

# RESPONS STRUKTUR JEMBATAN BETON PRATEGANG BERDASARKAN SPEKTRUM GEMPA WILAYAH SUMATERA

Reni Suryanita, Zulfikar Djauhari dan Andi Wijaya

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Kampus Bina Widya  
Jl. HR. Subrantas KM 12.5 Pekanbaru, Indonesia

E-mail : *reni.suryanita@eng.unri.ac.id*

## ABSTRAK

Perencanaan struktur jembatan beton prategang pada daerah yang memiliki risiko kegempaan khususnya di wilayah Sumatera, harus memperhatikan kemampuan respons strukturnya. Dalam penelitian ini respons struktur jembatan berupa perpindahan, kecepatan, dan percepatan dianalisis berdasarkan Peta Spektra Gempa Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi respons maksimum struktur jembatan beton prategang di lokasi kegempaan pulau Sumatera. Untuk mengetahui respons struktur jembatan, maka dilakukan pemodelan yang mengacu pada studi kasus pembangunan jembatan beton prategang di Kecamatan Tapung, Kabupaten Kampar. Struktur jembatan ini dimodelkan menggunakan *software* elemen hingga, dengan analisis respons spektrum gempa berdasarkan RSNI 2833-201X. Lokasi gempa yang dianalisis adalah 11 ibu kota provinsi di wilayah gugusan pulau Sumatera dengan 3 kondisi jenis tanah yaitu tanah keras, tanah sedang dan tanah lunak. Dari hasil analisis diperoleh respons struktur jembatan terbesar terjadi di Kota Banda Aceh, dengan nilai perpindahan maksimum sebesar 0,01595 meter, nilai kecepatan sebesar 0,4552 m/det dan nilai percepatan sebesar 9,7 m/det<sup>2</sup>. Diharapkan dengan diketahuinya respons maksimum pada kota-kota tersebut dapat memberikan acuan bagi perencana struktur dalam mendesain struktur Jembatan yang kokoh di masa mendatang.

Kata Kunci : *Jembatan beton prategang, respons struktur, spektra gempa Sumatera.*

## ABSTRACT

*The design of prestressed concrete bridge on high-risk seismic zones should consider the responses characteristic of the bridge structure. The research focused on the structural responses such as displacement, velocity, and acceleration which are based on Indonesia's Seismic Hazard Map. The objective of research is to identify the maximum response of prestressed concrete bridge in the earthquake prone area. Therefore, in this research, the bridge model was adopted from the real prestressed concrete bridge located in Kecamatan Tapung, Kabupaten Kampar to analyze the bridge structural response. The bridge structure was modeled in finite element software then the response spectrum analysis was performed based on RSNI 2833-201X. For the seismic locations, 11 capital cities in the archipelago of Sumatera were chosen and 3 soil conditions, such as hard, medium and soft soil were added. Based on the analysis results, the largest structural response was observed in Banda Aceh City with 0,01595 m of displacement, 0,4552 m/sec of velocity, and 9,7 m/sec<sup>2</sup> of acceleration. Thereby, the research can be proposed as a reference to the bridge engineer to design the new bridges in the cities was mentioned.*

*Keywords : prestressed concrete bridge, structural response, response spectrum of Sumatera.*

## PENDAHULUAN

Secara umum struktur jembatan terbagi menjadi dua bagian utama, yaitu struktur atas dan struktur bawah. Bagian struktur atas terdiri dari balok utama (*girder*), diafragma, pelat lantai kendaraan, dan trotoar. Bagian dari struktur bawah jembatan pada umumnya meliputi pangkal jembatan (*abutment*), pilar jembatan (*pier*), dan fondasi.

Struktur atas jembatan merupakan bagian yang berfungsi menerima beban secara langsung, meliputi berat sendiri, beban mati tambahan, beban lalu lintas kendaraan, beban pejalan kaki, dan sebagainya. Sedangkan struktur bawah jembatan berfungsi untuk memikul seluruh beban struktur atas dan beban lain yang ditimbulkan oleh tekanan tanah, aliran air, gesekan pada tumpuan, dan sebagainya. Selain itu, struktur jembatan juga

didesain untuk mampu menerima beban lingkungan, salah satunya adalah beban gempa. Hal ini dikarenakan beban gempa dapat mengakibatkan terjadinya perpindahan *joint* dan elemen struktur jembatan yang dapat menyebabkan terjadinya keruntuhan pada jembatan.

