer and Structure, Inc.* untuk memodelkan jembatan. Sebelumnya *Computer and*

over Rawabuaya pada program komputer CSi Bridge 15 ini dibutuhkan beberapa *input* parameter data teknis yang dibutuhkan, diantaranya: (a) *Bridge*

layout line data; (b) *Bridge lane data*; (c) *Material propertie* (d) *Frame properties*; (e) *Deck sections*; (f) *Diaphragm properties*; (g) *Parametric variations*; (h) *Bearing data*; (i) *Abutment data*; dan (j) *Bent data*.

Tahap pembebanan pada permodelan komputer dilakukan dengan menggunakan program komputer yang sama seperti pada tahap permodelan komputer, yaitu CSi Bridge 15. Tahap pembebanan pada permodelan komputer ini mengacu pada “Standar Pembebanan Untuk Jembatan” RSNI T-02-2005 dan beberapa tambahan peraturan pembebanan yang ada pada program komputer CSi Bridge 15 ini, diantaranya: (a) *Vehicle load data*; (b) *Load pattrens*; (c) *Response spectrum*; (d) *Point load distribution data*; (e) *Line load distribution data*; (f) *Area load distribution data*; (g) *Temperature gradient data*; (h) *Prestress tendons*; (i) *Load combinations*.

Tahap kontrol gaya dalam dilakukan untuk membandingkan nilai gaya dalam maksimum pada kombinasi beban ultimit yang diperoleh melalui analisis struktur permodelan komputer dengan nilai gaya dalam nominal pada struktur jembatan *fly over* Rawabuaya yang ada. Tata cara perhitungan kontrol gaya dalam ini mengacu pada “Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung” SNI 03-2847-2002 dan “Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan” SNI T-12-2004. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, gaya dalam yang digunakan pada kontrol gaya dalam ini ada tiga. Yaitu gaya aksial, gaya geser, dan momen.

Struktur atas *box girder* dari jembatan *fly over* Rawabuaya menggunakan ketiga kontrol gaya dalam yang digunakan secara terpisah. Sedangkan untuk struktur bawah *pier* dari jembatan *fly over* Rawabuaya menggunakan dua kontrol gaya dalam,

yaitu gaya geser dan kombinasi gaya aksial dan momen. Hal ini dilakukan karena arah gaya yang bekerja pada struktur bawah *pier* searah dengan arah gaya gravitasi, yaitu vertikal ke bawah. Berbeda dengan struktur atas *box girder* yang arah gayanya bekerja secara tegak lurus arah gravitasi.

Kontrol gaya aksial pada struktur atas *box girder* dari jembatan *fly over* Rawabuaya ini dilakukan dengan cara membandingkan nilai gaya aksial maksimum pada kombinasi beban ultimit dengan nilai gaya aksial nominal. Nilai gaya aksial maksimum diperoleh melalui analisis struktur dari permodelan komputer pada kombinasi beban ultimit, artinya gaya-gaya yang bekerja pada kombinasi beban ultimit tersebut memiliki persentase 100% (Tabel 1). Sedangkan nilai gaya aksial nominal diperoleh melalui perhitungan berdasarkan spesifikasi struktur yang ada dengan menggunakan rumus:

$$\Phi P_n = 0,65 \Phi [0,85 \times f'_c \times (A_g - A_{st}) + (f_y \times A_{st})] \dots\dots\dots (1)$$

dengan pengertian:
 ΦP_n : gaya aksial nominal,
 f'_c : kuat tekan beton,
 A_g : luas penampang,
 A_{st} : luas tulangan,
 f_y : tegangan leleh baja

Kontrol gaya geser pada struktur atas *box girder* dari jembatan *fly over* Rawabuaya ini dilakukan dengan cara membandingkan nilai gaya geser maksimum pada kombinasi beban ultimit dengan nilai gaya geser nominal. Nilai gaya geser maksimum diperoleh melalui analisis struktur dari permodelan komputer pada kombinasi beban ultimit, artinya gaya-gaya yang bekerja pada kombinasi beban ultimit tersebut memliki

Tabel 1. Kombinasi scale factor untuk pembebanan ultimit jembatan fly over Rawabuaya