Material penyusun jembatan terdiri dari berbagai jenis, ada yang terbuat dari beton bertulang, baja, kayu ataupun kombinasi diantara material tersebut. Kombinasi antara beton, baja, dan kabel tendon merupakan material penyusun beton prategang. Umumnya pada struktur jembatan dengan bentang yang panjang, struktur beton bertulang tidak cukup untuk menahan tegangan lentur, sehingga terjadi retak-retak pada daerah yang mempunyai tegangan lentur, geser, ataupun puntir yang tinggi. Untuk mengatasi keretakan serta keterbatasan dalam pelaksanaan, maka dilakukan penegangan pada struktur beton bertulang.

Penggunaan beton prategang dalam konstruksi jembatan mempunyai kelebihan selain dapat dipakai pada bentang yang lebih panjang dan dapat diatur defleksinya, beton prategang juga dapat memikul beban lentur yang lebih besar dari beton bertulang. Namun konstruksi beton prategang memerlukan peralatan khusus seperti tendon, angkur, mesin penarik kabel, serta memerlukan keahlian khusus baik dalam perencanaan maupun pelaksanaannya.

Dalam perencanaan jembatan bentang panjang, beban gempa merupakan pembebanan yang harus diperhitungkan dan tidak boleh dabaikan. Sudah banyak kajian di luar Indonesia yang membahas jembatan bentang panjang dengan mengambil fokus pembahasan pada pembebanan gempa, seperti Behnamfar dan Afshari (2013) serta Bonessio et.al (2012). Apalagi Indonesia merupakan salah satu negara rawan gempa di dunia. Oleh karena itu perencanaan desain struktur baik bangunan maupun jembatan dibuat agar mampu memikul beban gempa.

Konsep desain ini diatur dalam SNI 1726-2002, yang berisi tentang standar perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung. Sementara itu, khusus untuk struktur jembatan diatur dalam SNI 2833-2008, yang berisi tentang standar perencanaan ketahanan gempa untuk jembatan. Kedua peraturan ini memuat grafik respons spektrum gempa dengan pembagian wilayah gempa menjadi enam zona. Lebih lanjut, SNI 1726-2002 kemudian diperbaharui menjadi SNI 1726-2012. Sama halnya dengan SNI 2833-2008 yang juga diperbaharui menjadi RSNI 2833-201X.

Pada pembaharuan terhadap kedua peraturan ini, grafik respons spektrum gempa merupakan olahan dari berbagai rumus empiris, sehingga hasil grafik untuk tiap lokasi akan menjadi berbeda antara satu dan lainnya. Selain itu, penentuan nilai awal percepatan tanah maksimum atau *Peak Ground Acceleration (PGA)*, nilai percepatan batuan puncak pada 1 detik ( $S_1$ ), lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respons dinamik ( $S_5$ ) juga beragam karena nilai tersebut mempunyai *range* yang subjektif. Wilayah pulau Sumatera memiliki PGA bervariasi dari PGA bernilai sedang sampai PGA dengan nilai tinggi. Bahkan getaran percepatan tanah yang kuat di Sumatera dapat dirasakan oleh negara-negara tetangga Indonesia seperti Singapura dan Malaysia pada saat terjadinya gempa bumi (Adnan & Hendriyawan 2002).

Topik mengenai perencanaan jembatan prategang khususnya menggunakan metode analisis respons spektrum gempa yang digunakan pada pemodelan jembatan telah banyak diangkat oleh para peneliti terdahulu (Aldiamar, 2007; Ansori et al., 2012; Elianto, 2014; Suyadi, 2013). Aldiamar (2007) membahas jembatan Suramadu menggunakan analisis respons spektrum dan pemodelan gempa 3D menggunakan EZFRISK. Ansori et al. (2012) membahas jembatan balok komposit sederhana menggunakan 3 analisis yaitu metode statik ekuivalen, respons spektrum dan metode riwayat waktu. Suyadi (2013) membahas jembatan bentang menerus dengan analisis respons spektrum. Sedangkan Elianto (2014) membahas tiang pancang pilar jembatan Banjarsari dengan menggunakan perhitungan secara analitis dan numeris.

Penelitian ini juga telah dimulai dengan penelitian pendahuluan yang membahas jembatan prategang 3 bentang menggunakan metode analisis riwayat waktu (Suryanita dan Adnan, 2013), begitu juga dalam Suryanita (2014), metode analisis riwayat waktu diaplikasikan dalam Jembatan Kedua Pulau Pinang dengan mengambil kasus penelitian 3 bentang jembatan sejauh 102 meter dari 24 km panjang keseluruhan jembatan tersebut. Dalam artikel ini, tujuan penelitian adalah untuk menganalisis respons struktur jembatan prategang akibat gempa dengan mengacu pada RSNI 2833-201X berdasarkan spektra gempa Indonesia.

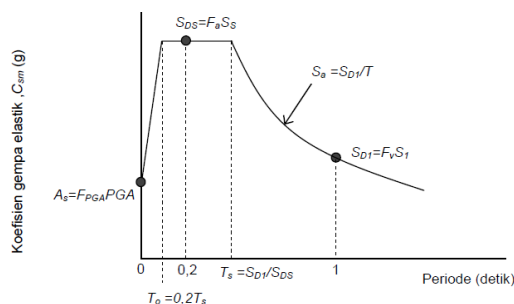
## BAHAN DAN METODE

Respons spektrum adalah grafik yang menyatakan hubungan antara periode getar struktur ( $T$ ) dengan respons struktur maksimum saat mengalami

getaran gempa tertentu. Untuk kebutuhan praktis, maka respons spektrum disederhanakan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 1.

Prosedur untuk memperoleh grafik respons spektrum gempa adalah sebagai berikut.

1. Menentukan parameter respons spektrum percepatan gempa berupa percepatan puncak batuan dasar (PGA), parameter respons spektral percepatan gempa untuk periode pendek ( $S_s$ ), dan parameter respons spektral percepatan gempa untuk periode 1,0 detik ( $S_1$ ) pada peta gempa Indonesia 2010.



**Gambar 1. Bentuk Tipikal Respons Spektrum Gempa (RSNI 2833-201X)**

2. Menentukan kelas situs berdasarkan kondisi tanah.
3. Menentukan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 0 detik ( $F_{PGA}$ ), periode 0,2 detik ( $F_a$ ), dan periode 1,0 detik ( $F_v$ ).
4. Menghitung koefisien percepatan awal muka tanah untuk periode 0 detik ( $A_s$ ), periode pendek ( $S_{DS}$ ), dan periode 1 detik ( $S_{D1}$ ) dengan Pers. (1), Pers. (2), dan Pers. (3).

$$A_s = F_{PGA} \times PGA \quad (1)$$

$$S_{DS} = F_a \times S_s \quad (2)$$

$$S_{D1} = F_v \times S_1 \quad (3)$$

5. Menghitung nilai periode percepatan puncak awal ( $T_0$ ) dan periode percepatan puncak akhir ( $T_s$ ) dengan Pers. (4) dan Pers. (5).

$$T_0 = 0,2 T_s \quad (4)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (5)$$

Koefisien gempa elastik dapat dihitung dengan tahapan sebagai berikut.

1. Untuk periode lebih kecil dari  $T_0$ , koefisien respons gempa elastik ( $C_{sm}$ ) didapatkan dari Pers. (6)

$$C_{sm} = (S_{DS} - A_s) \frac{T}{T_0} - A_s \quad (6)$$

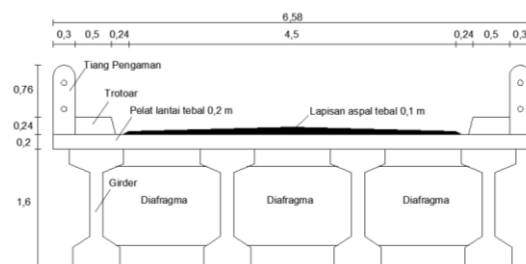
2. Untuk periode lebih besar atau sama dengan  $T_0$ , dan lebih kecil atau sama dengan  $T_s$ , koefisien  $C_{sm}$  didapatkan dari Pers. (7).