| KODE | Kombinasi | | | | | | | | | |
|------------|-----------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|--------|
| | MS | MA | PT | TD | TT | TB | EW | ET | EQ (X) | EQ (Y) |
| COMB1 | 1,3 | 2 | 1 | 1,8 | | 1,8 | | | | |
| COMB1a | 1,3 | 2 | 1 | 1,8 | | 1,8 | | 1,2 | | |
| COMB1b | 1,3 | 2 | 1 | | 1,8 | 1,8 | 1,2 | | | |
| COMB1c | 1,3 | 2 | 1 | | 1,8 | 1,8 | | 1,2 | | |
| COMB2 | 1,3 | 2 | 1 | 1,8 | | | | | | |
| COMB3 | 1,3 | 2 | 1 | | 1,8 | | | | | |
| COMB3a | 1,3 | 2 | 1 | | | 1,8 | | | | |
| COMB4 | 1,3 | 2 | 1 | 1,8 | | | 1,2 | | | |
| COMB4a | 1,3 | 2 | 1 | | 1,8 | | 1,2 | | | |
| COMB4b | 1,3 | 2 | 1 | | | 1,8 | 1,2 | | | |
| COMB4c | 1,3 | 2 | 1 | | | | 1,2 | 1,2 | | |
| COMB5 (1) | 1,3 | 2 | 1 | 1,8 | | | | | 1,0 | 0,3 |
| COMB5 (2) | 1,3 | 2 | 1 | 1,8 | | | | | 1,0 | -0,3 |
| COMB5 (3) | 1,3 | 2 | 1 | 1,8 | | | | | -1,0 | 0,3 |
| COMB5 (4) | 1,3 | 2 | 1 | 1,8 | | | | | -1,0 | -0,3 |
| COMB5 (5) | 1,3 | 2 | 1 | 1,8 | | | | | 0,3 | 1,0 |
| COMB5 (6) | 1,3 | 2 | 1 | 1,8 | | | | | 0,3 | -1,0 |
| COMB5 (7) | 1,3 | 2 | 1 | 1,8 | | | | | -0,3 | 1,0 |
| COMB5 (8) | 1,3 | 2 | 1 | 1,8 | | | | | -0,3 | -1,0 |
| COMB5a (1) | 1,3 | 2 | 1 | | 1,8 | | | | 1,0 | -0,3 |
| COMB5a (2) | 1,3 | 2 | 1 | | 1,8 | | | | 1,0 | -0,3 |
| COMB5a (3) | 1,3 | 2 | 1 | | 1,8 | | | | -1,0 | 0,3 |
| COMB5a (4) | 1,3 | 2 | 1 | | 1,8 | | | | -1,0 | -0,3 |
| COMB5a (5) | 1,3 | 2 | 1 | | 1,8 | | | | 0,3 | 1,0 |
| COMB5a (6) | 1,3 | 2 | 1 | | 1,8 | | | | -0,3 | 1,0 |
| COMB5a (7) | 1,3 | 2 | 1 | | 1,8 | | | | 0,3 | -1,0 |
| COMB5a (8) | 1,3 | 2 | 1 | | 1,8 | | | | -0,3 | -1,0 |
| COMB6 | 1,3 | 2 | 1 | | | | | 1,2 | | |
| COMB6a | 1,3 | 2 | 1 | | | | 1,2 | | | |

persentase 100%. Sedangkan nilai gaya geser nominal diperoleh melalui perhitungan berdasarkan spesifikasi struktur yang ada dengan menggunakan rumus:

$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots (2)$$

dengan pengertian:

V_n : gaya geser nominal,

V_c : kuat geser nominal beton,

V_s : kuat geser nominal tulangan.

Kontrol momen pada struktur atas *box girder* dari jembatan *fly over* Rawabuaya ini dilakukan dengan cara membandingkan nilai momen maksimum pada kombinasi beban ultimit dengan nilai momen nominal. Nilai momen

maksimum diperoleh melalui analisis struktur dari permodelan komputer pada kombinasi beban ultimit, artinya gaya-gaya yang bekerja pada kombinasi beban ultimit tersebut memiliki persentase 100%. Sedangkan nilai momen nominal diperoleh melalui perhitungan berdasarkan spesifikasi struktur yang ada dengan menggunakan rumus:

$$M_n = T_s \left[d - \frac{a}{2} \right] + T_p \left[d_p - \frac{a}{2} \right] \dots (3)$$

dengan pengertian:

- M_n : momen nominal,
- $T_s [d - a/2]$: momen nominal yang dipikul oleh tulangan tarik,
- $T_p [d_p - a/2]$: momen nominal yang dipikul oleh kabel prategang.

Kontrol gaya geser pada struktur bawah *pier* dari jembatan *fly over* Rawabuaya ini dilakukan dengan cara membandingkan nilai gaya geser maksimum pada kombinasi beban ultimit dengan nilai gaya geser nominal. Nilai gaya geser maksimum diperoleh melalui analisis struktur dari permodelan komputer pada kombinasi beban ultimit, artinya gaya-gaya yang bekerja pada kombinasi beban ultimit tersebut memiliki persentase 100%. Sedangkan nilai gaya geser nominal diperoleh melalui perhitungan berdasarkan spesifikasi struktur yang ada dengan menggunakan rumus:

$$V_n = V_c + V_s \dots (4)$$

dengan pengertian:

- V_n : gaya geser nominal,
- V_c : kuat geser nominal beton,
- V_s : kuat geser nominal tulangan.

Kontrol kombinasi gaya aksial dan momen pada struktur bawah *pier* dari jembatan *fly over* Rawabuaya ini dilakukan dengan cara membandingkan nilai kombinasi gaya aksial dan momen maksimum pada kombinasi beban ultimit dengan nilai kombinasi gaya aksial dan momen nominal. Nilai kombinasi gaya aksial dan momen maksimum diperoleh melalui analisis struktur dari permodelan komputer pada kombinasi beban ultimit, artinya gaya-gaya yang bekerja pada

kombinasi beban ultimit tersebut memiliki persentase 100%. Sedangkan nilai kombinasi gaya aksial dan momen nominal diperoleh melalui perhitungan berdasarkan spesifikasi struktur yang ada dengan menggunakan rumus:

$$P_u e = 0,85 f'_c b a (d - d - 0,5 a) + A_s' f_y (d - d' - d) + A_s f_s d'' \dots (5)$$

dengan pengertian:

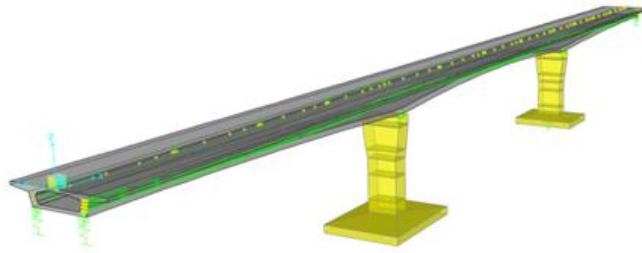
- d : jarak tulangan tarik dari serat atas,
- d' : jarak tulangan tekan dari serat atas,
- d'' : titik sentroid plastis dari penampang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, dilakukan analisis struktur terhadap jembatan *fly over* Rawabuaya sisi barat terhadap gempa berdasarkan “Standar Pembebanan Untuk Jembatan” RSNI T-02-2005 dengan tambahan peraturan mengenai beban gempa berdasarkan “Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung” RSNI 03-1726-2010 dan Peta Zonasi Gempa Indonesia 2010. Tujuannya adalah untuk membandingkan hasil analisis struktur gaya dalam nominal dengan hasil analisis struktur gaya dalam maksimum. Sehingga dapat diketahui kerusakan-kerusakan atau deformasi yang terjadi pada saat kondisi kombinasi beban ultimit bekerja pada jembatan *fly over* Rawabuaya, khususnya beban ultimit akibat gempa.

Dilakukan permodelan komputer dengan menggunakan program komputer CSi Bridge 15 untuk mendapatkan model komputer dari jembatan *fly over* Rawabuaya secara utuh untuk melakukan analisis struktur, sehingga diperoleh gaya-gaya dalam yang bekerja pada struktur jembatan *fly over* Rawabuaya ini (Gambar 2).

Gaya-gaya dalam yang diperoleh ini merupakan gaya-gaya dalam dari kombinasi pembebanan maksimum yang bekerja pada struktur (kombinasi beban ultimit). Gaya-gaya dalam yang diperoleh



Gambar 2. Hasil permodelan komputer jembatan fly over Rawabuaya

berupa gaya aksial (P), gaya geser (V), dan momen (M). Untuk menghasilkan gaya-gaya dalam ini, diperlukan *update* pada permodelan komputer terhadap *input-input* parameter yang telah dilakukan sehingga *output* permodelan komputer ini dapat digunakan untuk melakukan analisis struktur.

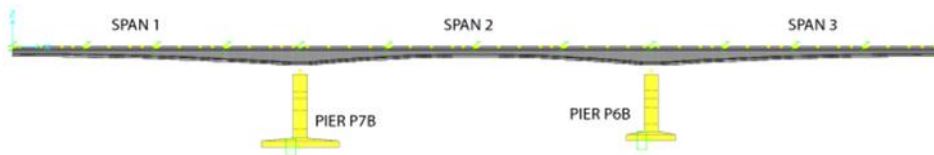
Dilihat dari struktur atas dan struktur bawah serta metode prategang yang digunakan, jembatan *fly over* Rawabuaya ini termasuk ke dalam konstruksi jembatan khusus. Selain itu, struktur yang digunakan baik *box girder* maupun *pier*, memiliki bentuk variasi yang berbeda. Pada ujung-ujung bentang *box girder* (*span 1* dan *span 3*), digunakan variasi kedalaman *box girder* yaitu 1,5 m (Gambar 3). Sedangkan pada tengah bentang (*span 2*), digunakan variasi kedalaman 2,8 meter (untuk *box girder* di atas *pier P7B* dan *P6B*) dan variasi kedalaman 1,6 m (untuk *box girder* di tengah *span 2*).

respons spektrum dengan probabilitas terlampaui sebesar 2% dalam 50 tahun.

Dari hasil analisis struktur atas *box girder* jembatan *fly over* Rawabuaya yang telah dilakukan, dapat diambil nilai gaya aksial maksimum (P), gaya geser maksimum (V), dan momen maksimum (M) dari setiap kombinasi beban ultimit yang bekerja pada struktur atas *box girder* jembatan *fly over* Rawabuaya.

Untuk nilai gaya aksial, nilai gaya geser, dan nilai momen berturut-turut adalah 191132 KN; 85636,3 KN; dan 640142 KNm. Ketiga nilai gaya dalam maksimum tersebut terjadi pada kombinasi beban ultimit yang sama, yaitu COMB5 (1,2,3,4). Adanya kombinasi beban gempa terhadap arah X dan arah Y menyebabkan struktur mendapat beban yang lebih besar hingga lebih dari dua kali lipat kombinasi beban ultimit tanpa beban gempa.