$$C_{sm} = S_{DS} \quad (7)$$

3. Untuk periode lebih besar dari  $T_s$ , koefisien  $C_{sm}$  didapatkan dari Pers. (8).

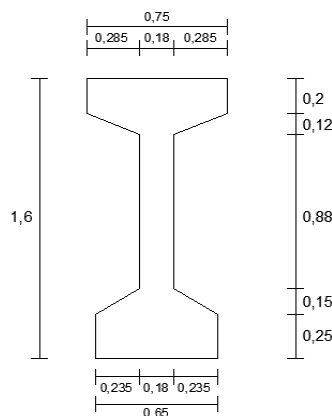
$$C_{sm} = \frac{S_{D1}}{T} \quad (8)$$

Analisis struktur jembatan beton prategang dilakukan menggunakan *software* elemen hingga. Data hasil analisis respons struktur yang ditinjau adalah berupa perpindahan, kecepatan, dan percepatan. Studi kasus pembangunan jembatan beton prategang ini berada di Provinsi Riau dengan geometri *cross section* seperti pada Gambar 2.



**Gambar 2. Cross Section Jembatan (dalam satuan meter)**

Sedangkan detail dimensi penampang girder dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3 Detail Dimensi Penampang Girder (dalam satuan meter)**

Data struktur jembatan yang dianalisis adalah sebagai berikut:

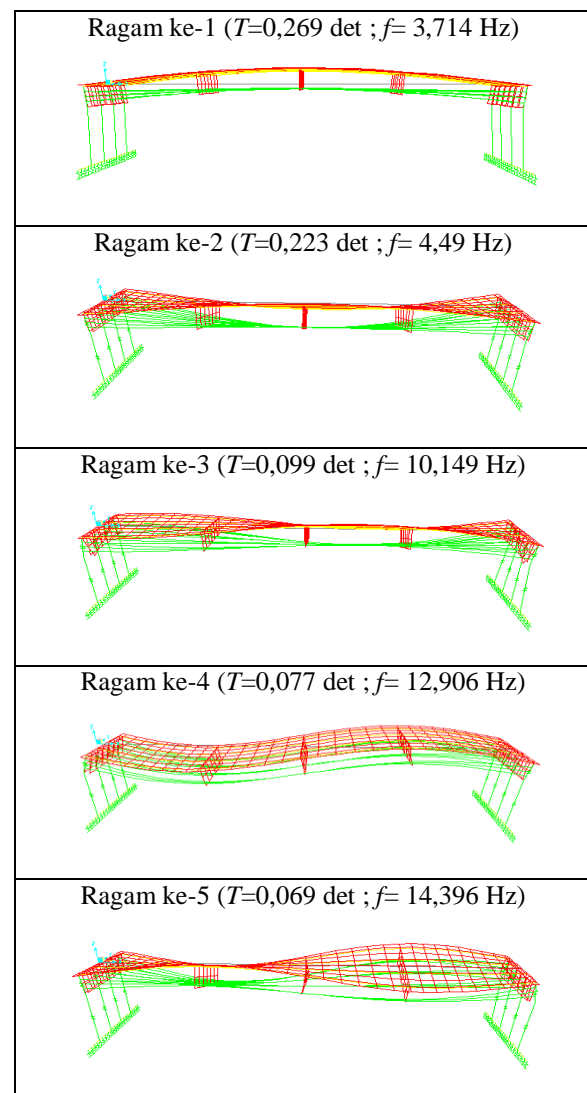
1. Tipe konstruksi = balok girder prategang tipe I
2. Mutu beton girder = K-500
3. Panjang total = 30,6 meter
4. Lebar total = 6,58 meter
5. Jumlah bentang = 1 bentang
6. Jumlah lajur = 1 lajur
7. Lebar lajur = 4,5 meter
8. Jumlah girder = 4 buah
9. Dimensi girder = bervariasi
10. Tebal pelat lantai = 0,2 meter
11. Mutu beton pelat lantai = K-350
12. Tebal diafragma = 0,2 meter
13. Mutu beton diafragma = K-350