Akan tetapi, hasil analisis struktur atas *box girder* jembatan *fly over*



Gambar 3. Hasil permodelan komputer jembatan fly over Rawabuaya (tampak samping)

Terdapat 29 kombinasi pembebanan dengan sembilan jenis beban ultimit yang bekerja pada struktur *box girder* jembatan *fly over* Rawabuaya. Dari 29 kombinasi tersebut, 16 diantaranya menggunakan beban gempa

Rawabuaya ini tidak dapat digunakan, karena *output* gaya dalam maksimum yang dihasilkan adalah *output* gaya dalam maksimum untuk seluruh bentang jembatan. Karena jembatan *fly over* Rawabuaya ini memiliki kedalaman

struktur *box girder* yang bervariasi, maka diambil tujuh titik analisis struktur berdasarkan perbedaan variasi bentuk di sepanjang struktur atas *box girder* jembatan *fly over* Rawabuaya (Gambar 4).

Terdapat tujuh titik analisis struktur di sepanjang struktur atas *box girder* jembatan *fly over* Rawabuaya. Tumpuan 1 memiliki jarak 0 m pada *Span* 1, Lapangan 2 memiliki jarak 20,5 m pada *Span* 1, Tumpuan 2 memiliki jarak 41 m pada *Span* 1. Lapangan 2 memiliki jarak 66 m pada *Span* 2 dan Tumpuan 3 memiliki jarak 91 m pada *Span* 2. Sedangkan Lapangan 3 memiliki jarak 111,5 m pada *Span* 3 dan Tumpuan 4 memiliki jarak 132 m pada *Span*.

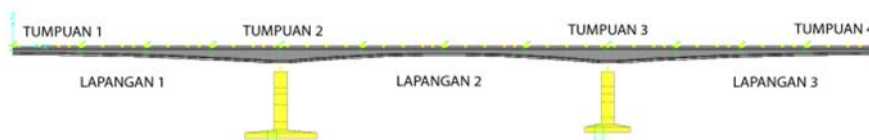
Dari tabel 2 nilai gaya dalam maksimum pada kombinasi beban ultimit di atas, dapat diketahui bahwa Tumpuan 1 dan Tumpuan 2 adalah bagian dari struktur atas *box girder* jembatan *fly over* Rawabuaya yang memiliki nilai gaya

dalam terbesar. Hal ini dapat terjadi karena semua beban yang bekerja sepanjang struktur atas *box girder* jembatan *fly over* Rawabuaya didistribusikan ke *pier* P8B (Tumpuan 1) dan *pier* P7B (Tumpuan 2) yang untuk selanjutnya didistribusikan ke dalam tanah melalui pondasi. Selain itu, pengaruh dari *pot bearing* yang digunakan pada struktur atas *box girder* jembatan *fly over* Rawabuaya ini juga menyebabkan beban yang bekerja pada *pier* lebih besar. Akan tetapi beban yang bekerja pada struktur atas *box girder* jembatan *fly over* Rawabuaya lebih kecil, khususnya pada daerah bentang pada setiap *span*.

Sedangkan untuk kombinasi beban ultimit yang bekerja paling maksimum pada struktur atas *box girder* jembatan *fly over* Rawabuaya adalah kombinasi COMB5 (1,2,3,4) dan COMB5a (1,2,3,4), dimana perbedaan dari kombinasi beban ultimit tersebut

Tabel 2. Nilai gaya dalam maksimum pada kombinasi beban ultimit (*box girder*)

| TA | Axial Force (P) KN | Shear Force (V) KN | Moment (M) KN-m |
|-----------|--------------------|--------------------|------------------|
| T1 | 75279,58 | 55925,01 | 261686,81 |
| L1 | 74168,14 | 24786,08 | 263331,10 |
| T2 | 191132,00 | 26578,53 | 515526,86 |
| L2 | 137227,00 | 13192,50 | 220886,14 |
| T3 | 122712,03 | 39357,70 | 262230,88 |
| L3 | 104655,47 | 10018,18 | 127753,51 |
| T4 | 73378,55 | 16902,36 | 109354,23 |
| Max | 191132,00 | 55925,01 | 515526,86 |
| PMax | T2 | T1 | T2 |
| Kombinasi | COMB5 (1,2,3,4) | COMB5 (1,2,3,4) | COMB5a (1,2,3,4) |



Gambar 4. Titik analisis struktur di sepanjang struktur atas *box girder*

terletak pada beban lajur “D” dan beban truk “T” yang bekerja dengan tambahan kombinasi beban ultimit berat sendiri, beban prategang, beban mati tambahan, serta beban gempa.

Kombinasi beban ultimit yang digunakan pada analisis struktur bawah *pier* jembatan *fly over* Rawabuaya ini sama seperti kombinasi beban ultimit yang digunakan pada analisis struktur atas *box girder* jembatan *fly over* Rawabuaya, yaitu 29 kombinasi beban ultimit dengan 16 diantaranya menggunakan beban gempa respons spektrum dengan probabilitas terlampaui sebesar 2% dalam 50 tahun.

tinggi 3 m. Sedangkan Frame 2, 3, dan 4 memiliki tinggi yang sama yaitu 2,5 m.