Analisis respons struktur jembatan dengan metode respons spektrum gempa dilakukan dengan bantuan *software* elemen hingga untuk memodelkan seluruh komponen jembatan beton prategang dalam bentuk tiga dimensi. Prosedur analisis tersebut adalah dengan memodelkan struktur jembatan beton prategang sesuai dengan *Detail Engineering Design* (DED) sebagai studi kasus yang digunakan. Pemodelan ini dibuat menggunakan *Bridge Modeler Wizard* yang tersedia pada *software* elemen hingga. Pemodelan jembatan menggunakan *Bridge Modeler Wizard* ini harus dilakukan secara bertahap. Tahap pertama, dilakukan pendefinisian panjang jembatan menggunakan menu *layout line*. Kedua, material dan dimensi komponen struktur dibuat menggunakan menu *basic properties*. Ketiga, gelagar, diafragma, dan perletakan menggunakan menu *bridge component properties*. Keempat, tendon prategang pada masing-masing girder menggunakan menu *prestress tendons*. Kelima, beban mati tambahan dan beban lalu lintas menggunakan menu *load cases*. Beban mati tambahan diantaranya beban aspal pada lajur kendaraan, beban trotoar, *kerb*, dan pagar pengaman pada bagian kiri dan kanan lajur kendaraan. Sementara untuk beban lalu lintas diantaranya adalah beban terbagi merata pada lajur kendaraan, beban garis pada bagian tengah jembatan dengan arah tegak lurus lajur kendaraan, beban truk dengan beban titik pada lajur kendaraan, dan beban pejalan kaki pada trotoar. Setelah itu melakukan analisis ragam hingga partisipasi massa ragam kumulatif sudah melebihi 90%. Analisis ragam dilakukan hingga ragam ke-200 dengan partisipasi massa ragam kumulatif sudah mencapai 90%. Kemudian, dilakukan

pendefinisian fungsi respons spektrum ( $C_{sm}$  vs  $T$ ) berdasarkan grafik respons spektrum untuk 11 kota dengan 3 jenis tanah yang telah ditetapkan sebelumnya. Fungsi respons spektrum tersebut dimasukkan ke dalam analisis beban gempa respons spektrum menggunakan menu *load cases*. Beban gempa yang dimasukkan adalah berupa percepatan pada arah X dan arah Y. Tahap akhir adalah dengan menjalankan analisis respons spektrum untuk mendapatkan keluaran berupa respons struktur, diantaranya adalah perpindahan, kecepatan, dan percepatan pada tengah bentang struktur jembatan untuk arah X, Y, dan Z.

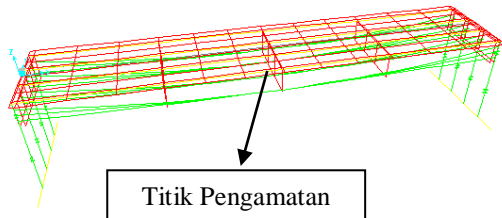
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Lima bentuk awal ragam getar struktur dapat dilihat pada Gambar 4. Periode fundamental di dapatkan sebesar  $T=0,269$  detik sedangkan frekuensi fundamental sebesar  $f=3,714$  Hz.



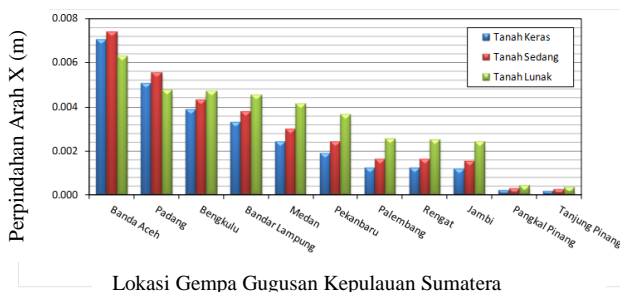
Gambar 4 Bentuk Awal Ragam Getar Struktur

Titik pengamatan pada jembatan yang ditinjau terletak pada tengah bentang yang dapat dilihat pada Gambar 6. Titik ini dipilih sebagai tinjauan karena pada titik tersebut terjadi deformasi maksimum. Adapun parameter keluaran yang ditinjau adalah perpindahan, kecepatan, dan percepatan yang terjadi pada tengah bentang.



Gambar 5. Titik Pengamatan pada Model

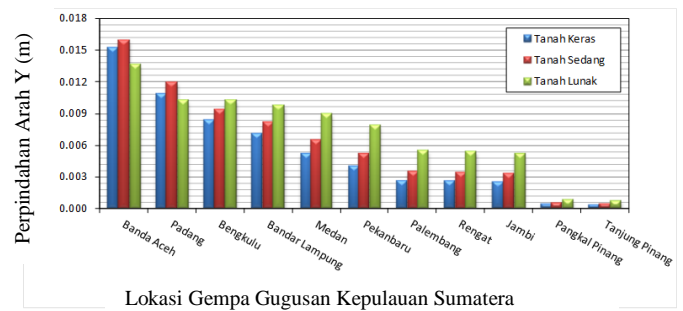
Respons struktur yang ditinjau terletak pada tengah bentang jembatan. Hasil keluaran respons struktur dari *software* elemen hingga berupa perpindahan, kecepatan, dan percepatan untuk 11 lokasi ibu kota provinsi di kepulauan Sumatera untuk masing-masing lokasi dan jenis tanah pada titik yang ditinjau dapat dilihat pada Gambar 6 berikut ini.



Gambar 6. Perpindahan arah X pada titik pengamatan.

Berdasarkan Gambar 6, nilai perpindahan arah X maksimum dan minimum pada tengah bentang untuk gugusan kepulauan Sumatera, perpindahan maksimum terjadi di Kota Banda Aceh dengan jenis tanah sedang sebesar 0,00736 m, sementara itu untuk perpindahan minimum terjadi di Kota Tanjung Pinang dengan jenis tanah keras sebesar 0,00017 m. Secara keseluruhan perpindahan maksimum didominasi oleh jenis tanah lunak, kecuali Kota Banda Aceh dan Kota Padang yang terjadi pada tanah sedang. Sedangkan perpindahan

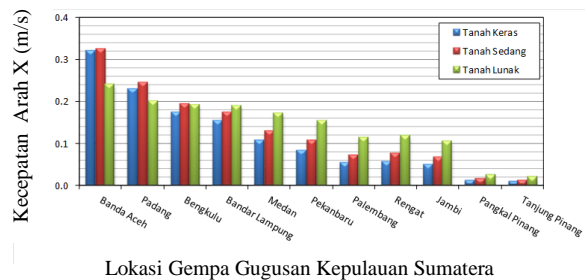
arah Y maksimum dan minimum pada titik pengamatan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Perpindahan arah Y pada titik pengamatan.

Berdasarkan Gambar 7, nilai perpindahan arah Y maksimum dan minimum pada tengah bentang untuk berbagai kota di Sumatera menunjukkan perpindahan maksimum terjadi di Kota Banda Aceh dengan jenis tanah sedang sebesar 0,01595 m, sementara itu untuk perpindahan minimum terjadi di Kota Tanjung Pinang dengan jenis tanah keras sebesar 0,00034 m. Secara keseluruhan perpindahan maksimum didominasi oleh jenis tanah lunak, kecuali Kota Banda Aceh dan Kota Padang yang terjadi pada tanah sedang.

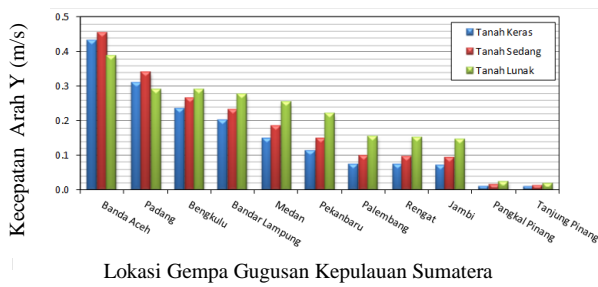
Sedangkan kecepatan pada titik pengamatan di tengah bentang dapat dilihat pada Gambar 8 di bawah ini.



Gambar 8. Kecepatan arah X pada titik pengamatan.