Dari tabel nilai gaya dalam maksimum pada kombinasi beban ultimit di atas, dapat diketahui bahwa Pier P6B Frame 4 adalah bagian dari struktur bawah *pier* jembatan *fly over* Rawabuaya yang memiliki nilai gaya dalam terbesar (Tabel 3). Hal ini dapat terjadi karena semua beban yang bekerja, baik dari transfer struktur atas *box girder* maupun struktur bawah *pier* jembatan *fly over* Rawabuaya, dipusatkan pada Pier P6B. Sedangkan bagian Frame 4 merupakan bagian paling bawah dari Pier P6B, sehingga seluruh beban dari struktur atas

Tabel 3. Nilai gaya dalam maksimum pada kombinasi beban ultimit (*pier*)

| TA | Axial Force (P) KN | Shear Vertical (V) KN | Moment (M) KN-m | |
|------------|--------------------|-----------------------|------------------|-----------|
| P7B | F1 | 46353,30 | 54138,63 | 337087,94 |
| | F2 | 50575,39 | 55711,96 | 488546,91 |
| | F3 | 48594,37 | 56142,85 | 641713,04 |
| | F4 | 58831,08 | 56207,91 | 744288,84 |
| P6B | F1 | 57192,99 | 58942,71 | 353844,42 |
| | F2 | 58232,46 | 60173,47 | 502775,64 |
| | F3 | 59241,66 | 60470,35 | 652867,55 |
| | F4 | 63890,91 | 60517,85 | 748767,81 |
| Max | 63890,91 | 60517,85 | 748767,81 | |
| PMax | Pier P6B Frame 4 | Pier P6B Frame 4 | Pier P6B Frame 4 | |
| Kom binasi | COMB5a (1,2,3,4) | COMB5a (5,6,7,8) | COMB5a (5,6,7,8) | |

Pada analisis struktur bawah *pier* jembatan *fly over* Rawabuaya ini, nilai gaya dalam maksimum yang diperoleh berdasarkan bentuk variasi dari *pier* P7B dan *pier* P6B yang masing-masing terbagi menjadi empat *frame*. Sehingga terdapat delapan titik analisis struktur di struktur bawah *pier* jembatan *fly over* Rawabuaya. Untuk lebih jelas, dapat dilihat Gambar 5.

Pada *pier* P7B, Frame 1 memiliki tinggi 3,25 m. Sedangkan Frame 2, 3, dan 4 memiliki tinggi yang sama yaitu 2,75 m. Pada *pier* P6B, Frame 1 memiliki

box girder maupun struktur bawah *pier* terakumulasi pada Frame 4 ini. Beban-beban ini kemudian akan ditransfer ke dalam tanah melalui pondasi.

Sedangkan untuk kombinasi beban ultimit yang bekerja paling maksimum pada struktur bawah *pier* jembatan *fly over* Rawabuaya adalah kombinasi COMB5a (1,2,3,4) dan kombinasi COMB5a (5,6,7,8), dimana perbedaan dari kombinasi beban ultimit tersebut terletak pada arah beban gempa terhadap arah X dan arah Y yang bekerja dengan kombinasi beban ultimit berat

sendiri, beban prategang, beban mati, serta beban truk “T”.

Kontrol gaya aksial dilakukan terhadap struktur atas *box girder* jembatan *fly over* Rawabuaya dengan menghitung rasio tulangan utama yang digunakan terhadap luas penampang beton pada tujuh titik analisis struktur. Sehingga diperoleh nilai gaya aksial nominal yang bekerja pada struktur atas *box girder* jembatan *fly over* Rawabuaya, kemudian dikalikan dengan faktor reduksi (ϕ) sebesar 0,65. Menurut SNI T-12-2004, suatu struktur jembatan aman jika nilai gaya aksial nominal (ϕP_n) lebih besar atau sama dengan nilai gaya aksial maksimum pada kombinasi beban ultimit (P_u) (Tabel 4)

Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa nilai gaya aksial nominal memiliki nilai yang lebih besar atau sama dengan nilai gaya aksial maksimum pada kombinasi

beban ultimit di setiap titik analisis. Sehingga, struktur atas *box girder* jembatan *fly over* Rawabuaya ini dapat dikatakan aman jika terjadi kombinasi beban ultimit yang bekerja terhadap gaya aksial.

Kontrol gaya geser dilakukan terhadap struktur atas *box girder* jembatan *fly over* Rawabuaya dengan menghitung rasio tulangan geser atau sengkang yang digunakan terhadap luas penampang beton pada tujuh titik analisis struktur. Sehingga diperoleh nilai gaya geser nominal yang bekerja pada struktur atas *box girder* jembatan *fly over* Rawabuaya, kemudian dikalikan dengan faktor reduksi (ϕ) sebesar 0,7. Menurut SNI T-12-2004, suatu struktur jembatan aman jika nilai gaya geser nominal (ϕV_n) lebih besar atau sama dengan nilai gaya geser maksimum pada kombinasi beban ultimit (V_u) (Tabel 5).

Tabel 4. Perbandingan nilai P_u dan nilai ϕP_n

| TA | Gaya Aksial Ultimit (P_u) KN | Gaya Aksial Nominal (ϕP_n) KN | Status |
|----|----------------------------------|---------------------------------------|--------|
| T1 | 75279,58 | 242082,21 | OK |
| L1 | 74168,14 | 250082,05 | OK |
| T2 | 191132,00 | 274125,14 | OK |
| L2 | 137227,00 | 239038,14 | OK |
| T3 | 122712,03 | 274125,14 | OK |
| L3 | 104655,47 | 250082,05 | OK |
| T4 | 73378,55 | 242082,21 | OK |

Tabel 5. Perbandingan nilai V_u dan nilai ϕV_n

| TA | Gaya Geser Ultimit (V_u) KN | Gaya Geser Nominal (ϕV_n) KN | Status |
|----|---------------------------------|--------------------------------------|--------|
| T1 | 55925,01 | 30119,08 | NOT |
| L1 | 24786,08 | 51608,48 | OK |
| T2 | 26578,53 | 47705,87 | OK |
| L2 | 13192,50 | 52961,31 | OK |
| T3 | 39357,70 | 47705,87 | OK |
| L3 | 10018,18 | 51608,48 | OK |
| T4 | 16902,36 | 30119,08 | OK |

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa nilai gaya geser nominal memiliki nilai yang lebih besar atau sama dengan nilai gaya geser maksimum pada kombinasi beban ultimit di enam dari tujuh titik analisis struktur. Pada Tumpuan 1, nilai gaya geser nominal lebih kecil dari nilai gaya geser maksimum pada kombinasi beban ultimit. Hal ini dapat menyebabkan struktur atas *box girder* jembatan *fly over* Rawabuaya mengalami retak terhadap arah gaya geser jika terjadi kombinasi beban ultimit, yaitu kombinasi COMB5 (1,2,3,4). Beban ultimit yang bekerja pada COMB5 (1,2,3,4) adalah berat sendiri, beban mati tambahan, beban prategang, beban lajur “D”, dan beban gempa.

Kontrol momen dilakukan terhadap struktur atas *box girder* jembatan *fly over* Rawabuaya dengan menghitung rasio tulangan utama yang digunakan terhadap luas penampang beton pada tujuh titik analisis struktur. Sehingga diperoleh nilai momen nominal yang bekerja pada struktur atas *box girder* jembatan *fly over* Rawabuaya, kemudian dikalikan dengan faktor reduksi (ϕ) sebesar 0,8. Menurut SNI T-12-2004, suatu struktur jembatan aman jika nilai momen nominal (ϕM_n) lebih besar atau sama dengan nilai momen maksimum pada kombinasi beban ultimit (M_u) (Tabel 6).

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa nilai momen nominal memiliki

nilai yang lebih besar atau sama dengan nilai momen maksimum pada kombinasi beban ultimit di empat dari tujuh titik analisis struktur. Pada Tumpuan 1, Lapangan 1, dan Tumpuan 2, nilai momen nominal lebih kecil dari nilai momen maksimum pada kombinasi beban ultimit. Hal ini dapat menyebabkan struktur atas *box girder* jembatan *fly over* Rawabuaya mengalami keruntuhan tarik (*underreinforced beams*) akibat kurangnya tulangan utama yang digunakan jika terjadi kombinasi beban ultimit, yaitu kombinasi COMB5a (1,2,3,4). Beban ultimit yang bekerja pada COMB5a (1,2,3,4) adalah berat sendiri, beban mati tambahan, beban prategang, beban truk “T”, dan beban gempa.

Kontrol gaya geser dilakukan terhadap struktur bawah *pier* jembatan *fly over* Rawabuaya dengan menghitung rasio tulangan geser atau sengkang yang digunakan terhadap luas penampang beton pada delapan titik analisis struktur. Sehingga diperoleh nilai gaya geser nominal yang bekerja pada struktur bawah *pier* jembatan *fly over* Rawabuaya, kemudian dikalikan dengan faktor reduksi (ϕ) sebesar 0,7 (Tabel 7). Menurut SNI T-12-2004, suatu struktur jembatan aman jika nilai gaya aksial nominal (ϕV_n) lebih besar atau sama dengan nilai gaya aksial maksimum pada kombinasi beban ultimit (V_u).

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa nilai gaya geser nominal memiliki

Tabel 6. Perbandingan nilai M_u dan nilai ϕM_n

| Titik Analisis | Momen Ultimit (M_u) KN | Momen Nominal (ϕM_n) KN | Status |
|----------------|----------------------------|---------------------------------|--------|
| T1 | 261686,81 | 220724,87 | NOT |
| L1 | 263331,10 | 221518,84 | NOT |
| T2 | 515526,86 | 487353,57 | NOT |
| L2 | 220886,14 | 236124,58 | OK |
| T3 | 262230,88 | 487353,57 | OK |
| L3 | 127753,51 | 221518,84 | OK |
| T4 | 109354,23 | 220724,87 | OK |