Berdasarkan Gambar 8, nilai kecepatan arah X maksimum pada tengah bentang untuk berbagai kota di gugusan pulau Sumatera terjadi di Kota Banda Aceh dengan jenis tanah sedang sebesar 0,3266 m/det, sementara itu untuk kecepatan minimum terjadi di Kota Tanjung Pinang dengan jenis tanah keras sebesar 0,0104 m/det. Secara keseluruhan kecepatan maksimum didominasi oleh jenis tanah lunak, kecuali Kota Banda Aceh dan Kota Padang yang terjadi pada tanah sedang. Sedangkan kecepatan arah Y maksimum dan

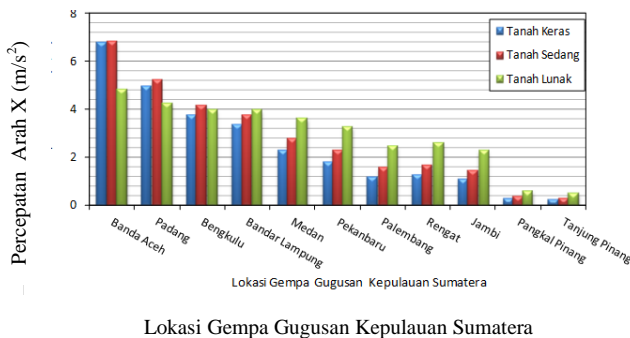
minimum pada titik pengamatan dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Kecepatan arah Y pada titik pengamatan.

Berdasarkan Gambar 9, nilai kecepatan arah Y maksimum pada tengah bentang untuk berbagai kota di gugusan kepulauan Sumatera, terjadi di Kota Banda Aceh dengan jenis tanah sedang sebesar 0,4552 m/det, sementara itu untuk kecepatan minimum terjadi di Kota Tanjung Pinang dengan jenis tanah keras sebesar 0,0097 m/det. Secara keseluruhan kecepatan maksimum didominasi oleh jenis tanah lunak, kecuali Kota Banda Aceh dan Kota Padang yang terjadi pada tanah sedang.

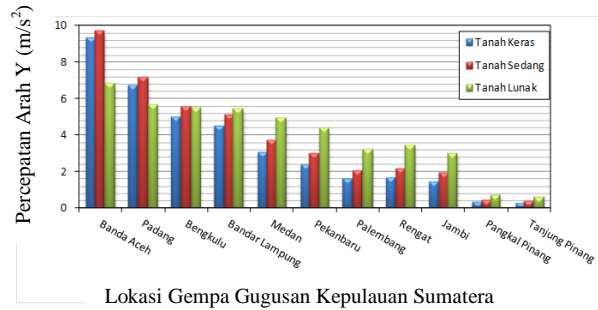
Percepatan pada titik pengamatan di tengah bentang jembatan dapat dilihat pada Gambar 10 berikut ini.



Gambar 10. Percepatan arah X pada titik pengamatan.

Berdasarkan Gambar 10, nilai percepatan arah X maksimum pada tengah bentang untuk berbagai kota di gugusan kepulauan Sumatera, terjadi di Kota Banda Aceh dengan jenis tanah sedang sebesar 6,853 m/det<sup>2</sup>, sementara itu untuk percepatan minimum terjadi di Kota Tanjung Pinang dengan jenis tanah keras sebesar 0,244 m/det<sup>2</sup>.

Secara keseluruhan percepatan maksimum didominasi oleh jenis tanah lunak, kecuali Kota Banda Aceh dan Kota Padang yang terjadi pada tanah sedang. Sedangkan percepatan arah Y maksimum dan minimum pada titik pengamatan dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Percepatan arah Y pada titik pengamatan.

Berdasarkan Gambar 11, nilai percepatan arah Y maksimum pada tengah bentang untuk berbagai kota di gugusan kepulauan Sumatera, terjadi di Kota Banda Aceh dengan jenis tanah sedang sebesar 9,7 m/det<sup>2</sup>, sementara itu untuk percepatan minimum terjadi di Kota Tanjung Pinang dengan jenis tanah keras sebesar 0,284 m/det<sup>2</sup>. Secara keseluruhan percepatan maksimum didominasi oleh jenis tanah lunak, kecuali Kota Banda Aceh dan Kota Padang yang terjadi pada tanah sedang.