Tabel 7. Perbandingan nilai V_u dan nilai ϕV_n

| TA | Gaya Geser Ultimit (V_u) KN | Gaya Geser Nominal (ϕV_n) KN | Status | |
|-------------|---------------------------------|--------------------------------------|-----------|----|
| P 7 B | F1 | 54138,63 | 447533,85 | OK |
| | F2 | 55711,96 | 341009,24 | OK |
| | F3 | 56142,85 | 341009,24 | OK |
| | F4 | 56207,91 | 341009,24 | OK |
| P 6 B | F1 | 58492,71 | 447533,85 | OK |
| | F2 | 60173,47 | 341009,24 | OK |
| | F3 | 60470,35 | 341009,24 | OK |
| | F4 | 60517,85 | 341009,24 | OK |

nilai yang lebih besar atau sama dengan nilai gaya geser maksimum pada kombinasi beban ultimit di setiap titik analisis. Sehingga, struktur bawah *pier* jembatan *fly over* Rawabuaya ini dapat dikatakan aman jika terjadi kombinasi beban ultimit yang bekerja terhadap gaya geser.

Kontrol kombinasi gaya aksial dan momen dilakukan terhadap struktur bawah *pier* jembatan *fly over* Rawabuaya dengan menghitung rasio tulangan utama yang digunakan terhadap luas penampang beton pada delapan titik analisis struktur. Sehingga diperoleh nilai kombinasi gaya aksial dan momen yang bekerja pada struktur bawah *pier* jembatan *fly over* Rawabuaya, kemudian dikalikan dengan

faktor reduksi (ϕ) sebesar 0,65 untuk nilai gaya aksial dan 0,8 untuk nilai momen. Menurut SNI T-12-2004, suatu struktur jembatan aman jika nilai kombinasi gaya aksial dan momen (ϕP_n ϕM_n) lebih besar atau sama dengan nilai kombinasi gaya aksial dan momen pada kombinasi beban ultimit (P_u M_u).

Dari Tabel 8, dapat dilihat bahwa nilai kombinasi gaya aksial dan momen nominal yang lebih besar atau sama dengan nilai kombinasi gaya aksial dan momen maksimum pada kombinasi beban ultimit di dua dari delapan titik analisis struktur. Hal ini dapat menyebabkan retak di seluruh tinggi kolom, tepatnya pada lokasi-lokasi sengkang. Sedangkan jika bebannya terus

Tabel 8. Perbandingan nilai P_u M_u dan nilai ϕP_n ϕM_n

| TA | Kombinasi Gaya Aksial dan Momen Ultimit (P_u M_u) KN | | Kombinasi Gaya Aksial dan Momen Nominal (ϕP_n ϕM_n) KN | Status | |
|-------------|--|----------|--|-----------|-----|
| | P_u | M_u | | | |
| P 7 B | F1 | 46353,39 | 337087,94 | 846806,15 | OK |
| | F2 | 50575,39 | 488546,91 | 681213,95 | OK |
| | F3 | 48594,37 | 641713,04 | 681213,95 | OK |
| | F4 | 58831,08 | 744288,84 | 681213,95 | NOT |
| P 6 B | F1 | 57192,99 | 353844,42 | 846806,15 | OK |
| | F2 | 58232,46 | 502775,64 | 681213,95 | OK |
| | F3 | 59241,66 | 652867,55 | 681213,95 | OK |
| | F4 | 63890,91 | 748767,81 | 681213,95 | NOT |

bertambah, maka akan terjadi keruntuhan dan tekuk lokal (*local buckling*) tulangan utama pada panjang yang tidak tertumpu sengkang jika terjadi kombinasi beban ultimit COMB5a (5,6,7,8), yaitu berat sendiri, beban mati tambahan, beban prategang, beban truk "T", dan beban gempa.

Dari kontrol gaya-gaya dalam yang dilakukan pada struktur atas *box girder* dan struktur bawah *pier* dari jembatan *fly over* Rawabuaya, dapat dilihat bahwa semua nilai gaya-gaya dalam maksimum yang terjadi pada kombinasi beban ultimit memiliki nilai beban gempa yang bekerja pada struktur. Sehingga terjadi perbedaan nilai gaya-gaya dalam maksimum pada kombinasi beban ultimit dengan nilai gaya-gaya dalam nominal.

Secara sederhana, dapat diketahui perbedaan nilai gaya-gaya dalam maksimum pada kombinasi beban ultimit dengan nilai gaya-gaya dalam nominal, yaitu dengan cara membandingkan nilai gaya dalam maksimum pada kombinasi beban ultimit yang terjadi dengan nilai gaya dalam nominal yang ada. Nilai gaya-gaya dalam tersebut terjadi pada struktur bawah *pier* dari jembatan *fly over* Rawabuaya, yaitu *Pier P6B*. Sehingga, dengan membandingkan nilai gaya dalam maksimum pada kombinasi beban ultimit dan nilai gaya dalam nominal di *Pier P6B*, dapat diketahui selisihnya sebesar 10% yang berarti struktur jembatan *fly over* Rawabuaya dapat menahan 90% dari nilai gaya-gaya dalam maksimum yang terjadi akibat kombinasi beban ultimit, khususnya beban gempa.