## KESIMPULAN

Berdasarkan analisis respons struktur pada jembatan beton prategang ini, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Pola nilai perpindahan, kecepatan, dan percepatan maksimum mengikuti pola spektrum permukaan tanah puncak ( $S_{DS}$ ), semakin besar  $S_{DS}$  untuk suatu jenis tanah, menyebabkan nilai perpindahan, kecepatan, dan percepatan juga akan semakin besar. Hal ini dikarenakan model struktur jembatan memiliki periode getar yang relatif rendah ( $\leq 0,269$  detik), maka hampir seluruh ragam utama akan dikenakan percepatan konstan sebesar  $S_{DS}$ , dengan nilai  $S_{DS}$  berbeda untuk tiap lokasi dan jenis tanah. Oleh karena itu, nilai perpindahan, kecepatan, dan percepatan maksimum untuk suatu lokasi dapat terjadi pada jenis tanah keras, sedang, ataupun lunak.
2. Hasil analisis respons struktur jembatan di wilayah gugusan pulau Sumatera berdasarkan Respons Spektrum Gempa Indonesia pada RSNI 2833-201X, menunjukkan bahwa

respons struktur terbesar terjadi di Banda Aceh dengan nilai perpindahan sebesar 0,01595 m, kecepatan sebesar 0,4552 m/det, dan percepatan sebesar 9,7 m/det<sup>2</sup>. Sementara itu, respons struktur terkecil terjadi di Kota Tanjung Pinang, Kepulauan Riau dengan nilai perpindahan sebesar 0,00034 m, kecepatan sebesar 0,0097 m/det, dan percepatan sebesar 0,284 m/det<sup>2</sup>.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adnan, A. & Hendriyawan, 2002. The Effect of the Latest Sumatra Earthquake to Malaysian Peninsular. *Jurnal Kejuruteraan Awam (Journal of Civil Engineering)*, Vol. 15
- Aldiamar, F., 2007. Analisa Risiko Gempa dan Pembuatan Respon Spektra Desain Untuk Jembatan Suramadu dengan Pemodelan Sumber Gempa 3D. Tesis, Institut Teknologi Bandung.
- Ansori, M. B., Sugihardjo, H., & Sidharta, A. S. 2012. Studi Respon Seismik Jembatan Balok Komposit Sederhana yang Diretrofit dengan Link Slab Ditinjau dari Wilayah Zona Gempa. *Jurnal Teknik ITS*, 1(1), D97-D102.
- Behnamfar, F. & Afshari, M., 2013. Collapse analysis and strengthening of stone arch bridges against earthquake. *International Journal of Architectural Heritage*, 7(1), pp.1–25.
- Bonessio, N., Lomiento, G. & Benzoni, G., 2012. Damage identification procedure for Seismically isolated bridges. *Structural Control & Health Monitoring*, 19(5), pp.565–578.
- Badan Standardisasi Nasional, 2002, SNI 1726-2002: Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung.
- Badan Standardisasi Nasional, 2008, SNI 2833-2008: Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan.
- Badan Standardisasi Nasional, 2012, SNI 1726-2012: tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
- Badan Standardisasi Nasional, 2013, RSNI 2833-201X: Perancangan Jembatan terhadap Beban Gempa.
- Elianto, R., 2014. Studi Beban Gempa pada Pilar Jembatan dengan Pembangunan Bertahap. Tesis, Universitas Gadjah Mada.
- Suyadi, 2013. Perilaku Jembatan Bentang Menerus Akibat Beban Gempa Rencana SNI-1726-2002 dengan Peta Gempa 2010. *Jurnal Teknik Sipil*, 12(2), 75-85.
- Suryanita, R., 2014. Integrated Bridge Health Monitoring, Evaluation and Alert System Using Neuro Genetic Hybrids. Tesis, Universiti Teknologi Malaysia.
- Suryanita, R., & Adnan, A., 2013. Application of Neural Networks in Bridge Health Prediction Based on Acceleration and Displacement Data Domain. Paper presented at the Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists, 1, 13-15.