Menurut Budiono dan Supriatna (2011), hal ini dapat terjadi karena koefisien gempa (C) yang didapat pada "Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung" RSNi 03-1726-2010 dan Peta Zonasi Gempa Indonesia 2010 cukup besar pada zona wilayah gempa

berat. Selain itu, kombinasi pembebanan yang dihasilkan telah memasukkan pengaruh gempa vertikal dan gempa horisontal dengan redundansi. Sehingga menyebabkan nilai gaya-gaya dalam maksimum pada kombinasi beban ultimit lebih besar dibandingkan nilai gaya-gaya dalam nominal.

SIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian mengenai analisis struktur jembatan *fly over* Rawabuaya sisi barat terhadap gempa, dapat disimpulkan bahwa: (a) Nilai gaya-gaya dalam maksimum pada kombinasi beban ultimit memiliki kombinasi beban gempa yang bekerja baik pada struktur atas *box girder* maupun pada struktur bawah *pier* dari jembatan *fly over* Rawabuaya dengan nilai maksimum sebesar 748767,81 KNm yang bekerja pada *Pier P6B* dengan kombinasi beban ultimit berat sendiri, beban mati tambahan, beban prategang, dan beban truk "T". Sehingga kerusakan dapat terjadi pada struktur jika kombinasi beban ultimit tersebut bekerja secara terus-menerus pada jembatan *fly over* Rawabuaya; (b) Hasil perbandingan nilai gaya-gaya dalam maksimum pada kombinasi beban ultimit dengan nilai gaya-gaya dalam nominal menunjukkan bahwa jembatan *fly over* Rawabuaya memiliki beban gempa yang besar dengan selisih 10%. Artinya, struktur dapat menahan 90% dari nilai beban gempa ultimit. Sehingga, digunakan tulangan-tulangan pada struktur atas *box girder* maupun struktur bawah *pier* untuk menambah kekuatan tekan beton dan tendon pada struktur atas *box girder* untuk menambah kekuatan tarik beton.

Saran yang dapat diberikan adalah, pada bagian dari struktur jembatan *fly over* Rawabuaya yang mengalami kerusakan akibat beban gempa pada kombinasi beban ultimit,

ketika tahap perencanaan dapat dilakukan hal-hal berikut: (a) Pada struktur atas *box girder*, dapat digunakan tendon dengan jumlah strand yang lebih banyak dengan diameter yang lebih besar. Serta menambah jumlah titik tendon pada struktur atas *box girder*. Selain itu, dapat pula digunakan tulangan utama yang lebih banyak dengan diameter yang lebih besar, serta dimensi *box girder* yang lebih besar; (b) Pada struktur bawah *pier*, dapat digunakan tulangan utama yang lebih banyak dengan diameter yang lebih besar, serta dimensi *pier* yang lebih besar. Hal ini dilakukan untuk menambah kekuatan dari struktur jembatan *fly over* Rawabuaya agar dapat menahan beban gempa pada kombinasi beban ultimit yang bekerja. Karena jembatan *fly over* Rawabuaya ini telah selesai dibangun, maka dapat dilakukan perkuatan-perkuatan pada struktur untuk mengurangi kerusakan-kerusakan yang terjadi akibat beban gempa pada kombinasi beban ultimit. Selain itu, dapat pula digunakan teknologi yang bisa meminimalisir efek dari gempa bumi dengan cara menyerap energi gempa yang terjadi pada struktur. Sehingga struktur menjadi lebih elastis dan terhindar dari kerusakan gempa yang merugikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002)*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2004. *Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan (SNI T-12-2004)*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2005. *Standar Pembebanan Untuk Jembatan (RSNI T-02-2005)*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2010. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (RSNI 03-1726-2010)*. Jakarta.
- Budiono Prof. Ir. R. Bambang dan Supriatna S.T. Lucky. 2011. *Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa Dengan Menggunakan SNI 03-1726-2002 dan RSNI 03-1726-2010*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia. 1992. *Bridge Management System*. Jakarta.
- Collins dan Mitchel. 1991. *Prestressed Concrete Structure*. New Jersey: Prentice Hall.
- Ilham MN. 2010. Bridge Engineer and Building Structure Engineer. [terhubung berkala]. <http://www.mnoerilham.blogspot.com>. [28 Januari 2012]
- Lin TY dan Burns NH. 1982. *Design of Prestressed Concrete Structures, 3rd Edition*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Menn Christian. 1989. *Prestressed Concrete Bridges*. Birkhauser.
- Naaman AE. 1982. *Prestressed Concrete Analysis and Design*. New York: McGraw-Hill Inc.
- Nawy Edward. 1989. *Prestressed Concrete*. New Jersey: Prentice Hall.
- Riswan Dony dan Fauzan Muhammad. 2002. Analisa dan Perhitungan Konstruksi Gedung Perkantoran Bidakara Pancoran [Skripsi]. Padang: Universitas Andalas, Fakultas Teknik.
- Supriyadi Dr. Ir. Bambang CES. DEA. dan Muntohar ST. AS. 2000. *Jembatan*. Yogyakarta.
- Yustika Mico. 2011. Analisa Struktur Jembatan Prestressed-Box Girder Dengan Metode Elemen Hingga

[Skripsi]. Depok: Universitas
Indonesia, Fakultas Teknik.